

Departamento de Sistemas Informáticos y Computación
Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Proyecto Docente e Investigador y Trabajo Original de Investigación

Germán Moltó Martínez

Requisito para el Acceso al Cuerpo de Catedráticos de Universidad

Valencia, 11 de septiembre de 2022

Código de concurso, Plaza
082/22, 6708

Área de Conocimiento
Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial

Destino
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación
Universitat Politècnica de València

Perfil
Infraestructuras de Cloud Público (ICP)
Estructuras de Datos y Algoritmos

Resolución
BOE nº 157 de 1 de julio de 2022
(resolución de 22 de junio de 2022)

Índice general

Prólogo	1
Agradecimientos	3
I Proyecto Docente	4
1. Contextualización del Proyecto Docente	5
1.1. Introducción	5
1.2. El Espacio Europeo de Educación Superior	7
1.2.1. El Sistema Europeo de Transferencia de Créditos	8
1.2.2. Aprendizaje basado en Competencias	9
1.3. La Educación Superior Universitaria en España	11
1.3.1. La LOU, la LOMLOU, la Ley de Ciencia y la LOSU	12
1.4. Las Universidades de la Comunidad Valenciana	13
1.5. La Universitat Politècnica de València	16
1.5.1. Titulaciones de Grado y Postgrado	16
1.5.2. Titulaciones de Máster	20
1.5.3. Competencias Transversales en la UPV	21
1.5.4. El Departamento de Sistemas Informáticos y Computación	25
1.5.5. La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática	28
1.6. Titulaciones del Perfil Docente de la Plaza	30
1.6.1. El Grado en Ingeniería Informática	30
1.6.2. El Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones	34
2. Metodología e Innovación Educativa Universitaria	41
2.1. Introducción	41
2.2. El Proceso de Enseñanza-Aprendizaje	42
2.3. Actores en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje	44
2.3.1. El Alumno	44

2.3.2.	El Profesor	45
2.4.	Métodos Docentes	48
2.4.1.	Lección Magistral Participativa	49
2.4.2.	Trabajo Autónomo	52
2.4.3.	Trabajo Cooperativo	52
2.5.	El Marco de Desarrollo Académico Docente	56
2.6.	La Calidad de las Titulaciones Universitarias	58
2.7.	La Evaluación en el Ámbito Universitario	61
2.7.1.	La Evaluación del Alumnado	61
2.7.2.	La Evaluación del Profesorado	66
3.	Perfil docente del candidato	69
3.1.	Resumen de la Trayectoria Docente	69
3.2.	Formación para la Innovación e Investigación Educativa	71
3.2.1.	La Innovación Educativa en la universidad	72
3.2.2.	El Título de Especialista Universitario en Pedagogía Universitaria	74
3.2.3.	Equipos de Innovación y Calidad Educativa	75
3.2.4.	El Título de Experto Universitario en Formación Online (EUFOL)	82
3.2.5.	El Módulo de Iniciación a la Investigación Educativa (INED)	83
3.3.	Algunas Innovaciones Docentes del Candidato	84
3.3.1.	La Asignatura EDA-OCW	85
3.3.2.	Creación de Polimedias	86
3.3.3.	Vídeo-Ejercicios	87
3.3.4.	El Sistema de VideoApuntes	89
3.3.5.	El Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services (AWS)	91
3.3.6.	Seguimiento de Actividades Prácticas en la Nube con CloudTrail-Tracker	101
4.	La asignatura “Infraestructuras de Cloud Público”	113
4.1.	Presentación General	113
4.1.1.	Evolución Histórica	114
4.2.	Competencias	115
4.3.	Planificación de la Asignatura	116
4.4.	Programa Detallado	117
4.4.1.	Programa de Teoría	117
4.4.2.	Programa de Prácticas	125
4.5.	Planificación Temporal	137
4.6.	Metodología Docente Propuesta	137

4.6.1. La Evaluación	138
4.6.2. Uso de las TIC	140
4.7. Bibliografía Comentada	141
5. La Asignatura “Estructuras de Datos y Algoritmos”	143
5.1. Presentación General	143
5.1.1. Evolución Histórica	144
5.2. Competencias	145
5.3. Planificación de la Asignatura	146
5.4. Programa Detallado	146
5.4.1. Programa de Teoría	147
5.4.2. Programa de Prácticas	155
5.5. Planificación Temporal	163
5.6. Metodología Docente Propuesta	164
5.6.1. Factores Condicionantes	164
5.6.2. Sobre las Sesiones de Teoría en el Aula	164
5.6.3. Sobre las Sesiones Prácticas en el Laboratorio	167
5.6.4. La Evaluación	168
5.6.5. Tutorías	171
5.6.6. Uso de las TIC	171
5.7. Bibliografía Comentada	173
II Proyecto Investigador	175
6. Introducción y Contexto de la Investigación	177
6.1. Introducción	178
6.2. Investigación, Desarrollo e Innovación	178
6.3. El Espacio Europeo de Investigación	180
6.3.1. Programas de I+D Europeos	181
6.4. El Sistema de I+D+i en España	182
6.4.1. Organismos Públicos de Investigación	184
6.4.2. Centros Tecnológicos y Centros de Apoyo a la Innovación Tecnológica	185
6.4.3. Parques Científicos y Tecnológicos	185
6.4.4. Programas de I+D Nacionales	185
6.4.5. El Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial	188
6.4.6. Gasto y Resultados de I+D en España	188
6.5. La Investigación en la Comunitat Valenciana	190

6.5.1.	Programas de I+D+i Autonómicos	191
6.6.	La Investigación en la UPV	192
6.6.1.	Estructuras de Investigación	193
6.6.2.	La Ciudad Politécnica de la Innovación	193
6.6.3.	El Programa de Apoyo a la I+D+i en la UPV	196
6.6.4.	Evaluación de la Investigación en la UPV	196
6.7.	El Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular	198
6.7.1.	El grupo de investigación GRyCAP	199
7.	Perfil investigador	203
7.1.	Datos del candidato	204
7.2.	Proyectos y Contratos de Investigación	204
7.2.1.	Breve resumen de los principales proyectos y contribución	204
7.3.	Artículos de Investigación en Revistas Indexadas	210
7.4.	Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada (VAIP)	219
7.5.	Perfiles digitales	221
7.6.	Colaboraciones Internacionales	224
III	Trabajo Original de Investigación	232
8.	Proyecto de Investigación	233
8.1.	Resumen	234
8.2.	Estado del Arte	236
8.3.	Hipótesis y Objetivos del Proyecto	243
8.4.	Materiales y Métodos	244
8.5.	Paquetes de Trabajo	245
8.5.1.	WP1: Infraestructuras computacionales híbridas elásticas para el continuo	245
8.5.2.	WP2: Plataforma de procesamiento de datos basada en eventos para la Nube Continua	248
8.5.3.	WP3: Planificación Eficiente Serverless para la Nube Continua	249
8.5.4.	WP4: Casos de uso de aplicación	250
8.6.	Plan de Trabajo	252
8.7.	Puntos de control y entregables	252
8.7.1.	Gestión y Mitigación de Riesgos	254
8.8.	Impacto Esperado de los Resultados	256
8.8.1.	Impacto Científico-Técnico	256
8.8.2.	Diseminación y Plan de Gestión de Datos	257

8.8.3. Transferencia de Tecnología	258
8.9. Capacidad Formativa	259
8.10. Equipo de Investigación	261
8.10.1. Investigadores Principales	261
8.10.2. Equipo de Investigación	262
8.11. Presupuesto	264
9. Artículo de Investigación	267
9.1. Introduction	268
9.2. Related Work	270
9.3. Components to Support Serverless Workflows along the Cloud continuum	273
9.3.1. SCAR: Serverless Scientific Computing in Public Clouds	273
9.3.2. OSCAR: Open-Source Serverless Computing for Data-Processing Applications	274
9.3.3. Functions Definition Language for Data-Driven Serverless Workflows	276
9.4. Use Case: Mask Wearing Detection via Anonymised Deep Learning Video Processing	279
9.4.1. Optimal Resource Allocation for the Lambda Function	282
9.4.2. Case Study Design	284
9.4.3. Results and Discussion	285
9.5. Conclusions	289
9.6. Acknowledgements	290
10. Conclusiones	291
IV Apéndices	293
A. Ejemplo de Guía Didáctica	295
B. Ejemplo de Rúbrica	299
Bibliografía	301

Índice de tablas

1.1. Centros y titulaciones con docencia impartida por miembros del DSIC.	26
1.2. Asignaturas de la Unidad Docente Programación.	28
1.3. Asignaturas del módulo de Materias Básicas.	32
1.4. Asignaturas obligatorias de segundo curso.	33
1.5. Asignaturas obligatorias de tercer curso.	33
1.6. Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Ingeniería de Computadores.	33
1.7. Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Computación.	34
1.8. Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Sistemas de información.	34
1.9. Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Tecnologías de la información.	35
1.10. Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Ingeniería del software.	35
1.11. Asignaturas obligatorias de la titulación de Grado en Ingeniería Informática.	36
1.12. Estructura del Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones.	37
3.1. Miembros del MATI en 2021	77
3.2. Proyectos de Innovación y Mejora Educativa (PIME) liderados por el MATI	79
3.3. Resultados promedios a lo largo de cinco ediciones (población de 73 estudiantes).	100
3.4. Resultados de la encuesta de evaluación de CloudTrail-Tracker.	111
4.1. Estadísticas históricas de ICP	115
4.2. Mecanismo de evaluación de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público.	139
5.1. Estadísticas históricas de EDA	145
5.2. Fechas de los principales eventos en la distribución temporal.	163
6.1. Valores promedios de VAIP correspondientes a 2020.	198
7.1. Datos básicos del investigador candidato.	204
7.2. Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada (VAIP) del candidato en los últimos años.	221

8.1. Puntuaciones del informe de valoración científico-técnica del proyecto de investigación presentado por el candidato.	233
8.2. Gestión y mitigación de riesgos del proyecto SERCLOCO	255
8.3. Presupuesto del proyecto de investigación presentado por el candidato.	265

Índice de figuras

1-1. Estructura de las enseñanzas universitarias oficiales (fuente: https://www.educacionyfp.gob.es)	9
1-2. Universidades de la comunidad valenciana (datos principalmente del curso 2019/2020)	14
1-3. Indicadores de la Universitat Politècnica de València para el curso 2020/2021. Fuente: [354]	17
1-4. Competencias transversales en la UPV. Fuente: [345]	22
1-5. Cuadro de materias del Grado en Ingeniería Informática.	31
2-1. Conceptos clave que marcan los saltos cualitativos entre niveles dentro del MDAD. Fuente: [291]	56
3-1. Histórico de medias globales de los resultados de las encuestas de opinión del alumnado sobre la actuación docente del candidato.	70
3-2. Entrega del Premio a la Excelencia Docente en su XX edición.	71
3-3. Programas del Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) realizados por el candidato.	73
3-4. Líneas de actividad del Equipo de Innovación y Calidad Educativa (EICE) MATI (Metodologías Activas y Tecnologías de la Información)	78
3-5. Captura de pantalla de un polimedia sobre un Montículo Binario, realizado por el candidato.	86
3-6. Captura de pantalla de un video-ejercicio.	88
3-7. Listado de grabaciones de VideoApuntes.	90
3-8. Listado de grabaciones de VideoApuntes.	91
3-9. Aspecto de las vídeo-lecciones y del vídeo Polimedia de presentación.	93
3-10. Vista esquemática de un estudiante del curso online.	94
3-11. Servicios involucrados en la gestión del curso online.	94
3-12. Arquitectura de CloudTrail-Tracker.	105
3-13. Dashboard de inicio de CloudTrail-Tracker.	107
3-14. Servicios utilizados por un alumno en un determinado período de tiempo.	109

3-15. Porcentaje de cumplimiento de cada práctica de laboratorio para una asignatura.	109
3-16. Eventos que faltan por realizar en cada práctica de laboratorio.	110
4-1. Programa de teoría de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público.	117
4-2. Programa de prácticas de la asignatura ICP	125
4-3. Planificación temporal de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público.	137
5-1. Programa de teoría de la asignatura Estructura de Datos y Algoritmos.	147
5-2. Programa de prácticas de la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos	155
5-3. Planificación temporal de la asignatura a lo largo de un curso académico.	163
6-1. Agentes en el sistema de I+D+i en España	184
6-2. Evolución del gasto en I+D interna en España. Fuente: [131]	189
6-3. Producción científica medida en número de publicaciones en el periodo 2011-2020. Fuente: [143]	189
6-4. Treinta primeros países en producción científica. Fuente: [143]	190
7-1. Principales proyectos Europeos (arriba) y nacionales (abajo) en los que ha participado el candidato. El asterisco marca responsabilidad como Investigador Principal.	205
7-2. Distribución en cuartiles del Journal Citation Reports de las publicaciones en revista del candidato.	215
7-3. Número de publicaciones en revista indexada en JCR, para cada categoría.	216
7-4. Resultado de la búsqueda de publicaciones por autor en Web of Science (en Agosto de 2022))	216
7-5. Áreas temáticas en las que se han realizado contribuciones (obtenido desde Web of Science)	217
7-6. Veces citado y publicaciones a lo largo del tiempo (obtenido en Agosto de 2022 desde Web of Science)	217
7-7. Áreas de procedencia de las citas obtenidas por las publicaciones (obtenido en Agosto de 2022 de Web of Science)	218
7-8. Co-autores en las publicaciones del candidato indexadas por WoS	219
7-9. Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada (VAIP) del candidato (GMM) con respecto al VAIP medio del colectivo de Titulares de Universidad y de Catedráticos de Universidad.	222
7-10. Perfiles digitales: web personal y Google Scholar.	222
7-11. Evolución del número de citas recibidas de acuerdo a Google Scholar	223
7-12. Perfiles digitales: Publons y ResearchGate.	223
7-13. Perfil en ResearchGate - Scores	224

7-14. Perfil en Scopus	225
7-15. Mapa de colaboraciones internacionales del candidato (publicación conjunta en la última década)	231
8-1. Arquitectura global para computación científica sin servidor en todo el continuo de la nube.	246
8-2. Planificación de la primera mitad (dos anualidades) del proyecto	252
8-3. Planificación de la segunda mitad (dos anualidades) del proyecto	253
9-1. Architecture of the OSCAR platform and interactions among their services.	275
9-2. Functions Definition Language file to deploy the workflow used in the following section.277	
9-3. Simplified diagram of a hybrid serverless workflow that involves public, on-premises and federated cloud resources.	279
9-4. Workflow for the defined use case involving face mask detection on anonymised images on a hybrid Cloud.	281
9-5. Result image that differentiates people not wearing face masks.	282
9-6. Time and cost analysis for the mask detector function running on AWS Lambda.	283
9-7. Execution times of the workflow functions in the two defined scenarios.	286
9-8. Total execution times of the workflow in the two defined scenarios.	287
9-9. Measured times after processing different amounts of videos in parallel.	289

Prólogo

Este documento contiene el proyecto docente e investigador del candidato Germán Moltó Martínez presentado como requisito para el concurso de acceso a plazas de Cuerpos Docentes Universitarios. Concretamente, el documento se centra en el concurso para la plaza 6708 de Catedrático de Universidad en el área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial en el Departamento de Sistemas Informáticos y Computación de la Universitat Politècnica de València, resultante de la resolución de fecha 22 de junio de 2022, publicada en el Boletín Oficial del Estado número 157 del 1 de julio de 2022. La plaza está adscrita a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática y tiene como perfil las asignaturas “Infraestructuras de Cloud Público” y “Estructuras de Datos y Algoritmos”.

El Real Decreto 1313/2007, de 5 de octubre, por el que se regula el régimen de los concursos de acceso a cuerpos docentes universitarios, establece en su artículo 7 (Procedimiento de los concursos de acceso) que son los Estatutos de la Universidad los que regulan el procedimiento que ha de regir en los concursos, que deberá valorar, en todo caso, el historial académico, docente e investigador del candidato o candidata, su proyecto docente e investigador, así como contrastar sus capacidades para la exposición y debate ante la Comisión en la correspondiente materia o especialidad en sesión pública.

De esta manera, en el artículo 5.4 de la normativa para la regulación de los concursos de acceso a cuerpos docentes universitarios en el ámbito de la Universitat Politècnica de València, aprobada por acuerdo del consejo de gobierno de 25 de septiembre de 2008, se indica que en el acto de presentación de los candidatos se deberá aportar: a) Historial académico, docente e investigador, así como un ejemplar de las publicaciones y documentos acreditativos de lo consignado en el mismo; y b) Proyecto docente e investigador, y en su caso (cuando se trate de una plaza de catedrático, como corresponde en este caso) un trabajo original de investigación, solo o en equipo, en este último caso como director de la investigación. El concurso de acceso constará de una única prueba que será pública y consistirá en la exposición oral por los candidatos, de los méritos y de su historial académico, docente e investigador y del proyecto docente e investigador, así como del trabajo original de investigación.

El presente proyecto docente establece su marco legislativo en la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de

Abril (LOMLOU), por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001 de 21 de diciembre, de Universidades (LOU) y en el resto de la legislación vigente tanto a nivel estatal como a nivel de los estatutos propios de la Universidad Politécnica de Valencia.

A continuación se describe el planteamiento de estructura de este documento, justificando la adecuación del mismo al perfil de la plaza. Este proyecto docente e investigador está estructurado en tres partes. La primera parte contiene el proyecto docente del candidato centrado tanto en la asignatura Infraestructuras de Cloud Público como en Estructuras de Datos y Algoritmos. Para ello, se aborda el contexto universitario relacionado con cada asignatura y se realiza un planteamiento de estructuración docente de las mismas de forma individualizada, enfatizando la propuesta metodológica del candidato.

La segunda parte del documento incluye el proyecto investigador. Para ello, se describe la trayectoria investigadora del candidato, centrada en la computación científica distribuida en la nube. También se presenta brevemente el perfil investigador del candidato, destacando aquellos datos que se consideran de especial relevancia para la plaza objeto de concurso, como es el caso de los proyectos de investigación en los que el candidato ha participado o dirigido, así como los artículos de investigación en revistas indexadas y los índices de calidad que acreditan una valoración positiva de la actividad investigadora.

Finalmente, la tercera parte incluye el trabajo original de investigación. Para ello se presenta un proyecto de investigación activo en el que el candidato actúa como Investigador Principal, financiado por la convocatoria de Proyectos I+D+i “Retos de Investigación”. También se incluye un artículo publicado en una revista situada en posiciones relevantes del JCR que incluye aportaciones originales que pueden ser calificadas globalmente como novedosas y que ejemplifica la labor investigadora del candidato.

Agradecimientos

En el momento de escribir estas líneas se cumplen 20 años de los inicios de mi carrera investigadora. Se trata, por tanto, de un momento perfecto para detenerse y reflexionar. La labor investigadora es necesariamente grupal y, como tal, tengo que agradecer a todos los compañeros del grupo de investigación GRyCAP el apoyo recibido a lo largo del tiempo.

En primer lugar, me gustaría agradecer a Ignacio Blanquer su labor de mentoría a lo largo del tiempo. Su capacidad de esfuerzo, superación, liderazgo, saber hacer y trato humano han sido siempre un espejo donde mirarse. A los más veteranos del grupo como Miguel Caballer y Carlos de Alfonso, que con su trabajo diario han mantenido toda la infraestructura computacional de nuestro grupo, así como desarrollado herramientas de código abierto tan esenciales como IM y CLUES. También agradecer a Damià Segrelles con el que he compartido, entre otros, interés por la innovación educativa a lo largo de los años. A Amanda Calatrava, Sebastián Risco, Diana M. Naranjo y Vicent Giménez, que los he visto crecer académicamente como investigadores en el marco del grupo de investigación.

Me gustaría también reconocer la labor de las personas que he tenido la suerte de tutorizar como doctorandos, sin cuyo esfuerzo no habríamos podido crear herramientas software, productos en definitiva, que nos han permitido integrarlos y evolucionarlos posteriormente en proyectos de investigación. Por ello, además de los mencionados anteriormente, me gustaría agradecer a Alfonso Pérez y José Herrera por haber contribuido con su trabajo y dedicación a reforzar la actividad investigadora del grupo.

Me gustaría agradecer tanto a los miembros del I3M (Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular) como del DSIC (Departamento de Sistemas Informáticos y Computación), por el soporte recibido durante mi carrera investigadora y académica.

Finalmente, me gustaría reconocer a mi familia el apoyo que he tenido al desarrollar mi carrera académica, intensa a menudo, obsesiva en ocasiones, pero agradecida siempre. A mi mujer Clara y a mis hijos Germán y Emma. Sin faltar, obviamente, mis padres, que me permitieron formarme y supieron guiarme en el interés por aprender.

Parte I

Proyecto Docente

Capítulo 1

Contextualización del Proyecto

Docente

En este primer capítulo se realiza una introducción al proyecto docente, destacando los principales actores y agentes relacionados con el mismo. Para ello, en primer lugar se describen los principales retos de la sociedad del conocimiento y se aborda brevemente el Espacio Europeo de Educación Superior, que fija el marco académico que rige el diseño de los planes de estudios. Luego se trata la educación superior en España, describiendo el marco legislativo que regula las enseñanzas superiores (LOU y LOMLOU). A continuación, se proporciona una breve descripción sobre la Universitat Politècnica de València y el Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Finalmente, el capítulo concluye con una descripción de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática y con una descripción del Grado en Ingeniería Informática, titulación donde se imparte la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos, así como el Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones, titulación donde se imparte la asignatura Infraestructuras de Cloud Público, ambas vinculadas al perfil de la plaza.

1.1. Introducción

Existe un consenso generalizado acerca del cambio que se ha producido en este siglo, pasando de una sociedad industrial a una sociedad basada en el conocimiento. La rapidez a la que se suceden los cambios, especialmente en el ámbito científico-tecnológico plantea unos desafíos ante los que la universidad no puede quedar ajena.

Una sociedad basada en el conocimiento es por extensión una sociedad que requiere del aprendizaje entendido en un sentido amplio. Actualmente, el aprendizaje a lo largo de toda la vida es fundamental para que los actuales estudiantes universitarios, futuros egresados, puedan actualizar

sus conocimientos a lo largo del tiempo y utilizar aquellos que sean más apropiados en un ámbito concreto. Las áreas de conocimiento crecen conforme avanzan los descubrimientos en los correspondientes campos científicos. Sin embargo, el conocimiento actual tiende a ser muy específico y compartimentado y, además, está muy fragmentado. Finalmente, el ritmo al que se produce nueva información es cada vez más vertiginoso, siendo la obsolescencia de la información un tema de especial relevancia en las últimas décadas [61].

En el informe de J. Delors, del año 1996, titulado “Los cuatro pilares de la educación ” [111] se indicaban los principales retos educativos a los que se enfrenta el siglo XXI, a los que la universidad no debe permanecer ajena:

- Aprender a conocer
- Aprender a hacer
- Aprender a vivir juntos, aprender a vivir con los demás
- Aprender a ser

Ya en el trabajo de Parsons y Platt [292] se argumentaba que las universidades ya no son las únicas productoras de conocimiento sino que experimentan competencia de otras organizaciones como la industria. Sin embargo, las universidades siguen siendo los institutos de formación de académicos y los principales productores de investigación. En dicho trabajo se distinguían las principales cuatro funciones de la universidad, tal y como se describe en [379]:

1. Producir conocimiento científico especializado avanzado y formar a los jóvenes para que se conviertan en buenos investigadores,
2. Proporcionar educación general para “ciudadanía educada” (en particular, estudiantes generalistas),
3. Generar percepción y conocimiento de los problemas humanos y sociales, así como desarrollar en los estudiantes la capacidad de juicio crítico (intelectuales y generalistas),
4. Preparar a los estudiantes para profesiones académicas prácticas (especialistas).

Por tanto, la universidad debe evitar abordar el conocimiento como algo ya construido y que se entrega al alumno a lo largo de su carrera universitaria. Por el contrario, la enseñanza universitaria debe dotar al alumno de la capacidad mental y las herramientas necesarias para que éste construya su propio conocimiento a lo largo de toda su vida profesional, adaptándose a las circunstancias de su entorno tanto laboral como personal. Según Fernández-March [147], las consecuencias de esta situación para la educación universitaria pueden resumirse en:

- Cuestionamiento del modelo educativo. Es imprescindible reintegrar la visión académica, la profesional y la vital [50] en un modelo de enseñanza que sea eminentemente multidisciplinar. Para ello, hay que estructurar las enseñanzas en un primer nivel básico, de fundamentación de conceptos generales (grado), y un segundo nivel de especialización con una clara componente de profesionalización (posgrado).
- Cuestionamiento del modelo organizativo de la enseñanza superior. Impera el cambio de un modelo de enseñanza basado en la acumulación del conocimiento a un modelo constructivo que desarrolle en los alumnos las competencias necesarias para el desempeño de sus funciones como profesionales reflexivos y creativos.
- Cuestionamiento de la práctica docente. Para ello es necesario incorporar metodologías activas de aprendizaje y enseñanza que permitan la formación de buenos profesionales y personas con las estructuras mentales adecuadas tras un aprendizaje significativo, profundo y constructivo.

En el trabajo de Van Vucht Tijssen y Weert [379] se discute el papel de la universidad y la disyuntiva existente sobre si la universidad debe preparar intelectuales o profesionales bien entrenados para el mercado laboral al que deben acceder una vez finalizados sus estudios. A diferencia de una formación profesional, donde el estudiante debe ser capacitado para el entrenamiento (repetir procesos), en el ámbito universitario se espera que el estudiante adquiera una comprensión amplia y una capacidad de aprender a aprender pues es posible que el ámbito de aplicación de lo estudiado sea diferente al inicialmente planteado por el plan de estudios.

Estas premisas subyacen en los planes de estudio vigentes en las universidades españolas. La convergencia Europea supone la adaptación de los antiguos planes de estudio al (EEES) [237], descrito a continuación.

1.2. El Espacio Europeo de Educación Superior

La idea de desarrollar un Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) se materializa a partir de la Declaración de Bolonia el 19 Junio de 1999, que fue suscrita por 30 estados europeos [120]. Ésta determina las bases para la construcción de un EEES centrado en aspectos como la mejora de la calidad educativa, facilitar la movilidad de alumnos y profesorado entre los diferentes estados europeos así como fomentar la competitividad.

El EEES no tiene como objetivo homogeneizar los sistemas de educación superior sino aumentar su compatibilidad y comparabilidad. El EEES se articula en torno al reconocimiento de titulaciones y otras cualificaciones de educación superior así como la creación de un sistema de titulaciones comprensibles y comparables organizado en tres ciclos (grado, posgrado y doctorado).

Con el objetivo de convertir a Europa en un polo de atracción de estudiantes y profesores de otras partes del mundo, la Declaración de Bolonia determina seis objetivos fundamentales [120]:

- La adopción de un sistema fácilmente legible y comparable de titulaciones, mediante la implantación, entre otras cuestiones, de un Suplemento Europeo al Título.
- La adopción de un sistema basado en dos ciclos principales, grado y postgrado.
- El establecimiento del sistema de créditos (ECTS).
- La promoción de la cooperación Europea para asegurar un nivel de calidad para el desarrollo de criterios y metodologías comparables.
- La promoción de una necesaria dimensión Europea en la educación superior con particular énfasis en el desarrollo curricular.
- La promoción de la movilidad y eliminación de obstáculos para el ejercicio libre de la misma por los estudiantes, profesores y personal administrativo de las universidades y otras Instituciones de enseñanza superior europea.

Estos objetivos persiguen dos metas fundamentales que se derivan de la declaración de Bolonia. En primer lugar, la competitividad, o capacidad para atraer estudiantes europeos y de otras partes del mundo. En segundo lugar, la empleabilidad, centrandose los esfuerzos del aprendizaje en materias relevantes para el mercado de trabajo, disponiendo de un sistema de certificación de alcance de los resultados.

Con respecto a las enseñanzas en España, el Real Decreto 1393/2007, del 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, propone una estructuración de titulaciones académicas universitarias centrada en un primer ciclo de 240 ECTS y duración de 4 años, llamado Grado, un segundo ciclo de 60-120 ECTS de 1-2 años de duración denominado Máster y un tercer ciclo de 3-4 años para la realización de la tesis doctoral para la consecución del título de doctor. Esta estructura se puede observar en la Figura 1-1 de acuerdo con las líneas generales que se destilan del EEES.

1.2.1. El Sistema Europeo de Transferencia de Créditos

El EEES homogeneiza el sistema de créditos europeos mediante la introducción del Sistema Europeo de Transferencia de Créditos (ECTS) [290], regulados en España por el Real Decreto 1125/2003. De acuerdo al Real Decreto, el sistema europeo de transferencia y acumulación de créditos ofrece los instrumentos necesarios para comprender y comparar fácilmente los distintos sistemas educativos, facilitar el reconocimiento de las cualificaciones profesionales y la movilidad nacional e internacional,

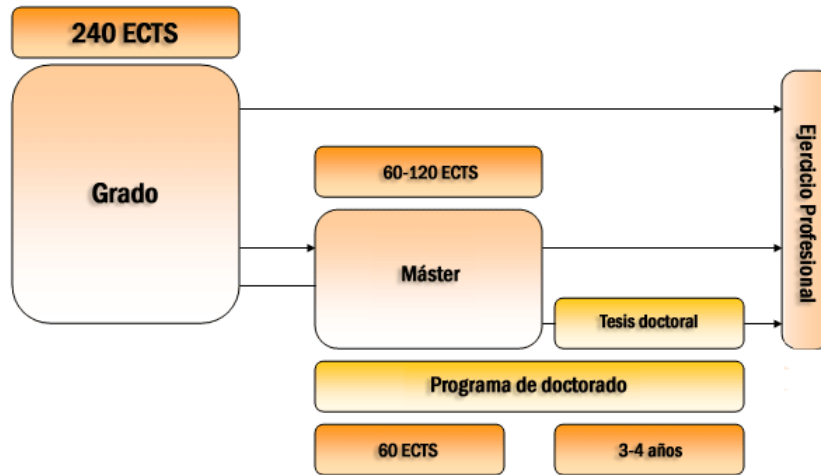


Figura 1-1: Estructura de las enseñanzas universitarias oficiales (fuente: <https://www.educacionyfp.gob.es>)

con reconocimiento completo de los estudios cursados, incrementar la colaboración entre universidades y la convergencia de las estructuras educativas y, en definitiva, fomentar el aprendizaje en cualquier momento de la vida y en cualquier país de la Unión Europea.

El crédito europeo es la unidad de medida del haber académico que representa la cantidad de trabajo del estudiante para cumplir los objetivos del programa de estudios y que se obtiene tras la superación de cada una de las materias que integran los planes de estudios de las diversas enseñanzas conducentes a la obtención de títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. En esta unidad de medida se integran las enseñanzas teóricas y prácticas, así como otras actividades académicas dirigidas, con inclusión de las horas de estudio y de trabajo que el estudiante debe realizar para alcanzar los objetivos formativos propios de cada una de las materias del correspondiente plan de estudios. Por tanto, estos créditos contabilizan la carga total de trabajo del estudiante sin limitarse a las horas de asistencia a clases presenciales. Además, incluye el tiempo dedicado por el alumno a los seminarios, trabajos de campo, estudio personal, actos de evaluación, etc.

Un curso universitario consta de 60 créditos ECTS por lo que, teniendo en cuenta unas 25-30 horas de trabajo del estudiante por cada crédito, esto da lugar a un total de entre 1500 a 1800 horas anuales de trabajo del alumno.

1.2.2. Aprendizaje basado en Competencias

Los planes de estudio universitarios utilizan una aproximación competencial determinada en el Real Decreto 1393/2007 [94], que en su preámbulo explicita “Los planes de estudios conducentes a la obtención de un título deberán, por tanto, tener en el centro de sus objetivos la adquisición de competencias por parte de los estudiantes ampliando, sin excluir, el tradicional enfoque basa-

do en contenidos y horas lectivas. Se debe hacer énfasis en los métodos de aprendizaje de dichas competencias así como en los procedimientos para evaluar su adquisición.”

En el libro de Álvarez Morán y col. [21] titulado “Hacia un enfoque de la educación en competencias” se plantean diferentes definiciones de competencia, dejando de lado la definición habitual en términos de disputa sobre algo y oposición y rivalidad para obtener la misma cosa, llegando a la definición: “pericia, aptitud, idoneidad para hacer algo o intervenir en un asunto determinado’ lo que implica:

- Aptitud: Capacidad para operar de forma competente en una determinada tarea
- Capacidad: Aptitud, talento y cualidad de una persona para el buen ejercicio de algo
- Habilidad: Capacidad o disposición para algo
- Destreza: Habilidad o arte para realizar una cosa

Por ello, el término “competencia” se asimila al de “cualificación’, como se indica en [21], para denotar el paso de una formación descontextualizada y lejana a las situaciones reales, por otra más adaptable, no tan instrumentalista, que permite al estudiante poner en práctica su capacidad para resolver eficazmente situaciones complejas, demostrando así su competencia.

De hecho, Lasnier [214] define “Una competencia es un saber hacer complejo resultado de la integración, movilización y adecuación de capacidades y habilidades (pueden ser de origen cognitivo, afectivo, psicomotor o social) y de conocimientos (conocimientos declarativos) utilizados eficazmente en situaciones que tengan un carácter común (situaciones similares, no generalizable a cualquier situación)”

La adopción del trabajo por competencias permea todas las capas del sistema educativo y supone la traslación de un currículo tradicional centrado en la memorización de hechos y conceptos por parte del estudiante a un currículo que fomenta un aprendizaje más experiencial. Para ello, interrelaciona la teoría y la práctica para que el estudiante ponga en práctica los conocimientos adquiridos. A modo de ejemplo, a continuación se identifican las siete competencias básicas que los estudiantes deben conseguir a lo largo de la etapa de Educación Primaria, tal y como se definen en el Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria [60] (que supuso la derogación del Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación primaria). Estas competencias son las mismas que define el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato [59] y se relacionan a continuación:

1. Comunicación lingüística.
2. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.

3. Competencia digital.
4. Aprender a aprender
5. Competencias sociales y cívicas.
6. Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor.
7. Conciencia y expresiones culturales

Por tanto, estas son las bases fundamentales con las que cuentan los estudiantes cuando se integran en las enseñanzas universitarias.

1.3. La Educación Superior Universitaria en España

Los grados universitarios comenzaron a impartirse en el curso 2008-2009 con 163 grados verificados. En el curso 2010-11 se dió por finalizada la adaptación al EEES, por lo que todos los estudiantes de nuevo ingreso en el Sistema Universitario Español se matriculan en un grado. En el curso 2010-2011 existían 2.338 grados, 2.429 másteres y 1.624 doctorados verificados.

De hecho, el informe anual de Datos y Cifras del Sistema Universitario Español [119], para el curso 2010/2011, aportó claves específicas sobre el estado de la educación superior universitaria en España en la época. El Sistema Universitario Español estaba compuesto por 78 universidades: 50 públicas y 28 privadas. La Comunidad de Madrid es la que más universidades tiene, 15 en total y de ellas 6 son públicas. Andalucía es la que más universidades públicas tiene, en total diez.

Prácticamente una década más tarde, el informe anual de Datos y Cifras del Sistema Universitario Español para el curso 2019/2020 [119] muestra que para el curso 2018/2019 habían 2.920 titulaciones de grado, 3.567 de máster y 1.137 doctorados. Se reporta la existencia de 83 universidades, 50 públicas y 33 privadas. Por tanto, se aprecia un aumento considerable en la formación especializada (masters) y un ligero incremento en el número de universidades privadas. El total de matriculados en universidades españolas en dicho curso fue 1.595.039 (con un 54,8% de mujeres). El informe hace hincapié en la distribución poco homogénea por sexo donde el 75,2% de los matriculados en estudios de grado de la rama ingeniería y arquitectura fueron hombres mientras que dicho porcentaje se reduce al 29,7% para la rama de Ciencias de la Salud (manteniéndose similares porcentajes en titulaciones de máster y de doctorado de las respectivas ramas).

Con respecto al Personal Docente e Investigador (PDI), en centros propios en el curso 2017-18 (los datos más recientes mostrados en el informe 2019/2020) era de 122.910 personas, con 61.908 Personal de Administración y Servicios (PAS) y 26.064 Personal Investigador (PI), un 2,1% más que el curso anterior, apuntando a un crecimiento sostenido en los últimos años. Del total, 103.876 ejercían sus funciones en universidades públicas (un 41% de mujeres) y 19.034 en privadas.

1.3.1. La LOU, la LOMLOU, la Ley de Ciencia y la LOSU

La Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades (LOU), BOE de 24 de diciembre de 2001), establece en su artículo 1 las funciones de la universidad:

- La creación, desarrollo, transmisión y crítica de la ciencia, de la técnica y de la cultura.
- La preparación para el ejercicio de actividades profesionales que exijan la aplicación de conocimientos y métodos científicos y para la creación artística.
- La difusión, la valorización y la transferencia del conocimiento al servicio de la cultura, de la calidad de la vida, y del desarrollo económico.
- La difusión del conocimiento y la cultura a través de la extensión universitaria y la formación a lo largo de toda la vida.

La LOU surgió para satisfacer los nuevos retos de la sociedad. Para ello, promovía una nueva ordenación de la actividad universitaria, dotando a sus estructuras de una mayor flexibilidad al tiempo que se potenciaba la colaboración entre la Universidad y la sociedad. Esta ley perseguía la mejora de la calidad del sistema universitario, estableciendo mecanismos para la evaluación del profesorado mediante procedimientos de habilitación así como selección del profesorado. Este ley también propuso la creación de estructuras mixtas de investigación con empresas de base tecnológica, como medio para la aportación de la investigación al tejido productivo.

Posteriormente surge la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades (LOMLOU, BOE de 13 de abril de 2007). Esta modificación de la ley surge con el objetivo armonizar los sistemas educativos superiores en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior, profundizando en la reforma de la estructura y organización de las enseñanzas, basada en tres ciclos: Grado, Máster y Doctorado. También se modifica la selección del profesorado funcionario incorporando un modelo de acreditación que permita que las universidades seleccionen a su profesorado entre los previamente acreditados. Este sistema incorpora para el conjunto de la comunidad académica un mayor rigor en la acreditación y una mayor flexibilidad para las universidades en la selección de su personal. Para ello, se autoriza la creación de la (ANECA), reforzando su papel dentro del sistema universitario para la coordinación en los procesos de garantía de calidad y la definición de criterios de evaluación.

En definitiva, de acuerdo a la ley, la reforma pretende ser un paso adelante en la organización del sistema universitario hacia una estructura más abierta y flexible, que sitúe a las universidades españolas en una mejor posición para la cooperación interna y la competencia internacional, a través de la creación, transmisión, desarrollo y crítica del conocimiento científico y tecnológico y de la transferencia de sus beneficios a la sociedad, con el fin de que consigan ser atractivas en un mundo globalizado.

La Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, establece disposiciones sobre los derechos y deberes del personal investigadores, así como sobre los procesos de contratación y la gobernanza de la investigación científica y técnica en la Administración General del Estado, por lo que tiene un impacto en las universidades públicas españolas. Por ejemplo, se introduce la capacidad para la contratación indefinida de personal investigador con cargo a líneas de investigación que pueden ser alimentadas por múltiples proyectos de investigación, redundando en la estabilización del personal. En 2022 se tramitó un proyecto de ley para la modificación de dicha ley para dotarla de una mejora de la carrera científica y técnica en el ámbito de la I+D+i, incluyendo medidas para estimular la atracción de talento y la movilidad profesional, un mayor reconocimiento al personal de investigación y una reducción de la carga administrativa y fomento de la transferencia de conocimiento, entre otros, siendo aprobado en agosto de 2022.

Finalmente, comentar el anteproyecto de Ley Orgánica del Sistema Universitario (LOSU) [29], que persigue la regulación del sistema universitario, incluyendo, el régimen jurídico de universidades públicas y privadas, así como los órganos y mecanismos de coordinación que garanticen su calidad; la organización de enseñanzas y reconocimiento de títulos universitarios; las normas de gobernanza de las universidades públicas, incluyendo su estructura; la financiación y régimen económico-financiero de las universidades públicas; el régimen del personal docente e investigador, así como el del personal técnico, de gestión y de administración y servicios y el del estudiantado; la promoción de la conexión de las universidades con su entorno social y cultural; el fomento de la internacionalización de sistema universitario y, finalmente, el régimen jurídico específico de las universidades privadas. En el momento de escribir este documento, el anteproyecto de LOSU ha sido aprobado por el Consejo de Ministros y enviado al Congreso de los Diputados para su tramitación parlamentaria.

A continuación, se relacionan las universidades de la comunidad valenciana y se revisa su oferta de títulos para detectar aquellos que tiene relación de afinidad con este proyecto docente e investigador.

1.4. Las Universidades de la Comunidad Valenciana

La Figura 1-2 muestra las universidades de la comunidad valenciana, detallando los datos de matriculación. Los datos son en la mayoría de los casos del curso académico 2019/2020, salvo en el caso de la UCV, que el dato más reciente encontrado es de 2016.

A continuación se indican qué universidades ofertan titulaciones de grado relacionadas con ámbitos afines a los perfiles docentes de la plaza relacionada con esta propuesta de Proyecto Docente e Investigador:

1. Informática

- a) Grado en Ingeniería Informática por la Universitat Politècnica de València [367]
- b) Grado en Ingeniería Informática por la Universitat de Valencia [364]










Logotipo	Nombre	Titularidad	Alumnos
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	Universitat Politècnica de València (UPV)	Pública	28.528
 VNIVERSITAT ID VALÈNCIA	Universitat de València (UV)	Pública	51.058
 UNIVERSITAS Miguel Hernández	Universidad Miguel Hernández (UMH)	Pública	14.627
 UNIVERSITAT JAUME I	Universitat Jaume I (UJI)	Pública	13.668
 Universitat d'Alacant Universidad de Alicante	Universitat d'Alacant (UA)	Pública	25.635
 Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir	Universidad Católica de Valencia (UCV)	Privada	13.076
 CEU Universidad Cardenal Herrera	Universidad Cardenal Herrera CEU (UCH-CEU)	Privada	10.269
 viu Universidad Internacional de Valencia	Universidad Internacional de Valencia (VIU)	Privada	7.000
 ue Universidad Europea Valencia LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES	Universidad Europea de Valencia (UEV)	Privada	16.000 (en los cuatro campus)

Figura 1-2: Universidades de la comunidad valenciana (datos principalmente del curso 2019/2020)

- c) Grado en Ingeniería Informática por la Universitat Jaume I [186]
- d) Grado en Ingeniería Informática por la Universitat d'Alacant [103]
- e) Grado en Ingeniería Informática (Online) por la Universidad Europea [138]
- f) Grado en Ingeniería Informática (Online) por la Universidad Internacional de Valencia [360]
- g) Grado en Ingeniería Informática en Tecnologías de la Información por la Universidad Miguel Hernández [180]

2. Ciencia de Datos

- a) Grado en Ciencia de Datos por la Universitat Politècnica de València [366]
- b) Grado en Ciencia de Datos por la Universitat de València [363]
- c) Grado en Ciencia de Datos por la Universidad Europea de Valencia [137]

A continuación se realiza lo mismo para las titulaciones de máster afines:

1. Ciencia de Datos y/o Big Data

- a) Máster en Big Data Analytics por la Universitat Politècnica de València [368]
- b) Máster Universitario en Ciencia de Datos por la Universitat de València [365]
- c) Máster Universitario en Ciencia de Datos por la Universitat d'Alacant [104]
- d) Máster Universitario en Big Data y Data Science por la Universidad Internacional de Valencia [361]
- e) Máster Universitario en Estadística Computacional y Ciencia de Datos para la Toma de Decisiones por la Universidad Miguel Hernández [181]

2. Computación y Servicios Web

- a) Máster Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones por la Universitat Politècnica de València [371]
- b) Máster Universitario en Tecnologías Web, Computación en la Nube y Aplicaciones Móviles [376]
- c) Máster en Ingeniería de Datos e Inteligencia Artificial por la Universitat Jaume I [200]
- d) Máster Universitario Oficial de Desarrollo de Aplicaciones y Servicios Web [105]

A continuación se procede a describir brevemente la Universitat Politècnica de València, entidad a la que está adscrita la plaza.

1.5. La Universitat Politècnica de València

La (UPV) es una institución relativamente joven, con poco más de 50 años de existencia, que parte del Instituto Politécnico Superior de Valencia que allá por el curso 1968-1969 integraba cuatro centros: La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales [349].

En 1971 se concede el máximo rango académico a esta institución y pasa a convertirse en Universidad Politécnica de Valencia. A partir de ese momento comienza el crecimiento de la UPV mediante la incorporación de otros centros: la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, la Escuela Politécnica de Alcoy, la Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación, la Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología y la Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada. Posteriormente, se crean la Facultad de Informática, la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica, y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. En 1994 el centro de Alcoy pasa a ser Escuela Politécnica Superior y, en 1993, se funda la Escuela de Gandía, que se constituye como Escuela Politécnica Superior durante el curso académico 1999-2000. Durante ese curso, se pone en marcha la Facultad de Administración y Dirección de Empresas [349].

Actualmente, tal y como se indica en la memoria del curso académico 2020/2021 [354] y se muestra en la Figura 1-3, la Universitat Politècnica de València involucra una comunidad universitaria formada por unos 29.000 alumnos, 2.579 integrantes del colectivo de Personal Docente e Investigador (PDI) y unos 1.454 integrantes del colectivo de Personal de Administración y Servicios (PAS). Está constituida por 13 escuelas y facultades, 42 departamentos, 20 institutos universitarios de investigación y 25 estructuras propias de investigación.

Esta universidad forma parte del campus de excelencia VLC/CAMPUS impulsado por la Universitat de València (UV), la Universitat Politècnica de València (UPV) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) para la creación en el área metropolitana de València de un Campus de Excelencia Internacional.

1.5.1. Titulaciones de Grado y Postgrado

Debido a la progresiva implantación de los títulos de grado, actualmente coexisten temporalmente las titulaciones de primer y segundo ciclo con los grados. La Universitat Politècnica de València imparte un total de 35 grados, 18 dobles grados y 77 títulos de máster oficiales entre los campus de Vera, Alcoy y Gandía. Se relacionan a continuación agrupados por rama junto con el centro en el que se imparten:

- En la rama Artes y Humanidades:
 - Grado en Bellas Artes (Facultad de Bellas Artes)

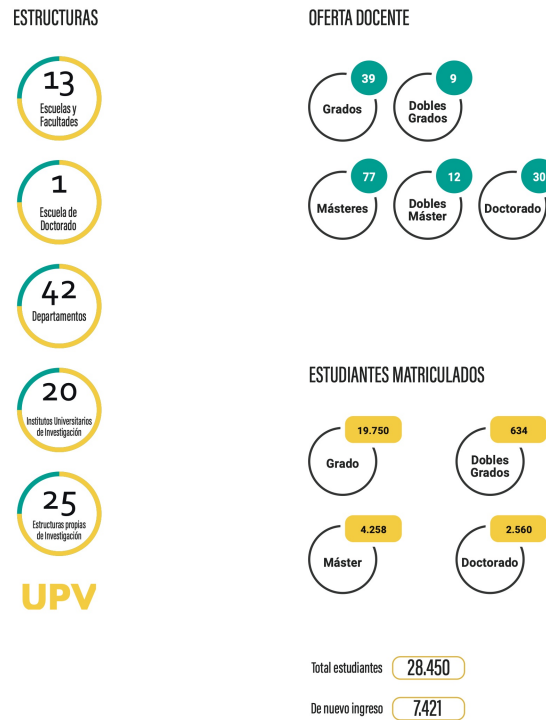


Figura 1-3: Indicadores de la Universitat Politècnica de València para el curso 2020/2021. Fuente: [354]

- Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales (Facultad de Bellas Artes)
- Grado en Diseño y Tecnologías Creativas (Facultad de Bellas Artes)
- En la rama Ciencias:
 - Grado en Biotecnología (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)
 - Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)
 - Grado en Ciencias Ambientales (Escuela Politécnica Superior de Gandía)
 - Doble grado en Administración y Dirección de Empresas + Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Facultad de Administración y Dirección de Empresas)
 - Doble grado en Biotecnología + Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)
 - Doble Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural + Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)

- Doble grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural + Ciencias Ambientales (Escuela Politécnica Superior de Gandía, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)
- Doble grado en Matemáticas + Ingeniería Civil (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos)
- Doble grado en Matemáticas + Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación)
- En la rama Ciencias Sociales y Jurídicas:
 - Grado en Administración y Dirección de Empresas (Facultad de Administración y Dirección de Empresas | Escuela Politécnica Superior de Alcoy)
 - Grado en Comunicación Audiovisual (Escuela Politécnica Superior de Gandía)
 - Grado en Gestión y Administración Pública (Facultad de Administración y Dirección de Empresas)
 - Grado en Turismo (Escuela Politécnica Superior de Gandía)
 - Doble grado en Administración y Dirección de Empresas + Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Facultad de Administración y Dirección de Empresas)
 - Doble grado en Administración y Dirección de Empresas + Ingeniería Informática (Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Facultad de Administración y Dirección de Empresas)
 - Doble grado en Administración y Dirección de Empresas + Turismo (Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Escuela Politécnica Superior de Gandía)
 - Doble grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen + Comunicación Audiovisual (Escuela Politécnica Superior de Gandía)
- En la rama Ingeniería y Arquitectura. Agroalimentaria y Forestal:
 - Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)
 - Grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)
 - Doble grado en Biotecnología + Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)

- Doble Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural + Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)
- Doble grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural + Ciencias Ambientales (Escuela Politécnica Superior de Gandía, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural)
- En la rama Ingeniería y Arquitectura. Arquitectura, Ingeniería Civil y Edificación:
 - Grado en Arquitectura Técnica (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación)
 - Grado en Diseño Arquitectónico de Interiores (Escuela Técnica Superior de Arquitectura)
 - Grado en Fundamentos de la Arquitectura (Escuela Técnica Superior de Arquitectura)
 - Grado en Ingeniería Civil (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos)
 - Grado en Ingeniería de Obras Públicas (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos)
 - Doble grado en Matemáticas + Ingeniería Civil (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos)
- En la rama Ingeniería y Arquitectura. Ciencia y Tecnología para la Salud:
 - Grado en Ingeniería Biomédica (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial)
- En la rama Ingeniería y Arquitectura. Industrial y Aeronáutica:
 - Grado en Ingeniería Aeroespacial (Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño)
 - Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos (Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño)
 - Grado en Ingeniería Eléctrica (Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Escuela Politécnica Superior de Alcoy)
 - Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática (Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño)
 - Grado en Ingeniería de la Energía (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales)
 - Grado en Ingeniería Mecánica (Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Escuela Politécnica Superior de Alcoy)
 - Grado en Ingeniería de Organización Industrial (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial)

- Grado en Ingeniería Química (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial | Escuela Politécnica Superior de Alcoy)
- Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial)
- En la rama de Ingeniería y Arquitectura. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones:
 - Grado en Ciencia de Datos (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática)
 - Grado en Ingeniería Física (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación)
 - Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica)
 - Grado en Ingeniería Informática (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Escuela Politécnica Superior de Alcoy)
 - Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen (Escuela Politécnica Superior de Gandía)
 - Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación)
 - Grado en Tecnología Digital y Multimedia (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación)
 - Grado en Tecnologías Interactivas (Escuela Politécnica Superior de Gandía)
 - Doble grado en Administración y Dirección de Empresas + Ingeniería Informática (Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Facultad de Administración y Dirección de Empresas)
 - Doble grado en Administración y Dirección de Empresas + Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, Facultad de Administración y Dirección de Empresas)
 - Doble grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen + Comunicación Audiovisual (Escuela Politécnica Superior de Gandía)
 - Doble grado en Matemáticas + Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación)

1.5.2. Titulaciones de Máster

Además de los títulos de grado, la UPV dispone de una oferta variada de estudios de posgrado. Por un lado, los másteres universitarios permiten al alumno especializarse en un campo determinado

o iniciarse en labores de investigación, posibilitando la continuación con los programas de doctorado. Los másteres tienen entre 60 y 120 créditos ECTS por lo que duran entre 1 y 2 años. Hay cerca de 90 másteres universitarios ofertados. Por motivos de brevedad, tan solo se mencionan a continuación los relacionados con la rama Ingeniería y Arquitectura. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y se etiquetan aquellos impartidos por el DSIC (Departamento de Sistemas Informáticos y Computación):

- Máster Universitario en Ciberseguridad y Ciberinteligencia
- Máster Universitario en Gestión de la Información
- Máster Universitario en Ingeniería de Computadores y Redes
- Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación
- Máster Universitario en Ingeniería Informática
- Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas Electrónicos
- Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación
- Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte
- Máster Universitario en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones
- Doble Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación + Ingeniería de Sistemas Electrónicos
- Doble Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación (1) + Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones
- Máster Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones [DSIC]
- Máster Universitario en Ingeniería y Tecnología de Sistemas Software [DSIC]
- Máster Universitario en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital [DSIC]

1.5.3. Competencias Transversales en la UPV

Las competencias específicas se trabajan por parte de los estudiantes a lo largo de las asignaturas de una titulación y su alcance se evalúa a lo largo de diferentes materias de los planes de estudio, permitiendo al alumnado conseguir el perfil específico del egresado. Por el contrario, las competencias transversales hacen referencia a habilidades clave que pueden ser transferibles en diferentes contextos personales, sociales, académicos y labores a lo largo de la vida, tal y como se indica en el informe

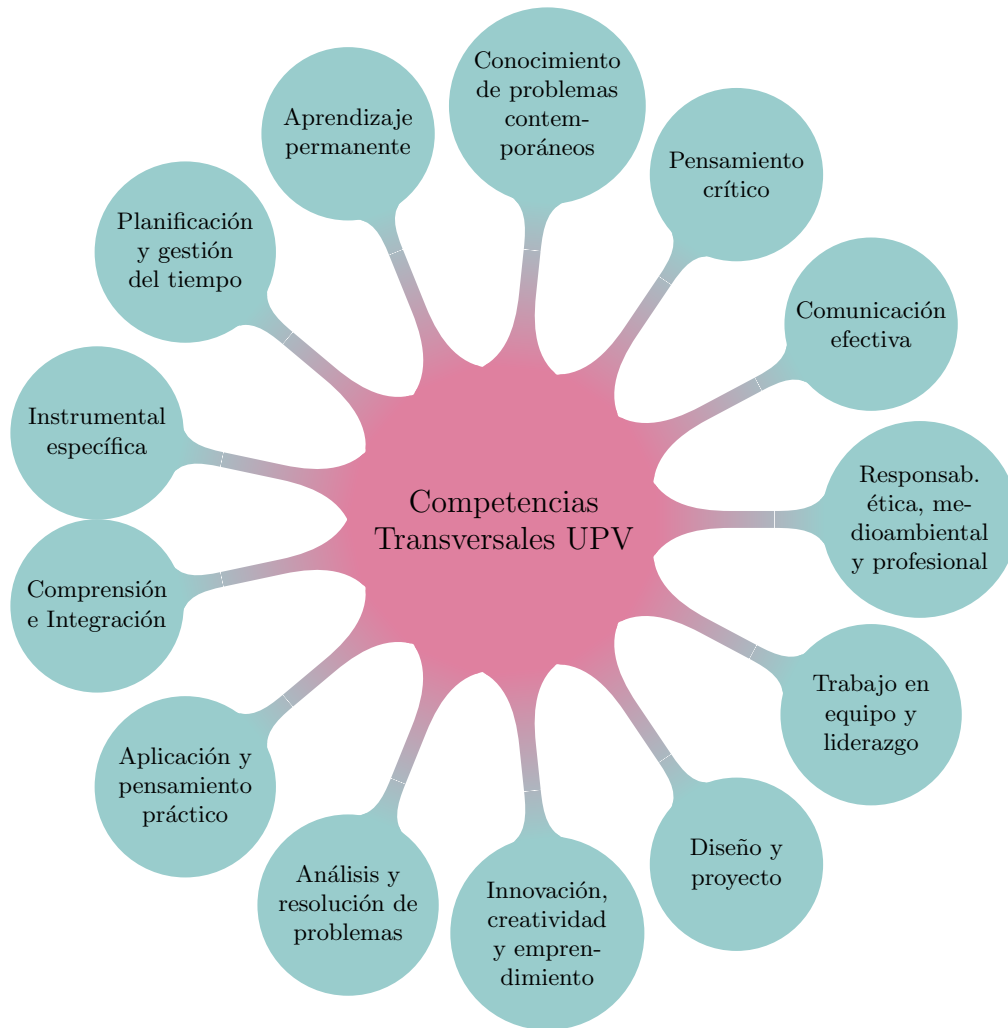


Figura 1-4: Competencias transversales en la UPV. Fuente: [345]

del proyecto competencias transversales UPV [356]. Constituyen una parte fundamental del perfil profesional y constan de habilidades y conocimientos instrumentales y actitudinales necesarios para el desempeño de las labores de los egresados.

La UPV puso en marcha en 2013 el proyecto de competencias transversales para la acreditación de las competencias transversales de los estudiantes egresados de la UPV, pues los procesos de acreditaciones, tanto nacionales como internacionales, inciden cada vez más en la revisión de las evidencias sobre las competencias a lo largo de la formación que recibe el estudiante [344].

La Figura 1-4 muestra un mapa mental con las diferentes competencias transversales definidas en la UPV, descritas brevemente a continuación [345]:

1. CT01: Comprensión e integración

- Demostrar la comprensión y la integración del conocimiento tanto de la especialización propia como en otros contextos más amplios. Para demostrar que algo se ha comprendido,

la persona identifica y recupera la información, y lo explica con sus palabras, interpretando e integrando las ideas desde su perspectiva.

2. CT02: Aplicación y pensamiento práctico

- Aplicar los conocimientos teóricos y establecer el proceso a seguir para alcanzar determinados objetivos, llevar a cabo experimentos y analizar e interpretar datos para extraer conclusiones. Esta competencia desarrolla el modo de pensar dirigido a la acción, que permite adaptarse a nuevas situaciones, tomar decisiones y, consecuentemente, actuar.

3. CT03: Análisis y resolución de problemas

- Analizar y resolver problemas de forma efectiva, identificando y definiendo los elementos significativos que los constituyen. El alumno debe ser capaz de aplicar procedimientos estructurados para resolver problemas, promoviendo así su capacidad de aprender, comprender y aplicar conocimientos de forma autónoma.

4. CT04: Innovación, creatividad y emprendimiento

- Innovar para responder satisfactoriamente y de forma original a las necesidades y demandas personales, organizativas y sociales con una actitud emprendedora. Se requiere aportar distintas perspectivas (creatividad), como el comprometer determinados recursos por iniciativa propia, con el fin de explorar una oportunidad, asumiendo el riesgo que esto comporta (emprendimiento).

5. CT05: Diseño y proyecto

- Diseñar, dirigir y evaluar una idea de manera eficaz hasta concretarla en un proyecto, entendido como un esfuerzo que se lleva a cabo en un tiempo determinado para lograr el objetivo específico de diseñar y crear un servicio o producto único, mediante la realización de una serie de tareas y un uso efectivo de recursos. Se persigue que el estudiante aprenda haciendo e integrando conocimientos y habilidades de diferentes ámbitos disciplinares, desarrollando habilidades intelectuales de alto nivel, promoviendo el aprendizaje y trabajo autónomo, el trabajo en equipo y la autoevaluación.

6. CT06: Trabajo en equipo y liderazgo

- Trabajar y liderar equipos de forma efectiva para la consecución de objetivos comunes, contribuyendo al desarrollo personal y profesional de los mismos. Esto implica crear y desarrollar un clima de confianza mutua entre los componentes que permita trabajar de forma responsable y cooperativa. Se debe compartir conocimientos, compromiso y responsabilidad. Supone el reparto de tareas y roles y el respeto a las normas y reglas de juego establecidas por y para el grupo.

7. CT07: Responsabilidad ética, medioambiental y profesional

- Actuar con responsabilidad ética, medioambiental y profesional ante uno mismo y los demás. se refiere al conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes, útiles para interactuar con el entorno, de forma ética, responsable y sostenible, para evitar o disminuir los efectos negativos producidos por las prácticas inadecuadas que ocasiona la actividad humana y para promover los beneficios que pueda generar la actividad profesional en el ámbito medioambiental, teniendo en cuenta sus implicaciones económicas y sociales.

8. CT08: Comunicación efectiva

- Comunicarse de manera efectiva, tanto de forma oral como escrita, utilizando adecuadamente los recursos necesarios y adaptándose a las características de la situación y de la audiencia. Implica tener desarrollada la capacidad de transmitir conocimientos y expresar ideas y argumentos de manera clara, rigurosa y convincente, tanto de forma oral como escrita, utilizando los recursos apropiados adecuadamente y adaptándose a las circunstancias y al tipo de público.

9. CT09: Pensamiento crítico

- Desarrollar un pensamiento crítico interesándose por los fundamentos en los que se asientan las ideas, acciones y juicios, tanto propios como ajenos. Implica poner en cuestión los supuestos subyacentes en nuestras formas habituales de pensar y actuar y, en base a ese cuestionamiento crítico, estar preparado para pensar y hacer diferente. El estudiante debe interrogarse sobre las cosas y se interesa por los fundamentos en los que se asientan las ideas, las acciones, las valoraciones y juicios tanto propios como ajenos.

10. CT10: Conocimiento de problemas contemporáneos

- Identificar e interpretar los problemas contemporáneos en su campo de especialización, así como en otros campos del conocimiento, prestando especial atención a los aspectos relacionados con la sostenibilidad. Los estudiantes debe comprender las cuestiones y valores políticos, sociales, legales y medioambientales contemporáneos, así como los mecanismos de expansión y difusión del conocimiento. Se trata de que desarrollen la capacidad de “estar al día” de los eventos actuales en su campo de conocimiento y en la sociedad en general.

11. CT11: Aprendizaje permanente

- Utilizar el aprendizaje de manera estratégica, autónoma y flexible, a lo largo de toda la vida, en función del objetivo perseguido. Se pretende formar profesionales reflexivos, que

no se conforman con reproducir de manera rutinaria soluciones ya conocidas, sino que buscan generar nuevas soluciones o soluciones adaptadas a nuevas situaciones.

12. CT12: Planificación y gestión del tiempo

- Planificar adecuadamente el tiempo disponible y programar las actividades necesarias para alcanzar los objetivos, tanto académico-profesionales como personales. Implica ser capaz de organizar y distribuir correctamente el tiempo del que disponemos y distribuirlo en función de las actividades necesarias para alcanzar nuestros objetivos a corto, medio y largo plazo.

13. CT13: Instrumental específica

- Utilizar las técnicas, las habilidades y las herramientas actualizadas necesarias para la práctica de la profesión. Requiere el uso de las herramientas y tecnologías necesarias para el ejercicio profesional asociado a cada titulación. El estudiante será capaz de identificar las herramientas más adecuadas en cada caso, conociendo sus utilidades y siendo capaz de integrarlas y combinarlas para poder resolver un problema, realizar un proyecto o un experimento.

En la UPV se establecen tres niveles de dominio para cada competencia:

1. Primer Nivel, desarrollado en los cursos 1º y 2º del grado.
2. Segundo Nivel, desarrollado en los cursos 3º y 4º del grado.
3. Tercer Nivel, desarrollado en titulaciones de máster.

El seguimiento de las competencias transversales se realiza a lo largo de ciertas materias/asignaturas seleccionadas, denominadas “puntos de control”, donde se definen actividades de aprendizaje y evaluación para desarrollar y evidenciar la adquisición de la competencia.

1.5.4. El Departamento de Sistemas Informáticos y Computación

El Departamento de Sistemas Informáticos y Computación(DSIC), creado en enero de 1986, es el responsable dentro de la UPV de impartir la docencia de las asignaturas de las áreas de Lenguajes y Sistemas Informáticos (LSI) y de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial (CCIA). El departamento está integrado por 134 profesores, además de contar con una plantilla de 16 administrativos y personal técnico de apoyo. Además de impartir asignaturas en 18 títulos de grado, oferta 3 titulaciones de máster, todas ellas acreditadas con el sello EURO-INF, tal y como se muestra en la Tabla 1.1.

Centro	Titulación
Escuela Politécnica Superior de Alcoy	Grado en Ingeniería Informática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática	Grado en Ingeniería Informática Grado en Ciencia de Datos Máster Universitario en Ingeniería Informática (MUIINF) Máster Universitario en Gestión de la Información (MUGI) ¹
Facultad de Administración y Dirección de Empresas	Grado en Gestión y Administración Pública
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industriales	Grado en Ingeniería Biomédica Grado en Ingeniería de la Energía Grado en Ingeniería de Organización Industrial Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales Grado en Ingeniería Química
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Grado en Ingeniería Civil Grado en Ingeniería de Obras Públicas
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	Grado en Ingeniería Eléctrica Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos Grado en Ingeniería Mecánica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica	Grado en Ingeniería Geomática y Topografía
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación	Grado en Ingeniería Técnica de Telecomunicación
Escuela Politécnica Superior de Gandía	Grado en Gestión Turística Grado en Comunicación Audiovisual Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen
Unidad de Másteres	Máster Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones Máster Universitario en Ingeniería y Tecnología de Sistemas Software Máster Universitario en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital

Tabla 1.1: Centros y titulaciones con docencia impartida por miembros del DSIC.

Para organizar la docencia de las asignaturas, el DSIC está estructurado en diferentes unidades docentes (UD). Cada UD agrupa un conjunto de asignaturas de temáticas afines con el objetivo de facilitar la colaboración entre los miembros de una misma UD. Estas son las UD's existentes actualmente:

- Computación
- Computación Numérica
- Desarrollo de Software
- Inteligencia Artificial
- Informática Gráfica
- Programación
- Programación Básica
- Sistemas
- Sistemas de Información

La UD de Programación es la encargada de impartir la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos, una de las referidas en este proyecto docente e investigador. Esta UD está compuesta por todos los profesores que imparten docencia en alguna de las asignaturas adscritas a esta UD, relacionadas en la Tabla 1.2. Todas esas asignaturas se imparten en el Grado en Ingeniería Informática de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática.

El DSIC también es responsable y colabora en la impartición de estudios de posgrado de Informática. A continuación se relacionan los másteres ofertados:

- Máster Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones [371]. Tiene como objetivo la formación de investigadores y profesionales independientes, con experiencia en el campo que define el máster, con plena capacidad para realizar su trabajo de investigación y/ de transferencia tecnológica, y con capacidad para dirigir y ayudar en su campo de competencia a otros investigadores y/o a otros profesionales. Se compone de cuatro líneas de investigación: computación paralela, tecnologías Grid y Cloud, sistemas distribuidos y sistemas altamente disponibles y, finalmente, ciencias computacionales.
- Máster Universitario en Ingeniería y Tecnologías de Sistemas Software [374]. Este máster persigue el estudio de técnicas para el desarrollo de software fiable para la industria que permitan confiar en el resultado obtenido, comprender como modificarlo y adaptarlo a futuras necesidades con el mínimo coste. También persigue el estudio del acceso y la recuperación eficiente de información en múltiples formatos.

Asignatura	Carácter	Curso/Semestre
Estructuras de datos y algoritmos	Obligatoria	2º B
Programación	Obligatoria	1º B
Concurso Algoritmos ACM	Libre Elección	-
Algorítmica	Optativa	4º A
Introducción a la Informática y a la Programación	Obligatoria	1º A

Tabla 1.2: Asignaturas de la Unidad Docente Programación.

- Máster Universitario en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital [375]. Los objetivos de este máster son el diseño de Sistemas Inteligentes y la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial a la resolución de problemas, los interfaces inteligentes persona-máquina y en particular interfaces orales, Informática gráfica, imagen sintética y realidad virtual. También, el procesado de imágenes, visión por computador y técnicas biométricas. Por último, se incide en las tecnologías del lenguaje y en particular en los sistemas de traducción automática y procesado y búsqueda en grandes colecciones de documentos.

1.5.5. La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática (ETSINF) [135], o por su nombre oficial en Valenciano *Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica*, de la Universitat Politècnica de València es el resultado de la integración en un único centro de la Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada y de la Facultad de Informática. Creada a raíz del Decreto 33/2009 de la Consellería de Educación de la Generalitat Valenciana, de 27 de febrero de 2009, este nuevo centro recoge el legado de la larga tradición docente e investigadora de la antigua Escuela y Facultad que se remonta al año 1982, en el que se crea la Escuela Universitaria de Informática, centro pionero de los estudios de Informática en la Comunidad Valenciana, y la posterior construcción de la Facultad de Informática en el año 1985 [135].

Este centro, en el que imparten docencia más de 300 profesores cuenta con una experiencia de 40 años en la impartición de estudios de de Informática. Durante este periodo han sido formados más de 11000 titulados [192]. La ETSINF imparte actualmente las titulaciones a extinguir de (ITIG) e (ITIS) además del título de Ingeniería Informática. El GII, que comenzó su implantación en el centro en el curso académico 2010/2011, tomó el relevo a las anteriores titulaciones y supone la culminación del proceso de integración de los antiguos títulos de Ingeniero en Informática e Ingeniero Técnico en Informática (de gestión y de sistemas).

Tal y como se indica en su perfil de LinkedIn [136], se trata de la Escuela con mayor demanda de la Comunidad Valenciana y entre las más demandadas del ámbito nacional. La ETSINF forma parte de la organización internacional iSchools², la organización mundial de escuelas y centros universitarios

²iSchools - <https://ischools.org>

que imparten titulaciones y hacen investigación en el campo de la gestión y el tratamiento de la información.

La ETSINF fue la primera escuela pública nacional en acceder a esta organización. También forma parte de CLEI Centro Latinoamericano de Estudios en Informática y Association for Computing Machinery (ACM) con los capítulos ACM UPV Chapter y ACM Women. La ETSINF realiza una oferta docente trilingüe en castellano, valenciano o inglés, con una amplia abanico de acuerdos de movilidad en programas de intercambio internacional que permiten la obtención de dobles titulaciones.

Por otro lado, el Grado en Ingeniería Informática, el Máster Universitario en Ingeniería Informática y el Máster Universitario en Ingeniería y Tecnología de Sistemas Software, impartidos en la Escuela, cuentan con la acreditada certificación europea EuroInf, otorgada por EQANIE, la red europea de calidad en la enseñanza en el ámbito de la informática. La ETSINF fue la primera escuela pública inmersa en este proceso de certificación, liderando también un proceso que la propia Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y la Acreditación (ANECA) asumió dentro del programa Acredita Plus. La escuela es miembro activo de Big Data Value Association de la Comisión Europea y EQANIE donde representa a España en los proyectos European e-Competencies Framework³ y e-Leadership⁴. Además el Centro forma parte de los proyectos europeos PRAXIS y PLACENET.

Además, estos estudios se complementan con la oferta de un Programa de Posgrado Oficial en Informática compuesto por los siguientes títulos de Máster Oficial:

- Máster Universitario en Ingeniería Informática [373]. El máster está diseñado con una orientación claramente profesional, pensando en la práctica de la Ingeniería Informática en empresas e instituciones. El desarrollo profesional de sus estudiantes se facilita mediante la realización del trabajo de final de máster en empresas tecnológicas, la impartición de seminarios por profesionales del sector, el fomento del emprendimiento y el desarrollo de habilidades asociadas al ejercicio profesional.
- Máster Universitario en Gestión de la Información [372] (impartido por última vez en 2020/2021). El máster estaba orientado a formar especialistas preparados para analizar, diseñar, seleccionar, organizar, gestionar, evaluar, optimizar y difundir productos y servicios de información. Fomenta el aprendizaje multidisciplinar e innovador en un entorno de trabajo orientado a formar profesionales altamente cualificados.
- Máster Universitario en Ciberseguridad y Ciberinteligencia [370]. La tecnología e infraestructuras que forman parte del ciberespacio son elementos estratégicos, transversales a todos los ámbitos de actividad, siendo la vulnerabilidad del ciberespacio una de los principales riesgos

³<https://ecompetences.eu>

⁴<https://eskills-guide.eu>

para nuestro desarrollo como nación. Por tanto, la formación de profesionales del más alto nivel en este campo aparece plenamente justificada. Empresas destacadas de ámbito internacional, con sede en la Comunidad Valenciana, apoyan al Master desde el consejo asesor del Master y ofreciendo prácticas reales a los alumnos que cursen esta formación especializada. Además se trata del único Master oficial en España que incluye contenidos orientados a la Ciberinteligencia como aspecto disruptivo de la Ciberseguridad.

Además, se ofrecen los siguientes títulos propios:

- Máster en Big Data Analytics [368]. La oferta formativa de postgrado que representa este Master responde a la fuerte demanda de personas formadas en este campo. Varios expertos apuntan que estamos transitando dentro de una nueva revolución tecnológica hacia una nueva era, la Era de los Datos, en la que la protagonista es la Información y el soporte de ésta son los Datos.
- Máster en Bioinformática, Biología Computacional y Medicina Personalizada [369]. Este máster proporciona una formación orientada al ejercicio de este nuevo perfil en sus diversos campos de aplicación dentro de las ciencias de la vida y de la salud.

También ofrece un Programa de Doctorado en Informática con Mención de Calidad, concedida por la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación para el curso 2007/2008, según resolución de 16 de Noviembre de 2007 [192].

1.6. Titulaciones del Perfil Docente de la Plaza

La asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos de la plaza a la que el candidato concurre con este proyecto docente e investigador se imparte en la titulación de Grado en Ingeniería Informática. La asignatura Infraestructuras de Cloud Público se imparte en el Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones. Por lo tanto, a continuación se detallan ambos planes de estudio para contextualizar dichas asignaturas.

1.6.1. El Grado en Ingeniería Informática

En el curso 2010/2011, la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática puso en marcha el nuevo plan de estudios de la titulación de Grado en Ingeniería Informática, con una duración de 4 años. Este nuevo plan substituyó al que entró en vigor en el curso 2001/2002 (B.O.E nº 249 de 17/10/2001).

La Figura 1-5 resume la estructuración en diferentes materias del plan de estudios junto con sus créditos ECTS asignados a cada materia. A continuación se procede a explicar brevemente el contenido del plan de estudios. Es posible encontrar información ampliada en [192].

1er CURSO		2o CURSO		3er CURSO		4o CURSO	
Semestre A	Semestre B	Semestre A	Semestre B	Semestre A	Semestre B	Semestre A	Semestre B
INFORMÁTICA		ESTRUCTURA Y ARQUITECTURA DE COMPUTADORES			GESTIÓN DE PROYECTOS	FORMACIÓN COMPLEMENTARIA	
MATEMÁTICAS		REDES DE COMPUTADORES		BASES DE DATOS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN	INGENIERÍA DE COMPUTADORES		PROYECTO DE FIN DE GRADO
FÍSICA	ESTADÍSTICA	SISTEMAS OPERATIVOS		COMPUTACIÓN PARALELA	COMPUTACIÓN		
	EMPRESA	LENGUAJES, TECNOLOGÍAS Y PARADIGMAS DE LA PROGRAMACIÓN	ESTRUCTURAS DE DATOS Y ALGORITMOS	INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DEL SOFTWARE	SISTEMAS DE INFORMACIÓN		
		TEORÍA DE AUTÓMATAS Y LENGUAJES FORMALES	INTERFACES PERSONA COMPUTADOR	SISTEMAS INTELIGENTES	TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN		
		FORMACIÓN COMPLEMENTARIA	DEONTOLOGÍA Y PROFESIONALISMO	TECNOLOGÍAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN LA RED	INGENIERÍA DEL SOFTWARE		

MÓDULO MATERIAS BÁSICAS	60 ECTS
MÓDULO MATERIAS OBLIGATORIAS	93 ECTS
MÓDULOS DE TECNOLOGÍA ESPECÍFICA	48 ECTS c.u.
MÓDULO DE MATERIAS OPTATIVAS	27 ECTS
PROYECTO FIN DE GRADO	12 ECTS

Figura 1-5: Cuadro de materias del Grado en Ingeniería Informática.

El Plan de Estudios del título de Grado en Ingeniería Informática consta de cuatro cursos de 60 créditos ECTS cada uno. Cada crédito lleva asociado una carga de trabajo del alumno entre 25 y 30 horas. De acuerdo al Documento Marco de la UPV para el Diseño de Titulaciones [346], aprobado por el Consejo de Gobierno de la UPV el 14/02/2008, cada crédito ECTS involucrará 10 horas de docencia presencial y entre 15 y 20 horas para el resto de trabajo del alumno, incluida la evaluación.

El Plan de Estudios se estructura en módulos y materias. Cada materia puede descomponerse en una o más asignaturas de 4,5, 6 ó 9 créditos ECTS. El tamaño mínimo de una asignatura semestral es de 4,5 créditos mientras que el de una asignatura anual es de 9 créditos ECTS. Las asignaturas de materias básicas deben tener un tamaño mínimo de 6 créditos ECTS.

A continuación se describen los módulos de los que consta el plan de estudios:

- Módulo de Materias Básicas (60 ECTS). De carácter obligatorio, se estructura en siete materias. Cuatro de ellas se corresponden con la rama de conocimiento de Ingeniería y Arquitectura, como las materias de Física (6 ECTS), Empresa (6 ECTS), Matemáticas (18 ECTS) e Informática (24 ECTS). También aparece la materia de Estadística (6 ECTS), vinculada a otras ramas de conocimiento del Anexo II del Real Decreto 1393/2007.
- Módulo de Materias Obligatorias (93 ECTS). De carácter obligatorio, se estructura en 14 materias que cubren las competencias establecidas para este módulo en el Acuerdo del Consejo de Universidades.
- Módulo de Tecnología Específica (48 ECTS). De carácter optativo, consta de cinco módulos relativos a diferentes ámbitos de especialización. El alumno debe superar los 48 créditos ECTS de al menos uno de los siguientes módulos optativos:

Módulo de Ingeniería del Software

Módulo de Ingeniería de Computadores

Módulo de Computación

Módulo de Sistemas de Información

Módulo de Tecnologías de la Información

- Módulo de Materias Optativas (27 ECTS). De carácter optativo, involucra tan solo a la materia Formación Complementaria. Consta de un conjunto de asignaturas de 4.5 ECTS que puede ser variado en cada curso académico para adecuarse a las necesidades formativas dependientes de los cambios tecnológicos en el ámbito de la informática.
- Módulo de Proyecto de Fin de Grado (12 ECTS). De carácter obligatorio, debe ser un trabajo original realizado individualmente y defendido ante un tribunal universitario.

A continuación se detalla la composición de los módulos y su desglose en materias y asignaturas.

Módulo 1. Materias Básicas

El módulo de Materias Básicas, de 60 créditos ECTS consta de las asignaturas mostradas en la Tabla 1.3, donde se detallan los créditos de teoría y prácticas, así como el semestre de impartición.

Asignatura	Créditos (T + P)	Semestre
Fundamentos de organización de empresas	4.5 + 1.5	B
Estadística	4.5 + 1.5	B
Fundamentos Físicos de la Informática	4.5 + 1.5	A
Introducción a la informática y a la programación	4.5 + 1.5	A
Fundamentos de computadores	4.5 + 1.5	A
Programación	4.5 + 1.5	B
Tecnología de computadores	4.5 + 1.5	B
Análisis matemático	4.5 + 1.5	B
Álgebra	4.5 + 1.5	A
Matemática discreta	4.5 + 1.5	A

Tabla 1.3: Asignaturas del módulo de Materias Básicas.

Módulo 2. Materias Obligatorias

El módulo de Materias Obligatorias, tal y como aparece actualmente definido en la oferta de asignaturas publicadas por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática consta del bloque curricular 2 obligatorias de segundo curso y del bloque curricular 3 obligatorias tercer curso [35]. El bloque curricular 2 obligatorias de segundo curso consta de las asignaturas relacionados en la Tabla 1.4. De la misma manera, el bloque curricular 3 obligatorias tercer curso consta de las asignaturas relacionadas en la Tabla 1.5.

Módulo de Tecnología Específica

Asignatura	Créditos (T + P)	Semestre
Deontología y profesionalismo	3 + 1.5	B
Estructuras de datos y algoritmos	4.5 + 1.5	B
Interfaces persona computador	3 + 1.5	B
Lenguajes, tecnologías y paradigmas de la programación	4.5 + 1.5	A
Redes de computadores	6 + 3	T
Fundamentos de sistemas operativos	4.5 + 1.5	B
Concurrencia y sistemas distribuidos	4.5 + 1.5	B
Teoría de autómatas y lenguajes formales	3 + 1.5	A

Tabla 1.4: Asignaturas obligatorias de segundo curso.

Asignatura	Créditos (T + P)	Semestre
Bases de datos y sistemas de información	4.5 + 1.5	A
Computación paralela	3 + 1.5	A
Estructura de computadores	6 + 3	A + B
Arquitectura e ingeniería de computadores	4.5 + 1.5	A
Ingeniería del software	4.5 + 1.5	A
Sistemas inteligentes	4.5 + 1.5	A
Tecnología de sistemas de información en la red	4.5 + 1.5	A

Tabla 1.5: Asignaturas obligatorias de tercer curso.

El módulo de Tecnología Específica corresponde con el Bloque curricular 4 módulos definido en la oferta de asignaturas [35].

Las asignaturas del sub-bloque Ingeniería de Computadores se relacionan en la Tabla 1.6:

Asignatura	Créditos (T + P)	Curso	Semestre
Lenguajes y entornos de programación paralela	3 + 1.5	4	A
Seguridad en los sistemas informáticos	3 + 1.5	4	A
Diseño y aplicaciones de los sistemas distribuidos	3 + 1.5	4	A
Diseño de sistemas operativos	3 + 1.5	3	B
Tecnología de redes	3 + 1.5	3	B
Configuración, administración y gestión de redes	4.5 + 1.5	4	A
Diseño de sistemas digitales	3 + 1.5	3	A
Arquitecturas avanzadas	3 + 1.5	3	B
Control por computador	3 + 1.5	3	B
Sistemas empujados y de tiempo real	4.5 + 1.5	4	A

Tabla 1.6: Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Ingeniería de Computadores.

Las asignaturas del sub-bloque Computación se relacionan en la Tabla 1.7:

Las asignaturas del sub-bloque Sistemas de información se relacionan en la Tabla 1.8:

Las asignaturas del sub-bloque Tecnologías de la información se relacionan en la Tabla 1.9:

Las asignaturas del sub-bloque Ingeniería del software se relacionan en la Tabla 1.10:

La Tabla 1.11 ofrece una panorámica de las asignaturas obligatorias del plan de estudios de Grado en Ingeniería Informática.

Asignatura	Créditos (T + P)	Curso	Semestre
Técnicas, entornos y aplicaciones de inteligencia artificial	3 + 1.5	3	B
Computabilidad y complejidad	3 + 1.5	3	B
Agentes inteligentes	3 + 1.5	3	B
Sistemas de almacenamiento y recuperación de información	3 + 1.5	3	B
Percepción	3 + 1.5	3	B
Lenguajes de programación y procesadores de lenguajes	4.5 + 1.5	4	A
Introducción a los sistemas gráficos interactivos	4.5 + 1.5	4	A
Técnicas, entornos y aplicaciones de inteligencia artificial	3 + 1.5	4	A
Algorítmica	3 + 1.5	4	A
Aprendizaje automático	3 + 1.5	4	A

Tabla 1.7: Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Computación.

Asignatura	Créditos (T + P)	Curso	Semestre
Calidad y optimización	3 + 1.5	4	A
Diseño y gestión de bases de datos	4.5 + 1.5	4	A
Análisis de requisitos de negocio	3 + 1.5	3	B
Gestión de las tecnologías de la información	3 + 1.5	3	B
Sistemas de información estratégicos	3 + 1.5	4	A
Gestión y configuración de la arquitectura de los sistemas de información	3 + 1.5	3	B
Comportamiento organizativo y gestión del cambio	3 + 1.5	3	B
Gestión de servicios de SI TI	3 + 1.5	3	B
Sistemas integrados de información en las organizaciones	3 + 1.5	4	A
Modelos de negocio y áreas funcionales de la organización	4.5 + 1.5	4	A

Tabla 1.8: Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Sistemas de información.

1.6.2. El Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones

El Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones (MUCNAP) tiene como objetivo formar profesionales con capacidades para diseñar, desarrollar, evaluar arquitecturas de aplicaciones en la nube, tanto mediante proveedores Cloud públicos como infraestructuras “on-premises”, así como la ejecución de programas paralelos para sistemas de computación de altas prestaciones y los entornos Grid de computación de alta productividad.

Esta titulación proviene de la refundación del Máster Universitario en Computación Paralela y Distribuida (MUCPD), acreditado con el sello de excelencia internacional EURO-INF [139] en el año 2014⁵. El MUCPD se inició en el curso 2006-2007 por lo que tiene una dilatada trayectoria.

El máster consta de 4 líneas de investigación, que son:

- Computación Paralela.
- Tecnologías Grid y Cloud.

⁵EQANIE Accreditation Certificate para el Máster Universitario en Computación Paralela y Distribuida: <https://www.upv.es/titulaciones/MUCPD/info/euroinf.pdf>

Asignatura	Créditos (T + P)	Curso	Semestre
Diseño, conf. y evaluación de los sistemas informáticos	3 + 1.5	3	B
Seguridad en redes y sistemas informáticos	3 + 1.5	4	A
Diseño y configuración de redes de área local	3 + 1.5	3	B
Sistemas y servicios en red	4.5 + 1.5	4	A
Redes corporativas	4.5 + 1.5	4	A
Desarrollo web	3 + 1.5	3	B
Administración de sistemas	3 + 1.5	3	B
Tecnología de bases de datos	3 + 1.5	3	B
Desarrollo centrado en el usuario	3 + 1.5	4	A
Integración de aplicaciones	3 + 1.5	4	A

Tabla 1.9: Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Tecnologías de la información.

Asignatura	Créditos (T + P)	Curso	Semestre
Diseño de software	3 + 1.5	3	B
Análisis, validación y depuración de software	3 + 1.5	3	A
Desarrollo de software dirigido por modelos	3 + 1.5	3	B
Calidad de software	3 + 1.5	3	B
Mantenimiento y evolución de software	3 + 1.5	3	B
Análisis y especificación de requisitos	4.5 + 1.5	4	A
Proceso de software	4.5 + 1.5	4	A
Integración e interoperabilidad	3 + 1.5	4	A
Métodos formales industriales	3 + 1.5	3	B
Proyecto de ingeniería de software	3 + 1.5	4	A

Tabla 1.10: Asignaturas del bloque curricular 4 módulos. Sub-bloque Ingeniería del software.

- Sistemas Distribuidos y Sistemas Altamente Disponibles.
- Ciencias Computacionales.

El MUCNAP está planificado para que se realice en un curso académico, con una estructura de 60 créditos (30 obligatorios, 16 optativos y 12 de Trabajo de Fin de Máster).

La docencia se estructura en cuatro módulos, tal y como se describe en la Tabla 1.12.

Competencias en el MUCNAP

El Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones aborda competencias transversales, que deben ser comunes a todos los egresados de la UPV y que han sido convenientemente descritas en la sección 1.5.3. También cubre las competencias generales y específicas de la titulación, relacionadas a continuación:

Competencias generales

1. Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

Asignatura	Cuatrimestre	Créditos (T + P).
<i>Primer Curso</i>		
Algebra	A	4.5 + 1.5
Análisis matemático	B	4.5 + 1.5
Estadística	B	4.5 + 1.5
Fundamentos de computadores	A	4.5 + 1.5
Fundamentos de organización de empresas	B	4.5 + 1.5
Fundamentos Físicos de la Informática	A	4.5 + 1.5
Introducción a la informática y a la programación	A	4.5 + 1.5
Matemática discreta	A	4.5 + 1.5
Programación	B	4.5 + 1.5
Tecnología de computadores	B	4.5 + 1.5
<i>Segundo Curso</i>		
Concurrencia y sistemas distribuidos	B	4.5 + 1.5
Deontología y profesionalismo	B	3 + 1.5
Estructura de computadores	AB	9
Estructuras de datos y algoritmos	B	4.5 + 1.5
Fundamentos de sistemas operativos	B	4.5 + 1.5
Interfaces persona computador	B	3 + 1.5
Lenguajes, tecnologías y paradigmas de la programación	A	4.5 + 1.5
Redes de Computadores	AB	9
Redes de computadores I	B	3 + 1.5
Redes de computadores II	B	3 + 1.5
Teoría de autómatas y lenguajes formales	A	3 + 1.5
<i>Tercer Curso</i>		
Arquitectura e ingeniería de computadores	A	4.5 + 1.5
Bases de datos y sistemas de información	A	4.5 + 1.5
Computación paralela	A	3 + 1.5
Gestión de proyectos	-	4.5
Ingeniería del software	A	4.5 + 1.5
Sistemas inteligentes	A	4.5 + 1.5
Tecnología de sistemas de información en la red	A	4.5 + 1.5
<i>Cuarto Curso</i>		
Proyecto de Fin de Grado	-	12

Tabla 1.11: Asignaturas obligatorias de la titulación de Grado en Ingeniería Informática.

Módulo	Materia	Asignaturas
Módulo 1: Núcleo del Máster. Fase I (16 ECTS)	Conceptos de la computación paralela	Conceptos y métodos de la computación paralela (CMCP), (4)
	Conceptos Básicos de la Computación Científica	Herramientas de Computación de Altas Prestaciones (HCAP), (4)
	Conceptos de la computación en Grid	Conceptos de la Computación en Grid y Cloud (CCGC), (4)
	Fundamentos de las Aplicaciones Distribuidas	Cloud Computing (CC), (4)
Módulo 2: Núcleo del Máster. Fase II (16 ECTS)	Mét. de la Computación Paralela y Científica	Modelado y resolución de problemas en ingeniería mediante computación de altas prestaciones (MPICAP), (4)
	Mét. de la Computación Paralela y Científica	Tecnología de la programación paralela (TPP), (4)
	Mét. de la Computación Distribuida y en Grid	Fundamentos de los algoritmos distribuidos (FAD), (4)
	Mét. de la Computación Distribuida y en Grid -	Infraestructuras de cloud público (ICP), (4) Programación en sistemas cloud (PSC), (4)
Módulo 3: Especialización (16 ECTS)	Aplicaciones y Seminarios	Algoritmos paralelos en procesamiento de señal (APPS), (2)
	Aplicaciones y Seminarios	Aplicaciones de la computación científica en la ingeniería (ACCI), (2)
	Aplicaciones y Seminarios	Arquitectura de Redes de Altas Prestaciones, (4)
	Aplicaciones y Seminarios	Computación de altas prestaciones en problemas de optimización y simulación (CAPOS), (2)
	Aplicaciones y Seminarios	Configuración, Administración y Utilización de Clusters de Computadores, (4)
	Aplicaciones y Seminarios	Diseño y arquitectura de servicios distribuidos escalables (DASE), (2)
	Aplicaciones y Seminarios	Estrategias y herramientas de computación big data en la nube (CBD), (2)
	Aplicaciones y Seminarios	Internet de los Servicios (IoS) y de las Cosas (IoT), (3)
	Aplicaciones y Seminarios	Laboratorio de Verificación de Sistemas Concurrentes, (2)
	Aplicaciones y Seminarios	Plataformas de gestión de contenedores (PGC), (2)
	Aplicaciones y Seminarios	Seguridad en sistemas distribuidos (SSD), (2)
	Aplicaciones y Seminarios	Sistemas basados en Redes Móviles, (4)
	Aplicaciones y Seminarios	Sistemas Informáticos en Red Seguros y Confiables, (4)
Aplicaciones y Seminarios	Visualización de datos científicos (VDC), (2)	
Módulo 4: TFM (12 ECTS)	Trabajo de fin de máster	Trabajo de fin de máster, (12)

Tabla 1.12: Estructura del Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones.

2. Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
3. Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multi-disciplinares) relacionados con su área de estudio
4. Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios
5. Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
6. Capacidad para la dirección general, dirección técnica y dirección de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, en empresas y centros tecnológicos en el ámbito afín al Máster.
7. Elaborar adecuadamente y con cierta originalidad composiciones escritas o argumentos motivados, redactar planes, proyectos de trabajo, artículos científicos y formular hipótesis razonables.
8. Capacidad de gestionar la información específica de la disciplina y sus posibles aplicaciones en organizaciones.
9. Que los estudiantes sean capaces de comprender los principios de la gestión de proyectos, riesgo y cambio, así como de aplicar las metodologías y procesos para gestionar proyectos y mitigar los riesgos

Competencias específicas

1. Conocimiento de los conceptos y las técnicas de la Computación Paralela
2. Tener destreza en la utilización de las herramientas que permiten aprovechar al máximo un sistema paralelo.
3. Aptitud para plantear, modelar y resolver problemas que necesitan de las técnicas de Computación Paralela.
4. Conocimiento de los conceptos y las técnicas propias de la Computación numérica y matricial de Altas Prestaciones y su uso en Ingeniería.
5. Capacidad de instalar, manejar y aplicar todo tipo de librerías numéricas de Altas Prestaciones.

6. Aptitud para resolver problemas computacionales complejos en Ingeniería utilizando técnicas de Computación de Altas Prestaciones.
7. Conocimiento de los conceptos de los sistemas distribuidos y las técnicas de la programación distribuida.
8. Tener destreza en el uso de las tecnologías aplicables en un sistema distribuido, incidiendo especialmente en la tolerancia a fallos y la seguridad.
9. Ser capaz de plantear, modelar y resolver problemas que necesiten las técnicas de la programación distribuida, aplicándolas a determinados entornos.
10. Conocimiento de los middleware Grid actuales y su convergencia con los Servicios Web (Servicios Grid) y el Cloud computing.
11. Aptitud para desplegar infraestructuras y aplicaciones Grid y Cloud para resolver problemas en investigación e ingeniería.
12. Destreza en el análisis, diseño, implementación y despliegue de soluciones Grid y Cloud.
13. Capacidad para proyectar, calcular y diseñar productos, procesos, instalaciones en el ámbito de la Computación Paralela y Distribuida.
14. Capacidad para el modelado matemático, cálculo y simulación en centros tecnológicos y de ingeniería de empresa, particularmente en tareas de investigación, desarrollo e innovación en todos los ámbitos afines a la Computación.

Perfil de Entrada y Estadísticas

Tal y como se describe en la memoria de verificación más reciente, en el momento de escribir estas líneas del MUCNAP [233], son candidatos al máster los alumnos que hayan finalizado sus estudios de Grado en Informática, Ingeniería Técnica en Informática, Ingeniería/Licenciatura en Informática u otras titulaciones del área de Tecnología de la Información y las Comunicaciones. Asimismo, también podrán ser candidatos aquellos alumnos que hayan finalizado otros Grados, Ingenierías, Licenciaturas e Ingenierías Técnicas siempre y cuando aporten en su solicitud méritos académicos y/o profesionales que acrediten que el solicitante ha adquirido competencias relativas a “Conceptos básicos de la informática” y que poseen conocimientos y una comprensión profunda de los principios informáticos. Para acreditar los méritos académicos se aportarán certificaciones oficiales de la formación en informática emitidas por instituciones académicas universitarias o similares.

El MUCNAP ofrece un procedimiento de apoyo, orientación y tutoría general que tiene como objetivos:

- Acompañar y apoyar al estudiante en el proceso de aprendizaje y desarrollo de las competencias propias de su titulación.
- Permitir al estudiante participar activamente no sólo en la vida universitaria, sino también en el acercamiento al mundo científico profesional hacia el que se orienta la titulación elegida.
- Dar a conocer al estudiante el horizonte científico profesional relacionado con su titulación y facilitarle el acceso a su desarrollo práctico posterior, una vez finalizado el Máster, ya sea en la práctica específica profesional, o bien en la continuidad investigadora en el doctorado y su aplicación al área científica.

Capítulo 2

Metodología e Innovación Educativa Universitaria

Este capítulo aborda diferentes propuestas de metodología docentes para impartir docencia universitaria. En primer lugar se realiza una breve introducción al escenario universitario actual y los retos a los que se enfrenta. A continuación se hace una breve revisión de los principales métodos docentes para impartir una asignatura con el objetivo de facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje con los alumnos. Posteriormente se habla sobre la evaluación de los estudiantes y cómo esta debe ser de carácter formativo. Luego, se trata la innovación docente como mecanismo de mejora continua de la práctica educativa y refuerzo de la calidad docente. El capítulo termina con el perfil docente del candidato, incluyendo una descripción de algunas de las innovaciones docentes en las que el candidato ha participado a lo largo de su carrera académica.

2.1. Introducción

En la actual sociedad del conocimiento, donde existen numerosas fuentes y abundante cantidad de información disponible sobre cualquier tema, es importante que la universidad sea capaz de formar a personas capaces de construir su propio conocimiento de forma autónoma. Es por ello que la universidad debe adaptarse a este nuevo escenario y debe ser capaz de preparar a profesionales competentes en sus respectivas áreas de conocimiento. Los futuros egresados deben haber desarrollado también su vertiente como ciudadanos de la sociedad, además de haberse formado como especialistas. La máxima responsabilidad de la universidad es generar y salvaguardar el conocimiento, así como establecer un diálogo con la sociedad que revierta en una mejora de la calidad universitaria.

La adaptación del sistema universitario español al EEES ha supuesto un importante cambio en la educación universitaria. La transición desde una universidad de enseñar hacia una universidad de

aprender [391] requiere replantearse el papel de los principales actores del ámbito educativo superior.

A continuación se aborda el proceso de enseñanza-aprendizaje y, posteriormente, los principales agentes involucrados en este proceso.

2.2. El Proceso de Enseñanza-Aprendizaje

El aprendizaje es el proceso mediante el que una persona incorpora contenidos informativos, adquiere destrezas o habilidades prácticas, adopta nuevas estrategias de conocimiento y/o acción, y se apropia de hábitos, actitudes y valores (saber, saber hacer, saber ser y estar) [159].

La enseñanza universitaria persigue crear un proceso de aprendizaje considerando los objetivos (resultados de aprendizaje) de una asignatura concreta y el plan de estudios de la titulación en su conjunto. Este aprendizaje debe ser aquel conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes, es decir competencias, que permitan al alumno aprender de forma autónoma a lo largo de toda su carrera laboral. Por ello, el énfasis debe estar en el aprendizaje del alumno y no tan solo en el proceso de enseñanza.

En el artículo de Foster de 1986 [154] se resumen los descubrimientos realizados sobre aprendizaje humano con aplicaciones prácticas para la educación. En él se indica que el aprendizaje ocurre por tres mecanismos:

- *Haciendo* la actividad, el proceso objeto del aprendizaje.
- *Imaginando* las imágenes que implican hacer dicha actividad.
- *Observando* a otras personas haciendo la tarea que se pretende aprender.

Existen diferentes concepciones actuales sobre el aprendizaje: conductismo, cognitivismo y constructivismo. El conductismo fue la principal corriente en la psicología estadounidense hasta la década de los años 60, momento en el que apareció el enfoque cognitivo. Para el conductismo, el conocimiento consiste fundamentalmente en una respuesta pasiva y automática a factores o estímulos externos que se encuentran en el entorno. Las descripciones del aprendizaje como condicionamiento de asociaciones y respuestas a través de refuerzos dieron paso al enfoque cognitivo que describe el aprendizaje como un mecanismo que implica adquirir y reorganizar las estructuras cognitivas por medio de las que se procesa y almacena la información. En efecto, el cognitivismo considera el conocimiento básicamente como representaciones simbólicas en la mente del aprendiz. Finalmente, para el constructivismo, el conocimiento no es algo fijo y predeterminado, sino algo que se construye y, por consiguiente, es una elaboración individual relativa, cambiante y dinámica. Algunos autores consideran el constructivismo como una teoría cognitiva, puesto que supone la existencia de procesos mentales internos, a diferencia de las corrientes conductistas, que no la consideran.

El aprendizaje se perfila como un proceso constructivo en el que el estudiante crea una representación personal del contenido y elabora, a partir del conocimiento ya existente, unas estructuras mentales nuevas para representar el nuevo conocimiento. Bajo este paradigma, el aprendizaje no necesita ser secuencial o jerárquico sino que el conocimiento puede considerarse como una red estructurada en torno a ideas clave. Esta visión del conocimiento como una red permite comenzar a aprender desde cualquier punto de la misma. Algunos autores constructivistas como Piaget argumentan que el aprendizaje es más efectivo si se realiza en compañía de otras personas (profesores y/u otros alumnos). El hecho de verbalizar y comunicar las ideas ayuda a reestructurar el conocimiento del aprendiz. El constructivismo social está influenciado por las teorías de Vygotsky sobre la *zona de desarrollo próximo*, que incluye aquellos conocimientos frontera que el alumno no puede adquirir sin la ayuda del profesor u otros medios [303].

El constructivismo es actualmente la teoría predominante en el ámbito del aprendizaje universitario. Los psicólogos educativos describen el aprendizaje no sólo como la mediación cognoscitiva de la adquisición de conocimiento sino como un proceso constructivo en el cual los aprendices forman sus propias representaciones del conocimiento a partir del conocimiento previo y la nueva información adquirida.

No todos los procesos de aprendizaje consiguen el mismo resultado. Marton y Säljö fueron los primeros en diferenciar entre enfoques de aprendizaje profundo y superficial [228, 229]. Un enfoque de aprendizaje superficial persigue la memorización del material objeto de estudio y la mera reproducción del mismo. Por el contrario, un enfoque de aprendizaje profundo persigue un mayor interés por comprender y profundizar en el significado de la materia.

Algunos autores, como Ausubel [38], han propuesto métodos para promover el aprendizaje significativo (o profundo) por medio de representaciones bien estructuradas a través de un avance organizativo o guión. Estas presentaciones comienzan con avances organizativos que incluyen introducciones, describen los resultados de aprendizaje, alertan a los estudiantes de los conceptos claves, presentan el material en pasos pequeños secuenciados para que sean fáciles de seguir, incluyen preguntas que invitan a la reflexión y al aprendizaje activo, terminan con una revisión de los puntos principales enfatizando conceptos integradores generales, y dan seguimiento con preguntas o tareas que requieren que los estudiantes verbalicen los contenidos y lo apliquen a contextos nuevos.

Para una excelente recopilación de referencias sobre el aprendizaje, se recomienda la lectura del libro “¿Cómo aprendemos? Una aproximación científica al aprendizaje y la enseñanza” de Hector Ruiz [317], donde el autor recopila estudios científicos relacionados con el aprendizaje y su aplicación práctica a la mejora de la docencia basada en evidencias científicas.

2.3. Actores en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje

El proceso de enseñanza-aprendizaje está dominado por una serie de actores que son parte y participan de forma activa del mismo. A continuación se detallan los más relevantes.

2.3.1. El Alumno

El alumno se sitúa en el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje. Éste debe ser capaz de asumir su responsabilidad en el proceso y dejarse guiar por el profesor, cuya labor es facilitar el aprendizaje de la materia por parte del alumno. El profesor no debe ser sino un catalizador que permita al alumno realizar el aprendizaje por sí mismo.

A menudo se acusa al alumnado de los estudios universitarios en la enseñanzas técnicas de falta de interés, pasividad y poca implicación con la dinámica de las clases. Por el contrario, los alumnos se quejan de una enseñanza mediocre fruto de clases con escasa preparación y mala impartición. Tras estas afirmaciones a menudo se esconden algunos de los diferentes enfoques de aprendizaje que aplican los alumnos [16].

En primer lugar, el aprendizaje de enfoque superficial se basa en la motivación extrínseca, ajena al proceso de estudio. Para un alumno con este tipo de aprendizaje su objetivo fundamental es evitar el fracaso. Por ello, su aprendizaje se basa en la reproducción de contenidos memorizados, producto de un aprendizaje mecánico, memorístico y repetitivo. El alumno centra sus esfuerzos en superar las pruebas de evaluación y, por lo tanto, el nivel de comprensión de la materia es superficial. A menudo obtiene bajo rendimiento en las asignaturas y suele abandonar los estudios de forma prematura.

En segundo lugar, el aprendizaje de enfoque profundo se basa en una motivación intrínseca dado que el alumno tiene interés por la materia y por aprender. El alumno con este aprendizaje desea comprender los conceptos abordados por la materia y aprender en profundidad. Tiene una actitud proactiva frente al aprendizaje y se esfuerza en alcanzar los resultados de aprendizaje de la asignatura. Por ello, realiza un aprendizaje significativo y suele obtener buenos resultados académicos.

Por último, el aprendizaje de enfoque estratégico se caracteriza por una motivación extrínseca. Un alumno con enfoque estratégico tiene como objetivo principal lograr el éxito a base de conseguir buenas calificaciones, estableciendo competiciones con el resto de alumnos. Este alumno puede actuar con un enfoque superficial o profundo pero en general presenta un enfoque oportunista, teniendo en cuenta las exigencias de los profesores y los criterios de evaluación. Este tipo de alumno presenta una buena organización y suelen obtener buenos rendimientos académicos.

Algunos expertos sugieren que el profesor debería diagnosticar los estilos de aprendizaje de los alumnos para poder clasificarlos en categorías y, de esta manera, poder ajustar el estilo de enseñanza del profesor al estilo de aprendizaje de los alumnos.

En primer lugar, un alumno activo aprenderá mejor ante situaciones que requieran nuevas expe-

riencias, competir en equipo, resolver problemas, dirigir reuniones, hacer presentaciones, intervenir activamente, etc. Por el contrario, un alumno activo puede presentar problemas cuando tenga que trabajar en solitario, realizar trabajos que exijan mucho detalle, mantener la atención durante mucho tiempo, exponer temas con mucha carga teórica, etc.

En segundo lugar, un alumno reflexivo aprenderá mejor ante situaciones en las que haya que observar, reflexionar sobre actividades, intercambiar opiniones, escuchar, realizar informes detallados, etc. Sin embargo, pueden surgir problemas cuando este alumno tenga que liderar una tarea, presidir una reunión, participar en alguna situación que requieran una acción o decisión precipitada o tener que realizar una tarea con un límite temporal estricto.

En tercer lugar, un alumno teórico aprenderá mejor si se enfrenta a situaciones que requieran el uso de métodos y lógica para resolver un problema, explorar metódicamente las relaciones entre los conceptos, sentirse intelectualmente presionado, etc. No obstante, un alumno teórico puede presentar problemas de aprendizaje ante situaciones en las que se vea obligado a realizar una tarea sin una finalidad concreta o tomar parte en problemas abiertos, poco estructurados o ambiguos.

2.3.2. El Profesor

Para poder alcanzar cotas adecuadas de calidad en el aprendizaje de los alumnos, es importante la labor del docente y ésta se debe conseguir, tal y como se afirma en el informe de la investigación realizada por el equipo de Valcárcel [359], mediante la profesionalización del profesor universitario. Esto implica que los profesores adquieran unas competencias docentes mediante formación pedagógica institucionalizada y especializada.

En la actualidad a un profesor de universidad no se le exige conocimientos pedagógicos específicos antes de comenzar a impartir docencia. Si bien es cierto que el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), o institución afín de las universidades, ofrece formación a los nuevos docentes, sería recomendable formar al docente para que pueda alcanzar las competencias y el desarrollo profesional necesario para un desempeño apropiado de sus funciones. Las competencias [14] del profesor universitario pueden resumirse, de acuerdo a Fernández March [147] y Zabalza [393], en:

- Planificar el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Seleccionar y preparar los contenidos disciplinares.
- Ofrecer informaciones y explicaciones comprensibles y bien organizadas (competencia comunicativa).
- Utilizar las TIC como soporte de almacenamiento, búsqueda, tratamiento e intercambio de la información.
- Diseñar la metodología de trabajo y organizar las actividades y tareas de aprendizaje.

- Relacionarse con los alumnos.
- Tutorizar.
- Evaluar.
- Reflexionar e investigar sobre la enseñanza.
- Identificarse con la institución y trabajar en equipo.

Según Gargallo [158], este es el perfil que debería cumplir un profesor investigador con carácter innovador:

- Conocimiento del entorno.
- Capacidad de reflexión sobre la práctica.
- Actitud autocrítica y autoevaluación profesional.
- Capacidad de adaptación a los cambios, flexibilidad.
- Tolerancia frente a la incertidumbre y el riesgo, dado que los cambios siempre implican riesgo.
- Capacidad de iniciativa.
- Trabajo en equipo.
- Voluntad de perfeccionamiento.
- Compromiso ético profesional.

Desde un punto de vista personal, un buen profesor debe ser especialista en la materia que está impartiendo. Debe conocer la relación entre esa asignatura y el resto de asignaturas de la titulación para establecer puentes conceptuales entre las diferentes asignaturas. Además, debe conocer el estado del arte actual y la historia que condujo a la situación actual de la asignatura. Esto permite tener una visión histórica de la materia, lo que facilita su comprensión y la hace más amena para los alumnos. Adicionalmente, conoce la importancia de la asignatura para el perfil profesional del alumno y sus implicaciones prácticas en las competencias que éstos deben desarrollar.

Desde el punto de vista emocional, un buen profesor debe renunciar al control sobre los alumnos. Por el contrario, debe mantener una gran confianza en ellos y tratarlos con respeto. Para ello, debe tener mucho sentido de la humildad y no tratar de aparentar ser más listo que los alumnos [44]. Además, un buen profesor es capaz de compartir su pasión por la materia con sus alumnos de manera que ese contagio provoque un aumento de la motivación de los alumnos por la asignatura. La motivación suscita el interés por la asignatura y permite un mayor nivel de implicación de los

alumnos, mejorando su atención y concentración en el aula. Por lo tanto, la labor del profesor es despertar en los alumnos la curiosidad necesaria para que la motivación en la asignatura provenga del propio alumno y no de condiciones externas, como el proceso de evaluación.

Se sabe que el conocimiento se va construyendo en base al conocimiento anterior y la nueva información, de manera que debe haber un proceso de razonamiento y asimilación de las relaciones entre los conceptos, y no una simple memorización. En este sentido, el buen profesor se encarga de ayudar a que los alumnos tejan esa red de conceptos para que comprendan las relaciones e implicaciones existentes entre ellos. El objetivo es que se produzca un aprendizaje profundo y a largo plazo, en lugar de un aprendizaje superficial basado en una simple memorización de conceptos.

Un buen profesor no considera únicamente que la enseñanza es el proceso de cambiar la comprensión de los estudiantes sobre la materia impartida [308]. Por el contrario, entiende la enseñanza como un proceso de formación integral del alumno. Además, un buen profesor mantiene una relación cercana con los alumnos. Esto permite mantener un clima apropiado en el aula que facilite el proceso de aprendizaje. El profesor se convierte en un guía que acompaña al alumno por la senda del aprendizaje, aunque si el alumno no desea caminar no se conseguirá progresar. Es labor del profesor motivar para que el estudiante sienta la necesidad de avanzar en el camino del aprendizaje de manera autónoma, si bien guiado y acompañado por el profesor.

Dentro del aula, el profesor mantiene el hilo de la explicación e involucra a los alumnos mediante preguntas directas sobre el contenido, lo que permite recibir retroalimentación respecto al desarrollo de la clase. Además, el uso de la pregunta permite al alumno *evocar*, que es un proceso que requiere esfuerzo cognitivo y que conduce a un aprendizaje de más larga duración [317]. El profesor se encarga de solucionar las dudas de los alumnos y plantear problemas adicionales para que los alumnos puedan profundizar en aspectos puntuales de la materia. El entorno de aprendizaje debe incluir preguntas provocativas que llamen la atención y que estimulen a pensar y reflexionar. Se deben tratar problemas intrigantes e importantes en el aula y ayudar a los alumnos a buscar más información fuera del aula. Dado que al cerebro le gusta la diversidad, se deben utilizar diversas experiencias de aprendizaje y metodologías a lo largo de la asignatura.

Por otra parte, en las asignaturas de enseñanzas técnicas, como es el caso de la informática, es muy importante la parte práctica, ya que en ella se desarrollan las habilidades necesarias para afianzar los conocimientos vistos en teoría. El profesor debe establecer las conexiones apropiadas entre la teoría y la práctica de manera que se complementen y proporcionen una visión de la asignatura lo más parecida a la práctica real, pero suficientemente cercana al alumno para que las tareas le resulten abordables. Para que el alumno esté motivado debe tener la sensación de que es posible alcanzar el éxito.

Finalmente, el buen profesor evalúa a sus alumnos de una manera justa, teniendo en cuenta que la evaluación tiene que considerar todo el proceso de aprendizaje y acompañar al alumno durante

toda la asignatura como mecanismo para detectar sus fortalezas y debilidades. Esto permite al estudiante conocer los puntos a mejorar y ganar confianza en sí mismo conforme supera los objetivos de aprendizaje establecidos. A la hora de evaluar, el profesor debe reflexionar acerca del tipo de desarrollo intelectual y personal que quiere que sus estudiantes obtengan y qué evidencias recogerá sobre la naturaleza y el progreso de su desarrollo. No se deben utilizar las calificaciones como mecanismo de ánimo para los estudiantes. De hecho, el profesor debe preparar al alumno a realizar trabajos intelectuales, no a realizar bien los exámenes.

Los avances realizados en pedagogía universitaria apuestan por la utilización de metodologías activas para el aprendizaje de los alumnos. Es por ello que el buen profesor utiliza estas metodologías para que el alumno trabaje tanto de manera autónoma como en grupos, favoreciendo la reflexión y la discusión crítica. Más importante todavía, el buen profesor consigue que el alumno alcance cierta autonomía para aprender por su cuenta, de manera que disponga de la capacidad y las herramientas necesarias para enfrentarse a problemas relativamente similares en contextos diferentes. Finalmente, resulta importante la labor de reflexión e investigación sobre la enseñanza, con el objetivo de mejorar la calidad de la docencia.

Es abundante la literatura relacionada con la enseñanza de calidad en el ámbito universitario. Por ejemplo, [68] es un libro de ayuda al profesorado para reflexionar, experimentar, desarrollar y evaluar su propia tarea como docente. Cada capítulo contiene investigaciones sobre el tema, sugerencias y actividades que se pueden realizar individual o grupalmente. Alternativamente, [132] parte de la idea de que no existe un consenso sobre el modelo ideal de profesor. Por ello, el libro proporciona al docente una base conceptual que le ayude a tomar decisiones sobre cómo mejorar su labor docente. Se analiza la enseñanza desde el punto de vista de los estudiantes con el objetivo de que los estudiantes aprendan y no olviden lo aprendido.

2.4. Métodos Docentes

Existe una amplia variedad de métodos docentes que, además, han ido evolucionando a lo largo del tiempo. De hecho, existen múltiples catalogaciones de los métodos. Por ejemplo, en el trabajo de Brown y Atkins [68] se realiza una catalogación ascendente de los diferentes métodos de enseñanza atendiendo a la participación y control del alumno. De acuerdo a esta clasificación, la lección magistral tradicional está en el nivel más bajo, mientras que el estudio privado lo está en el más alto. Entre medias es posible encontrar la enseñanza en pequeños grupos, la supervisión de un trabajo de investigación, un trabajo de laboratorio y el sistema autoinstructivo. En esta clasificación, conforme aumenta la participación y control del alumno se reduce la del profesor.

En el presente documento no se pretende realizar un análisis exhaustivo de las metodologías docentes. Por el contrario, se describirán las tres aproximaciones más relacionadas con la asignatura

vinculada al perfil de la plaza y el contexto de este proyecto docente: la lección magistral participativa, el trabajo autónomo y el trabajo cooperativo.

2.4.1. Lección Magistral Participativa

En la actualidad, la lección magistral sigue siendo uno de los métodos más utilizados en la enseñanza universitaria. En ella, el profesor estructura la información de la sesión de manera apropiada para que el alumno pueda construir su propio conocimiento. Dada la complejidad del aprendizaje de las asignaturas del ámbito universitario, el profesor debe ser el guía que proporciona al alumno la información actualizada y agregada de diversas fuentes que le permita al alumno alcanzar los resultados de aprendizaje perseguidos en la lección. Quizá uno de los trabajos más clásicos en la literatura sobre lección magistral sea el de Brown [67], que apunta que no basta conocer la materia para saberla enseñar. Una buena enseñanza supone, además, comunicarse eficazmente con los estudiantes y conocer como aprenden.

Tal y como comenta de la Cruz, para llegar al nivel de dominio de los conocimientos, destrezas y actitudes, el camino más corto e interesante es a través del aprendizaje activo (aprender a hacer haciendo) y cooperativo (aprendiendo con los pares) [109]. Para que sea efectiva, la lección magistral debe cumplir los siguientes requisitos:

- Estar bien organizada, con conceptos claros unidos a través de un hilo conductor.
- Ser impartida con claridad, expresividad y entusiasmo.
- Permitir a los alumnos intervenir durante la lección y utilizar la participación para involucrar al alumno en la clase.
- Despertar la necesidad de seguir aprendiendo.
- Fomentar el aprendizaje significativo cooperativo entre los estudiantes.

No obstante, la lección magistral debe evitar los problemas que impiden que resulte de utilidad. Estos problemas suelen producirse al confundir este método con la mera transmisión o exposición de información a una audiencia, a modo de conferencia o seminario. A continuación se resumen estos problemas:

- Proporcionar al alumno demasiada información o a una velocidad tan rápida que no sea capaz de asimilarla.
- Presuponer que el alumno dispone de unos conocimientos de los que, en realidad, carece.
- No hacer resúmenes a lo largo de la exposición y al final de la lección.

- No destacar las ideas principales de la sesión y presentarlas sin un hilo conductor que los relacione.
- Utilizar un lenguaje demasiado técnico que dificulte al alumno seguir la explicación.

La lección magistral también conlleva una serie de debilidades. En primer lugar, la información transmitida se reduce a la interpretación que el profesor ha realizado de las múltiples fuentes de información consultadas, lo que puede llevar asociado un cierto sesgo informativo. En segundo lugar, esta metodología educativa puede fomentar la pasividad del alumnado, que permanece sentado escuchando al profesor mientras éste imparte la lección. En este caso, el profesor puede verse convertido en un simple emisor de información. En tercer lugar, la lección magistral se aplica a un grupo de alumnos de forma sincronizada, lo que implica uniformar el ritmo de aprendizaje de todos los alumnos. Por último, mediante esta metodología es imposible conocer el grado de evolución del alumnado, desconociendo en todo momento si el alumno está adquiriendo los resultados de aprendizaje esperados por el profesor, de acuerdo a los objetivos de la sesión.

Por ello, es importante añadir la característica participativa al concepto de lección magistral tradicional. El hecho de calificar la lección magistral como participativa responde a la necesidad de involucrar al alumno en la dinámica de la clase. Es conocido que el aprendizaje profundo eficaz (aquel que provoca una influencia positiva, substancial y sostenida en la manera en la que los estudiantes piensan, actúan y sienten [44]) depende de la participación activa del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por lo tanto, es responsabilidad del profesor fomentar la participación del alumnado.

En la lección magistral participativa el alumno adopta un papel activo e interviene en la dinámica de la clase para resolver los problemas propuestos por el profesor y plantear sus dudas e inquietudes relacionadas con la materia. Para poder llevar a cabo una buena lección magistral participativa, el profesor debe realizar una buena preparación de la misma. Según de la Cruz, estos son los pasos necesarios para preparar una lección magistral participativa:

- Definir los resultados de aprendizaje que deben conseguir los alumnos tras la sesión.
- Consultar diferentes fuentes de información bibliográficas sobre el tema a tratar.
- Organización de las ideas, tanto de las principales como de las secundarias. Se debe tratar de incluir una variedad de ejemplos, explicaciones, demostraciones, citas, con ayuda de elementos visuales para captar la atención del estudiante.
- Definir un esquema de la sesión para organizar los conocimientos de acuerdo a una estructura. Debería incluir una especie de plan de actuación temporizado donde se detallen las actividades y tareas a realizar durante la sesión.

- Preparar las preguntas que el profesor utilizará en clase para verificar que el aprendizaje de los alumnos es el esperado.
- Si se considera oportuno, es posible ensayar la clase para afianzar la seguridad del profesor. También es relevante grabar el ensayo para poder detectar las posibles carencias y puntos de mejora previo a la ejecución en el aula.

A continuación se detallan las principales fases involucradas en la lección magistral participativa.

Introducción

La introducción de una lección magistral participativa debe comenzar captando la atención de los estudiantes. Para ello, es importante establecer relación con el grupo de forma confiada y pasar a presentar un esquema de la estructura de la sesión con los principales conceptos que se trabajarán en ella. Siempre hay que tratar de poner el contenido de la sesión actual en contexto con los conceptos tratados en sesiones anteriores. De esta manera, los alumnos entienden las sesiones no como regiones aisladas de conocimiento sino engarzadas mediante un hilo conductor.

Cuerpo

El cuerpo de la lección magistral participativa debe estar bien estructurado y ser suficientemente claro como para ser comprendido por los estudiantes. Además de mantener la atención y el interés del estudiante, se debe fomentar la participación de éstos. Para ello, es posible utilizar diversas técnicas, de las que destacamos dos:

- Uso eficaz de la pregunta. La pregunta directa al alumno desencadena un proceso de trabajo intelectual que permite al alumno recordar, comprender, solucionar, razonar o juzgar una cuestión [274].
- Presentación y discusión de temas. El profesor plantea un tema concreto y pide a los alumnos opinión al respecto, desencadenando una discusión que favorece el razonamiento crítico y fomenta la participación del alumno.

Cierre

La fase de cierre de una lección magistral participativa debe incluir un resumen de los aspectos clave tratados durante la sesión. El profesor debe permitir que los alumnos planteen dudas sobre la temática abordada. Es importante que el profesor enlace los contenidos tratados con las próximas sesiones para dar sensación de continuidad en la exposición. Además, es interesante ofrecer indicaciones sobre posible información adicional para aquellos alumnos que desean profundizar en los contenidos tratados durante la sesión.

2.4.2. Trabajo Autónomo

El estudio y trabajo autónomo es una modalidad de aprendizaje en la que el estudiante se responsabiliza de la organización de su trabajo y de la adquisición de las diferentes competencias según su propio ritmo. Implica que el estudiante debe asumir la responsabilidad y el control del proceso personal de aprendizaje, y las decisiones sobre la planificación, realización y evaluación de la experiencia de aprendizaje.

El trabajo autónomo cobra especial relevancia con el Espacio Europeo de Educación Superior, donde el alumno debe adoptar un rol activo ante su aprendizaje. Bajo esta perspectiva, el alumno debe responsabilizarse de su aprendizaje y debe adquirir las habilidades necesarias para resolver problemas y tomar decisiones fundamentadas por él mismo. Con el trabajo autónomo, el profesor adquiere un papel de guía que acompaña al alumno en su proceso de construcción del conocimiento. Para ello, el profesor debe ayudar a los alumnos a definir sus propias metas de aprendizaje en el marco de la asignatura y animarles a que ellos midan sus progresos en la asignatura incorporando técnicas de auto-evaluación. El alumno procede a establecer y planificar su propio ritmo de trabajo que le permite alcanzar los objetivos fijados por el profesor en el tiempo acordado. Además, el estudiante debe ser capaz de evaluar su progreso personal y el grado de cumplimiento de los objetivos.

Mediante el trabajo autónomo se persigue un aprendizaje significativo que favorezca la integración de los conocimientos y aprendizajes previos orientados a la adquisición de nuevos aprendizajes, a través de la activación de habilidades, destrezas y actividad intelectuales.

El trabajo autónomo es una herramienta fundamental en las sesiones de trabajo fuera del aula. Se puede plasmar en la forma de trabajos entregables que pueden ser realizados de forma exclusivamente individual o con consenso grupal. Esto permite al alumno adentrarse en la resolución de problemas concretos en tiempo acotado que serán entregados al profesor para su revisión, corrección o evaluación.

Es importante resaltar que saber trabajar de manera autónoma es una competencia fundamental en la sociedad de la información actual, donde la obsolescencia de la información provoca que los futuros egresados tengan que actualizar sus conocimientos con las nuevas técnicas que puedan surgir.

2.4.3. Trabajo Cooperativo

El trabajo cooperativo surge como una metodología didáctica que pretende fomentar la interacción entre el alumnado y el profesorado reduciendo las barreras del individualismo y potenciando el trabajo en equipo [98]. Trabajar la competencia de la cooperación implica aunar esfuerzos, llegar a acuerdos y trabajar la interdependencia entre los miembros del grupo.

El trabajo cooperativo permite que los estudiantes trabajen divididos en pequeños grupos y, además, sean evaluados de acuerdo a la productividad del grupo. Esta relación entre los miembros

del grupo provoca que sus metas sean compartidas ya que cada uno de los participantes solo alcanza el objetivo si así lo hace el resto de compañeros. Mediante el aprendizaje cooperativo, el estudiante adopta de nuevo un rol activo donde es posible construir de forma colectiva el conocimiento.

El trabajo cooperativo persigue varios objetivos. En primer lugar, desarrollar las competencias intelectuales y profesionales, enfrentando al alumno a un entorno de trabajo entre pares, junto a otros colegas, tal y como ocurre en la vida profesional. En segundo lugar, el crecimiento y maduración personal del alumno, dado que éste deberá tratar con sus compañeros y discutir posibles soluciones y retos en el marco del grupo de trabajo. Finalmente, el trabajo cooperativo persigue desarrollar las habilidades sociales y de comunicación, dado que el estudiante deberá dialogar, argumentar, aceptar otros puntos de vista, debatir, etc. En definitiva, aceptar y considerar otras opiniones y estilos de trabajo que le permitan tener una visión más amplia sobre la forma de abordar un trabajo.

Para poder llevar a cabo este tipo de trabajo se requieren grupos pequeños (de unas 4 personas), donde los integrantes deben conocerse y ayudarse mutuamente. Existen varias estrategias de selección de los miembros del grupo: decidido por los alumnos, por el profesor o mixtos. Por otra parte, debe haber voluntad de cooperar entre todos los miembros del grupo para poder dirigirse hacia el objetivo común.

En este sentido, un proyecto de trabajo común basado en aprendizaje cooperativo debe incluir tres componentes imprescindibles [98]. En primer lugar, la existencia de mínimos compartidos. Los alumnos deben estar de acuerdo en algunos puntos básicos sobre la realización del trabajo que permitan planear una estrategia para su resolución. Esto garantiza la existencia de un consenso mínimo entre los integrantes del equipo. En segundo lugar, la existencia de tareas. Una vez aclarado el objetivo del trabajo, las tareas deben estar bien definidas y ser distribuidas equitativamente entre todos los miembros del grupo. Finalmente, la presencia de desacuerdos. La existencia de puntos de confrontación permiten que los miembros aporten su creatividad y capacidad de argumentación para poder alcanzar los acuerdos necesarios que garanticen el consenso.

Habitualmente se considera que el aprendizaje cooperativo debe incluir cinco ingredientes relacionados con los miembros del equipo de trabajo:

- Interdependencia positiva. Todos los miembros del grupo deben ser necesarios para realizar la tarea satisfactoriamente. Además, no debe ser posible que un único miembro pueda finalizarla por su cuenta.
- Exigibilidad individual. Cada uno de los miembros del grupo debe rendir cuentas tanto de su parte del trabajo como del trabajo realizado por el resto de miembros del grupo.
- Interacción cara a cara. A pesar de la existencia de herramientas informáticas para la colaboración a través de Internet, es conveniente que el grupo interactúe físicamente con una determinada periodicidad.

- Habilidades interpersonales y de trabajo en grupo. Los alumnos deben ser capaces de llegar a acuerdos y resolver los conflictos que surgen de un trabajo colaborativo.
- Reflexión del grupo. El propio grupo debe someterse a actividades de reflexión que permitan identificar aspectos positivos, y aquellos mejorables, sobre el funcionamiento del grupo.

Existen muchas dificultades que pueden surgir a la hora de realizar experiencias de trabajo cooperativo. Conocerlas permite planificar para que no ocurran en futuras experiencias. A continuación se resumen las principales:

- Objetivos ambiguos y/o poco precisos. Sin una especificación clara de los objetivos a alcanzar, el equipo no puede trabajar de forma coordinada.
- Falta de integración de comentarios grupales a la aportación individual. El alumno debe ser capaz de comprender, aceptar e integrar los comentarios del resto de miembros del equipo en su propia aportación individual para refinarla. Es importante no caer en el problema que supone tener miembros del equipo trabajando de forma aislada en su contribución individual.
- Obviar la realización de las tareas individuales. Ningún alumno debería evitar realizar su aportación esperando a que el grupo complete la parte del trabajo asignado al alumno.
- Falta de tiempo de preparación. Los estudiantes necesitan tiempo para asimilar los objetivos perseguidos por el trabajo.
- Imposición de un miembro. Es posible que un miembro del equipo quiera tratar de imponer sus ideas al resto y derive en una situación de bloqueo que impida avanzar al equipo en la consecución de los objetivos.

En los trabajos de de la Cruz [109] y Fabra [140] aparecen referenciadas diferentes técnicas de trabajo en grupo que pueden ser aplicadas en el aula. A continuación se resumen los más relevantes, desde el punto de vista de su aplicabilidad en el campo de la enseñanza de la informática:

- Grupos de cuchicheo. Se divide al grupo en parejas que discuten activamente en voz baja el tema que se esté tratando, durante 2 ó 3 minutos (5 como máximo). Uno de ellos anota las conclusiones para leerlas cuando el profesor lo requiera.
- Pirámide o bola de nieve. Los estudiantes trabajan individualmente (o en pareja) sobre un tema, luego comparten la discusión con otra persona (o pareja). Posteriormente se agrupan en grupos mayores para reanudar la discusión, así sucesivamente hasta acabar discutiendo toda la clase.

- Tormenta de ideas. Cada alumno dice lo que se le ocurre sobre un tema específico sin criticar las ideas de sus compañeros, con el objetivo de producir ideas originales o soluciones nuevas. Esta técnica tiende a desarrollar la capacidad para la elaboración de ideas originales.
- Clases de problemas. Los estudiantes pueden trabajar sobre un problema propuesto por el profesor en pequeños grupos bajo la supervisión del profesor.
- Foro. La clase entera discute sobre un tema planteado por el profesor. Esto permite la libre manifestación de ideas y la confrontación de puntos de vista de diferentes alumnos.
- Panel de Expertos. Se dividen los alumnos en diferentes grupos de unas 6 personas donde cada una de ellos trabaja sobre parte de un problema general. Posteriormente se reúnen los alumnos que han trabajado el mismo tema. Una vez alcanzado el consenso entre los expertos (aquellos que han trabajado el mismo tema), vuelven a sus grupos de trabajo iniciales donde cada uno de ellos cuenta al resto de miembros la parte concreta del tema.
- Pecera. Se forman dos círculos concéntricos de alumnos. El círculo interior discute un tema mientras que el exterior observa. Una vez acabada la discusión de los estudiantes que están en la pecera, los observadores les hacen comentarios.
- Grupo nominal. Se fija un período de tiempo corto para que cada participante anote las informaciones, propuestas o sugerencias que se le ocurran sobre el tema. Para garantizar el anonimato, se pueden recoger y redistribuir los papeles antes de pasar a la ronda de exposición, donde cada persona lee una de las ideas anotadas. Si hay más ideas en el papel, se esperan a la segunda vuelta y las exponen sólo en el caso de que esa idea no haya sido expuesta ya por otra persona en la primera vuelta. Así se continúa hasta que todos hayan podido expresar las ideas contenidas en sus papeles.
- Voto múltiple. Consiste en puntuar una lista de ideas, bien dando puntos del 1 al 10 a cada idea o restringiendo el número de votos que puede emitir cada persona (por ejemplo, votar sólo algunas de las ideas más importantes de la lista). Se ordenan las ideas en función del número de votos y el grupo discute y resume los resultados. Es posible utilizar esta técnica en combinación de otras técnicas como el grupo nominal o la tormenta de ideas.

El trabajo cooperativo también cobra especial relevancia en el Espacio Europeo de Educación Superior, donde las competencias genéricas como el trabajo en grupo o la habilidades comunicativas interpersonales deben ser abordadas desde las asignaturas de los planes de estudios.

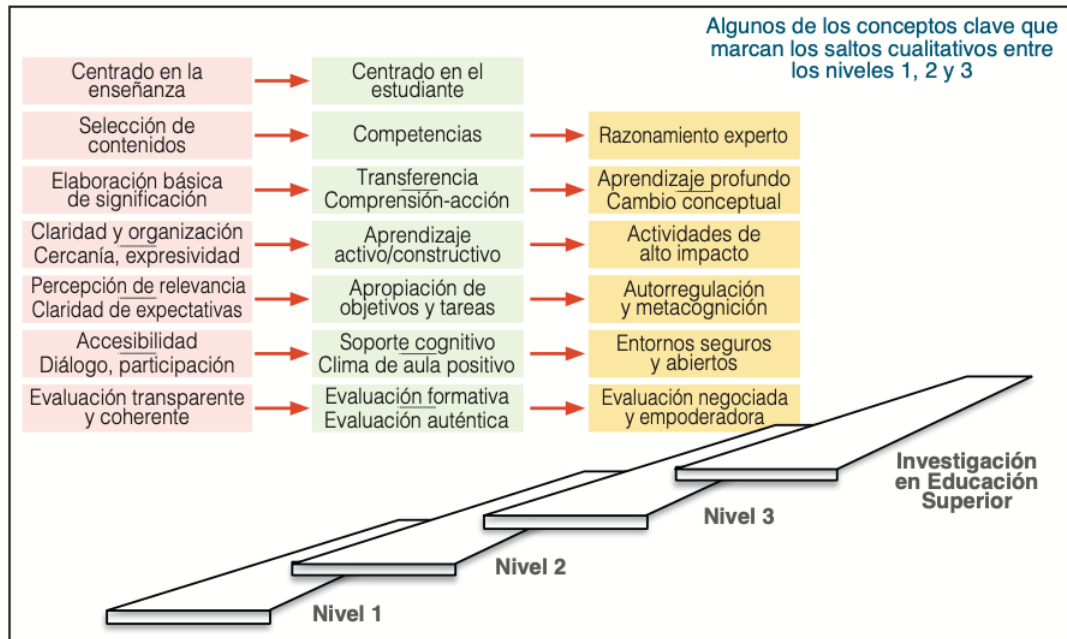


Figura 2-1: Conceptos clave que marcan los saltos cualitativos entre niveles dentro del MDAD. Fuente: [291]

2.5. El Marco de Desarrollo Académico Docente

El Marco de Desarrollo Académico Docente (MDAD) [291] es un trabajo cooperativo coordinado por Javier Paricio Royo, profesor de la Universidad de Zaragoza y por Amparo Fernández March, directora del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universitat Politècnica de València que persigue analizar la concepción de lo que supone una buena docencia mediante una visión actualizada, compleja y basada en la investigación.

Supone la concepción de un mapa de la buena docencia, permitiendo al docente ubicarse en su situación actual y trazando un posible recorrido en base a objetivos que el docente puede asumir como propio para evolucionar en su carrera.

La Figura 2-1 muestra los diferentes niveles que define el MDAD y que suponen la progresión académica dentro del ámbito docente. Suponen saltos cualitativos pues la mera acumulación de años de dedicación realizando las mismas actividades no implican necesariamente una progresión en la mejora de la práctica docente. En este modelo, los escalones definen diferentes concepciones que son progresivamente más sofisticadas y avanzadas de la práctica docente.

El MDAD está estructurado en tres bloques que engloban 15 dimensiones, resumidas a continuación:

- BLOQUE I. Currículo / Intenciones: ¿qué enseñamos?, ¿qué queremos que aprendan?
 - 1.1.- Un currículo explícito, definido y coherente, construido a partir de los resultados de

aprendizaje esperados.

- 1.2.- Un currículo integrado y orientado a la transformación de la forma de pensar y actuar del estudiante y el desarrollo de las competencias de alto nivel propias de una Educación Superior.
- BLOQUE II. Procesos: ¿cómo aprenden?, ¿cómo enseñamos?
- 2.1.- Aprendizaje activo y constructivo para facilitar el cambio conceptual: un planteamiento docente centrado en la calidad de “lo que el estudiante hace”.
 - 2.2.- Aprendizaje cooperativo, basado en la construcción social de conocimientos y la elaboración negociada de ideas y soluciones para lograr el desarrollo cognitivo y social del estudiante.
 - 2.3.- Orientación al aprendizaje profundo, una implicación intensa y un grado elevado de elaboración del conocimiento.
 - 2.4.- Autorregulación para la transformación intelectual del estudiante y el desarrollo de su capacidad de respuesta ante retos personales y profesionales.
 - 2.5.- Interacción intensa y valiosa en la que estudiantes y profesorado participan, recíprocamente, en experiencias de aprendizaje en un entorno socioemocional de aprendizaje seguro y abierto.
 - 2.6.- Evaluación auténtica, retadora, compartida y sostenible, concebida como aprendizaje, que desarrolla la capacidad de autorregulación y el empoderamiento del estudiante.
 - 2.7.- Entornos de aprendizaje como espacios para la acción, interacción, autorregulación y elaboración personal del conocimiento.
- BLOQUE III. Fundamentos: ¿por qué hacemos lo que hacemos?
- 3.1.- Conocimiento profundo y crítico de la materia, así como del entorno profesional y social que caracteriza los perfiles de salida de la titulación y del contexto general de la titulación.
 - 3.2.- Conocimiento de la teoría e investigación en Educación Superior, incluyendo el conocimiento del alumnado y sus procesos de aprendizaje, en el contexto específico de una materia.
 - 3.3.- Valores académicos y democráticos, así como en el compromiso social y personal que deben caracterizar a los profesionales de la Educación Superior.
 - 3.4.- Coordinación y participación en procesos de mejora colectivos, fruto de la convicción de pertenencia a un proyecto compartido y del compromiso institucional.

- 3.5.- Proceso continuo de revisión e innovación, abierto y colaborativo, arraigado en una concepción problematizada y crítica de la propia docencia.
- 3.6.- Contribución relevante a la investigación en Educación Superior, lo que redundará en capacidad de revisión crítica y debate abierto de los principios que conforman su docencia.

Para cada una de las dimensiones existen tres niveles conceptuales de adopción por parte del docente a los que se suma un cuarto nivel dedicado exclusivamente a la investigación sobre algunos aspectos claves de cada dimensión.

En 2019, el proyecto “Programa Campus MDAD: Liderazgo para el cambio educativo en las universidades” obtiene la financiación establecida en la Convocatoria Proyectos 2019 de RED-U. Se propone trabajar a partir de las situaciones reales en las que se encuentran implicados sus participantes y en base su experiencia planteará una indagación sobre las claves que posibilitan y dificultan el cambio educativo. Como resultado de esta iniciativa, en mayo de 2022 se realizó la escuela de verano del programa Campus MDAD para culminar la formación iniciada en 2021, mediante un curso de 150 horas.

El candidato participó en 2021 como ponente dentro de la actividad “Café con Profesorado UPV sobre el Marco de Desarrollo Académico Docente (MDAD)”, en la que se pudo expresar opiniones para la mejora de los documentos de estándares definidos por el MDAD.

2.6. La Calidad de las Titulaciones Universitarias

La universidad oferta un elevado volumen de grados, másteres y doctorados que requieren ser verificados por una agencia externa independiente para verificar el cumplimiento de la normativa legal y la coherencia interna [157].

Es por ello que existe el programa ACREDITA [27] de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) [2], un organismo autónomo adscrito al Ministerio de Universidades. Este programa tiene como objetivo la evaluación de los títulos universitarios oficiales para la renovación de su acreditación. Esta evaluación se realiza de manera cíclica y tiene un doble objetivo: comprobar si el título se está llevando a cabo de acuerdo con los objetivos establecidos en su proyecto inicial (por el cual obtuvo la condición de título oficial) y comprobar si sus resultados son adecuados y contribuyen a la formación de los estudiantes y a la consecución, por tanto, de los objetivos previstos.

El proceso de acreditación (o renovación de la acreditación) pasa por la universidad, que de forma anual indica a ANECA los títulos involucrados. Para ello, se elabora un informe de autoevaluación de la situación del título frente a los criterios y directrices del modelo de acreditación. ANECA forma un panel de expertos que estudia dicho informe y realiza una visita a la universidad con entrevistas a los diferentes colectivos, produciendo un informe de resultado. ANECA procede a la evaluación

del título considerando el informe presentado por la universidad, el informe del panel de expertos y el resto de información que dispone ANECA sobre el título.

Adicionalmente al programa ACREDITA, existe la posibilidad de obtener un Sello Internacional de Calidad (SIC) de reconocido prestigio, en el contexto del Programa de Sellos Internacionales de Calidad de ANECA. Estos criterios están basados en los estándares internacionales de ENQA (European Association for Quality Assurance in Higher Education) [127] y se resumen a continuación en base al documento de criterios SIC [102]:

- Criterio 1.1. Política de aseguramiento de calidad. Las instituciones deben tener una política pública de aseguramiento de la calidad que forme parte de su gestión estratégica. Los grupos de interés internos deben desarrollar e implantar esta política mediante estructuras y procesos adecuados, implicando a los grupos de interés externos.
- Criterio 1.2. Diseño y aprobación de programas: Las instituciones deben tener procesos para el diseño y la aprobación de sus programas de estudio. Los programas se deben diseñar de manera que cumplan los objetivos establecidos para éstos, incluyendo los resultados esperados del aprendizaje. La cualificación de un programa debe quedar claramente especificada y ha de ser pública y debe hacer referencia al nivel exacto del marco nacional de cualificaciones de educación superior y, por consiguiente, al Marco de Cualificaciones del Espacio Europeo de Educación Superior.
- Criterio 1.3. Enseñanza, aprendizaje y evaluación centrados en el estudiante: Las instituciones deben asegurarse de que los programas se imparten de manera que animen a los/as estudiantes a participar activamente en la creación del proceso de aprendizaje y que la evaluación y reflejan este enfoque centrado en el/la estudiante.
- Criterio 1.4. Admisión, evolución, reconocimiento y certificación de los/as estudiantes: Las instituciones deben aplicar de manera consistente normas preestablecidas y públicas que abarquen todas las fases del “ciclo de vida” de los/as estudiantes, por ejemplo, admisión, progreso, reconocimiento y certificación de los/as estudiantes.
- Criterio 1.5. Personal docente: Las instituciones deben asegurar la competencia de sus profesores/as. Asimismo, deben utilizar procesos justos y transparentes para la contratación y el desarrollo de su personal.
- Criterio 1.6. Recursos para el aprendizaje y apoyo a los/as estudiantes: Las instituciones deben contar con una financiación suficiente para desarrollar las actividades de enseñanza y aprendizaje y asegurarse de que se ofrece apoyo y recursos para el aprendizaje suficientes y fácilmente accesibles a los/as estudiantes.

- Criterio 1.7. Gestión de la información: Las instituciones deben asegurarse de que recopilan, analizan y usan la información pertinente para la gestión eficaz de sus programas y otras actividades.
- Criterio 1.8. Información pública: Las instituciones deben publicar información clara, precisa, objetiva, actualizada y fácilmente accesible sobre sus actividades y programas.
- Criterio 1.9. Seguimiento continuo y evaluación periódica de los programas: Las instituciones deben hacer un seguimiento y una evaluación periódica de sus programas para garantizar que logran sus objetivos y responden a las necesidades de los/as estudiantes y de la sociedad. Dichas evaluaciones deben dar lugar a una mejora continua del programa. Como consecuencia de lo anterior, cualquier medida prevista o adoptada, debe comunicarse a todos los/as interesados/as.
- Criterio 1.10. Aseguramiento externo de la calidad cíclico: Las instituciones deben someterse a un proceso de aseguramiento externo de la calidad de naturaleza cíclica.

EQANIE [139], la Red Europea de Garantía de Calidad para la Educación en Informática, es una asociación sin ánimo de lucro que busca mejorar la evaluación y asegurar la calidad de los programas de estudio de la informática en Europa. EQANIE desarrolla los criterios y los procedimientos para la evaluación y el control de la calidad en los programas de estudio de la informática.

Los objetivos de EQANIE para acreditación y evaluación de la calidad consisten en [331]:

- Mejorar la calidad de los programas educativos de informática.
- Proporcionar una “certificación europea” adecuada para los programas educativos acreditados en informática.
- Facilitar el reconocimiento mutuo transnacional para la validación de programas y certificados.
- Facilitar el reconocimiento de las autoridades competentes, de acuerdo con las directivas de la UE y otros acuerdos.
- Aumentar la movilidad de los graduados según las recomendaciones de la Estrategia de Lisboa.

El principal Sello Internacional de Calidad para el ámbito académico universitario promovido por EQANIE y relacionado con el ámbito de este proyecto docente es EURO-INF, cuya finalidad es:

- Mejorar la calidad y la transparencia de los programas educativos en informática.
- Proporcionar información sobre los estudios en Europa a través de una certificación adecuada para los programas educativos acreditados en informática.
- Facilitar el reconocimiento mutuo de las titulaciones entre diferentes países.

- Aumentar la movilidad de los estudiantes.

El valor del sello EURO-INF implica que:

- Garantiza que el programa cumple con altos estándares internacionales.
- Para los estudiantes, es una prueba adicional reconocida por los empleadores en el ámbito europeo.
- Para los empleadores, garantiza que los candidatos poseen los conocimientos y las competencias que rigen las normas internacionales.
- Para las universidades, es un certificado adicional de calidad y ratifica que el programa acreditado cumple con los estándares académicos y profesionales.

Las titulaciones UPV que cuentan con el sello EURO-INF son:

- Grado en Ingeniería Informática
- Master Universitario en Ingeniería Informática
- Máster Universitario en Ingeniería y Tecnología de Sistemas Software

2.7. La Evaluación en el Ámbito Universitario

La evaluación supone un aspecto fundamental dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje pues, a menudo, guía las estrategias de los alumnos a la hora de aprender los conceptos necesarios y suficientes para conseguir superar la evaluación de la asignatura. Por ello, es importante diseñar la evaluación para que consiga que el alumno tenga que realizar las actividades propuestas, alineadas con los resultados de aprendizaje y competencias que deben adquirirse, durante el desarrollo de la asignatura. En efecto, como se dice comunmente: “lo que no se evalúa, se devalúa”.

2.7.1. La Evaluación del Alumnado

La evaluación es uno de los aspectos de mayor relevancia dentro de la práctica docente y la que más suele preocupar a los alumnos ya que, a menudo, sus esfuerzos se centrarán en tratar de superar el proceso de evaluación y no en verificar la consecución de los resultados de aprendizaje de la asignatura.

Es posible realizar la siguiente clasificación de tipos de evaluación:

- Dependiendo del momento:

- Inicial o diagnóstica. Se realiza al comienzo de la asignatura con el objetivo de conocer el punto de partida de los alumnos y, de esta manera, poder adaptar parte de la asignatura a las características del alumnado.
 - Continua. Se realiza de forma periódica a lo largo de la asignatura mediante la realización de diferentes actos de evaluación. El alumno recibe una retroalimentación sobre la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje.
 - Final. Se realiza al acabar la asignatura y permite al profesor conocer si los alumnos han alcanzado los objetivos propuestos por la asignatura.
- Dependiendo del objetivo:
- Sumativa. Tiene como objetivo conocer y valorar los resultados alcanzados por el alumno al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Suele estar relacionada con la evaluación final.
 - Formativa. Abarca todo el proceso de aprendizaje de los alumnos, desde la fase de detección de las necesidades hasta el momento de la evaluación final o sumativa. Tiene una función de diagnóstico en las fases iniciales del proceso, y de orientación a lo largo de todo el proceso e incluso en la fase final, cuando el análisis de los resultados alcanzados tiene que proporcionar pistas para la reorientación de todos los elementos que han intervenido en él.
 - De Procesos. Permite valorar a los propios alumnos en relación al progreso personal del mismo a lo largo de la asignatura. Por ello, se persigue evaluar el proceso seguido durante la enseñanza-aprendizaje y no únicamente el resultado final.
 - De Resultados. Esta evaluación únicamente tiene en cuenta el resultado final del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Quizá una de las referencias clásicas en la evaluación del aprendizaje de los estudiantes sea el trabajo de Ebel y Frisbie [117], diseñado como libro de consulta en la elaboración de pruebas escritas tipo test, que abarca desde la construcción de distintos tipos de exámenes hasta su interpretación, validez, fiabilidad, la forma de mejorarlos, etc. A diferencia de la evaluación puramente sumativa, donde el alumno recibe una calificación final como resultado de un acto de evaluación, la evaluación formativa surge como mecanismo para que el alumno conozca su propia evolución en la consecución de los objetivos de la asignatura. Para ello, la evaluación debe producirse a lo largo de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje de manera que permita tener al alumno una visión sobre su aprendizaje y no simplemente un carácter punitivo al final del curso.

Según Morales [272], la evaluación formativa tiene como finalidad principal ayudar a aprender, condicionar un estudio inteligente y corregir errores a tiempo. Esta evaluación formativa no es

un punto final sino que está integrada en el proceso de enseñanza-aprendizaje. La innovación en los procesos de enseñanza-aprendizaje debe estar acompañada de una innovación en la evaluación. Por lo general, los alumnos no modifican su forma de aprender si el mecanismo de evaluación no introduce un cambio en ese sentido. Análogamente, los profesores también deben someter su actividad a evaluación para poder asumir una perspectiva profesional de su labor docente y detectar posibles puntos de mejora.

De acuerdo a Zabalza [394], son varios los criterios que hay que considerar al diseñar el proceso de evaluación. En primer lugar, debe servir de ayuda para desarrollar las capacidades de los alumnos y ser integradora, incluyendo todos los objetivos formativos. Debe ser coherente con el estilo de trabajo en el aula y, por ello, debe estar inmersa en el propio proceso de enseñanza-aprendizaje. Además, la evaluación debe contemplar tanto los resultados como el proceso involucrado.

Con todo ello, una de las definiciones de evaluación formativa es la aportada por Melmer et al. [232] que sostiene que: “La evaluación formativa es el proceso usado por profesores y estudiantes durante el proceso de enseñanza-aprendizaje que proporciona la retroalimentación necesaria para ajustar la enseñanza y el aprendizaje para mejorar la consecución de los logros de los alumnos”.

La incorporación de la evaluación formativa al contexto de enseñanza-aprendizaje de los estudios de Informática puede ir acompañada de la mano de las TIC. Por ejemplo, las plataformas de teleformación como es el caso de Sakai [321] o Moodle [270] incluyen la posibilidad de mandar tareas y realizar exámenes al alumno que posteriormente son corregidos de forma automática (o semi-automática) por la plataforma. Mediante estas herramientas se consiguen varios objetivos. En primer lugar, se ahorra papel al realizar las pruebas a través de Internet. En segundo lugar, en el caso de tests con corrección automática, el alumno puede conocer la calificación al momento de haberlo finalizado. Esta retroalimentación le permite conocer el estado de su proceso de aprendizaje para que pueda introducir cambios en sus planteamientos de cara a mejorar su desempeño en la asignatura. Finalmente, el profesor puede delegar la corrección de los tests en la plataforma, reduciendo así su carga de trabajo y permitiendo el desarrollo de nuevos tests.

Existen diferentes estrategias conducentes a la evaluación formativa. A continuación se resumen algunas de ellas, de acuerdo a [272] :

- Preguntas orales a la clase. Deben lanzarse buenas preguntas a la audiencia, que susciten el pensamiento e induzcan a la elaboración de una respuesta por parte del alumnado.
- Tests. Listado de preguntas tipo verdadero-falso o elección múltiple conducentes a la autoevaluación y que permitan la obtención de aclaraciones y explicaciones adicionales.
- Preguntas abiertas de respuesta breve. Resumir la idea principal explicada en clase plasmada por escrito para que el alumno tenga que pensar y expresarse con claridad.

- *One minute paper*. Esta es una prueba para realizar al final de una clase donde el alumno explica qué es lo que más le ha interesado de la clase y qué conceptos no le han quedado claros. Existe la variante de preguntar algún concepto relacionado con la sesión mantenida, con el objetivo de mantener la atención del alumno durante la sesión.
- Trabajos en pequeños grupos en el aula. En grupos de dos o tres alumnos, los alumnos comentan un tema y responden de manera conjunta algunas preguntas.

Un aspecto fundamental relacionado con la evaluación consiste en que los alumnos conozcan de antemano las expectativas que el profesor deposita en sus alumnos. Por ello, si los alumnos conocen de forma precisa *qué* deben realizar para obtener *cuanta* puntuación, pueden encaminar la realización de un trabajo para la consecución de la calificación objetivo. Esto es precisamente lo que persiguen las rúbricas (o claves de corrección) [54].

Las rúbricas deben ser preparadas de antemano por el profesor especificando de forma detallada los criterios de calificación de un trabajo. Nótese, por tanto, que estos criterios de evaluación se convierten a su vez en las normas para la preparación de un buen trabajo. De esta manera, los alumnos tienen claro qué se les va a exigir y cómo se les va a evaluar antes de realizar el trabajo, reduciendo la subjetividad del profesor en el proceso de corrección.

En el contexto de la enseñanza de la informática, las rúbricas suponen una herramienta adecuada especialmente en la evaluación de proyectos de programación, donde es posible definir una graduación de la calificación en base a factores como la consecución de objetivos de funcionalidad, la adecuación a un determinado estilo de programación, la existencia de una interfaz adecuada, la documentación apropiada del proyecto, etc.

Es importante que la propuesta de evaluación de las asignaturas de enseñanza superior conste de actos de evaluación variados que resulten complementarios. Para ello, de acuerdo a Gargallo [158] se pueden usar los siguientes instrumentos de evaluación:

- Ficha individual del alumno
- Pruebas escritas
- Valoración de las prácticas
- Valoración de los trabajos obligatorios
- Valoración de los trabajos voluntarios
- Valoración de las actitudes
- Entrevistas
- Autoevaluación del alumno

La evaluación de la parte práctica es fundamental en asignaturas relacionadas con la informática. Por ello, es relevante enumerar los criterios a tener en cuenta. En primer lugar hay que considerar la asistencia a las sesiones de laboratorio así como la participación activa del alumno. A menudo se realizan memorias o informes de prácticas y, en este caso, hay que tener en cuenta tanto cuestiones formales, como el cumplimiento de plazos, la adecuada presentación y la calidad de la redacción y de la ortografía. La estructura del trabajo debe estar bien organizada con un adecuado uso del lenguaje científico-técnico. Además el trabajo debe contar con claridad expositiva y capacidad de síntesis.

Tradicionalmente, en la Universidad se ha tendido a utilizar el examen final como método de evaluación, una aproximación de evaluación sumativa. Para ello, se planteaban pruebas escritas objetivas y de carácter semiestructurado o de respuesta libre. En la actualidad, se tiende y es aconsejable fomentar la evaluación formativa y de procesos, con el objetivo de posibilitar el aprendizaje del alumnado a partir de sus errores. La evaluación formativa continua permite al profesor conocer la evolución del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje y a éste último recibir retroalimentación apropiada sobre el grado de desempeño en la asignatura.

La evaluación formativa va ligada necesariamente a la entrega de retroalimentación (*feedback*), que persigue modificar lo que los estudiantes pueden hacer durante la ejecución de una tarea. Para que sea efectivo, de acuerdo al trabajo de Nicol y Macfarlane-Dick [280], y tal como se vió en el curso del ICE “Como proporcionar feedback de calidad” realizado por el candidato, el feedback debe cumplir los siguientes siete principios:

1. Ayuda a aclarar qué es un buen rendimiento. En efecto, los estudiantes solo pueden lograr los objetivos de aprendizaje si entienden esos objetivos, asumen que son suyos y pueden evaluar el progreso. De hecho, los tutores y los estudiantes pueden tener concepciones bastante diferentes sobre los objetivos y criterios definidos.
2. Facilita el desarrollo de la autoevaluación (reflexión) en el aprendizaje. Una forma efectiva de desarrollar la autorregulación en los estudiantes es proporcionarles oportunidades para practicar aspectos reguladores de su propio aprendizaje y reflexionar sobre esa práctica.
3. Brinda información de alta calidad a los estudiantes sobre su aprendizaje. La retroalimentación del profesorado es una fuente contra la cual los estudiantes pueden evaluar el progreso y verificar sus propias interpretaciones sobre las metas, criterios y estándares.
4. Alienta al docente y al diálogo entre pares sobre el aprendizaje. La retroalimentación como diálogo significa que el alumno no solo recibe información de retroalimentación inicial, sino que también tiene la oportunidad de involucrar al maestro en la discusión sobre esa retroalimentación.
5. Alienta las creencias motivacionales positivas y la autoestima. En efecto, la motivación y la

autoestima juegan un papel muy importante en el aprendizaje y la evaluación, como se muestra en el trabajo de Harlen y Crick [177].

6. Brinda oportunidades para cerrar la brecha entre el desempeño actual y el deseado. Para ello, se deben aumentar las oportunidades de presentar trabajos mejorados a partir de la retroalimentación.
7. Proporciona información a los maestros que pueden usarse para ayudar a dar forma a la enseñanza. Las tareas de evaluación frecuentes, especialmente las pruebas de diagnóstico, pueden ayudar a los docentes a recopilar información de forma periódica sobre los niveles de comprensión y habilidad de los estudiantes, de modo que puedan adaptar su enseñanza en consecuencia.

2.7.2. La Evaluación del Profesorado

El artículo 108 de los Estatutos de la Universitat Politècnica de València [347] establece que el Consejo de Gobierno establecerá los criterios de evaluación de la actividad y dedicación docente, de gestión e investigadora y la contribución al desarrollo científico, tecnológico o artístico del personal docente e investigador, que serán relevantes para determinar su eficiencia en el desarrollo de su actividad.

El modelo de evaluación de la actividad docente en la UPV considera que la actividad docente debe definirse como el *conjunto de actuaciones, que se realizan dentro y fuera del aula, destinadas a favorecer el aprendizaje de los estudiantes con relación a los objetivos y competencias definidas en un plan de estudios y en un contexto institucional determinado*.

Este modelo está basado en Índice de Actividad Docente (IAD), valorado en puntos, que incorpora las diferentes dimensiones de la actividad docente desarrollada, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo. De hecho, en el Manual de Evaluación de la Actividad Docente del Profesorado (IAD) [352] se regula la actual encuesta de opinión del alumnado, siendo competencia del Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) [351] la lectura de las encuestas y posterior tratamiento de datos.

El modelo de encuesta actual sufrió una revisión en 2020 llevada a cabo a raíz de la situación provocada por el COVID-19, para adaptarla al contexto de la docencia “on-line”. Por tanto, el modelo de evaluación de la actividad docente contempla cuatro dimensiones (D) generales para el análisis y valoración de la actuación del profesorado, dando lugar a un total de 11 preguntas (P), indicadas a continuación [190]:

- D1: Conocimiento de la materia
 - P1. Parece dominar la materia que imparte.
 - P2. Resuelve dudas y cuestiones sobre la materia de manera adecuada.

- D2. Organización y planificación
 - P3. Proporciona información clara sobre la asignatura (objetivos, programa, metodología y criterios de evaluación) en la guía docente y durante el desarrollo de la asignatura.
 - P4. Tiene una buena programación del ritmo de las clases y del tiempo dedicado a cada tema.
- D3. Desarrollo/metodología docente
 - P5. Emplea metodologías y actividades en el desarrollo de la asignatura que ayudan a aprender al alumnado.
 - P6. Proporciona materiales (bibliografía, documentos, recursos didácticos en PoliformaT u otros espacios on-line, etc.) que resultan de ayuda para el aprendizaje de la asignatura.
 - P7. Selecciona y utiliza las herramientas tecnológicas disponibles para facilitar el aprendizaje.
- D4. Motivación/interacción/ayuda
 - P8. Contribuye a crear un buen clima de trabajo y anima al alumnado a participar durante el desarrollo de la asignatura.
 - P9. Consigue motivar al alumnado y despertar el interés por la asignatura.
 - P10. Proporciona información sobre la evolución del aprendizaje a través de actividades de seguimiento, tutoría y atención al alumnado.
- Ítem Global
 - P11. Teniendo en cuenta las limitaciones, pienso que el profesor que imparte esta asignatura debe considerarse un buen profesor.

La encuesta es universal y se pasará a todo el personal docente de la UPV y al personal colaborador docente que tenga POD asignado, que imparta al menos un crédito en una misma asignatura y grupo, y siempre que la muestra sea representativa. El profesorado asociado y el personal colaborador docente está sujeto a los mismos requisitos que el resto del personal docente. Asimismo, es evaluable la docencia en las asignaturas semestrales y anuales, independientemente del tipo de materia que se imparta, así como del tipo de docencia (teoría, prácticas, laboratorio). El alumnado deberá opinar una sola vez sobre un mismo profesor o profesora y una misma asignatura y grupo.

Capítulo 3

Perfil docente del candidato

Este capítulo describe el perfil docente del candidato. Comienza con un breve resumen de la trayectoria docente donde se resaltan los principales méritos. A continuación, se aborda la formación en innovación e investigación educativa llevada a cabo por el candidato, con especial énfasis en los programas formativos cursados en la UPV. Finalmente, el capítulo concluye destacando algunas innovaciones educativas llevadas a cabo por el candidato a lo largo de su trayectoria docente.

3.1. Resumen de la Trayectoria Docente

El candidato aporta 18 años de docencia universitaria a tiempo completo vinculada a la Universitat Politècnica de València (UPV), 15 de ellos con grado de doctor, comenzando en el curso 2004/2005 como Ayudante y acumulando un total 2414,75 horas hasta el curso 2021/2022 incluido.

La docencia reglada se ha centrado fundamentalmente en asignaturas de postgrado directamente relacionadas con el área de conocimiento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, aunque también ha impartido asignaturas de grado. El candidato es principalmente responsable de las asignaturas impartidas y la mayoría de ellas están estrechamente vinculadas con el ámbito de la investigación desarrollada (Cloud Computing y Big Data, principalmente). Imparte su docencia en diferentes Másteres, como es el caso del Máster Universitario en Gestión de la Información (MUGI) [372], el Máster Universitario en Computación en La Nube y de Altas Prestaciones (MUCNAP) [371], antiguamente conocido como Máster en Computación Paralela y Distribuida (MUCPD) y en el Master Universitario en Ciberseguridad y Ciberinteligencia (MUCC) [370]. Su docencia de grado se centra en el Grado en Informática y en el Grado en Ciencia de Datos, impartiendo asignaturas que abordan la computación en la nube desde diferentes perspectivas. También imparte docencia no reglada en el Máster en Big Data Analytics (MBDA) [368] desde el curso 2014/2015, en las que se abordan estrategias de computación distribuida para el procesado eficiente de datos en la nube.

La Figura 3-1 muestra el histórico de medias globales de los resultados de las encuestas de

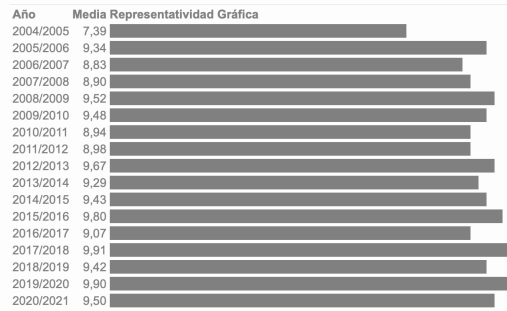


Figura 3-1: Histórico de medias globales de los resultados de las encuestas de opinión del alumnado sobre la actuación docente del candidato.

opinión del alumnado sobre la actuación docente del candidato. Se observa que en los últimos 17 cursos académicos, comenzando en el 2004/2005 se ha obtenido un valor promedio de 9,26 sobre 10 con una desviación estándar de tan solo 0,59, alcanzando un valor máximo de 9,9 sobre 10 en el registro correspondiente al curso 2019/2020. Por tanto, los resultados en la mayoría de los cursos académicos se acerca al valor máximo posible.

De hecho, el candidato aporta evaluaciones muy positivas de su actividad docente de acuerdo al Índice Actividad Docente (IAD) [352], parámetro basado en el modelo del Programa DOCENTIA [28] y que fue certificado por la Agència Valenciana d'Avaluació i Prospectiva (AVAP) [3] y la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) [2] con fecha 19/12/2012, obteniendo una moda (valor que más se repite) de EXCELENTE. El candidato recibió en 2009 un Premio a la Excelencia por parte de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática (ETSINF) [135] de la Universitat Politècnica de València (UPV).

El candidato también aporta experiencia en la impartición de cursos online asíncronos (de tipo MOOC, pero de pago). Es el creador del Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services (AWS) [247], que desde 2013 ha formado a más de 1000 alumnos de más de 10 países en las tecnologías de Cloud Computing, obteniendo una valoración promedio en las encuestas oficiales del alumnado de 9,14 y generando unos ingresos superiores a 150K€. También realiza periódicamente actividades de formación a demanda para empresas y otras instituciones educativas en temas relacionados con Cloud Computing.

Su trayectoria docente va ligada a la formación continua y permanente. Destaca un Título de Experto Universitario en Pedagogía Universitaria (EXUPU) [362] correspondiente a 320 horas lectivas, un título de Experto Universitario en Formación Online (EUFOL) [189] correspondiente a 150 horas y una participación en el Programa de Iniciación a la Investigación Educativa (INED) [188] de 125 horas.

El candidato es el fundador y coordinador del Equipo de Innovación y Calidad Educativa (EICE) [123] denominado MATI (Metodologías Activas y Tecnologías de la Información) desde su creación



Figura 3-2: Entrega del Premio a la Excelencia Docente en su XX edición.

en el año 2011. Ha participado en 10 Proyectos de Innovación y Mejora Educativa (PIME), liderando 3 de ellos, dando lugar a un total de 1 publicación en revista JCR y 14 publicaciones en congresos de innovación educativa tanto nacionales como internacionales, además de otras 14 publicaciones de idénticos foros de innovación educativa, como resultado de la colaboración con otros docentes no pertenecientes al MATI.

Como reconocimiento a la trayectoria del candidato plasmada en los buenos resultados en las encuestas de opinión del alumnado, en el curso 2020/2021 recibió el Premio a la Excelencia Docente UPV. La Figura 3-2 muestra el momento de la entrega del premio por parte del rector de la UPV (José Esteban Capilla) y la presidenta del consejo social UPV (Monica Bragado, primera por la derecha).

3.2. Formación para la Innovación e Investigación Educativa

Morales [271] se pregunta si es la innovación en los procedimientos didácticos la que lleva a evaluarlos y consiguientemente a investigar y publicar los resultados o si, por el contrario, es la necesidad de investigar y publicar la que estimula la experimentación y la innovación en didáctica universitaria.

En cualquier caso, la investigación y la innovación educativa universitaria tienen relación entre

ambas. La investigación se lleva a cabo por profesores universitarios a partir de los datos extraídos por las actividades de los alumnos lo que da lugar a una publicación en la que típicamente se analiza de forma rigurosa aspectos metodológicos, mecanismos de evaluación o estrategias didácticas. Generalmente se persigue una mejora en el aprendizaje de los alumnos, pero también puede abordar otros temas como la mejora de la motivación, relación estudiantes-profesores, aproximaciones al aprendizaje, etc.

La innovación depende de una tarea previa de investigación, de ahí la dependencia entre ambas, tal y como se indica en el libro “Fundamentos de la investigación y la innovación educativa” de Navarro Asencio, Jiménez García, Rappoport Redondo y Thoilliez Ruano [279].

La investigación educativa es una pata fundamental dentro del concepto *Scholarship of Teaching and Learning (SoTL)*, que a veces se traduce en la literatura como “erudición de la enseñanza y el aprendizaje” y, quizá de forma más habitual como “enfoque académico de la enseñanza y el aprendizaje” tal y como se indica en el trabajo de Castillo Jáquez [82]. Este concepto entronca con la diferencia existente entre un profesor competente y un profesor excelente y fue introducido por Ernest L. Boyer en su trabajo “Scholarship Reconsidered: Priorities of the Professoriate” [62], que define cuatro funciones académicas tal y como se indica en [271]:

- *Scholarship of Discovery*, donde el profesorado investiga sobre su área de conocimiento y descubre hechos.
- *Scholarship of Integration*, donde el profesorado establece conexiones para generar conocimiento a partir de los hechos, a menudo entre disciplinas.
- *Scholarship of Application*, donde el profesorado pone en práctica dicho conocimiento para el bien de la sociedad.
- *Scholarship of Teaching*, donde el profesorado transmite dicho conocimiento para la comprensión por parte de otros.

Este proceso de SoTL supone una evolución significativa frente a lo que consideramos como enseñanza excelente e incluye un proceso sistemático para analizar la propia docencia (procedimientos, ejercicios, evaluación, etc.) y sus efectos en el aprendizaje de los alumnos, tal y como describe Morales [271].

3.2.1. La Innovación Educativa en la universidad

La innovación educativa persigue la aplicación de nuevas aproximaciones de metodologías docentes basadas en la búsqueda de la calidad y la excelencia universitaria. Surge como la herramienta apropiada para la experimentación con nuevas fórmulas educativas así como la incorporación de las ventajas que aportan las TIC en el ámbito educativo.



Figura 3-3: Programas del Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) realizados por el candidato.

Las Universidades españolas cuentan con personal propio especializado en metodologías docentes, que impulsan programas de formación al profesorado con el objetivo de encaminar al profesor en la mejora de la práctica docente. En la Universitat Politècnica de València existe el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), que es el encargado de ayudar a la docencia, ofreciendo formación, apoyo y asesoramiento al profesorado en el ámbito de la pedagogía universitaria, y propiciando la divulgación y empleo de nuevos recursos y tecnologías educativas, contribuyendo al proceso de innovación y evaluación de la calidad de la enseñanza. También persigue desarrollar actividades formativas y facilitar apoyo psicopedagógico al estudiante al objeto de atender sus necesidades de orientación y asesoramiento académico, personal y profesional.

Dentro de las múltiples iniciativas que desarrolla el ICE, en este documento se destacan aquellas que, por su realización, han tenido influencia en la propuesta de proyecto docente e investigador del candidato, cuyo resumen se muestra en la Figura 3-3.

3.2.2. El Título de Especialista Universitario en Pedagogía Universitaria

Desde el año 1998, el ICE imparte el Título de Experto Universitario en Pedagogía Universitaria (DEXUPU)¹ [362], antes conocido como Programa de Formación Inicial del Profesorado Universitario (FIPPU), cuyo objetivo consiste en iniciar y desarrollar el proceso de profesionalización del docente universitario en el siglo XXI. En este sentido, el modelo formativo que subyace se caracteriza por aportar un encuadre teórico, bagaje tecnológico y práctica supervisada. El principio organizativo básico del programa es la flexibilidad, tanto en su concepción como en su realización, para una progresiva adaptación a las necesidades individuales y situación de trabajo de cada uno de los participantes. Este programa incluye toda una serie de actividades, talleres y seminarios. A continuación se resumen los más relevantes desde el punto de vista de su impacto en la mejora de la práctica docente.

A lo largo de 18 ediciones han sido más de 400 profesores los que han realizado esta formación, creando un masa crítica que se encuentra involucrada en responsabilidades vinculadas a la docencia [362].

- Seminario Intensivo. Se realiza fuera de la universidad durante 4/5 días. Su principal objetivo es contextualizar el marco institucional y facilitar una aproximación a los aspectos básicos que conforman la enseñanza universitaria, además de propiciar el conocimiento de todos los participantes de forma distendida. Este seminario, impartido por expertos en los temas propuestos, cuenta con el apoyo permanente de tutores y asesores pedagógicos del ICE, y sirve también para constituir los grupos base que funcionarán a lo largo del resto del curso
- Grupos Base. Constituido por un grupo interdisciplinar de 6-8 profesores. Se reúnen periódicamente con su asesor del ICE para reflexionar y debatir conjuntamente acerca del diseño de innovaciones, análisis de las actuaciones docentes, elaboración del portafolio, etc.
- Contrato de aprendizaje. Compromiso que el profesor realiza al comienzo del curso a partir de la autoevaluación de su práctica docente. Incluye aquellas perspectivas de mejora de su práctica docente que desea alcanzar una vez finalizado el programa de formación.
- Talleres de Formación. Sesiones de trabajo en las que se abordan en profundidad temas relevantes de la pedagogía universitaria, para contribuir así al desarrollo de las competencias genéricas y específicas.
- Simposio. Acción formativa que consiste en la exposición, por parte de un experto, de un tema de interés general, sobre el cual posteriormente debaten e intercambian experiencias todos los asistentes (profesores participantes en el EXUPU, tutores y asesores pedagógicos)

¹<https://www.ice.upv.es/profesorado/dexupu/>

- Grabaciones en vídeo y autoevaluación para la mejora de la práctica docente. Tras la grabación de una sesión de teoría del profesor, esta herramienta permite la evaluación de la docencia universitaria, desde el punto de vista personal del profesor y a través de un cuestionario centrado en el análisis de la práctica docente individual, para mejorar la calidad de la enseñanza. Se aborda la planificación, actuación y evaluación y consta de una guía de análisis así como un planteamiento de los objetivos personales de mejora. La idea es que la reflexión personal sobre la actuación académica personal lleve a una detección de las posibles carencias con el objetivo de mejorar la docencia universitaria.
- El Portafolio Docente. Es una estrategia formativa y de desarrollo profesional que surge en el contexto de la educación universitaria y que tiene como objetivo favorecer el desarrollo de docentes reflexivos que encuentran en el análisis sistemático y organizado de su práctica el motor de su autoformación. Básicamente incluye una recopilación de la trayectoria y los esfuerzos de innovación que realiza un docente a lo largo de su carrera para mejorar la práctica docente [145].

3.2.3. Equipos de Innovación y Calidad Educativa

Los Equipos de Innovación y Calidad Educativa (EICE) [123] constituyen una iniciativa del Vicerrectorado de Profesorado y Ordenación Académica (VPOA), con el respaldo del Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) y la Comisión de Evaluación y Seguimiento de Proyectos de Innovación y Mejora Educativa (CESPIME), con el objetivo de facilitar el apoyo a los profesores que desean experimentar nuevos modelos de formación para la docencia basados la integración de innovación y formación. Este modo de trabajo favorece la formación de equipos multidisciplinares de profesores que comparten objetivos comunes y constituyen un motor de cambio y generación de conocimiento sobre la enseñanza universitaria [123].

Los objetivos que se persiguen con los EICEs son:

- Potenciar la participación de equipos de profesores de diferentes centros y ámbitos disciplinares que comparten objetivos comunes y desarrollan actividades de innovación e investigación educativa.
- Comprometer a estos profesores en formación, información y asesoramiento sobre aquellos temas en los que se encuentran trabajando dentro de la comunidad universitaria.
- Priorizar la orientación de sus trabajos a la consecución de resultados que tengan impacto en la mejora de la calidad de la docencia en nuestra universidad.
- Apoyar el desarrollo de redes de colaboración de profesores de nuestra universidad y otras universidades.

- Favorecer una mayor visibilidad de la innovación docente que viene desarrollándose en nuestra universidad desde hace largo tiempo, desarrollando estrategias de difusión de logros y resultados.

Estos equipos están formados por un grupo entre 6 y 10 profesores universitarios y para su renovación se requiere que, en cada año natural se alcancen como mínimo los siguientes objetivos:

- Presentar dos comunicaciones en congresos nacionales/internacionales propios del ámbito de interés preferente en el que está trabajando el equipo.
- Elaborar dos fichas docentes, que se publicarán en el apartado correspondiente de la web del ICE. Es una información breve y de alcance, dirigida al profesorado con finalidad formativa.
- Impartir dos actividades de formación, propias de las líneas de actuación del correspondiente EICE y dirigidas a los profesores de la UPV, dentro de la oferta general del ICE (plan de formación del profesorado).
- Presentar, dentro de los plazos que se establezcan a tal fin, la memoria final con los resultados obtenidos y las propuestas de trabajo para el año siguiente.

El EICE MATI

El candidato es el coordinador y fundador del EICE Metodologías Activas y Tecnologías de la Información (MATI) desde del año 2010, momento en el que surge la primera convocatoria de creación de equipos de innovación. Este grupo multidisciplinar está interesado en dos líneas de actuación principalmente:

- Metodologías activas para el aprendizaje y la formación en competencias.
- Diseño, desarrollo y uso de recursos tecnológicos (TICs) para el aprendizaje.

La formación de este equipo viene motivada fundamentalmente por la necesidad que observan los participantes de generar una nueva forma de enseñanza más próxima a la realidad social y cultural de la universidad actual en la que cada vez más las nuevas tecnologías están modificando los paradigmas convencionales de comunicación.

Este equipo está constituido por profesores de campos muy diversos que están interesados especialmente en las nuevas metodologías de aprendizaje, y en particular en el aprovechamiento para la docencia de las nuevas tecnologías de la información disponibles en la actualidad. En la actualidad es todavía necesario analizar y detectar las limitaciones que presentan estas tecnologías con el fin de plantear mejoras y evaluarlas, buscando soluciones de aprendizaje realmente eficientes además de ubicuas, es decir que permitan a los alumnos formarse en cualquier momento y lugar. El hecho

de ser un equipo constituido por personas con un perfil variado, y una muy diversa trayectoria y formación docente e investigadora, resulta enriquecedor a la hora de tener una amplia visión de los problemas en la enseñanza en la UPV.

A continuación se relacionan los objetivos específicos que persigue el MATI:

- Mejorar la calidad de la enseñanza de sus integrantes a través de la utilización de metodologías activas.
- Trabajar con las herramientas disponibles en la UPV y ver su utilidad y posibilidades de mejora.
- Comparar las metodologías utilizadas en cuanto a su implantación y resultados entre las diferentes asignaturas y escuelas.
- Identificar metodologías activas útiles a nivel general y a nivel particular.
- Diseñar, desarrollar y probar el uso de nuevas herramientas interactivas para los alumnos.
- Evaluar el impacto en la mejora del aprendizaje de los alumnos derivado del uso de herramientas tecnológicas aplicadas a la pedagogía universitaria.
- Favorecer una mayor visibilidad de la innovación docente del grupo de innovación, desarrollando estrategias de difusión de logros y resultados

Adicionalmente, el equipo MATI está igualmente interesado en la formación basada en competencias y considera este aspecto como un eje transversal a toda la actividad de innovación docente llevada a cabo. Este equipo consta actualmente del equipo de trabajo reflejado en la Tabla 3.1. Se observa por tanto el carácter multidisciplinar del equipo de investigación docente.

Tabla 3.1: Miembros del MATI en 2021

Miembro	Centro	Departamento
Germán Moltó (Coordinador)	E.T.S de Ingeniería Informática	Sistemas Informáticos y Computación
José F. Monserrat	E.P.S de Gandía	Comunicaciones
Ana M. Fita	E.T.S de Ing. Agronómica y del Medio Natural	Biotecnología
Inmaculada Fita	E.T.S de Ing. Agronómica y del Medio Natural	Física Aplicada
Santiago Vilanova	E.T.S de Ing. Agronómica y del Medio Natural	Biotecnología
José Gadea	E.T.S de Ing. Agronómica y del Medio Natural	Física Aplicada
Eva M. Mestre	E.P.S de Gandía	Lingüística Aplicada
David Gómez	E.P.S. de Gandía	Comunicaciones



Figura 3-4: Líneas de actividad del Equipo de Innovación y Calidad Educativa (EICE) MATI (Metodologías Activas y Tecnologías de la Información)

La Figura 3-4 resume las áreas de interés del EICE MATI, entre las que se destacan el uso de herramientas TIC para la mejora de la práctica docente aplicada a diferentes ámbitos como el aprendizaje autónomo, el aula inversa y las analíticas de aprendizaje.

Las líneas de actividad han llevado al MATI a liderar los siguientes Proyectos de Innovación y Mejora Educativa (PIME), realizando contribuciones al ámbito de la innovación educativa desde el año 2010:

Finalmente, las actividades del MATI han dado lugar a las siguientes publicaciones de innovación educativa (se incluyen únicamente aquellas en las que aparece el autor):

1. Germán Moltó, Inmaculada C. Fita, David Gómez-Barquero, Eva M. Mestre, José F. Monserrat y Ana M. Fita. “Experiencias de Analíticas de Aprendizaje para el Seguimiento de Competencias Transversales”. En: *Libro de Actas del VII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. 2021
2. Germán Moltó, Jose F. Monserrat, Inmaculada Fita, Ana Fita y Eva M. Mestre. “A Flipped Learning Approach to Develop Soft Skills in Multidisciplinary Higher Education”. En: *INNODOCT 2017*. 2017, págs. 295-305
3. Ana Fita, Jose F. Monserrat, Germán Moltó, Eva M. Mestre y Adrián Rodríguez-Burruezo. “Use of synchronous e-learning at university degrees”. En: *Computer Applications in Engin-*

Tabla 3.2: Proyectos de Innovación y Mejora Educativa (PIME) liderados por el MATI

Título	Coordinador	Curso(s)
Aprendizaje virtual síncrono mediante entornos colaborativos en un contexto multidisciplinar	Germán Moltó	2009-2010
Utilización de Vídeos Didácticos para la Mejora de los Procesos de Aprendizaje Autónomo Basados en la Resolución de Ejercicios	José F. Monserrat	2011-2012
Creación y distribución de vídeo-conceptos multidisciplinarios para el fomento del aprendizaje autónomo	Eva M. Mestre	2012-2014
Diseño de experiencias y creación de materiales para la implantación del Flipped Classroom	Inmaculada Fita	2014-2016
Experiencias Multi-Disciplinarias de Integración de Aula Inversa para el Desarrollo de Competencias Transversales	Germán Moltó	2016-2018
Estrategias y Herramientas de Analíticas del Aprendizaje para la Formación Multidisciplinar en Competencias Transversales	Germán Moltó	2019-2021

ring Education 24.6 (nov. de 2016), págs. 982-993. ISSN: 10613773. DOI: [10.1002/cae.21773](https://doi.org/10.1002/cae.21773).
URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cae.21773>

4. Germán Moltó y J. Damian Segrelles. “Panel web de gestión automatizada para actividades educativas no presenciales”. En: *XXII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2016)*. 2016, págs. 311-318. URL: https://www2.ual.es/jenui2016/files/actas%7B%5C_%7Djenui2016.pdf
5. Inmaculada C. Fita, José F. Monserrat y Germán Moltó. “Aula Inversa: una oportunidad para el desarrollo de competencias transversales”. En: *Libro de Actas IN-RED 2016 - II Congreso Nacional de Innovación Educativa y de Docencia en Red*. Valencia: Universitat Politècnica València, jul. de 2016. ISBN: 978-84-9048-541-5. DOI: [10.4995/INRED2016.2016.4364](https://doi.org/10.4995/INRED2016.2016.4364). URL: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/INRED/INRED2016/paper/view/4364>
6. Jose F. Monserrat, Germán Moltó y Damián Segrelles. “Experiencias de Cloud Computing en la Gestión de Entornos Virtuales Computacionales en la Enseñanza”. En: *23 Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET)*. 2015, págs. 1197-1210
7. I.C Fita, G. Molto, A. Fita, J. F. Monserrat y E Mestre. “On the introduction of Flipped teaching across multi-disciplinary fields”. En: *2015 International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*. IEEE, jun. de 2015, págs. 1-4. ISBN: 978-1-4799-1756-3. DOI: [10.1109/ITHET.2015.7217970](https://doi.org/10.1109/ITHET.2015.7217970). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7217970/>
8. J. Damià Segrelles y Germán Moltó. “Recopilación Automatizada de Evidencias de la Realización de Actividades Educativas en el Cloud”. En: *XXI Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2015)*. 2015, págs. 97-104

9. Eva M. Mestre-Mestre, Inma Fita, José F. Monserrat del Río y Germán Moltó. “Aula Inversa en Estudios Tecnológicos”. En: *III Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2015)*. 2015, págs. 329-334
10. Germán Moltó, Jose F. Monserrat, I.C. Fita y Ana M. Fita. “Experiencias Tecnológicas de Soporte al Blended Learning en un Contexto Multidisciplinar”. En: *Jornadas de Innovación Educativa y Docencia en Red (IN-RED 2014)*. 2014, págs. 54-68. URL: <http://riunet.upv.es/handle/10251/40404>
11. A. Martínez, N. Castilla, D. Segrelles y G. Moltó. “Creación de Entornos Virtuales para Fomentar el Trabajo en Grupo y la Racionalización de Recursos”. En: *XXII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET 2014)*. 2014, págs. 1-13
12. Germán Moltó. “Vídeo-ejercicios didácticos para el aprendizaje de la programación”. En: *Novatica 222* (2013), págs. 28-33. URL: <http://www2.ati.es/novatica/2013/222/Nv222-74.pdf>
13. Germán Moltó, Jose F. Monserrat, Inma Fita y Rubén Picó. “Las Vídeo-Lecciones como Herramienta para la Adquisición Autónoma de Competencias Específicas en la Ingeniería”. En: *Jornadas RED-U-Escuela Universitaria de Informática (EUI) UPM, 2013*. 2013
14. Germán Moltó. “Producción y Uso de Vídeo-Ejercicios Didácticos en Asignaturas de Programación”. En: *XVIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUi 2012)*. 2012, págs. 255-262. URL: https://aenui.org/actas/pdf/JENUi%7B%5C_%7D2012%7B%5C_%7D044.pdf
15. Germán Moltó, Ana Fita, Inma Fita, Eva M. Mestre, Jose F. Monserrat, Rubén Picó, Adrián Rodríguez-Burruezo y Juan Carlos Ruiz. “Integración de las Herramientas Poli[Reunión] y Politube en la Práctica Docente en la UPV”. En: *Jornadas de Innovación Educativa de la UPV 2012*. 2012, págs. 197-201
16. Germán Moltó. “Vídeo-Ejercicios para el Auto-Aprendizaje en Asignaturas de Programación”. En: *V Jornada de Innovación Docente ETSINF (JIDINF'12)*. 2012, pág. 1
17. Inma Fita, José F. Monserrat, Juan-Carlos Ruiz, Ana Fita, Eva M^a Mestre, Adrián Rodríguez-Burruezo, Rubén Picó y Germán Moltó. “Experiencias en el Uso de Vídeo-Ejercicios en la Docencia Universitaria”. En: *International Congress on University Teaching and Innovation (CIDUI 2012)*. 2012
18. Germán Moltó y Jose Francisco Monserrat. “Leveraging Distance Learning Of Engineering Skills Through Video Exercises”. En: *3rd International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN)*. 2011, págs. 864-871. URL: <https://library.iated.org/view/MOLTO2011LEV>

19. Germán Moltó, Ana M. Fita, José F. Monserrat, Adrián Rodríguez-Burruezo y Eva M. Mestre. “La Tutoría Virtual para la Autogestión del Aprendizaje en las Enseñanzas Técnicas”. En: *III Congreso Internacional UNIVEST*. 2011, págs. 1-13. URL: <http://hdl.handle.net/10256/3779>
20. Ana M. Fita, José F. Monserrat, Germán Moltó, Eva M. Mestre y Adrián Rodríguez-Burruezo. “Multidisciplinary Experiences at University Degrees in the Use of Synchronous E-learning”. En: *International Conference: The Future of Education*. 2011, págs. 121-127. URL: http://www.pixel-online.net/edu%7B%5C_%7Dfuture/common/download/Paper%7B%5C_%7Dpdf/ELE07-Burruezo.pdf
21. Germán Moltó, Inma Fita, Eva M. Mestre, Jose F. Monserrat, J. Carlos Ruiz y Rubén Picó. “Los Vídeo-Ejercicios Didácticos como Herramienta para el Fomento del Aprendizaje Autónomo”. En: *IV Jornada de Innovación Docente en Informática (JIDINF 2011)*. 2011
22. Jose F. Monserrat, Ana M. Fita, Germán Moltó, Eva M. Mestre y Adrián Rodríguez-Burruezo. “Experiencias de Uso de la Herramienta de Aprendizaje Virtual Síncrono Poli[Reunión]”. En: *Jornada de Innovación Docente ICE-UPV Julio 2011*. 2011, págs. 1-4. URL: http://www.dcomg.upv.es/%7B~%7Dchernan/JJ%7B%5C_%7DII%7B%5C_%7DICE%7B%5C_%7D2011/Articulos/M212.pdf
23. Juan Carlos Ruiz, Germán Moltó, J.F. Monserrat, Ana Fita, A Rodríguez, Eva Mestre y M.C. Poveda. “Aprendizaje Virtual Síncrono Mediante Entornos Colaborativos en un Contexto Multidisciplinar”. En: *III Jornada de Innovación Docente en Informática (JIDINF'10)*. 2010
24. Juan Carlos Ruiz, Ana María Fita, Eva María Mestre, José Francisco Monserrat, Germán Moltó, María del Carmen Poveda y Cristina Rodríguez. “Experiencias de motivación a los alumnos de enseñanza universitaria técnica y artística”. En: *Libro de Actas del XVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET)*. 2008, pág. 173
25. G Moltó, A Fita, E M Mestre, J F Monserrat, M C Poveda, C Rodríguez y J C Ruiz. “El Grupo Base como Herramienta de Formación Integral del Profesorado Universitario”. En: *Libro de Actas del V Congreso Iberoamericano de Docencia Universitaria*. 2008
26. Juan Carlos Ruiz, Ana María Fita, Eva María Mestre, José Francisco Monserrat, Germán Moltó, María del Carmen Poveda y Cristina Rodríguez. “Experiencias de motivación a los alumnos de enseñanza universitaria técnica y artística”. En: *Libro de Actas del XVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET)*. 2008, pág. 173

3.2.4. El Título de Experto Universitario en Formación Online (EUFOL)

El Título Propio de Experto Universitario en Formación Online (EUFOL) [189] Se ofrece desde el curso académico 2013/2014 con la finalidad de formar a los docentes para que programen desarrollen y evalúen actividades formativas a través de la red con ciertos criterios de calidad y eficacia. Fue cursado por el candidato durante el curso académico 2014/2015.

Incluye un programa con los siguientes objetivos:

- Aplicar métodos y técnicas pedagógicas llegar a programar, implementar y evaluar acciones formativas online.
- Desarrollar la programación didáctica y la tutorización de las acciones formativas online diseñadas previamente.

Se trata de 15 créditos ECTS distribuidos en 5 materias troncales y obligatorias, compuestas de las siguientes asignaturas:

- Materia 1. Bases pedagógicas y plataformas educativas de la formación online
 - Pedagogía universitaria y e-learning
 - Plataformas educativas como apoyo a la enseñanza
- Materia 2. Elaboración de materiales educativos
 - Elaboración de recursos multimedia para la docencia: los MOOC
 - Elaboración de recursos multimedia para la docencia: polimedias
 - Elaboración de recursos multimedia para la docencia: publicaciones docentes con la plantilla LaTeX de la UPV
 - Elaboración de recursos multimedia para la docencia: vídeos screencast
 - Estructura pedagógica de los materiales online creación y distribución de contenidos con el editor de PoliformaT
 - Generación y publicación de contenidos web
- Materia 3. Recursos tecnológicos de apoyo a la docencia
 - Búsqueda y gestión de información online
 - Herramientas en la nube para la docencia. Fuentes de información y difusión de resultados
 - Recursos tecnológicos de apoyo al aprendizaje ofertados por la UPV
 - Recursos tecnológicos de apoyo al aprendizaje: tabletas y tinta digital
 - Uso de dispositivos móviles y aplicaciones de Internet en el aula

- Materia 4. Seguimiento del trabajo individual y colaborativo a través de plataformas educativas
 - Aula 2.0: las TIC como elemento dinamizador de la interactividad
 - La tutoría y el seguimiento de trabajo del alumno
 - Las redes sociales al servicio de la docencia
 - Lo que saben nuestros entornos de aprendizaje sobre lo que hacen (o no) nuestros estudiantes
 - Los blogs al servicio de la docencia
 - Plataformas de trabajo colaborativo

- Materia 5. La evaluación de la formación online
 - Innovaciones y propuestas para la e-evaluación de competencias de la universidad
 - La evaluación formativa en entornos virtuales
 - Realización de exámenes a través de plataformas educativas: PoliformaT
 - Realización de tareas a través de plataformas educativas: PoliformaT

Este curso permitió al candidato reforzar su experiencia previa en planificación y estructuración de cursos online, plasmado en el Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services, descrito en la sección [3.3.5](#)

3.2.5. El Módulo de Iniciación a la Investigación Educativa (INED)

El Módulo de Iniciación a la Investigación Educativa (INED) [188], de 150 horas, se imparte desde el curso académico 2018/2019, edición cursada por el candidato, en la Universitat Politècnica de València y persigue ayudar al profesorado a que transite hacia una docencia profesional fundamentada en la experimentación y en un proceso sistemático para analizar La propia enseñanza y sus efectos en el aprendizaje de los estudiantes, basada en evidencias y resultados comunicados, para que sea conocidos y susceptibles de ser criticados por la comunidad académica [188].

El módulo tiene la siguiente estructura en tres fases que engloban las asignaturas:

- Fase I: Iniciación al Proceso de Investigación
 - Presentación INED. Experiencias en investigación (3 h)
 - Diseño de proyectos de investigación educativa en el aula
 - Los focos de la investigación en educación superior

- Fase II: Diseño del proyecto de investigación y publicación del diseño
 - Diseño de proyectos de investigación educativa en el aula: búsqueda de información

- Metodologías de análisis de datos: cuantitativa
 - Metodologías de análisis de datos: cualitativa
 - Diseño proyecto de investigación. Elaboración del protocolo para su publicación.
- Fase III: Desarrollo y difusión de la investigación
- Marco teórico: pautas para la revisión bibliográfica
 - Análisis de datos cualitativos
 - Análisis de datos cuantitativos
 - Redacción y difusión de los resultados de la investigación
 - Elaboración del artículo

Los participantes asumen un compromiso activo de participar en las actividades de formación. Se persigue el diseño de una investigación educativa o investigación-acción que sea finalmente plasmada en una contribución a una revista de contrastada calidad.

El candidato cursó este módulo durante el curso 2018/2019 diseñando una experiencia educativa relacionada con la autorregulación del aprendizaje que respondía a la siguiente pregunta de investigación: “¿Es posible determinar la relación existente entre el grado de realización de las actividades de una asignatura de Cloud Computing y el nivel de desempeño (calificación) del alumno para contextos de formación online?”. Los resultados se plasmaron en la siguiente contribución publicada en la revista *Sensors* (revista Q1 - 15/61 en *Instruments & Instrumentation*, factor de impacto de 3,031 en el año de publicación):

- Diana M. Naranjo, José R. Prieto, Germán Moltó y Amanda Calatrava. “A Visual Dashboard to Track Learning Analytics for Educational Cloud Computing”. En: *Sensors* 19.13 (jul. de 2019), pág. 2952. ISSN: 1424-8220. DOI: [10.3390/s19132952](https://doi.org/10.3390/s19132952). URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/13/2952>

La descripción de la experiencia está brevemente resumida en la sección 3.3.6.

3.3. Algunas Innovaciones Docentes del Candidato

A continuación se resumen algunas de las principales innovaciones docentes realizadas a lo largo de la trayectoria docente del candidato, que justifican la propuesta docente para la impartición de la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos así como las relacionadas con la asignatura Infraestructuras de Cloud Público.

El eje central de todas ellas consiste en la integración de herramientas tecnológicas con el objetivo de mejorar la práctica docente. En el caso en que las innovaciones docentes han dado lugar a una

publicación en un foro de innovación docente o artículo en revista de investigación, se procede a aportar un breve resumen de la misma extraído del propio artículo.

3.3.1. La Asignatura EDA-OCW

El consorcio OCW (OCW) es una colaboración entre instituciones de educación superior y organizaciones asociadas de todo el mundo para la creación de contenido educativo puesto a libre disposición de la comunidad educativa a través de Internet. La iniciativa OCW, originaria del Massachusetts Institute of Technology (MIT), aglutina a numerosas universidades tanto extranjeras como nacionales que persiguen la creación y publicación de contenido educativo digital organizado en la forma de cursos (asignaturas) y que incluyen material docente y de otro tipo, como por ejemplo de evaluación. El material publicado bajo la modalidad OCW es libre y accesible por cualquier persona a través de Internet.

La UPV se sumó a esta iniciativa de relevancia internacional, estableciendo relaciones de colaboración académica con las mejores universidades del mundo. Con esta iniciativa la UPV pretende demostrar sus potencialidades para atraer a los mejores estudiantes y formar profesionales con un nivel de excelencia reconocido.

Durante el curso académico 2009/2010 el equipo de profesores de la antigua asignatura Estructura de Datos y Algoritmos (EDA) realizó la versión OCW de la asignatura, disponible en [118]. Para ello, se puso a disposición de toda la comunidad todo el material de teoría y de prácticas.

Para cada tema de teoría se ofrece:

- Transparencias de teoría. Son los apuntes básicos de cada tema y constan de transparencias auto-explicativas de ayuda para el alumno.
- Ejercicios y soluciones. Batería de problemas y sus correspondientes soluciones.
- Tests de autoevaluación y su solución. Consta de una batería de preguntas cortas que ponen a prueba el aprendizaje del alumno.

Para cada una de las prácticas se ofrece el siguiente material:

- Boletín con el enunciado de la práctica. Incluye una somera descripción de los objetivos a perseguir en la práctica junto con una descripción pormenorizada de las acciones a realizar en la misma.
- Código fuente de partida. Incluye todo el conjunto de ficheros necesarios para poder realizar la práctica. Generalmente, se persigue completar algunos de los métodos de clases ya existentes o diseñar alguna nueva clase e integrarla en el paquete específico para la práctica.

Montículo Binario: Representación Contigua

► Para representar un **Árbol Binario Completo** sin ambigüedad, basta con almacenar el resultado de su Recorrido **Por Niveles** en un array

- Si la i -ésima componente del array representa el i -ésimo nodo de su recorrido por niveles:
 - Hijo Izquierdo** en 2^*i+1 , si $2^*i+1 < N$
 - Hijo Derecho** en 2^*i+2 , si $2^*i+2 < N$
 - Padre** en $(i-1)/2$, si $i \neq 0$

$\forall i : 0 < i < N : \text{elArray} [(i-1)/2] \leq \text{elArray} [i]$

13	21	16	24	31	19	68	65	26	32	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

03:34 09:42

Figura 3-5: Captura de pantalla de un polimedia sobre un Montículo Binario, realizado por el candidato.

- Código fuente de solución. Incluye las clases que conforma la práctica realizada. De esta manera, el alumno puede comparar su solución con la propuesta por el equipo de profesores.

Se redactó una guía explicativa acerca del contenido de la asignatura EDA-OCW, incluyendo información adicional como bibliografía recomendada, organización de la asignatura, mecanismos para evaluar los conceptos aprendidos, etc. De esta manera, se guía al alumno a través de la misma para que vaya completando los objetivos de cada uno de los temas a través del material suministrado.

El trabajo realizado en la preparación de la versión OCW de esta asignatura fue reconocido quedando finalistas en la III Edición de Premios ME – Universia 2009.

3.3.2. Creación de Polimedias

Polimedia es un sistema diseñado en la UPV para la creación de contenidos multimedia como apoyo a la docencia presencial [302]. Un Polimedia consiste en un vídeo didáctico con una duración no superior a los 10 minutos en la que el profesor, que aparece explícitamente en el vídeo, presenta un conjunto de transparencias sobre un tema concreto. Estos vídeos están accesibles a través de Internet para la comunidad universitaria y existe la posibilidad de ofrecer acceso abierto a los mismos, para poder acceder a ellos desde cualquier punto de Internet.

La producción de los vídeos implica que el profesor debe acudir al estudio donde se realiza la grabación de la presentación combinada con la presencia física del profesor. La Figura 3-5 muestra un ejemplo de captura de pantalla de un Polimedia, donde el profesor explica la forma de representar un montículo binario.

Este tipo de vídeos didácticos tienen un grado de aceptación muy alto por parte de los estudiantes,

ya que sirven como refuerzo de las clases teóricas. También es posible utilizarlos a modo de resumen de cada tema, destacando y resumiendo en 10 minutos las ideas clave, fundamentales de cada tema y que todo alumno debería conocer.

A continuación se relacionan algunos Polimedias producidos por el candidato para la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos:

- [Genericidad en el Lenguaje de Programación Java](#)
- [El Árbol Binario de Búsqueda](#)
- [El Montículo Binario](#)
- [La Tabla Hash](#)
- [Estructuras de Datos Lineales: Pila, Cola y Lista con Punto de Interés](#)
- [Listas Enlazadas Genéricas en Java](#)
- [Gestión de excepciones en Java](#)
- [Complejidad Temporal Asintótica para Métodos Recursivos](#)

Desde 2011, la UPV llegó a un acuerdo con YouTube [392] e iTunes U [198], de manera que estos vídeos están accesibles desde ambas plataformas. Esta iniciativa supone aumentar la visibilidad de este tipo iniciativas y permite a otros estudiantes utilizar de forma libre este material como parte de su proceso de formación.

3.3.3. Vídeo-Ejercicios

Los vídeo-ejercicios orientados al aprendizaje consisten en una combinación de audio y vídeo en el que un fondo blanco se utiliza a modo de lienzo donde el profesor propone y resuelve el problema como si de una hoja en blanco se tratara, tal y como si escribiera en papel. El vídeo captura el proceso de resolución del problema mientras el profesor crea diagramas, dibuja ecuaciones o perfila alguna idea para aclarar la explicación. El vídeo está acompañado de una narración por parte del profesor en la que explica el proceso de resolución. Por lo tanto, estos vídeo-ejercicios son la versión digital del proceso de resolución de problemas tradicional usando bolígrafo y papel. Adaptar los conceptos ya conocidos a la era digital permite producir nuevos materiales de aprendizaje que no provocan un descarte de los procedimientos ya conocidos por los estudiantes.

La creación de estos vídeo-ejercicios requieren diferentes componentes hardware y software. El equipamiento hardware consta de un ordenador y, preferiblemente, una tableta digitalizadora, que hace la función de ratón, y que permite al profesor dibujar de una manera análoga a un bolígrafo tradicional. El audio se graba con ayuda de un micrófono de cabeza (headset) para minimizar el

ruido ambiente. Con respecto a los requisitos software, se precisan los siguientes componentes. En primer lugar, un software de captura de pantalla que permite grabar las acciones realizadas por el profesor en el ordenador, junto con el audio capturado del micrófono. Además, se utiliza un programa de edición de vídeo para realizar el post-proceso del mismo y añadir títulos, recortar el vídeo, etc. A continuación, se requiere codificar el vídeo a un formato accesible para ser distribuido por Internet. Finalmente, se requiere una plataforma online de distribución de vídeo para poder acceder a los mismos mediante Internet. Es importante que los vídeos no superen los 5-10 minutos para poder capturar y mantener la atención del estudiante. En este sentido, la Figura 3-6 muestra un ejemplo de vídeo-ejercicio donde se desarrolla la traza del recorrido en post-orden de un árbol binario de búsqueda.

The screenshot displays a binary search tree and its post-order traversal trace. The tree structure is as follows:

```

graph TD
    5((5)) --- 3((3))
    5 --- 8((8))
    3 --- 1((1))
    3 --- 4((4))
    4 --- 6((6))
    4 --- 2((2))
    8 --- 7((7))
  
```

Handwritten notes on the left side of the screen:

- PO: 1 4 3 7 8 5
- orden en el que originan los llamados (order in which the calls originate)
- orden en el que finalizan los llamados (order in which the calls finish)

The trace shows the execution of the `toStringPostOrden()` function for each node, with the return value being passed back to the caller:

- `toStringPostOrden(5)`: `res = ""`, `res += "143"`, `res += "78"`, `return "143785"`
- `toStringPostOrden(3)`: `res = ""`, `res += "1"`, `res += "4"`, `return "143"`
- `toStringPostOrden(1)`: `res = ""`, `res += "1"`, `return "1"`
- `toStringPostOrden(4)`: `res = ""`, `res += "6"`, `res += "2"`, `return "4"`
- `toStringPostOrden(8)`: `res = ""`, `res += "7"`, `return "8"`

The code on the right is as follows:

```

public String toStringPostOrden(){
    if ( this.raiz != null ) return toStringPostOrden(this.raiz);
    else return "";
}

protected String toStringPostOrden(NodoABB<E> actual){
    String res = "";
    if ( actual.izq != null ) res += toStringPostOrden(actual.izq);
    if ( actual.der != null ) res += toStringPostOrden(actual.der);
    res += actual.dato.toString()+"\n";
    return res;
}
  
```

Figura 3-6: Captura de pantalla de un vídeo-ejercicio.

Los vídeo-ejercicios tienen varias ventajas. En primero lugar, para aquellos alumnos que precisan aprendizaje a distancia, o incluso para aquellos que perdieron alguna clase, el tiempo requerido para volver a coger el hilo se reduce significativamente ya que los estudiantes pueden visualizar los vídeos para desarrollar las habilidades requeridas. Además, los estudiantes pueden acceder a estas grabaciones bajo demanda a través de Internet. Por lo tanto, pueden visualizarlos repetidamente hasta comprenderlos completamente. Además, al poder moverse de forma asíncrona por el vídeo, el estudiante puede centrarse en aspectos precisos del proceso de resolución que puedan entrañar más dificultad.

El acceso mediante Internet permite el acceso a los materiales a cualquier hora desde casi cualquier dispositivo. La mayor parte de plataformas de distribución de vídeo pueden ser accedidas desde múltiples dispositivos como computadores, netbooks, tablets y teléfonos móviles. Dado que el estu-

diante tiene acceso al material de aprendizaje, puede tener un mayor sentido de la responsabilidad sobre su propio proceso de aprendizaje.

Con respecto a los profesores, la principal ventaja de los vídeo-ejercicios radica en evitar repetir la resolución del mismo ejercicio varias veces para resolver problemas comunes, especialmente durante las tutorías, donde el profesor a menudo resuelve los mismos problemas para diferentes alumnos. La principal desventaja de estas técnicas supone el esfuerzo adicional requerido para acostumbrarse a las herramientas, tanto hardware como software. El uso de una tableta digital requiere cierto tiempo de aprendizaje, al igual que las utilidades de manipulación de vídeo. Sin embargo, tras un cierto entrenamiento, la generación de vídeos se reveló tan simple como resolver un problema en una hoja de papel. El tiempo invertido en el aprendizaje de la técnica comparado con la pérdida de tiempo que supone resolver el mismo ejercicio varias veces justifica sin ninguna duda el esfuerzo inicial. Además, el conjunto de vídeos generados (o un subconjunto de ellos) puede ser reutilizado en diferentes cursos académicos. Aquellos vídeos que reciban una mayor calificación por parte de los alumnos deben ser considerados como material relevante a ser ofrecido a los futuros estudiantes. Finalmente, es importante resaltar que el hecho de habilitar el acceso a los video-ejercicios a través de Internet permite su utilización para estudiantes de otras partes del mundo. Por lo tanto, si el profesor así lo decide, los vídeos generados pueden ser liberados para la comunidad académica internacional, de manera que otras personas se beneficien del trabajo realizado.

A continuación se relacionan algunos video-ejercicios producidos por el candidato para la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos:

- [Traza del Cálculo de la Talla en una Pila \(Recursivo\)](#)
- [Traza de Inserción Recursiva en un Arbol Binario de Búsqueda](#)
- [Traza de Recorrido PostOrden en un Árbol Binario de Búsqueda](#)
- [Traza de Búsqueda Recursiva en un Montículo Binario Minimal](#)

Los resultados de esta innovación docente fueron publicados en el siguiente artículo:

- G. Moltó and J.F. Monserrat, Leveraging Distance Learning of Engineering Skills Through Video Exercises, in 3rd International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN), 2011, pp. 864-871.

3.3.4. El Sistema de VideoApuntes

Relacionado con el punto anterior, el Área de Sistemas de la Información y las Comunicaciones (ASIC) de la upv pone a disposición del personal docente el servicio VideoApuntes que permite la grabación automática en vídeo de las clases presenciales. Este servicio permite programar anticipadamente la grabación de las clases, revisar la grabación y decidir si se hace publica o no a los

Hola Germán Moltó Martínez [Cerrar sesión](#)

Servicio de VideoApuntes

Listado de grabaciones: Germán Moltó Martínez

Curso académico: 2021-2022

#	Fecha	Aula	Título	Asignatura	Estado	Acciones
1	30/11/2021 16:01	[DSIC - 1F] Aula 0S03	ICP (DSIC)	DOC_34576_2021	Grabación fallida	
2	02/12/2021 08:01	[ETSINF - 1E] AULA 1E 2.3	IPD (ETSINF)	GRA_14016_2021	Grabado correctamente	
3	02/12/2021 10:31	[ETSINF - 1G] AULA 1G 1.6 (Sala Covid)	IPD (ETSINF)	GRA_14016_2021	Grabado correctamente	
4	09/12/2021 08:01	[ETSINF - 1E] AULA 1E 2.3	IPD (ETSINF)	GRA_14016_2021	Grabado correctamente	
5	09/12/2021 10:31	[ETSINF - 1G] AULA 1G 1.6 (Sala Covid)	IPD (ETSINF)	GRA_14016_2021	Grabado correctamente	
6	13/12/2021 08:31	[ETSINF - 1E] AULA 1E 2.3	IPD (ETSINF)	GRA_14016_2021	Grabado correctamente	
7	14/12/2021 16:01	[DSIC - 1F] Aula 0S03	ICP (DSIC)	DOC_34576_2021	Grabación fallida	
8	16/12/2021 08:01	[ETSINF - 1E] AULA 1E 2.3	IPD (ETSINF)	GRA_14016_2021	Grabado correctamente	
9	16/12/2021 10:31	[ETSINF - 1G] AULA 1G 1.6 (Sala Covid)	IPD (ETSINF)	GRA_14016_2021	Grabado correctamente	
10	20/12/2021 08:31	[ETSINF - 1E] AULA 1E 2.3	IPD (ETSINF)	GRA_14016_2021	Grabado correctamente	
11	21/12/2021 16:01	[DSIC - 1F] Aula 0S03	ICP (DSIC)	DOC_34576_2021	Grabación fallida	
12	11/01/2022 16:01	[DSIC - 1F] Aula 0S03	ICP (DSIC)	DOC_34576_2021	Pendiente de grabar	
13	18/01/2022 16:01	[DSIC - 1F] Aula 0S03	ICP (DSIC)	DOC_34576_2021	Pendiente de grabar	

[Añadir una grabación](#)

Más información: [Polimedia](#) [VideoApuntes](#) [Polittube](#)

Idioma: [Español](#) [Valencià\(*\)](#) [English\(*\)](#)
(*) En proceso de traducción

Universitat Politècnica de València © 2014. polim@upvnet.upv.es

Figura 3-7: Listado de grabaciones de VideoApuntes.

estudiantes. Quien solicita este servicio tiene acceso a distintas herramientas de edición de video para eliminar algunas secciones o introducir descansos.

La Figura 3-7 muestra una captura de pantalla de la interfaz del sistema de VideoApuntes en la que se muestran las diferentes grabaciones que se han realizado para cada asignatura, indicando el aula dónde se ha realizado y el estado de la grabación, que puede ser fallido en caso de algún error del sistema de grabación.

La Figura 3-8 muestra un ejemplo de VideoApunte. Se observa que se muestra de forma simultánea la presentación y la pizarra, pudiendo el alumno elegir qué parte recibe más espacio en la pantalla en cualquier momento.

La principal ventaja del sistema de VideoApuntes frente a otras técnicas como los vídeo-ejercicios mencionados anteriormente, es que el instructor no debe realizar ningún esfuerzo por su parte, salvo que quiera editar ciertas secciones del vídeo (para eliminar pausas, por ejemplo). El candidato tiene activada la política de grabación de clases, sobrescribiendo la política por defecto de la ERT (Entidad Responsable de Título), que no graba por defecto las clases.

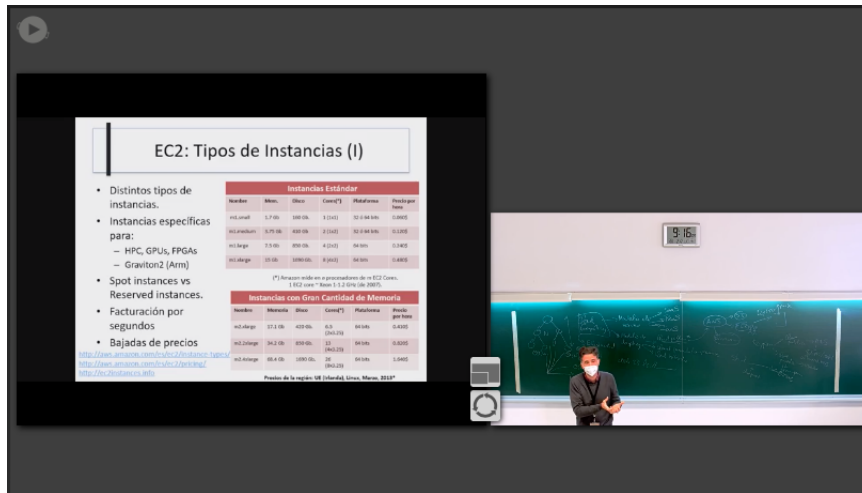


Figura 3-8: Listado de grabaciones de VideoApuntes.

3.3.5. El Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services (AWS)

Adaptado y actualizado de “G. Moltó and M. Caballer, “On Using the Cloud to Support Online Courses,” in 2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) [253]”

La formación online ([205]) ha florecido en los últimos años con los avances en las redes de comunicación y el acceso ubicuo a Internet. Con el surgimiento de plataformas educativas como Coursera, edX o Udacity, profesores pioneros comenzaron a crear los llamados MOOCs (*Massive Online Open Courses*) que son cursados por miles de estudiantes de todo el mundo a través de Internet. De hecho, hoy en día existe numerosas herramientas y servicios para facilitar la creación de material educativo de acceso online. Por ello, es más fácil que nunca producir y gestionar cursos online de éxito que puedan ser cursados por estudiantes de cualquier parte del mundo ([339]).

Típicamente, los cursos online incluyen vídeo-lecciones, documentación, tests de opción múltiple y plataformas de comunicación y colaboración para conseguir una experiencia de aprendizaje remoto de calidad para el alumno. Los cursos relacionados con ingenierías suele requerir además la realización de prácticas de laboratorios donde los alumnos desarrollen las destrezas apropiadas mediante las herramientas usadas en sus correspondientes áreas de trabajo. Esto ha sido abordado en el pasado mediante diferentes aproximaciones que van desde el uso de i) simuladores, como por ejemplo los trabajos ([175]) y ([141]); ii) laboratorios virtuales (ver por ejemplo ([208]),([9])); iii) paquetes software para ser instalados, como es el caso de ([53]) y, iv) máquinas virtuales para ser descargadas por el alumno, como por ejemplo en ([160]) y ([315]).

Cloud Computing y, especialmente, los servicios en la nube pueden ayudar en gran medida a soportar las actividades que surgen en la gestión de un curso online. Uno de los modelos de servicio

del Cloud (ver ([231]) para más información) es SaaS (*Software as a Service*) donde se acceden a aplicaciones en línea a través de un navegador web, como es el caso de Google Apps. Otro modelo de servicio es IaaS (*Infrastructure as a Service*), en el que recursos de cómputo y almacenamiento se pueden aprovisionar de un proveedor de Cloud público mediante un modelo de pago por uso. Este artículo aboga por usar ambos modelos para gestionar eficientemente cursos online.

Concretamente, esta sección describe la experiencia del autor en producir y gestionar el *Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services*, un curso de formación permanente ofertado desde el Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (I3M) de la Universitat Politècnica de València (UPV).

Este curso se ofertó por primera vez en Julio de 2013 y en menos de un año se realizaron 7 ediciones del mismo (una edición cada 1-2 meses aproximadamente), con más de 150 alumnos formados (20-30 alumnos por edición) de más de siete países diferentes (principalmente de España y Latinoamérica), obteniendo una satisfacción promedio de 9.2 sobre 10. Las estadísticas recopiladas en 2022 indican que el curso ha formado a más de 1045 alumnos y sigue manteniendo niveles equivalentes de satisfacción. Además, el curso ofrece prácticas sobre laboratorios remotos, gestionados por el instructor, al que los alumnos se conectan en remoto para realizar actividades prácticas. Estos recursos se aprovisionan y configuran automáticamente sobre un proveedor Cloud usando herramientas desarrolladas en la UPV y puestas a disposición de la comunidad académica. Esto ha supuesto un reto técnico para automatizar al máximo la gestión del curso con el objetivo de reducir la carga del instructor sin menoscabo de la experiencia de aprendizaje del alumno. Por ello, este artículo resume la aproximación, herramientas, metodología y lecciones aprendidas en la gestión de un curso online de estas características.

El objetivo de esta innovación docente llevada a cabo es analizar las ventajas de usar herramientas y servicios Cloud para la gestión eficiente de cursos online, especialmente aquellos que involucren la realización de actividades prácticas sobre un laboratorio que requiera recursos de cómputo. Se aborda en base a la experiencia de incorporación de estas técnicas de forma aplicada en el Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services durante el curso 2013/2014.

Por lo tanto, son objetivos de esta innovación:

- Introducir una arquitectura de servicios y componentes basada en servicios de la UPV, complementada con servicios externos para aquella funcionalidad necesaria no cubierta por dichos servicios, con el propósito de gestionar eficientemente un curso online.
- Presentar las herramientas y servicios Cloud útiles para gestionar un curso online.
- Describir estrategias y técnicas para la gestión eficiente de un curso online.

Las experiencias descritas son perfectamente aplicables a otros cursos y/o actividades educativas similares. A continuación se describe brevemente el curso, se detalla la arquitectura de servicios

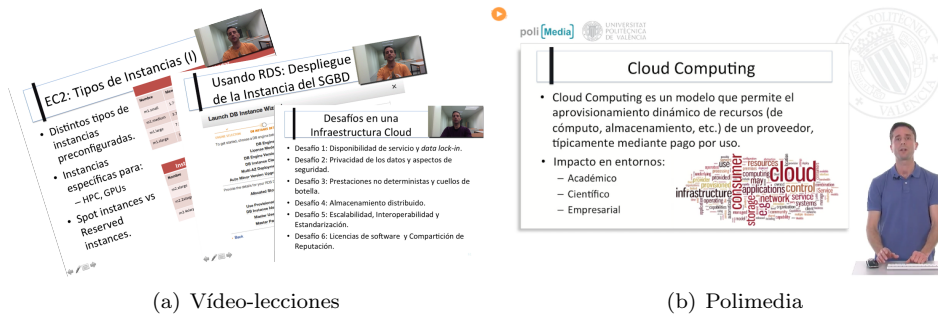


Figura 3-9: Aspecto de las vídeo-lecciones y del vídeo Polimedia de presentación.

Cloud utilizados, en la que se enmarca la principal innovación docente y, finalmente, se presentan estrategias para la gestión eficiente de este tipo de cursos.

Se trata de un curso online de 60 horas, asumiendo una carga de trabajo de 1,2 horas por día lectivo, y que trata sobre Cloud Computing con un foco especial en Amazon Web Services ([24]), el proveedor Cloud pionero y actual líder. Se trata de un curso muy práctico, con laboratorios remotos de prácticas, que ayuda a los alumnos a conseguir las destrezas necesarias para dominar los servicios de AWS necesarios para crear arquitecturas de aplicaciones escalables para la nube. Es posible información adicional sobre el curso en su página web².

El curso está estructurado en siete módulos que, a su vez, se dividen en una o más unidades. Cada unidad incluye una guía de aprendizaje del alumno que vertebra todos los recursos disponibles en el curso, resumidos a continuación:

- Vídeo-lecciones. Vídeos de unos 10 minutos en los que aparece el instructor describiendo las ideas principales sobre un determinado tema, con la ayuda de un conjunto de transparencias, tal y como se muestra en la Figura 3-9.a.
- Documentación. Incluye guías (o boletines) para los laboratorios remotos, artículos académicos, actividades propuestas, documentos de referencia, estándares, etc.
- Recursos online. Incluyen el análisis de *whitepapers*, consultar información en las páginas web de los proveedores, evaluar herramientas software, etc.
- Laboratorios remotos. Los estudiantes se conectan a las máquinas remotas que están configuradas con las credenciales de acceso y las aplicaciones necesarias para realizar las prácticas sobre los servicios de AWS.
- Tests de auto-evaluación. Disponibles tras cada módulo para que el alumno tenga un indicador sobre su nivel de conocimientos.

²<https://www.grycap.upv.es/cursocloudaws>

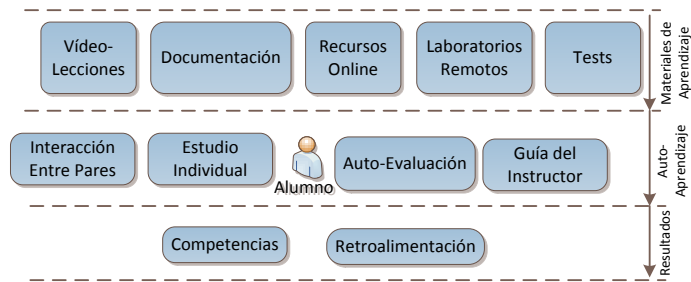


Figura 3-10: Vista esquemática de un estudiante del curso online.

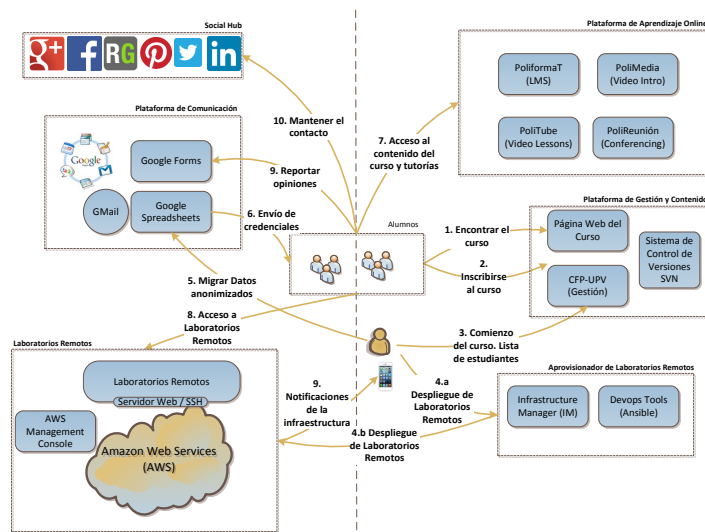


Figura 3-11: Servicios involucrados en la gestión del curso online.

- Plataforma de colaboración. Los estudiantes interactúan con otros alumnos y con el profesor por medio de herramientas síncronas (chat, vídeo-conferencia) y asíncronas (foro, mensajes).

Esta información se resume en la Figura 3-10 que proporciona una visión general de un estudiante en el contexto del curso online. El estudiante recibe acceso a todos los materiales de aprendizaje desde el inicio del curso. Trabaja de forma autónoma e interactiva con otros alumnos y con el instructor para conseguir los resultados de aprendizaje esperados del curso. También cumplimenta de forma opcional cuestionarios online para obtener retroalimentación sobre los principales aspectos del curso (vídeo-lecciones, guías prácticas, etc.). Esto permite mejorar progresivamente el material con todas las sugerencias de los alumnos para incrementar iterativamente la calidad del curso en base a los intereses de los propios alumnos.

La Figura 3-11 describe los principales servicios, actores y componentes involucrados en el curso online. Los servicios proporcionados y/o disponibles desde la UPV están situados a la derecha de la

figura mientras que los servicios de terceros se muestran en la parte izquierda de la figura.

Este es el flujo de trabajo que sigue un alumno típicamente. En primer lugar, los estudiantes acceden a la página web del curso para recopilar la información sobre el mismo (paso 1). Aquellos que desean inscribirse (paso 2) lo hacen a través del Centro de Formación Permanente (CFP) de la UPV. Una vez finalizado el periodo de inscripción y conocido el listado tentativo de alumnos (paso 3), el instructor despliega una o varias instancias de Laboratorios Remotos, que son máquinas virtuales desplegadas sobre AWS y configuradas dinámicamente para incluir todas las aplicaciones y configuración necesaria para realizar las actividades prácticas (paso 4). Las notificaciones sobre el estado de los Laboratorios Remotos se envían a lo largo del curso al teléfono móvil del instructor para asegurar alta disponibilidad para los estudiantes.

A continuación se migran datos parcialmente anonimizados de los estudiantes a una hoja de cálculo privada de Google Spreadsheets programada por el instructor para permitir el envío de mensajes personalizados e individualizados de forma masiva a los alumnos, funcionalidad que no soporta actualmente PoliformaT (paso 5). Esto permite mandar con un solo click mensajes periódicos personalizados para animar a los alumnos a realizar las actividades propuestas en el curso. Por ejemplo, las credenciales de acceso a los laboratorios remotos se envían por medio de estos mensajes personalizados (paso 6). Los estudiantes pueden acceder a la Plataforma de Aprendizaje Online y los Laboratorios Remotos para progresar a través del material educativo del curso (pasos 7 y 8). Después de cada módulo, se anima a los alumnos a valorar la calidad del mismo (paso 9), en función del nivel técnico, la calidad de las vídeo-lecciones y el grado de utilidad del módulo para el alumno. Para ello se utilizan cuestiones online de Google Forms con preguntas basadas en una escala. Los estudiantes pueden suscribirse a diferentes servicios online para recibir avisos sobre futuras convocatorias de cursos y estar actualizados con noticias y avisos relacionados a través del Social Hub (paso 10).

Las siguientes subsecciones describen brevemente cada componente para detallar las tecnologías empleadas, de manera que otros instructores puedan replicar las metodologías descritas en sus propios cursos online, si lo consideran apropiado.

Plataforma de Gestión y Contenidos

Esta involucra la creación de la página web del curso, desarrollada con Bootstrap, un framework para desarrollo web que permite adaptar automáticamente el contenido de la página para que se muestre correctamente tanto en ordenadores como en dispositivos móviles. Este es un aspecto importante considerando el incremento del acceso a la web a través de dispositivos móviles ([15]). La web incluye una capa social proporcionada por AddThis, una plataforma de compartición de información social. Esto permite a los visitantes publicitar el curso en diferentes redes sociales de forma cómoda. Además, es conveniente utilizar técnicas básicas de posicionamiento en buscadores (SEO - Search Engine Optimization) ([216]) para aparecer en posiciones relevantes de resultados de búsqueda de Google (y otros).

También se incluye un Sistema de Control de Versiones implementado con un repositorio Subversion (SVN) en el que el profesor almacena los documentos del curso, el código fuente de la página y las recetas de aprovisionamiento automático de los laboratorios remotos. Este repositorio se usa para desplegar fácilmente el contenido del curso no solo en PoliformaT sino también dentro de los laboratorios remotos de forma automatizada y ofrecida a través de un servidor web Apache. Esto permite ofrecer un acceso rápido al material para los alumnos que se matriculan una vez comenzado el curso (entre un 15-20 % de los alumnos de cada edición), para que no tengan que esperar a que el CFP les mande las credenciales.

Vídeo-lecciones

Las vídeo-lecciones se grabaron usando ScreenFlow con un portátil MacBook Pro usando la cámara integrada FaceTime y el micrófono interno en una sala silenciosa. Esto permite al instructor tener un control absoluto sobre el proceso de producción de los vídeos. Se usan plantillas de PowerPoint (tal y como se ve en la Figura 3-9.a) para homogeneizar el aspecto de las vídeo-lecciones e incorporar transparencias de título y resultados de aprendizaje, así como conclusiones antes y después de cada vídeo-lección, respectivamente. Un software alternativo para plataformas Windows podría ser Camtasia.

Plataforma de Aprendizaje Online

La plataforma de aprendizaje online usa los siguientes servicios:

- PoliformaT. Es el LMS (Learning Management System) corporativo de la UPV, basado en Sakai. Se utiliza la siguiente funcionalidad: i) Foros y Chat, donde los estudiantes plantean preguntas a ser contestadas por el profesor y por otros alumnos. Se puede gamificar ([112]) si se considera necesario para aumentar la participación ofreciendo como recompensa el acceso a contenido adicional del curso; ii) Tests de auto-evaluación, que se generan con preguntas extraídas aleatoriamente de baterías de preguntas y que el alumno realiza tras cada modulo, siendo corregidas automáticamente; iii) Recursos, que contiene una página web que indexa todos los contenidos alojados en esta sección. Para solventar la escasa usabilidad del editor disponible en PoliformaT, el contenido del curso se estructura en un documento HTML (página web) que indexa todos los recursos almacenados en diferentes carpetas (guías, boletines, etc.). Este material se sube a la sección de Recursos a través de una conexión con el protocolo WebDAV usando la herramienta CyberDuck (para macOS). Esto permite subir fácilmente el contenido del curso a PoliformaT de una sola vez, así como desacoplarlo de dicho LMS y desplegarlo en otra plataforma. Otros ejemplos de plataformas para desplegar cursos online son Udemy y Open edX.
- Polimedia. Es un servicio proporcionado por la UPV que permite la creación de vídeos con acabado profesional grabados en un estudio especializado donde aparece el instructor presentando unas transparencias. Sin embargo, la principal desventaja de esta alternativa es que el profesor

no puede realizar ningún post-proceso ni modificar el vídeo. El vídeo debe ser grabado de una sola vez o repetir la grabación en caso de fallo. Es útil para crear un vídeo de bienvenida de presentación del curso en una página web (tal y como se muestra en la Figura 3-9.b).

- MediaUPV. Se trata de una plataforma de difusión de vídeos online proporcionada por la UPV donde las vídeo-lecciones se envían por streaming a los alumnos. Permite recopilar estadísticas de acceso a los vídeos.
- Polireunión. Basada en Adobe Connect, esta es una plataforma de vídeo-conferencia web que permite a los profesores y estudiantes compartir conversaciones de video y de audio, documentos, pizarras, preguntas de opción múltiple, etc. Esta herramienta se utiliza especialmente para aquellas consultas que no puedan resolverse por e-mail. Únicamente es necesario un navegador web con soporte para Adobe Flash. También existen clientes para plataformas iOS (iPad y iPhone) aunque la funcionalidad es más reducida.

Laboratorios Remotos y su Despliegue

Los Laboratorios Remotos consisten en una o más máquinas virtuales que proporcionan un entorno pre-configurado para que los estudiantes puedan utilizar los servicios de AWS. Esto contrasta con la tendencia actual en cursos online y MOOCs de proporcionar un máquina virtual descargable para que los estudiantes la ejecuten en sus portátiles, teniendo que lidiar con la instalación y potenciales incompatibilidades de las mismas. Por el contrario, no es necesaria ninguna configuración especial para acceder a los laboratorios remotos del curso, más allá de un cliente SSH y un navegador web.

Para ello, cada Laboratorio Remoto se despliega y configura automáticamente para proporcionar: i) un conjunto de cuentas de usuario para acceder mediante SSH ; ii) la herramienta AWS CLI necesaria para interactuar con AWS y iii) una copia del material del curso accesible mediante un servidor web como mecanismo de respaldo para tener acceso al material en caso de fallo en PoliformaT o cuando el CFP todavía no ha mandado las credenciales de acceso al alumno. Esto permite que los alumnos tenga acceso rápido al material en cuanto formalizan la matrícula, sin tener que esperar unas cuentas horas hasta que el CFP entrega las credenciales al alumno y autoriza su acceso al sitio PoliformaT.

El Aprovevisionador de Laboratorios Remotos ([254]) es un sistema que permite desplegar infraestructuras virtuales complejas sobre proveedores Cloud, como es el caso de Amazon Web Services. El instructor proporciona la descripción de los laboratorios remotos indicando: i) los requisitos hardware necesarios (memoria RAM, arquitectura de CPU, etc.); ii) el sistema operativo, por ejemplo GNU/Linux Ubuntu 22.04 y iii) la configuración, que incluye cuentas de usuario, paquetes software y ficheros de configuración necesarios para que los alumnos se encuentren el entorno de trabajo listo para ser usado.

El despliegue de los Laboratorios Remotos se realiza usando la herramienta Infrastructure Ma-

nager (IM)³ una herramienta de código abierto, accesible también como servicio Cloud y puesta a disposición de la comunidad académica, que permite el despliegue de infraestructuras en múltiples infraestructuras Cloud. Esta herramienta puede ser reutilizada por otros docentes con requisitos similares. Es posible encontrar más información sobre esta herramienta en ([74]).

Plataforma de Comunicación

La Plataforma de Comunicación permite difundir mensajes personalizados a los estudiantes así como recopilar las opiniones de los alumnos sobre cada módulo del curso. Está basada en las herramientas gratuitas de Google Apps y consiste en una hoja de cálculo de Google Spreadsheets que recopila la asignación de credenciales y dirección IP del laboratorio remoto para cada alumno. Incluye una serie de scripts, programados por el autor, para el envío de e-mails en base a dicha información. Por ejemplo, al inicio del curso se envía un correo de bienvenida personalizado a cada alumno para incluir sus credenciales de acceso. Esto se realiza con un mínimo esfuerzo por parte del instructor, que únicamente debe importar el nombre y correo de los alumnos a dicha hoja privada y los mensajes se mandan con un solo click. También existe un calendario público creado con Google Calendar e integrado en la página web con una planificación de las futuras ediciones del mismo.

Tras cada módulo se anima al alumno a que valore la calidad del mismo en base a las vídeo-lecciones, la calidad técnica y su percepción del grado de utilidad de dicho módulo para el alumno. Esta información se manda por medio de formularios en línea creados con Google Forms para describir de forma cuantitativa la calidad de curso. También hay campos de respuesta abierta con sugerencias de mejora que puede realizar el alumno.

En los cursos online, cada duda surgida al alumno que no puede ser resuelta desde el material educativo puede convertirse en una pregunta al instructor, necesitando así su tiempo y atención. Para audiencias relativamente grandes esto puede ser una fuente de stress. Una aproximación efectiva es la actualización del material ante cualquier duda del alumno, con el objetivo de que ningún alumno se enfrente al mismo problema. Combinado con una sección de Preguntas Más Frecuentes, esto permite refinar de forma iterativa el material del curso de manera que converja iterativamente a un número despreciable de dudas. El objetivo es que el alumno se deslice por el material educativo con el mínimo número de escollos posible para ir adquiriendo las competencias definidas por el curso. Para ello, el material educativo, especialmente el de las prácticas, debe ser capaz de anticiparse a los problemas de los alumnos e incluir soluciones a casuística diversa para que el alumno pueda resolver de forma autónoma los problemas a los que se enfrente. De esta manera, el alumno no ralentiza su aprendizaje por unas dudas y el instructor no dedica tiempo a la resolución de las mismas. Una situación ideal para alumnos e instructores.

En cualquier caso, para un curso con carácter técnico y práctico es importante responder rápidamente a las cuestiones, dado que el alumno puede estar atascado en una parte práctica que

³Infrastructure Manager - <https://www.grycap.upv.es/im>

involucra el uso de recursos computacionales reales (con un coste asociado para el curso). Cuanto más rápido y preciso se responda al alumno más alta será la tasa de satisfacción del alumno, como se demostrará más adelante en la sección de discusión. Para cursos donde los estudiantes se encuentran en diferentes zonas horarias esto supone un reto. La mayor de países de habla hispana están entre 4 y 7 husos horarios de diferencia respecto a España, por lo que es necesario utilizar un sistema notificación apropiada para alertar al instructor sobre las dudas de los alumnos.

Aunque existen sistemas de mensajería populares como WhatsApp, esto requiere dar el número de teléfono móvil del instructor a los alumnos, lo que puede derivar rápidamente en un abuso, además de requerir que los alumnos se instalen una aplicación no gratuita en sus dispositivos. Por el contrario, en nuestro curso hemos usado los filtros en el servidor de GMail de manera que aquellos mensajes que incluyan una determinada etiqueta en el asunto del mensaje ([CursoCloudAWS] en nuestro caso) se reenvíen automáticamente a una cuenta de correo de Boxcar 2⁴, para convertirlo en una notificación *push* entregada inmediatamente al móvil del instructor. Esto permite recibir una alerta en el móvil en cuestión 1-2 segundos tras el mensaje del alumno.

Social Hub

El Centro Social (o Social Hub) permite mantener el vínculo con antiguos alumnos así como servir de gancho para futuros estudiantes. Esto incluye desde servicios sociales, como Facebook, Twitter, LinkedIn o Google Plus a servicios académicos como Mendeley y ResearchGate, en el que se comparten anuncios, noticias, trabajos y artículos relacionados con el contenido del curso. Se han creado páginas específicas para el curso tanto en Facebook como en Google Plus para que los alumnos puedan indicar que les gusta el curso y darlo a conocer a sus contactos.

Monitorización y Seguimiento

La monitorización del estado de los laboratorios remotos es esencial para ofrecer alta disponibilidad a los alumnos. Para ello se utiliza un esquema de monitorización basado en Amazon SNS que permite definir una reglas que alertan mediante un mensaje de correo redirigido al teléfono del instructor. Esto permite alertar cuando el entorno deja de ser accesible o bien si el consumo de CPU supera el 70% durante al menos dos periodos de 5 minutos. Esto último podría ser un indicador de que hay muchos usuarios trabajando de forma concurrente, lo que puede solucionarse desplegando un nuevo laboratorio remoto.

Con respecto al seguimiento de los alumnos, éste se realiza de varias maneras. Por un lado, mediante las calificaciones obtenidas en los tests de auto-evaluación disponible en PoliformaT. Esto permite conocer el grado de progreso de un alumno, si bien la realización de los mismos es completamente opcional. Por otro lado, es posible conocer el grado de progreso de los alumnos en las prácticas. Para ello, se ha diseñado una herramienta que se ejecuta periódicamente varias veces a lo largo del día (desde los laboratorios remotos) para analizar el consumo de recursos de AWS que está

⁴Boxcar 2. <https://boxcar.io/client>

Pregunta	Resultado Promedio
El material del curso es suficientemente manejable	9.10
Los métodos de enseñanza son adecuados a la materia	9.03
Los Laboratorios Remotos han sido de utilidad	8.93
Los medios de comunicación han eliminado obstáculos espacio-temporales	9.18
El tutor domina los contenidos del curso	9.58
El curso se ha adaptado a mi ritmo de aprendizaje	8.45
El tutor ha atendido con rapidez mis consultas	9.60
Los medios usados para la formación (Internet + Remote Labs) tienen más ventajas que inconvenientes	9.10
Estoy satisfecho con el resultado del curso	9.20

Tabla 3.3: Resultados promedios a lo largo de cinco ediciones (población de 73 estudiantes).

realizando cada alumno. Esto permite, por un lado, recopilar de manera automática evidencias de la realización de las prácticas por parte de los alumnos. Por otro lado, permite detectar consumos excesivos de recursos, por ejemplo cuando un alumno se olvida de detener una máquina virtual en AWS.

El instructor puede usar la aplicación para móvil AWS Management Console App para monitorizar y terminar ciertos recursos de AWS desde cualquier dispositivo basado en iOS.

Resultados y Discusión

El Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services (AWS) tuvo su primera edición en Julio de 2013 y se han realizado hasta el momento siete ediciones (una edición aproximadamente cada 1-2 meses), con más de 150 alumnos de siete países diferentes, principalmente de países de habla hispana como España, México, Colombia, Ecuador y Perú.

La evaluación del curso se ha realizado en base a los cuestionarios oficiales que manda el CFP para ser cumplimentados online por el estudiante, sin ninguna intervención por el profesor. Los resultados de dichas encuestas se publican tal cual tras cada edición en la página web del curso. El cuestionario incluye, entre otros, las preguntas mostradas en la tabla 3.3. 73 alumnos (de un total de 147, ya que únicamente están disponibles los resultados hasta la quinta edición) contestaron las preguntas, ya que su cumplimentación es opcional.

La evaluación tanto del curso como del tutor por parte de los estudiantes fueron consistentemente altas. Por ejemplo, los estudiantes calificaron con un 9.20 la satisfacción promedio con el curso a lo largo de diferentes ediciones. El material del curso y la metodología educativa fueron consideradas muy apropiadas. Además, los métodos de comunicación ofrecidos por el curso resolvieron las posibles barreras, facilitando a los alumnos conseguir los resultados del curso. Los comentarios escritos por los alumnos fueron extremadamente positivos.

Los resultados también indican que los estudiantes perciben que el curso se adapta a su ritmo de aprendizaje. Esto es debido a la disponibilidad de todo el material educativo y los laboratorios

remotos desde el inicio de cada edición. De hecho, una de las ventajas de los cursos online es evitar la sincronización de los estudiantes al ritmo indicado por el profesor, especialmente para alumnos con diferentes conocimientos previos. De hecho, los estudiantes aprenden a su ritmo sin ser obstaculizados por un instructor presencial que marque un ritmo. El instructor nunca debería ser un limitador para un estudiante avanzado que quiere aprender a un ritmo más rápido.

Para el instructor, la experiencia adquirida en la producción y gestión del curso online ha sido tremendamente gratificante. Producir materiales educativos que sean auto-contenidos en la medida de la posible dirigidos a una audiencia amplia con diferentes conocimientos previos es un reto para un educador. Esto requiere crear materiales educativos muy detallados y con diversos medios (texto, vídeo, práctica, etc.) que permite sostener el interés de los alumnos para conseguir alcanzar las competencias del curso.

El despliegue automatizado de Laboratorios Remotos ha permitido desplegar entornos de prácticas consistentes, es decir, con exactamente la misma configuración, de una edición a otra. La gestión dinámica de infraestructuras virtuales introduce una flexibilidad sin precedentes.

3.3.6. Seguimiento de Actividades Prácticas en la Nube con CloudTrail-Tracker

Adaptado de “D. M. Naranjo, J. R. Prieto, G. Moltó, and A. Calatrava, “A Visual Dashboard to Track Learning Analytics for Educational Cloud Computing,” *Sensors*, vol. 19, no. 13, p. 2952, Jul. 2019, doi: 10.3390/s19132952. [276] y G. Moltó, D. M. Naranjo, and J. R. Prieto, “Herramienta web para el seguimiento automatizado de actividades educativas prácticas en la nube,” in *XXV Jornadas sobre Enseñanza Universitaria de la Informática*, 2019, pp. 175–182. [264]”

La computación en la nube (Cloud Computing) es un paradigma de computación distribuida que permite el acceso a recursos virtualizados de cómputo, almacenamiento, redes, servicios y aplicaciones, tal y como define el NIST [231].

En el ámbito de la educación superior, principalmente en las ingenierías, cada vez es más común el uso de esta tecnología, por lo que se utiliza tanto en actividades educativas de carácter presencial, semi-presencial y completamente on-line. Esto es debido a las numerosas ventajas que proporciona a los principales actores involucrados en los procesos de enseñanza aprendizaje (instituciones educativas, profesores y alumnos) [171]. Por ello, en la literatura, podemos encontrar experiencias docentes en ingenierías que utilizan el Cloud, entre otras cosas, para: a) externalizar servicios, tales como el correo electrónico o herramientas colaborativas que pasan a ser utilizadas por parte de los alumnos a través de un navegador web [64]; b) aplicar metodologías de aprendizaje como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) [327]; c) dar soporte a asignaturas que requieren infraestructuras virtualizadas

[79]; d) desplegar rápidamente laboratorios remotos de prácticas [91]; e) la mejora de la práctica educativa en asignaturas de redes de computadores [380]; f) el procesamiento de datos masivos (Big Data), como es el caso de asignaturas que abordan sistemas distribuidos [146].

Las experiencias docentes comentadas anteriormente utilizan tanto infraestructuras cloud *on-premises*, es decir, gestionadas por la propia organización, como proveedores cloud públicos. En la actualidad existen diversas herramientas que posibilitan, a una institución educativa, conformar una infraestructura Cloud de tipo *on-premises*, para dar soporte a las actividades de las asignaturas impartidas en el centro y que precisan de recursos computacionales y/o de almacenamiento dinámicos. Este es el caso de OpenNebula⁵ y OpenStack⁶. Sin embargo, la adopción de estas herramientas por parte de los centros educativos es difícil por diversos motivos. Por una parte, el uso de estas herramientas supone una complejidad extra que muchas instituciones deciden no abordar, y por otra parte, no permiten escalar los recursos lo suficiente para llevar a cabo sus actividades educativas debido a que la capacidad de cómputo disponible es limitada. En estos escenarios, es posible utilizar un proveedor de Cloud público que ofrezca el acceso a los recursos virtualizados de cómputo y almacenamiento mediante un modelo de pago por uso. Entre los múltiples proveedores Cloud existentes, Amazon Web Services (AWS)⁷ es el pionero y actual líder, ofreciendo servicios para el despliegue de capacidad de cómputo, en forma de máquinas virtuales y almacenamiento de ficheros en la nube, entre otras funcionalidades. AWS ha sido integrado en diferentes experiencias educativas previas para soportar el despliegue de laboratorios virtuales remotos [328] e incluso como plataforma donde se ejemplifican los conceptos necesarios para formar Arquitectos de Soluciones Cloud, un perfil profesional muy demandado [329]. Al tratarse de un proveedor de Cloud público, el consumo de recursos en AWS conlleva un coste asociado que depende de las prestaciones de las máquinas virtuales, del espacio de almacenamiento utilizado, etc. El uso habitual de AWS en el ámbito académico implica la creación de una cuenta de usuario AWS por parte del profesor (o la institución académica), así como la creación de numerosas cuentas de usuario con privilegios restringidos para que los alumnos realicen las actividades. El coste derivado de la realización de las prácticas se acumula en la cuenta del profesor, produciéndose cargos mensuales en la tarjeta de crédito utilizada en el momento del registro.

Para facilitar la trazabilidad en la actividad en AWS, existe un servicio, llamado CloudTrail⁸, que permite llevar un registro detallado de las acciones de los usuarios, es decir, qué operación de cada servicio ha ejecutado un usuario en un instante de tiempo. Esta información resulta muy valiosa de cara al profesor principalmente, porque permite conocer las actividades realizadas por un alumno concreto en el contexto de una asignatura que involucra el uso de diferentes servicios de AWS.

Además, esta monitorización pasiva posibilita conocer el progreso del alumno sin necesidad de

⁵OpenNebula: <https://www.opennebula.org>

⁶OpenStack: <https://www.openstack.org>

⁷Amazon Web Services: <https://aws.amazon.com>

⁸CloudTrail: <https://aws.amazon.com/es/cloudtrail/>

solicitarle la entrega de documentación adicional que justifique la realización de las actividades prácticas. Exponer esta información puede fomentar la implicación del alumno en la asignatura, entendida como la cantidad de energía que un estudiante dedica a su trabajo, con una orientación hacia el aprendizaje profundo. El aprendizaje profundo está relacionado con la autorregulación, donde el alumno gestiona sus propias metas y es capaz de regularse, puesto que reflexiona sobre sus propios procesos de aprendizaje. Aportar información extra al alumno sobre su grado de progreso mejora la metacognición, factor que influye sobre la autorregulación [226].

Sin embargo, procesar dicho volumen de datos no resulta trivial, especialmente si los resultados se desean obtener en un tiempo razonable cuando el profesor o los alumnos lo solicitan. Es por ello que este trabajo presenta CloudTrail-Tracker, una arquitectura en la nube para facilitar el procesado de dichos registros de actividades de usuarios de AWS (estudiantes) para ofrecer información de utilidad al instructor y a los alumnos en el ámbito educativo. Esta herramienta se utiliza para facilitar la evaluación de un portafolio de prácticas en la nube, sin solicitar entregas a los alumnos, puesto que el sistema permite conocer el grado de realización de las prácticas.

A continuación se resumen los principales objetivos que se pretenden conseguir. Posteriormente, se describe la tecnología involucrada para conseguirlos. Para recopilar evidencias de las actividades prácticas de los alumnos en la plataforma Cloud (AWS), se plantean los siguientes objetivos:

- Recopilar, de forma detallada, todas las acciones llevadas a cabo en AWS por parte de los alumnos.
- Almacenar, en un soporte persistente, información sobre la actividad en la plataforma, proporcionando acceso de forma rápida y a bajo coste.
- Permitir la realización de consultas a los datos almacenados para obtener información agregada que posibilite la extracción de conocimiento.
- Desarrollar un portal web para que el profesor y los alumnos puedan, de forma sencilla, obtener diferentes métricas referidas a dicho conjunto de datos de forma gráfica, de manera que permita identificar el grado de desarrollo de una actividad práctica.
- Implementar una arquitectura que minimice el coste económico (derivado del uso de los propios servicios de AWS) y que el principal coste de la solución sea dependiente de su tasa de uso. Para ello, se opta por utilizar una aproximación de tipo *serverless* [124], sin gestión explícita de servidores, es decir, sin utilizar máquinas virtuales.

Para alcanzar dichos objetivos, se involucran los siguientes servicios de AWS, resumidos a continuación:

- *Amazon S3*. Este servicio permite el almacenamiento y recuperación de ficheros en la nube accesibles desde cualquier parte de Internet. Los ficheros se almacenan de forma replicada en

unos contenedores de ficheros llamados *buckets*. Permite también servir webs estáticas, basadas típicamente en HTML, CSS y JavaScript, es decir, que no utilicen tecnología de servidor.

- *AWS CloudTrail*. Este servicio permite realizar auditorías de riesgo y conformidad. Una vez activado dicho servicio, genera en un *bucket* de Amazon S3, de forma periódica, una serie de ficheros comprimidos en formato JSON que describen los eventos que han sucedido en la infraestructura de AWS (en nuestro caso, correspondiente a las acciones realizadas por los alumnos durante el transcurso de la actividad educativa).
- *AWS Lambda*. Este servicio permite crear funciones dirigidas por eventos, sin necesidad de gestión explícita de servidores (*serverless*). Para ello, se define el código de la función, que tiene que estar escrita en alguno de los lenguajes de programación soportados (NodeJS, Java, Python, Go, etc.) y se indica una determinada fuente de eventos. Por ejemplo, que la función se ejecute cuando un fichero se sube a un determinado *bucket* de Amazon S3. Pueden ejecutarse miles de instancias de una función Lambda en paralelo. La principal ventaja de este servicio frente al uso de máquinas virtuales es que el coste derivado de dicha función únicamente se produce cuando la función se está ejecutando. En el caso de las máquinas virtuales, el coste es por unidad de tiempo y prestaciones de la misma, independientemente del uso que se esté haciendo de ella.
- *Amazon API Gateway*. Se trata de un servicio que permite a los desarrolladores la creación, el mantenimiento y la monitorización de APIs REST a gran escala. Su uso se suele combinar con AWS Lambda de manera que una petición al API REST creado con API Gateway desencadena la ejecución de una función Lambda para procesar dicha invocación. Esto permite tener creado un servicio en la nube cuyo coste únicamente se produce cuando éste se utilice.
- *Amazon DynamoDB*. Se trata de un servicio de base de datos NoSQL escalable y de altas prestaciones, que posibilita el almacenamiento de pares clave valor con latencias de acceso a los datos muy bajas. Este servicio resulta de utilidad como sistema de base de datos completamente gestionado en la nube.
- *Amazon Cognito*. Se trata de un servicio que permite de manera rápida y sencilla, incorporar a las aplicaciones, ya sean web o móvil, funcionalidades para el control de acceso, el registro y el inicio de sesión de los usuarios.

Para el desarrollo del panel web se utilizó Vue.js que es un framework de JavaScript para crear interfaces de usuario, con características intuitivas, modernas y fáciles de usar, además de tener una comunidad muy activa. Además es posible generar una web estática de forma cómoda para que pueda ser servida desde un bucket de S3, ofreciendo así, un acceso escalable y de muy bajo coste al panel web de la aplicación.

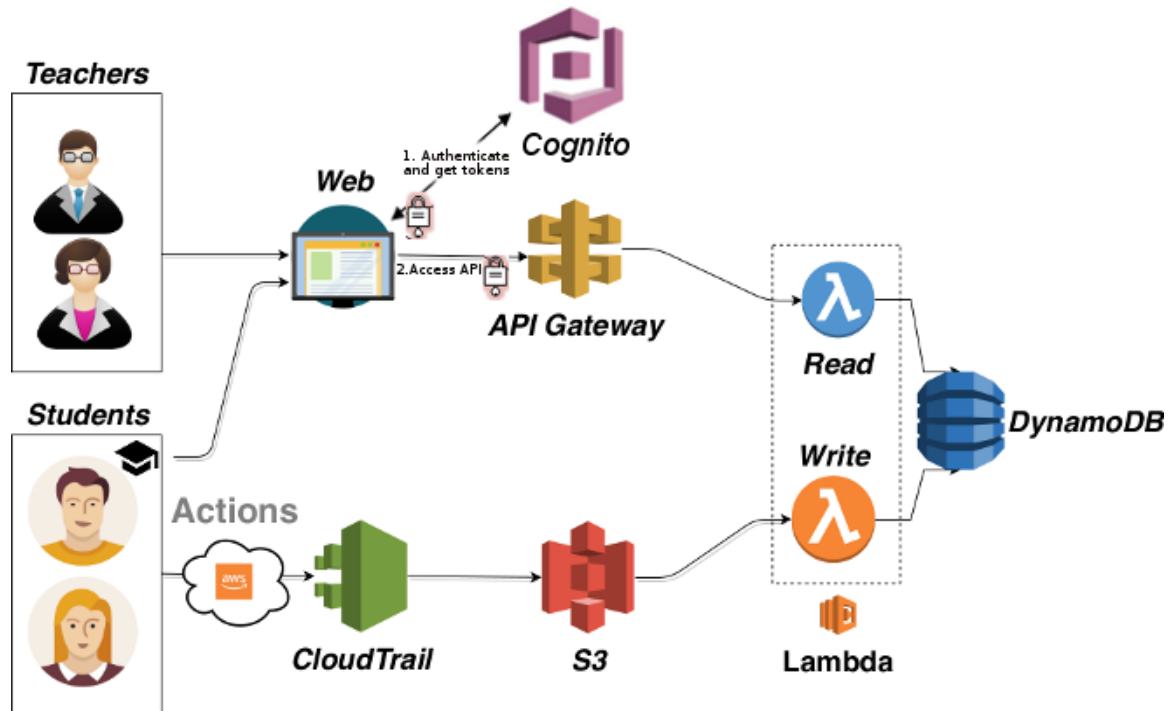


Figura 3-12: Arquitectura de CloudTrail-Tracker.

La arquitectura del sistema de procesamiento de acciones realizadas por usuarios en AWS, denominado CloudTrail-Tracker⁹, se resume brevemente en la Figura 3-12. Las acciones realizadas en AWS por los alumnos son registradas por el servicio CloudTrail, en forma de numerosos ficheros en formato JSON que quedan alojados en un *bucket* de Amazon S3, es decir un depósito de ficheros, estructurados en carpetas correspondientes a la región geográfica y el año, mes y día cuando se han producido dichas acciones, también llamadas *eventos*. CloudTrail típicamente agrega varios eventos en cada archivo JSON. Cada evento tiene un identificador único con información adicional, que permiten identificar el servicio, el tiempo en el que se produjo, el usuario, etc.

Se ha desarrollado una arquitectura sin gestión explícita de servidores (*serverless*) con el objetivo de minimizar el coste, manteniendo bajos los tiempos de acceso a los datos de los eventos, mediante un esquema de computación reactiva basado en eventos. Por ello, cuando CloudTrail deposita un nuevo fichero con eventos en S3 se dispara la ejecución de una función de AWS Lambda (llamada *Write* en la Figura 3-12), encargada de almacenar los eventos JSON que impliquen una modificación de la infraestructura en una tabla de DynamoDB. Para reducir el tamaño de dicha base de datos se descartan los eventos de lectura o consulta de los servicios. En efecto, por poner un ejemplo, al profesor no le interesa conocer cuántas veces el alumno ha consultado el número de máquinas virtuales (operación de lectura) sino si efectivamente el alumno ha desplegado una máquina virtual

⁹CloudTrail-Tracker: <https://www.grycap.upv.es/cloudtrail-tracker>

(operación de modificación sobre la infraestructura), como parte de una práctica.

En el formato de la tabla de DynamoDB contamos como clave de partición el identificador del evento, y como clave de ordenación el nombre del usuario. Esto permite evitar eventos repetidos y buscar por el nombre de usuario rápidamente. También se ha creado un índice secundario global con el nombre de usuario como clave de partición y la hora del evento como clave de ordenación, lo que permite filtrar por rangos de tiempo entre los eventos de un usuario.

Por tanto, CloudTrail-Tracker es un sistema reactivo cuya actividad se desencadena automáticamente mediante las acciones de los alumnos en AWS y que involucra una transformación de los eventos en pares clave valor almacenados en DynamoDB.

Esta es la parte de *back-end* de la aplicación. Sin embargo, para procesar dicha información de forma amigable se ha desarrollado un *front-end* compuesto por un servicio, que ofrece un API REST, y por un portal web accesible mediante un navegador web, orientado a su uso por parte del profesor y los alumnos.

CloudTrail-Tracker ofrece un interfaz que permite al profesor obtener información detallada sobre la actividad que los alumnos han realizado en AWS. Por otra parte permite la autorregulación de los alumnos, pues es posible conocer el porcentaje de cumplimiento de cada práctica de laboratorio y los eventos que faltan para completar dicha práctica. Se ha implementado un API REST creado con el servicio API Gateway, que permite disponer de un servicio web para la consulta de los logs almacenados en DynamoDB. Este servicio web se ha implementado también de forma *serverless* de manera que no es necesario disponer de una máquina virtual desplegada en AWS para soportar dicho servicio, por la que se pagaría un coste horario (facturado por segundos) independientemente de si el profesor o los estudiantes estuvieran utilizando o no dicho servicio. Por el contrario, introducir una arquitectura *serverless* posibilita que únicamente se incurra en un coste cuando los usuarios decidan acceder al servicio. Este es uno de los objetivos fundamentales que se consideró al desarrollar la herramienta.

Para ello, se ha desarrollado un servicio web que ofrece un API REST con diferentes métodos para realizar consultas a los datos almacenados en DynamoDB mediante una operación GET, indicándole como parámetros la información de la consulta a realizar.

Para facilitar el acceso a los datos por parte de profesores y estudiantes, se ha desarrollado un portal web educativo que, utilizando por debajo el API REST de CloudTrail-Tracker, permite visualizar:

1. Información agregada del uso de servicios de AWS en un período de tiempo determinado.
2. Información detallada sobre las actividades específicas llevadas a cabo por un determinado alumno en un tiempo determinado.
3. Porcentaje de cumplimiento de las prácticas de laboratorio realizadas por cada estudiante en

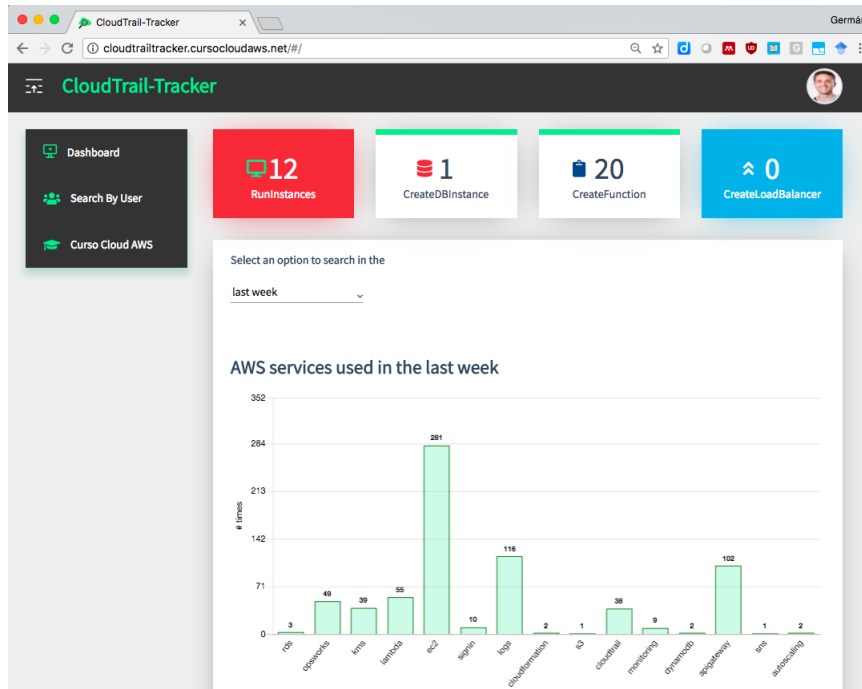


Figura 3-13: Dashboard de inicio de CloudTrail-Tracker.

una asignatura.

La interfaz web cuenta con tres vistas fundamentales en función del rol asignado a los usuarios:

- Profesor. Los usuarios con este rol pueden visualizar la información correspondiente a los servicios utilizados, así como el progreso de cada estudiante en las distintas asignaturas. Con esta información el profesor es capaz de guiar la evaluación de las prácticas en función de las mayores dificultades presentadas por los estudiantes en la realización de las mismas.
- Estudiantes. Los usuarios con este rol pueden visualizar el porcentaje de cumplimiento de las prácticas realizadas, así como ser consciente de las actividades que aún le faltan para completar la práctica. Esto permite desarrollar en cada estudiante un aprendizaje autorregulado.
- Administrador. Los usuarios con este rol pueden visualizar y monitorizar todos los recursos utilizados en la cuenta de AWS, lo que posibilita la detección de irregularidades.

En la Figura 3-13 se muestra el aspecto de la interfaz gráfica de CloudTrail-Tracker donde se observa un resumen de los usuarios y de los recursos más importantes de AWS utilizados en un determinado espacio de tiempo.

Esta sección resume los principales casos de uso de CloudTrail-Tracker en el contexto de diferentes asignaturas en las que se utiliza AWS para ejemplificar conceptos de manejo de proveedores de Cloud público.

En el curso 2018/2019 se ha implantado CloudTrail-Tracker en diferentes asignaturas de Cloud Computing que involucran el uso de AWS y que se imparten en el Master Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones, en el Master en Big Data Analyticsy en el Master Universitario en Gestión de la Información, todas ellas titulaciones de la Universitat Politècnica de València. En estas asignaturas se utilizan diferentes esquemas de aprendizaje que van desde la lección magistral participativa hasta el aula inversa en la que, bien los alumnos visualizan el material teórico en casa y utilizan las sesiones de laboratorio para llevar a cabo las prácticas o viceversa. Para ello, se les aporta a los alumnos desde el inicio la totalidad del material de la asignatura (vídeo-lecciones, guías de aprendizaje supervisado, ejercicios, supuestos prácticos), así como un entorno de prácticas pre-configurado disponible en la nube 24x7, de manera que los alumnos pueden realizar las prácticas en cualquier momento y desde cualquier lugar.

Además de ser útil para la docencia presencial, esta herramienta también lo es para la formación online. Por ello, también se ha integrado con el Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services (AWS), un curso de formación online asíncrona, ofertado públicamente, que desde Julio de 2013 ha formado a más de 800 personas.

El nexo común en todas estas actividades educativas es el uso de AWS como plataforma de Cloud público. Hasta el momento, el profesor utilizaba el mecanismo de portafolio docente donde los alumnos recopilaban respuestas a preguntas de supuestos relacionadas con las prácticas. De esta manera, el profesor podía tener cierta evidencia de que los alumnos habían realizado las prácticas de forma provechosa. El portafolio se enviaba como una tarea al final de la asignatura y era corregido por el profesor. Cabe decir que este mecanismo resulta propenso a las copias entre los alumnos.

Mediante el uso de CloudTrail-Tracker, el profesor persigue dos objetivos fundamentales. En primer lugar, evitar que los alumnos tengan que dedicar tiempo a la preparación del portafolio docente y que, a su vez, el profesor tenga que dedicar tiempo a su corrección. Puesto que el objetivo es conocer si el alumno ha realizado las prácticas de forma provechosa, resulta más apropiado tener la certeza de que el alumno las ha realizado de forma completa mediante las correspondientes evidencias. En segundo lugar, evitar el problema de las copias entre portafolios, de forma que el sistema detecte la realización de las actividades con el usuario que le fue asignado al principio de la asignatura.

Para extraer esta información se ha trabajado principalmente en la definición de los indicadores necesarios que permitan evidenciar la realización de dichas actividades prácticas por parte de los alumnos, a partir de la información registrada de los eventos. Para ello, la Figura 3-14 permite conocer el número de veces que un servicio de AWS ha sido utilizado por un alumno (operación de modificación de la infraestructura) en una franja de tiempo. Conociendo el número de operaciones de creación de recursos en cada boletín de prácticas es posible saber, de forma general, si un alumno ha tenido actividad en dichos servicios.

Otro panel de visualización es el correspondiente al porcentaje de cumplimiento de las práctica

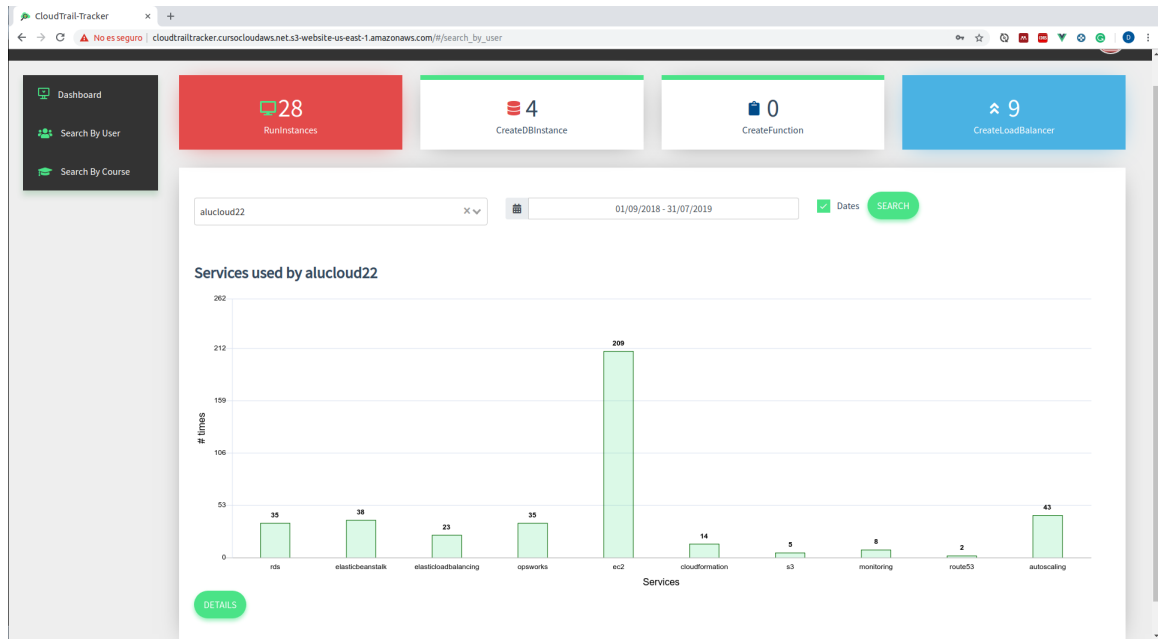


Figura 3-14: Servicios utilizados por un alumno en un determinado período de tiempo.

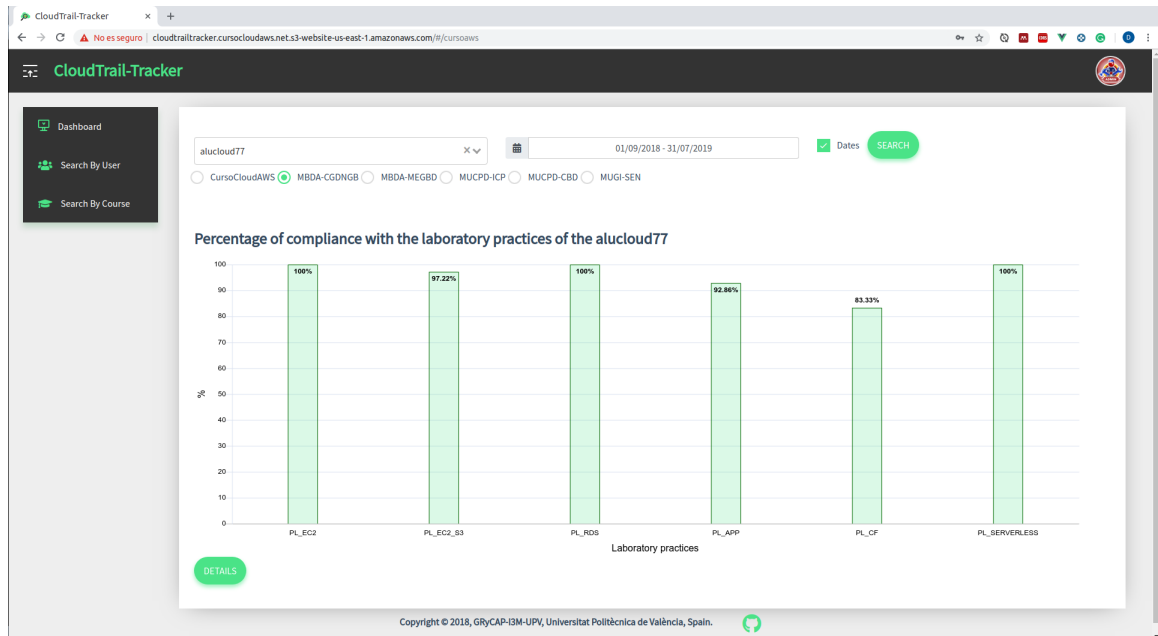


Figura 3-15: Porcentaje de cumplimiento de cada práctica de laboratorio para una asignatura.



Figura 3-16: Eventos que faltan por realizar en cada práctica de laboratorio.

de laboratorio que se muestra en la Figura 3-15. Es importante destacar que además de conocer el porcentaje de cumplimiento de cada laboratorio, es posible saber las acciones que faltan para realizar la práctica en su totalidad como se muestra en la Figura 3-16. Al incluir estas acciones, se le brinda la posibilidad a los estudiantes de autorregularse y completar todas las actividades. Por otra parte habitualmente los alumnos olvidan eliminar los recursos una vez finalizada la práctica, lo que provoca un costo económico para el profesor y de esta forma, el estudiante es consciente de este aspecto importante.

Se ha pasado una encuesta de satisfacción a los primeros alumnos que han podido utilizar la herramienta (32 alumnos de una asignatura de docencia presencial), de tipo Likert, con una escala de 10 niveles donde 0 equivale a “Totalmente en desacuerdo” y 10 a “Totalmente de acuerdo”. Los resultados se resumen en el Cuadro 3.4, mostrando únicamente los resultados distribuidos en el rango donde se han producido respuestas, de 5 a 10. Los alumnos valoran positivamente la disponibilidad y utilidad de la herramienta, así como la ayuda que brinda la herramienta para conocer el progreso en las prácticas de la asignatura. En general, perciben la herramienta como útil para la formación práctica en AWS. También se abren posibilidades de mejora para facilitar la interpretación de la información ofrecida.

CloudTrail-Tracker está disponible en GitHub¹⁰ bajo licencia de código abierto Apache 2.0.

El desarrollo del sistema ha involucrado la creación de una arquitectura serverless compuesta principalmente por funciones Lambda y un servicio de base de datos NoSQL en la nube que minimiza

¹⁰CloudTrail-Tracker: <https://github.com/grycap/cloudtrail-tracker>

Pregunta	# en [5,6]	# en [7,8]	# en [9,10]
La herramienta siempre ha estado accesible cuando la he necesitado	0	1	31
He sabido utilizar la herramienta sin requerir la ayuda del instructor	1	9	22
He sido capaz de interpretar la información obtenida por la herramienta	2	8	22
La información mostrada me ha ayudado a conocer el progreso en cada una de mis prácticas	2	4	26
El uso de CloudTrail-Tracker es apropiado como herramienta de apoyo para la formación práctica en AWS	1	5	26

Tabla 3.4: Resultados de la encuesta de evaluación de CloudTrail-Tracker.

el coste operacional de la solución. Se ha implementado un portal web educativo que incluye una serie de componentes gráficos para facilitar la interpretación de la información por parte del instructor y de los estudiantes, pudiendo responder a preguntas que con la información antes disponible no era posible. La herramienta ha sido puesta en producción y los resultados de satisfacción iniciales apuntan a la bondad de la herramienta como apoyo para facilitar el avance y progreso en el contexto de prácticas en AWS.

Capítulo 4

La asignatura “Infraestructuras de Cloud Público”

En este capítulo se describe la asignatura “Infraestructuras de Cloud Público” asociada al perfil de la plaza a la que opta el candidato. En primer lugar, se realiza una presentación general de la asignatura, detallando su situación en el plan de estudios de la titulación y analizando su evolución a lo largo de los últimos años. A continuación se describen los objetivos que pretende conseguir la asignatura, en el contexto del perfil de la titulación. Posteriormente, se detalla la propuesta de programa de teoría y de prácticas de la asignatura, junto con la planificación temporal correspondiente. El capítulo finaliza con una descripción comentada de la bibliografía de la asignatura.

4.1. Presentación General

“Infraestructuras de Cloud Público” [249] es una asignatura obligatoria de 4 créditos ECTS perteneciente al Máster Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones (MUCNAP) [371] de la Universitat Politècnica de València.

Su objetivo principal es proporcionar a los alumnos una visión avanzada de las plataformas, herramientas, tecnologías y arquitecturas utilizadas para el despliegue de aplicaciones escalables en la nube que requieren además gestión eficiente de los datos. En ella se abordan proveedores de Cloud público centrandó el foco en Amazon Web Services (AWS), trabajando con los principales servicios de AWS para la creación de arquitecturas de aplicaciones elásticas y escalables en la nube. Se cubren también los servicios para la gestión eficiente de datos en la nube, tanto mediante bases de datos relacionales como de tipo NoSQL, así como la gestión de ficheros y volúmenes orientados a bloque en la nube. Se utilizan herramientas de automatización de despliegues de infraestructuras virtuales (DevOps). Finalmente, se aborda la computación dirigida por eventos mediante funciones

como servicio en el contexto amplio de Serverless computing.

Por tanto, resultados de aprendizaje que persigue esta asignatura son:

- Entender las características principales de las Infraestructuras de Cloud Público.
- Gestionar capacidad de cómputo, datos y red usando los principales servicios de Amazon Web Services (AWS)
- Diseñar arquitecturas de aplicaciones web involucrando servicios de gestión de cómputo, almacenamiento de datos y balanceadores de carga.
- Comprender la aproximación DevOps para reducir la fricción entre el proceso de desarrollo y despliegue de aplicaciones en la nube.
- Conocer las principales herramientas DevOps tanto ligadas a proveedores de Cloud público como AWS como externas.
- Diseñar arquitecturas de aplicaciones basadas en serverless computing con AWS Lambda.

El contenido es principalmente de tipo práctico, utilizando recursos de proveedores de Cloud público como Amazon Web Services. En definitiva, la asignatura permitirá al alumno iniciarse en el proceso de creación y despliegue de arquitecturas de aplicaciones en la nube.

4.1.1. Evolución Histórica

Resulta de interés disponer de una perspectiva histórica de la asignatura que permita comprender la situación del alumnado. Para ello, la Tabla 4.1 muestra los resultados de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público durante los últimos cursos. En la tabla se muestra, para cada curso académico, el número de alumnos matriculados en la asignatura junto a su distribución en alumnos aprobados, bien en la primera convocatoria o en la segunda, alumnos suspendidos y alumnos que no se presentaron a los exámenes.

Es importante resaltar que esta asignatura supone la evolución de la extinta asignatura “Infraestructuras Avanzadas en Cloud” del Máster Universitario en Computación Paralela y Distribuida (MUCPD), impartida por el candidato desde el curso académico 2013/2014. El cambio de nombre de la asignatura se produjo en el curso 2017/2018. El cambio de nombre de la titulación se produjo en el curso 2020-2021.

Se puede observar que el cambio de nombre de la titulación llevó aparejado un incremento significativo de la matrícula, sin que sea posible atribuirle una relación causa-efecto directa.

Curso	Matriculados	Aprobados	Suspendidos	No Presentados
2017-2018	5	5	0	0
2018-2019	7	7	0	0
2019-2020	3	3	0	0
2020-2021	14	13	1	0
2021-2022	22	19	0	3

Tabla 4.1: Estadísticas históricas de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público, mostrando los valores absolutos.

4.2. Competencias

A continuación se relacionan las competencias generales y específicas perseguidas, todas ellas dentro de la materia “Métodos de la Computación Distribuida y en Grid” a la que pertenece esta asignatura:

- Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autónomo.
- Conocimiento de los conceptos de los sistemas distribuidos y las técnicas de la programación distribuida
- Tener destreza en el uso de las tecnologías aplicables en un sistema distribuido, incidiendo especialmente en la tolerancia a fallos y la seguridad
- Ser capaz de plantear, modelar y resolver problemas que necesiten las técnicas de la programación distribuida, aplicándolas a determinados entornos
- Aptitud para desplegar infraestructuras y aplicaciones Grid y Cloud para resolver problemas en investigación e ingeniería
- Destreza en el análisis, diseño, implementación y despliegue de soluciones Grid y Cloud
- Capacidad de gestionar la información específica de la disciplina y sus posibles aplicaciones en organizaciones.
- Capacidad para la dirección general, dirección técnica y dirección de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, en empresas y centros tecnológicos en el ámbito afín al Máster.
- Elaborar adecuadamente y con cierta originalidad composiciones escritas o argumentos motivados, redactar planes, proyectos de trabajo, artículos científicos y formular hipótesis razonables.

- Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multi-disciplinares) relacionados con su área de estudio

Las competencias transversales asignadas a la asignatura ICP son:

- Aprendizaje permanente. Se requiere que el alumno utilice diferentes medios de aprendizaje (como vídeo-lecciones, boletines de prácticas auto-guiadas y/o tests de auto-evaluación) para desarrollar las competencias específicas de la asignatura. El uso de múltiples medios de aprendizaje permite que el alumno se enfrente a un contexto de aprendizaje permanente compuesto por actividades de formación presencial y online. La actividad consistirá en realizar múltiples prácticas de uso de los diferentes servicios de Amazon Web Services para resolver problemas habituales de arquitecturas de aplicaciones en la nube.
- Instrumental específica. Se requiere que el alumno utilice los servicios de Amazon Web Services (AWS) para la creación de arquitecturas escalables en la nube. El uso de estos servicios supone la utilización de herramientas/instrumental específico de utilidad en la práctica profesional para la creación de back-ends de cómputo y despliegue de aplicaciones en la nube.

4.3. Planificación de la Asignatura

Para realizar la planificación de la asignatura se han tenido en cuenta los siguientes parámetros. En primer lugar, un crédito ECTS implica 25 horas de trabajo del alumno. Además, se ha tenido en cuenta la distribución de sesiones correspondiente a un calendario académico de primer cuatrimestre. La asignatura tiene asignada una carga de 4 créditos ECTS, correspondiente a 10 sesiones de 4 horas presenciales cada una.

Las sesiones se mantienen en el laboratorio 0S03 del Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, equipado con portátiles que los alumnos pueden utilizar aunque, por lo general, prefieren utilizar sus propios dispositivos. Se cuenta con una cámara instalada en el techo así como un sistema de altavoces y micrófonos que permite impartir de forma simultánea la docencia tanto de forma presencial como remota a través de Microsoft Teams, herramienta adoptada por la universidad para dar soporte a la comunicación remota.

Las sesiones de 4 horas se distribuyen en una primera parte de teoría, donde se presentan los conceptos fundamentales, seguido de un descanso y una parte práctica donde los alumnos experimentan de primera mano la tecnología mediante prácticas semi-dirigidas con apoyo del profesor.

Al iniciar la asignatura, a los alumnos se les entregan credenciales de acceso al proveedor Cloud Amazon Web Services (AWS), para que puedan interactuar con los diferentes servicios de AWS necesarios para el despliegue de arquitecturas de aplicaciones sobre este proveedor Cloud. El instructor

1. Infraestructuras de Cloud Público
2. Introducción a Amazon Web Services
3. Gestión de datos en la nube
4. Arquitecturas de aplicaciones en el Cloud
5. Despliegue y Configuración Automatizada
6. Serverless Computing

Figura 4-1: Programa de teoría de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público.

asume el coste generado por los alumnos, que se factura directamente de forma mensual a la tarjeta de crédito del instructor. A lo largo de la última década han existido diferentes programas de apoyo por parte de AWS para ofrecer créditos a los instructores, con el objetivo de mitigar el coste de realización de dichas prácticas, si bien ha tenido dispar regularidad e intensidad, como es el caso de AWS Educate o, más recientemente, AWS Academy.

4.4. Programa Detallado

Esta sección describe el programa de la asignatura, tanto de teoría como de prácticas, propuesto por el candidato. La propuesta se fundamenta en la experiencia del candidato en impartir esta asignatura (y otras afines) en diferentes cursos académicos desde el curso académico 2013/2014.

4.4.1. Programa de Teoría

Una vez descritos los resultados de aprendizaje que se persiguen con la asignatura, a continuación se detalla la propuesta de programa de la asignatura con los contenidos apropiados para alcanzarlos. Se utilizará Amazon Web Services (AWS) para ejemplificar las características de los principales servicios para el despliegue de arquitecturas de aplicaciones en la nube. La elección de AWS responde principalmente a razones de mercado, pues el proveedor con mayor cuota de mercado actualmente, lo que redundará potencialmente en una mejora de la empleabilidad de los egresados. Además, los principales conceptos serán presentados de forma relativamente agnóstica (como máquina virtual, balanceador de carga, volumen orientado a bloques, sistema de base de datos, función dirigida por eventos, etc.) para ser posteriormente ejemplificados en dicho proveedor Cloud. Dado que los principales proveedores Cloud, como Google Cloud Platform o Microsoft Azure, soportan dichos conceptos, el alumno podrá fácilmente aplicar el conocimiento adquirido en ellos.

A continuación se describe el programa de teoría y su estructuración en unidades didácticas. Posteriormente, se muestra el programa de prácticas.

La Figura 4-1 muestra la división del programa de teoría de la asignatura en sus correspondientes unidades didácticas. El temario comienza con una introducción a Cloud Computing centrando el foco en las funcionalidades básicas de los proveedores de Cloud público. A continuación, se abordan los principales servicios de AWS para el despliegue de infraestructura virtualizada en la nube y la gestión de datos, abarcando sistemas de volúmenes orientados a bloques, almacenamiento de objetos y bases de datos tanto relacionales como NoSQL en la nube. Posteriormente, se aborda el diseño de arquitecturas de aplicaciones escalables en la nube, identificando los requisitos y los mecanismos para satisfacerlos de las aplicaciones bien diseñadas para ser ejecutadas en el Cloud. Luego, se introducen técnicas y herramientas para el despliegue y configuración automatizada tanto de la infraestructura virtualizada como de las aplicaciones que se despliegan por encima. Finalmente, se introduce el concepto de serverless (arquitecturas sin servidor) para demostrar cómo es posible crear arquitecturas de aplicaciones completas (tanto front-end como back-end) altamente escalables en la nube, basadas en un modelo de coste de pago por uso real.

En las próximas páginas se detalla cada uno de los temas propuestos, indicando los principales resultados de aprendizaje, el índice propuesto, la duración estimada, una pequeña descripción del mismo y una propuesta de actividades a realizar por los alumnos. Los índices no deben considerarse exhaustivos, pues únicamente pretenden indicar los principales temas a tratar, a modo de ficha resumen.

Tema 1. Infraestructuras de Cloud Público

Resultados de aprendizaje

- Reforzar las ideas que el alumnado tenga sobre Cloud Computing.
- Comprender el espectro de infraestructuras y herramientas Cloud existentes actualmente.
- Entender las ventajas del diseño de arquitecturas escalables para la nube con gestión eficiente de datos.
- Conocer los principales modelos de servicio relacionados con Cloud Computing.

Índice

1. ¿Qué es Cloud Computing?
 - a) Modelos de servicio (IaaS, PaaS, FaaS, SaaS, *aaS)
 - b) Modelos de despliegue (público, on-premises, híbrido)
 - c) Principales proveedores Cloud
2. Centros de Datos
 - a) Virtualización
 - b) Hipervisores
3. Características de un proveedor Cloud
 - a) Escalabilidad y Elasticidad
 - b) Desafíos y SLAs
 - c) Riesgos

Duración estimada

2 horas de teoría.

Descripción

Este módulo permite que el alumnos refuerce el concepto de Cloud Computing (Computación en Nube), así como los principales antecedentes y tecnologías afines que han propiciado su auge. Se abordan las tecnologías, herramientas, proveedores, estándares y paradigmas de computación involucrados en el Cloud. Se estudian algunos casos de éxito de la tecnología y se discuten tanto los principales modelos de servicio (IaaS, PaaS y SaaS) como las ventajas/inconvenientes de la externalización del almacenamiento y/o cómputo a un tercer proveedor.

Tema 2. Introducción a Amazon Web Services (AWS)

Resultados de aprendizaje

- Conocer una panorámica de los servicios de Amazon Web Services (AWS).
- Comprender el objetivo fundamental de los principales servicios de AWS del modelo IaaS (EC2, S3, VPC, CloudWatch, etc.)
- Entender cómo comenzar a usar la plataforma así como los principales mecanismos de autenticación.

Índice

1. Introducción a Amazon Web Services
2. Despliegue de máquinas virtuales con Amazon EC2
3. Almacenamiento de objetos con Amazon S3
4. Balanceo de carga con ELB
5. Auto-escalado de aplicaciones con Amazon Auto Scaling
6. Seguridad a nivel de red con Amazon VPC
7. Primeros pasos con una cuenta de AWS

Duración estimada

4 horas de teoría y 6 horas de prácticas.

Descripción

Este tema permite al alumno conocer los principales servicios de AWS para el aprovisionamiento de recursos de cómputo y de almacenamiento bajo demanda mediante un modelo de pago por uso. También para el despliegue de bases de datos relacionales y no relacionales (NoSQL) en la nube. Esto permite conocer las ventajas/inconvenientes del modelo de servicio en Cloud Infrastructure as a Service (IaaS), ejemplificado mediante el despliegue de máquinas virtuales para la ejecución de aplicaciones y sistemas de almacenamiento orientados a bloques y de almacenamiento de objetos para la gestión del ciclo de vida de los datos basados en ficheros y su persistencia.

Tema 3. Gestión de datos en la nube

Resultados de aprendizaje

- Comprender los diferentes mecanismos para la gestión de datos en la nube.
- Distinguir las características de Amazon S3, Glacier y CloudFront para el almacenamiento y distribución de ficheros.
- Utilizar Amazon RDS para desplegar instancias de Sistemas Gestores de Bases de Datos Relacionales (SGBDR) en la nube.
- Conocer algunas opciones de bases de datos NoSQL, ejemplificando sobre Amazon SimpleDB
- Entender las principales ventajas de Amazon DynamoDB así como sus conceptos fundamentales para la consulta eficiente de datos NoSQL.

Índice

1. Instancias de SGBDR: Amazon RDS
2. Iniciación a la gestión de datos NoSQL: Amazon SimpleDB
3. Gestión avanzada de datos NoSQL: Amazon DynamoDB
 - a) Diseño de Tablas
 - b) Consultas
 - c) Índices GSI y LSI
 - d) Modelos de prestaciones / coste
4. Caso de uso de DynamoDB: Registro de acciones de CloudTrail

Duración estimada

5 horas de teoría y 4 horas de prácticas.

Descripción

Esta unidad del Módulo 2 capacita al alumno para la gestión de bases de datos en la nube. Para ello se trabaja con el servicio Amazon RDS para el despliegue de sistemas gestores de bases de datos relacionales en la nube. Posteriormente, se aborda la gestión de datos de tipo NoSQL, basados en pares clave/valor y se ejemplifica mediante Amazon SimpleDB y Amazon DynamoDB para la incorporación de servicios gestionados por el proveedor para el almacenamiento y la consulta de datos NoSQL.

Tema 4. Arquitecturas de Aplicaciones en el Cloud

Resultados de aprendizaje

- Entender las ventajas del desarrollo de aplicaciones en el Cloud.
- Conocer las principales arquitecturas y patrones de diseño de aplicaciones en el Cloud.
- Diseñar arquitecturas de aplicaciones de mediana complejidad que combinen múltiples servicios Cloud (ejemplificados sobre Amazon Web Services).
- Comprender los principales costes que se derivan de la operación de aplicaciones en la nube.

Índice

1. Requisitos ideales de aplicaciones Cloud
2. El Marco de Buena Arquitectura (Well-Architected Framework)
3. Ejemplos de arquitecturas de aplicaciones Cloud: seguridad y costes
 - a) Arquitectura de aplicación web de tres capas
 - b) Procesado batch mediante cola de mensajes
4. Recursos para el diseño de arquitecturas de aplicaciones

Duración estimada

3 horas de teoría y 3 horas de prácticas.

Descripción

Este tema aborda el diseño y las arquitecturas de aplicaciones en el Cloud. Se describen los principales requisitos de diseño de estas aplicaciones y se estudia la forma de conseguir estos requisitos usando los servicios de proveedores de Cloud público como Amazon Web Services (AWS) o Microsoft Azure. Se introducen buenas prácticas para el diseño de arquitecturas de aplicaciones seguras, ejemplificando en AWS y se analizan los principales costes de operación. Se aborda el uso programático de AWS desde Python con la librería Boto. Se tratan los principales recursos para aprender a diseñar arquitecturas de aplicaciones, tanto para ofrecer servicios web como para el procesado de datos en la nube.

Tema 5. Despliegue y Configuración Automatizada

Resultados de aprendizaje

- Reconocer la importancia de la configuración automática de infraestructura virtuales.
- Entender la ventaja, así como las principales herramientas, de DevOps.
- Conocer Ansible para configurar de forma automática y desatendida recursos computacionales.
- Utilizar los servicios de AWS para el despliegue de arquitecturas de aplicaciones.
- Comprender los contenedores y la necesidad de plataformas de gestión de contenedores para la gestión de arquitecturas de microservicios.

Índice

1. Introducción a DevOps
2. Aprovisionamiento de infraestructura con Ansible: Playbooks y Roles
3. Servicios de AWS para DevOps
 - a) Despliegue de colecciones de recursos: Amazon CloudFormation
 - b) Despliegue de arquitecturas: AWS Elastic Beanstalk y AWS OpsWorks
4. Contenedores en la nube
 - a) Introducción a Docker y arquitecturas de microservicios
 - b) Plataformas de gestión de contenedores en AWS

Duración estimada

4 horas de teoría y 4 horas de prácticas.

Descripción

Este módulo introduce el concepto de DevOps. Se abordan las tecnologías, herramientas y servicios involucrados. En particular, este tema aborda algunas de las herramientas existentes para la configuración automática de infraestructuras de cómputo sobre plataformas Cloud. Estas herramientas de DevOps, que permiten la creación de recetas de alto nivel para facilitar la automatización en la configuración de máquinas (virtuales). En concreto se aborda de forma práctica Ansible. También se trabaja con Amazon CloudFormation, OpsWorks y Elastic Beanstalk como ejemplos de otros servicios destinados al despliegue automatizado de aplicaciones. Finalmente, se introduce la tecnología de contenedores, arquitecturas de microservicios y se abordan los principales servicios para la ejecución de contenedores en AWS (EKS, Batch y Fargate).

Tema 6. Serverless Computing

Resultados de aprendizaje

- Entender las ventajas y limitaciones que ofrece la computación serverless.
- Comprender el paradigma de diseño de funciones como servicio en el marco de las arquitecturas de aplicaciones.
- Ejemplificar los conceptos de serverless computing con AWS Lambda.
- Diseñar arquitecturas de aplicaciones dirigidas por eventos.

Índice

1. El modelo de servicio FaaS
2. Funciones dirigidas por eventos: AWS Lambda
3. Colas elásticas de mensajes: Amazon SQS
4. Gestión de eventos con Amazon CloudWatch Events (EventBridge)
5. Arquitecturas de aplicaciones serverless
6. Seguridad en arquitecturas de aplicaciones serverless

Duración estimada

2 horas de teoría y 3 horas de prácticas.

Descripción

Este tema aborda serverless computing como un patrón de diseño de arquitecturas de aplicaciones sin gestión explícita de servidores. Se trata AWS Lambda como servicio principal para el despliegue de arquitecturas de aplicaciones. Se introduce el modelo de ejecución basado en computación reactiva dirigida por eventos soportado por AWS Lambda y se realizan prácticas utilizando dicho servicio. Para ello, es necesario introducir los servicios CloudTrail, como fuente de eventos y auditoría de las acciones realizadas en AWS, así como el servicio CloudWatch para recibir y encaminar eventos sucedidos en la infraestructura. Se diseñan arquitecturas de aplicaciones serverless y se comparan sus costes y ventajas frente a arquitecturas de referencia, como el despliegue de arquitecturas de aplicaciones de tres capas. Se analiza el coste de las soluciones serverless, identificando los escenarios de uso en los que estas técnicas son beneficiosas.

- Práctica 1. Despliegue de instancias de máquinas virtuales con Amazon EC2
- Práctica 2. Despliegue de grupos elásticos de instancias y gestión de datos con AWS
- Práctica 3. Despliegue de arquitecturas de aplicaciones seguras usando Amazon VPC
- Práctica 4. Gestión de bases de datos en la nube con Amazon RDS
- Práctica 5. Gestión de bases de datos NoSQL con Amazon DynamoDB
- Práctica 6. Arquitectura y despliegue de aplicaciones escalables para la nube
- Práctica 7. Configuración automática de infraestructuras con Ansible
- Práctica 8. Despliegue y configuración de infraestructuras virtuales con AWS CloudFormation
- Práctica 9. Despliegue de arquitecturas de aplicaciones con AWS Elastic Beanstalk
- Práctica 10. Despliegue automatizado de arquitecturas de aplicaciones con AWS OpsWorks
- Práctica 11. Computación dirigida por eventos en la nube usando AWS Lambda

Figura 4-2: Programa de prácticas de la asignatura ICP

4.4.2. Programa de Prácticas

La Figura 4-2 muestra la propuesta del programa de prácticas de la asignatura. En las próximas páginas se detallan las prácticas propuestas. Para cada una de ellas se describen los resultados de aprendizaje esperados, el índice resumido, la duración estimada y una breve descripción de la misma.

Práctica 1. Despliegue de instancias de máquinas virtuales con Amazon EC2

Resultados de aprendizaje

- Conocer el esquema de funcionamiento a nivel de usuario de Amazon EC2.
- Entender el concepto de máquina virtual y su mecanismo de despliegue a través EC2.

Índice

1. Conexión a la AWS Management Console
 - a) Listado de regiones
2. Despliegue de máquinas virtuales en AWS
 - a) Creación del Par de Claves, Grupo de Seguridad y elección de AMI
 - b) Despliegue de instancias de máquinas virtuales
 - c) Sobre las características de las instancias basadas en EBS
3. Despliegue de instancias basadas en Windows
 - a) Creación del Grupo de Seguridad y selección de la AMI
 - b) Despliegue, datos de acceso y conexión a la instancia

Duración estimada

2 horas

Descripción

Esta práctica permite que el alumno realice el despliegue de máquinas virtuales (instancias) usando el servicio Amazon EC2. Esto permitirá ofrecer una visión de la forma de trabajar desde el punto de vista del modelo de servicio IaaS (Infrastructure as a Service), donde se realiza un aprovisionamiento de máquinas virtuales, que posteriormente debe gestionar de forma conveniente el usuario. Se gestiona el ciclo de vida de las instancias y se introducen los principales conceptos necesarios para su configuración y posterior despliegue, como los grupos de seguridad, las imágenes de máquinas virtuales, los pares de clave y las subredes. El procedimiento se realiza para instancias de Linux y Windows, donde se utilizan diferentes mecanismos de acceso: SSH, mediante línea de comandos, y de forma gráfica, usando un cliente de escritorio remoto (RDP), respectivamente.

Práctica 2. Despliegue de grupos elásticos de instancias y gestión de datos con AWS

Resultados de aprendizaje

- Conocer Amazon S3 y los principales conceptos como bucket y clase de almacenamiento.
- Comprender el concepto de volumen EBS, así como su operativa básica y coste.
- Entender los procedimientos de balanceo de carga ofrecidos por el servicio ELB.
- Crear grupos de autoescalado de flotas elásticas de instancias que crezcan en función de la carga de trabajo.

Índice

1. Gestión de datos en Amazon Web Services
 - a) Usando el servicio Amazon S3 para almacenar ficheros
 - b) Usando el servicio Amazon S3 para alojar una web estática
 - c) Gestión de volúmenes e instantáneas con EBS
 - d) Creación y registro de AMIs
2. Balanceo de carga
3. Auto-escalado de grupos de instancias con Auto Scaling
4. Monitorización y gestión con Amazon CloudWatch

Duración estimada

3 horas

Descripción

Esta práctica permite que el alumno realice el almacenamiento de ficheros en la nube mediante Amazon S3. También se pretende que despliegue grupos elásticos de instancias usando los servicios EC2 y Auto Scaling. Se aborda también el proceso de balanceo de carga para tráfico HTTP, de utilidad para el despliegue de arquitecturas de aplicaciones web. Esto permitirá ofrecer una visión de la forma de trabajar desde el punto de vista del IaaS (Infrastructure as a Service), donde se realiza un aprovisionamiento de máquinas virtuales y de espacio de almacenamiento, que posteriormente debe gestionar de forma conveniente el usuario. Se aborda la monitorización de métricas del hipervisor usando CloudWatch.

Práctica 3. Despliegue de arquitecturas de aplicaciones seguras usando Amazon VPC

Resultados de aprendizaje

- Comprender la funcionalidad principal ofrecida por el servicio Amazon VPC (Virtual Private Cloud)
- Conocer los principales escenarios de uso de Amazon VPC en el contexto de las arquitecturas de aplicaciones en la nube.
- Entender las diferencias entre subred pública y subred privada.
- Conocer los mecanismos para obtener acceso a Internet desde instancias desplegadas en subredes privadas.
- Conocer los mecanismos de bloqueo de acceso desde Internet a instancias en subredes públicas.
- Diseñar un VPC sobre el que desplegar arquitecturas de aplicaciones web en la nube sobre diferentes subredes.

Índice

1. Creación de un VPC con subred privada y subred pública
 - a) Despliegue del NAT Gateway
 - b) Despliegue del VPC: Subredes, Network ACLs y Grupos de Seguridad
2. Despliegue de arquitectura de aplicación web sobre el VPC
 - a) Configuración de Grupos de Seguridad
 - b) Configuración y despliegue del backend de base de datos
 - c) Configuración y despliegue del frontend web

Duración estimada

1 hora.

Descripción

Esta práctica permite que el alumno utilice las principales características de Amazon VPC para la creación de subsecciones de red aisladas dentro de AWS. Sobre esta infraestructura se desplegarán arquitecturas de aplicaciones en la nube donde el front-end de las mismas será desplegado en una subred pública (dispondrá de IP pública) mientras que el back-end será desplegado sobre subredes no accesibles desde Internet (dispondrá de IP privada). Esta práctica permitirá conocer la funcionalidad más relevante para diseñar arquitecturas seguras de mediana complejidad desplegadas sobre un VPC.

Práctica 4. Gestión de bases de datos en la nube con Amazon RDS

Resultados de aprendizaje

- Conocer las características del servicio Amazon Relational Database Service (RDS)
- Comprender las implicaciones derivadas del uso de bases de datos en la nube.
- Utilizar el servicio Amazon RDS para el despliegue de instancias de SGBDR basados en MySQL
- Conocer los mecanismos de escalado de instancias de SGBDR ofrecidos por RDS.
- Modificar los parámetros de replicación y alta disponibilidad de una instancia de SGBDR para adaptarse a escenarios de uso elevado de la instancia de SGBDR y tolerancia a fallos, respectivamente.

Índice

1. Despliegue de la instancia del SGBDR
2. Importando datos a la instancia de MySQL
3. Monitorización del estado de la instancia
4. Escalado de Prestaciones
5. Balanceo de carga entre réplicas de lectura mediante Route 53
6. Despliegue en alta disponibilidad (Multi-AZ)

Duración estimada

2 horas

Descripción

Esta práctica permite el uso en la nube de Sistemas Gestores de Bases de Datos Relacionales (SGBDR), ejemplificando sobre MySQL. Se aborda el despliegue y gestión de instancias de estos SGBDR en la nube, con aprovisionamiento dinámico de recursos (tamaño de la base de datos, capacidad del recurso de cómputo sobre el que se ejecuta la instancia del SGBDR, etc.). Esto facilita la migración de aplicaciones que utilizan un back-end de base de datos relacional, permitiendo llevar la gestión y almacenamiento de los datos a AWS. También se aborda el escalado de la instancia de SGBDR para soportar aumentos de carga de trabajo, mediante el uso de réplicas de lectura, así como la modificación de la capacidad de la instancia de SGBDR y su despliegue en alta disponibilidad.

Práctica 5. Gestión de bases de datos NoSQL con Amazon DynamoDB

Resultados de aprendizaje

- Comprender el funcionamiento de Amazon DynamoDB y el ciclo de vida de sus tablas.
- Diseñar tablas e índices de mediana complejidad para el almacenamiento de pares clave/valor y su posterior consulta.
- Realizar inserciones y búsquedas de datos de tablas de Amazon DynamoDB.
- Comprender la interfaz gráfica de manejo de Amazon DynamoDB a través de la AWS Management Console y la línea de comandos con AWS CLI.
- Utilizar Boto 3 para la creación de tablas e inserción de datos en DynamoDB.

Índice

1. Caso de uso: información de películas
 - a) Despliegue y creación de la tabla
 - b) Insertando datos en la tabla
 - c) Acceso a elementos en la tabla: escaneo y consultas
2. Caso de uso: información de CloudTrail
 - a) Definición de estructura de la tabla e índices
 - b) Carga y consulta de datos en la tabla
 - c) Analizando las métricas de la tabla

Duración estimada

2 horas.

Descripción

El objetivo de esta práctica es crear, gestionar y manipular tablas para almacenar datos en la nube usando Amazon DynamoDB. Para ello, se procederá a crear una tabla, revisando las opciones de configuración posibles. A continuación, se procederá a insertar una serie de valores y ver las herramientas existentes para realizar consultas de datos sobre la tabla. Se analizarán los mecanismos de escalado ofrecidos por DynamoDB y, finalmente, se procederá a destruir la tabla. Se utilizarán dos casos de uso diferentes: uno más sencillo, utilizando un dataset de información sobre películas y otro, más avanzado, que persigue guardar información de los eventos que suceden en una cuenta compartida de AWS en una tabla de DynamoDB para labores de auditoría.

Práctica 6. Arquitectura y despliegue de aplicaciones escalables para la nube

Resultados de aprendizaje

- Conocer diferentes arquitecturas de aplicaciones escalables para la nube.
- Comprender la relación entre los diferentes servicios de Amazon Web Services para la creación de arquitecturas escalables.
- Utilizar diferentes estrategias de elasticidad que redunden en un aumento de las prestaciones de la arquitectura de aplicación.
- Implementar una solución escalable para una aplicación web tipo (WordPress) usando los servicios proporcionados por AWS.
- Comprender el impacto de los diferentes servicios de AWS en la escalabilidad de una aplicación para la nube y su influencia en el coste global de la solución.

Índice

1. Arquitecturas de aplicación para la nube
 - a) Arquitectura 1: Monolítica
 - b) Arquitectura 2: Externalización de la base de datos
 - c) Arquitectura 3: Externalización de base de datos y ficheros de datos
 - d) Arquitectura 4: Escalabilidad y alta disponibilidad

Duración estimada

3 horas.

Descripción

En esta práctica se plantea un caso práctico para el alumno basado WordPress, una herramienta para la creación de blogs creada con el lenguaje de programación PHP y que utiliza un Sistema Gestor de Base de Datos como MySQL para almacenar información de usuarios, posts, etc. Se despliegan diferentes arquitecturas y se analiza su coste, para adaptar las capacidades de la arquitectura de la aplicación a las necesidades de cómputo. Se comienza con una arquitectura monolítica donde una instancia de EC2 realiza todas las funciones y progresivamente se evoluciona hacia una arquitectura completamente escalable en la nube involucrando los servicios Amazon EC2, Auto Scaling y Amazon S3, entre otros.

Práctica 7. Configuración automática de infraestructuras con Ansible

Resultados de aprendizaje

- Entender las ventajas de la configuración automática de infraestructuras virtuales.
- Comprender el funcionamiento de Ansible para la ejecución remota de comandos y para la configuración desatendida de infraestructuras.
- Diseñar recetas de Ansible (playbooks) sencillas para la configuración de infraestructuras de mediana envergadura.
- Ejecutar recetas para la configuración de infraestructuras aprovisionadas dinámicamente.

Índice

1. Aprovisionamiento y configuración de instancias
2. Sobre el inventario de Ansible
3. Usando Ansible para la ejecución remota de comandos
4. Usando los módulos de Ansible
 - a) Ejemplo práctico: Instalación de paquetes
 - b) Ejemplo práctico: Despliegue automático de un servidor web
5. Creación de recetas en Ansible: Playbooks
6. Configuración automática de máquinas basada en Roles
7. Playbooks avanzados: Importación, Templates e iteración

Duración estimada

1 hora.

Descripción

En esta práctica se trabaja con Ansible para ejecutar de forma remota comandos vía SSH en las instancias de la infraestructura para acabar configurando el estado definido por el usuario en una receta. Se utiliza para ejemplificar el concepto de *Infrastructure as Code* (Infraestructura como Código) para crear recetas de configuración deterministas y repetibles que permitan la configuración desatendida de recursos computacionales remotos. Se aborda el uso de la herramienta mediante diferentes ejemplos prácticos.

Práctica 8. Despliegue y configuración de infraestructuras virtuales con AWS CloudFormation

Resultados de aprendizaje

- Comprender la importancia de la automatización del despliegue y configuración de infraestructuras virtuales.
- Conocer AWS CloudFormation para el despliegue y configuración de infraestructuras virtuales.
- Entender los principales conceptos de CloudFormation como las plantillas (*templates*) y pilas de recursos (*stacks*).
- Utilizar AWS CloudFormation para el despliegue de plantillas de definición de recursos (*templates*) de mediana complejidad.

Índice

1. Definición de Templates para CloudFormation
2. Uso de CloudFormation mediante la AWS Management Console
3. Uso de CloudFormation desde AWS CLI
4. Funcionalidad avanzada de CloudFormation
 - a) Aplicación web con acceso a base de datos externa
 - b) Arquitectura de aplicación web elástica
5. AWS CloudFormation Designer

Duración estimada

1 hora.

Descripción

Esta práctica permite que el alumno se familiarice con los servicios de despliegue y configuración automatizada de arquitecturas de aplicaciones en la nube de Amazon. Para ello se utiliza AWS CloudFormation, un servicio que permite la descripción textual de arquitecturas de aplicaciones basadas en múltiples recursos de AWS. Esto permite disponer de plantillas de texto que relacionan diferentes recursos de AWS (AMIs, pares de clave, balanceadores de carga, etc.) para permitir el despliegue automático de dicha descripción sobre AWS, provocando así el despliegue de una arquitectura de aplicación en la nube. Se ejemplifica la herramienta mediante el despliegue de diversas arquitecturas de aplicaciones web.

Práctica 9. Despliegue de arquitecturas de aplicaciones con AWS Elastic Beanstalk

Resultados de aprendizaje

- Conocer las principales características de AWS Elastic Beanstalk.
- Comprender los principales conceptos relacionados con AWS Elastic Beanstalk como aplicación (*application*) y entorno (*environment*).
- Utilizar el proceso de despliegue de aplicaciones con AWS Elastic Beanstalk.
- Comprender el ciclo de vida del despliegue de aplicaciones en AWS Elastic Beanstalk.

Índice

1. Despliegue de arquitectura de aplicación web con base de datos
 - a) Creación y configuración de la aplicación
 - b) Conexión de la aplicación con la instancia de base de datos
 - c) Acceso a información del despliegue
 - d) Actualizando la aplicación (versiones)
 - e) Terminación del entorno y de la aplicación
2. Despliegue de arquitectura escalable de aplicación web con base de datos
 - a) Analizando la creación de recursos
 - b) Modificando la configuración del entorno
 - c) Terminación del entorno y de la aplicación

Duración estimada

1 hora.

Descripción

En esta práctica se usa AWS Elastic Beanstalk para realizar el despliegue de diferentes arquitecturas de aplicaciones de forma automatizada. La principal ventaja de Elastic Beanstalk sobre las herramientas anteriores es subir el nivel de abstracción para que el usuario ni siquiera tenga que definir la infraestructura necesaria para ejecutar su aplicación, sino únicamente centrarse en entregar la aplicación al servicio AWS Elastic Beanstalk para su ejecución. De esta forma, el alumno conoce un ejemplo práctico del modelo de servicio PaaS (*Platform as a Service*), utilizado para facilitar el despliegue rápido de arquitecturas de aplicaciones.

Práctica 10. Despliegue automatizado de arquitecturas de aplicaciones con AWS OpsWorks

Resultados de aprendizaje

- Comprender la importancia del despliegue automatizado de arquitecturas de aplicaciones en la nube.
- Conocer la principal funcionalidad del servicio AWS OpsWorks
- Entender los principales conceptos de AWS OpsWorks como las pilas de recursos (*stacks*), las capas (*layers*), etc.
- Realizar despliegues de mediana complejidad de arquitecturas de aplicaciones web existentes sobre AWS usando OpsWorks.

Índice

1. Uso de OpsWorks Mediante la AWS Management Console
 - a) Añadir un Layer
 - b) Añadir instancias al Layer
 - c) Añadir una Aplicación
 - d) Despliegue de la Aplicación
 - e) Terminación del Stack
2. Funcionalidad avanzada de OpsWorks
 - a) Monitorización del Stack
 - b) Actualización de la Aplicación

Duración estimada

1 hora.

Descripción

Esta práctica permite que el alumno se familiarice con los servicios de despliegue y configuración automatizada de arquitecturas de aplicaciones en AWS. El servicio OpsWorks permite organizar diferentes componentes de una arquitectura de aplicación en base a sus diferentes capas (capa lógica, de base de datos, de presentación, etc.) de manera que se automatiza el despliegue de dicha arquitectura sobre AWS. OpsWorks utiliza la herramienta Chef para realizar la configuración automática de las instancias de EC2 para que asuman un determinado rol dentro de la arquitectura de la aplicación.

Práctica 11. Computación dirigida por eventos en la nube usando AWS Lambda

Resultados de aprendizaje

- Manejar CloudWatch Events (EventBridge) para definir reglas de ejecución en base a eventos.
- Integrar el mecanismo de creación de eventos de Amazon S3 y CloudTrail.
- Consultar mensajes de colas de Amazon SQS y procesarlos empleando librerías como jq.
- Utilizar la funcionalidad de CloudWatch Logs para mantener y consultar un registro centralizado de la ejecución de funciones Lambda.
- Emplear el servicio AWS Lambda para la creación de funciones que se ejecutarán ante eventos disparados por servicios de AWS.
- Gestionar el ciclo de vida de funciones de AWS Lambda, incluyendo la creación, test, despliegue, monitorización, consulta de logs y terminación.

Índice

1. Aplicación de ejemplo: procesado de imágenes
2. Procesado asíncrono mediante cola SQS e instancias EC2
 - a) CloudTrail y eventos de S3
 - b) Reglas de eventos en CloudWatch
3. Procesado síncrono mediante AWS Lambda
 - a) Dependencias y creación
 - b) Test de funciones Lambda y análisis de Logs

Duración estimada

3 horas.

Descripción

Esta práctica aborda la funcionalidad de CloudWatch Events (EventBridge) para recibir eventos y encaminarlos hacia otros servicios de AWS. CloudWatch también se utiliza para centralización de logs y recolección de métricas de ejecución. También, el servicio AWS Lambda, para definir funciones cuyas características incluyan las descritas anteriormente y que serán ejecutadas en función de la ocurrencia de ciertos eventos. Se trata el proceso de creación, despliegue, monitorización, consulta de logs y eliminación de funciones de AWS lambda, para crear infraestructuras auto-gestionadas, basadas en reglas y orientadas a eventos en la nube.

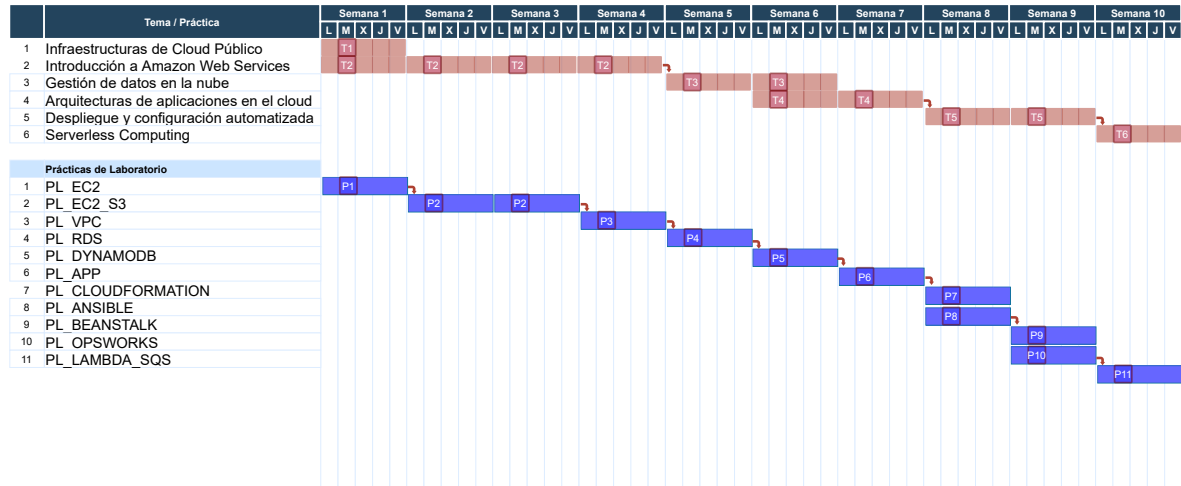


Figura 4-3: Planificación temporal de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público.

4.5. Planificación Temporal

La Figura 4-3 muestra la planificación temporal de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público a lo largo de un cuatrimestre. Hay una única sesión de la asignatura semanal (típicamente los martes, salvo que haya un cambio docente). En la figura, el solape de dos temas en una misma semana significa que en dicha sesión se termina un tema y comienza el siguiente. Nótese que se utiliza una nomenclatura abreviada para las prácticas, pero resulta fácil establecer la correspondencia en base al número.

La planificación temporal permite comenzar, en primer lugar, con una introducción a los conceptos más teóricos sobre infraestructuras Cloud antes de comenzar con la primera práctica de iniciación a AWS mediante Amazon EC2. A partir de ese punto, todas las sesiones incluyen parte teórica, combinada con parte práctica, tal y como se describe en la metodología docente.

4.6. Metodología Docente Propuesta

La asignatura consta de una parte teórica y otra práctica, por lo que debe existir una fuerte relación entre los objetivos de ambas partes. Por lo tanto, es importante que los contenidos teóricos se aborden antes que la parte práctica para que el alumno esté preparado para aprovechar la parte práctica de cada sesión. En efecto, dado que las sesiones son de 4 horas, se plantea una estructuración entre las mismas que comienza con una lección magistral participativa [343] en la que se exponen los principales conceptos teóricos involucrando al alumno en la construcción del aprendizaje y que finaliza, tras un descanso, con tiempo de trabajo autónomo, con el soporte del instructor, dedicado para la parte práctica de la asignatura.

La lección magistral es una técnica ampliamente utilizada en el ámbito universitario para la

transmisión de información y convertirla en participativa implica involucrar al estudiante como actor principal en la construcción del aprendizaje. Mediante la integración del uso de la pregunta, como mecanismo para establecer relaciones entre conceptos y la realización de actividades cortas de descubrimiento autónomo, es posible introducir metodologías activas que permitan dinamizar la clase.

Las sesiones comienzan con un breve resumen de los principales conceptos vistos en las clases anteriores mediante un diagrama construido de forma colaborativa entre el profesor y los alumnos, por medio del uso de la pregunta, con el objetivo de establecer el andamiaje conceptual y la interrelación entre los conceptos umbrales (del inglés *threshold concepts* [43]), es decir, aquellos conceptos que una vez dominados, suponen un cambio en la percepción del estudiante y le permiten ampliar la perspectiva de la disciplina y comprender otros conceptos. Esta aproximación también favorece la evocación, que favorece el aprendizaje profundo.

A continuación, se aborda la parte teórica de cada tema, que suele llevar entre 1h30 y 2 horas en cada sesión. Tras realizar una pausa descanso de unos 15-20 minutos, comienza la parte práctica correspondiente a cada tema. En ella, los alumnos disponen de boletines de prácticas guiados que dirigen a los alumnos sobre los principales detalles técnicos de los diferentes servicios en la nube utilizados. Los boletines están diseñados de forma que puedan acompañar al alumno independientemente de su experiencia previa en temas de Cloud computing. Aunque se pueda pensar que un acompañamiento guiado carece de reto para el alumno y no catalice su motivación para realizar las prácticas, en realidad, los alumnos valoran positivamente este tipo de prácticas. En efecto, de antemano queda establecida la importancia de aprender los diferentes servicios en la nube para el desarrollo de arquitecturas de aplicaciones modernas y, al tratarse de una tecnología útil y de aplicación directa para muchos escenarios computacionales, esto genera un efecto de atracción para los alumnos. Es en la realización del trabajo académico, como se describirá más adelante, donde el alumno pone en práctica de forma autónoma las competencias adquiridas para demostrar la consecución de los resultados de aprendizaje definidos en la asignatura.

4.6.1. La Evaluación

La evaluación de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público queda definida en la guía docente de la asignatura, a modo de contrato vinculante entre profesor y alumnado y se resume a continuación la propuesta:

Esta asignatura es teórico-práctica y la evaluación se realiza en base a:

- Un 20% se corresponde con la evaluación de un portafolio que incluye la resolución de las prácticas planteadas al alumno durante la asignatura.
- Un 40% de la calificación final se obtendrá mediante un test de preguntas cerradas.

Tipo	Descripción	Actos	Peso
Pruebas objetivas (tipo test)	Examen escrito estructurado con diversas preguntas o ítems en los que el alumno no elabora la respuesta; sólo ha de señalarla o completarla con elementos muy precisos.	1	40 %
Trabajo académico	Desarrollo de un proyecto que puede ir desde trabajos breves y sencillos hasta trabajos amplios y complejos propios de últimos cursos.	1	40 %
Portafolio	Conjunto documental elaborado por un estudiante que muestra la tarea realizada durante el curso en una materia determinada.	1	20 %

Tabla 4.2: Mecanismo de evaluación de la asignatura Infraestructuras de Cloud Público.

- Un 40% de la calificación se obtendrá mediante la realización de un trabajo académico que involucra el uso de los componentes y servicios trabajados durante la asignatura (y afines) a resolver en la franja temporal definida por el profesor al inicio de la asignatura.

Para los alumnos con dispensa de asistencia, la evaluación se realizará en los mismos términos y condiciones anteriormente mencionados, obviando el requisito mínimo de asistencia a un número mínimo de sesiones de aula. En el caso de que la calificación final sea inferior a 5 y solo en ese caso, el alumno podrá recuperar la parte relativa al trabajo, mejorando éste de acuerdo con los comentarios recibidos en la evaluación. En este caso la nota máxima de la asignatura estará limitada a un 8. No habrá ningún acto de evaluación de la asignatura más allá de dos semanas lectivas contadas a partir de la última clase de la asignatura.

La Tabla 4.2 resume el mecanismo de evaluación de la asignatura ICP. Nótese que la descripción general equivale a la mostrada en la guía docente. A continuación se describe brevemente cada tipo de acto de evaluación.

- Prueba objetiva. Se trata de un test de preguntas múltiples (4 opciones donde una sola de ellas es cierta, salvo en las preguntas de opción múltiple). Se lleva a cabo de forma individual, sincronizada en tiempo y espacio por todos los alumnos, y temporizada de manera que se asignan 50 minutos para contestar las 40 preguntas. Los alumnos reciben el resultado nada más terminar la prueba y disponen de una retroalimentación detallada para cada pregunta indicando cuál es la pregunta correcta y argumentando el porqué.
- Trabajo académico. Al inicio de la asignatura se entrega a los alumnos un conjunto de trabajos disponibles que cubren diferentes áreas temáticas dentro de la asignatura pero se proporciona la posibilidad de que ellos mismos indiquen alguna temática de interés que esté alineada con los principales objetivos de la asignatura. Esto permite catalizar la motivación intrínseca que pueda tener algún alumno para desarrollar una tarea que sea de su interés, siempre que sea afín a la temática de la asignatura y el profesor de el visto bueno.

- Portafolio. Consiste en la realización de todas las prácticas de la asignatura dentro del tiempo asignado, que típicamente incluye hasta el último acto de evaluación, que es la entrega del trabajo académico.

Finalmente, comentar que la evaluación de la competencia transversal “Aprendizaje permanente” se realiza mediante el grado de completitud de las prácticas de la asignatura, mientras que la competencia “instrumental específica” se evalúa mediante una prueba objetiva (Test PoliformaT) que evalúa el conocimiento básico de los servicios de AWS para el despliegue de arquitecturas de aplicaciones en la nube.

4.6.2. Uso de las TIC

Esta asignatura realiza un uso intensivo de las tecnologías de la información y de las comunicaciones. En primer lugar, se describe la tecnología empleada para impartir las clases (*continente*). A continuación, las herramientas tecnológicas empleadas como parte del material de la asignatura (*contenido*).

Con respecto al continente, el aula está equipada con un PC con doble monitor, tarjeta digitalizadora, cañón proyector de alta resolución y cámara con micrófono incorporado que permite enfocar a la pizarra blanca usada por el profesor para realizar anotaciones. El seminario está equipado con toda la tecnología necesaria para el servicio de vídeo apuntes (ver sección 3.3.4) por lo que todas las sesiones quedan grabadas de forma automática y disponibles para ser visualizadas por parte del alumnado. Sin embargo, esta tecnología está pensada para su uso asíncrono, es decir, para poder ver las clases una vez han finalizado. Sin embargo, para permitir seguir las clases a alumnos que por restricciones puntuales no pueden acudir a clase de forma presencial, se utiliza Microsoft Teams. Para ello, se crea una reunión en cada sesión de forma que se realiza un streaming simultáneo de la clase (pudiendo visualizar tanto las transparencias presentadas como el contenido de la pizarra). El sistema de altavoces disponibles en el aula permite que los alumnos en remoto puedan realizar sus preguntas de forma natural, como si estuvieran en el aula. Además, también es posible realizar la grabación de la sesión a través de Teams, por lo que existe un sistema alternativo.

Con respecto al contenido, la asignatura utiliza las siguientes tecnologías:

- Amazon Web Services (AWS), como proveedor Cloud sobre el que ejemplificar los conceptos de infraestructuras de Cloud público y sobre el que se realizan despliegues de arquitecturas de aplicaciones en la nube. Se utiliza tanto la *AWS Management Console* o consola web de AWS que permite utilizar un navegador web para poder interactuar con los diferentes servicios, así como la interfaz de línea de comandos (AWS CLI) [39] que permite interactuar desde línea de comandos con los diferentes servicios.

- Infrastructure Manager (IM) [74, 193], una herramienta desarrollada en nuestro grupo de investigación para el despliegue de infraestructuras virtuales sobre múltiples proveedores Cloud. Se utiliza por el instructor para desplegar una máquina virtual configurada con todas las cuentas de usuario que usarán los alumnos para poder realizar las prácticas. Además, se configura con las diferentes herramientas necesarias como Docker, Ansible, MySQL, etc.
- CloudTrail-Tracker [276], un panel web descrito en la sección 3.3.6 que permite a los alumnos conocer su grado de progreso en las diferentes prácticas de la asignatura. Esto evita que los alumnos tengan que entregar una memoria donde evidencien la labor realizada, pues es posible recopilar de forma automatizada dichas evidencias y luego utilizarlas tanto por el alumno, a modo de auto-regulación (saber en qué punto estás y qué falta por realizar) como por el profesor, para evaluación. Se utiliza esta herramienta para conocer el grado de completitud de cada una de las prácticas y, por lo tanto, para evaluar la competencia transversal “Aprendizaje permanente”.

4.7. Bibliografía Comentada

Esta sección describe brevemente la bibliografía sugerida a los alumnos. Es importante destacar que la rápida evolución de estas tecnologías provoca que los libros queden rápidamente obsoletos por lo que estos se utilizan para comprender los conceptos generales de diseño de arquitecturas de aplicaciones en la nube pero la información técnica precisa de cómo se realiza se mantiene actualizada en los boletines de prácticas y en la documentación de teoría.

Distributed and cloud computing: from parallel processing to the Internet of things, de Hwang, Dongarra y Fox [185]

Este libro supone una compilación de trabajos en el ámbito de la computación distribuida que permite conocer mejor cómo han permitido surgir las tecnologías de Cloud computing. Mediante la integración de diseño de arquitecturas de sistemas, aplicaciones del procesado distribuido y el uso de técnicas de virtualización se colocan las piedras angulares para luego abordar el desarrollo de sistemas escalables con aplicaciones en campos tan diversos como el comercio electrónico, la supercomputación y las redes sociales.

Cloud computing: principles and paradigms, de Buyya, Broberg y Goscinski [69]

Este libro del año 2011, aunque acumula cierta edad, supone una buena referencia para enmarcar contribuciones en el ámbito del procesado distribuido, la computación científica, la ejecución de workflows y los diferentes modelos de servicio en la nube. Se trata de una compilación de trabajos en el área.

Serverless architectures on AWS, de Sbarski [325]

Este libro enseña cómo construir de forma segura y gestionar arquitecturas aplicaciones serverless para aplicaciones web y de dispositivos móviles. Incluye información técnica sobre AWS Lambda y API Gateway así como los eventos que se generan desde servicios como Amazon S3. Incluye información sobre el procedimiento de despliegue de este tipo de arquitecturas usando tanto el framework serverless como SAM (Serverless Application Model), la herramienta nativa de AWS.

AWS system administration: best practices for sysadmins in the Amazon Cloud, de Ryan y Lucifredi [320]

Este libro está redactado a modo de guía para que los desarrolladores y administradores de sistemas puedan conocer cómo configurar y gestionar los servicios de AWS incluyendo EC2, S3, Route 53, etc. También incluye información sobre configuración automatizada con Python y Puppet y monitorización de infraestructura con CloudWatch.

Cloud architecture patterns, de Wilder [389]

Este libro presenta 11 patrones de arquitecturas de aplicaciones. Aunque utiliza Microsoft Azure para ejemplificar, los patrones son aplicables a otros proveedores Cloud. Se presenta la utilidad de cada patrón así como su impacto en la arquitectura de aplicación.

Capítulo 5

La Asignatura “Estructuras de Datos y Algoritmos”

En este capítulo se describe la Asignatura “Estructuras de Datos y Algoritmos” asociada al perfil de la plaza a la que opta el candidato. En primer lugar, se realiza una presentación general de la asignatura, detallando su situación en el plan de estudios de la titulación y analizando su evolución a lo largo de los últimos años. A continuación se describen los objetivos que pretende conseguir la asignatura, en el contexto del perfil de la titulación. Posteriormente, se detalla la propuesta de programa de teoría y de prácticas de la asignatura, junto con la planificación temporal correspondiente. El capítulo finaliza con una descripción comentada de la bibliografía de la asignatura.

5.1. Presentación General

Estructuras de Datos y Algoritmos (EDA) es una asignatura semestral de segundo curso (y segundo cuatrimestre) de 6 créditos ECTS impartida en la titulación de Grado en Ingeniería Informática en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universitat Politècnica de València. El curso académico 2011/2012 supuso el primer año de impartición de esta nueva asignatura, que surgió como resultado de la integración de las dos asignaturas de nombre similar impartidas en las antiguas Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada y Facultad de Informática. Estas dos asignaturas predecesoras constaban de temarios relativamente similares aunque con diferentes aproximaciones didácticas y lenguajes de programación.

Como conocimientos previos recomendados antes de cursar la asignatura aparecen los vinculados a las asignaturas “Introducción a la informática y a la programación”, “Programación” y “Lenguajes, tecnologías y paradigmas de la programación”. A continuación se proporciona una breve descripción de estas asignaturas, a partir de la información obtenida de las correspondientes guías docentes:

- **Introducción a la informática y a la programación.** En esta asignatura se inicia al alumnado en el proceso de construcción y estudio de los programas. Desde un punto de vista formativo, este proceso es esencial en la formación del Ingeniero Informático. Preludiando esta formación, la asignatura introduce algunos elementos básicos del ámbito de la Informática. De forma más precisa, con esta asignatura se pretende que el alumnado sea capaz de escribir programas correctos de baja complejidad en un lenguaje imperativo de alto nivel, utilizando aspectos básicos de programación orientada a objetos como es Java; todo ello como parte de su formación inicial en la construcción de sistemas informáticos.
- **Programación.** En esta asignatura se continua la formación en el desarrollo y estudio de programas de ordenador. Para ello, se inicia al estudiante en el análisis de los algoritmos, se continua impartiendo una introducción a la programación orientada a objetos (herencia), entrada/salida y tratamiento de excepciones, y se finaliza aplicando lo anterior al estudio de las estructuras de datos lineales. En resumen, se pretende que el alumnado sea capaz de diseñar, analizar, implementar y validar soluciones algorítmicas eficientes para problemas específicos, en el ámbito de la programación a pequeña escala, siguiendo el modelo de programación imperativa, e incidiendo en aspectos fundamentales de programación orientada a objetos; todo ello, como parte de su formación en la construcción de sistemas informáticos y en la comunicación oral, y sobre todo escrita, de su trabajo.
- **Lenguajes, tecnologías y paradigmas de la programación.** Esta asignatura persigue comprender los aspectos esenciales de los diferentes paradigmas de programación y las implicaciones derivadas del uso y diseño de un lenguaje facilita el posterior aprendizaje de lenguajes nuevos, así como su diseño. Asimismo proporciona la base necesaria para una adecuada elección y utilización (posiblemente combinada) de lenguajes y paradigmas en tareas de análisis, diseño, construcción y mantenimiento de aplicaciones de forma robusta, segura y eficiente. El objetivo es introducir los fundamentos, las tecnologías de soporte y las principales aplicaciones de los paradigmas clave en los que se enmarcan los lenguajes de programación actuales.

5.1.1. Evolución Histórica

Para la planificación docente, es importante disponer de una perspectiva histórica de la asignatura que permita comprender la situación del alumnado. Para ello, la Tabla 5.1 muestra los resultados de la asignatura Estructura de Datos y Algoritmos a lo largo de los últimos cursos académicos. En la tabla se muestra, para cada curso académico, el número de alumnos matriculados en la asignatura junto a su distribución en aprobados, bien en la primera convocatoria o en la segunda, suspendidos y aquellos que no se presentaron a los exámenes.

Curso	Matriculados	Aprobados	Suspendidos	No Presentados
2011-2012	243	171	41	31
2012-2013	383	223	124	36
2013-2014	451	287	128	36
2014-2015	422	273	103	46
2015-2016	429	283	111	35
2016-2017	432	288	116	28
2017-2018	481	298	160	23
2018-2019	518	411	85	22
2019-2020	459	405	31	23
2020-2021	434	319	86	29

Tabla 5.1: Estadísticas históricas de la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos.

5.2. Competencias

A continuación se relacionan las competencias generales y específicas perseguidas:

- Conocimiento de la estructura, organización, funcionamiento e interconexión de los sistemas informáticos, los fundamentos de su programación, y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.
- Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
- Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.
- Conocimiento, diseño y utilización de forma eficiente los tipos y estructuras de datos más adecuados a la resolución de un problema.
- Aprender de manera autónoma nuevos conocimientos y técnicas adecuados para la concepción, el desarrollo, la evaluación o la explotación de sistemas informáticos.
- Conocimiento y aplicación de los procedimientos algorítmicos básicos de las tecnologías informáticas para diseñar soluciones a problemas, analizando la idoneidad y complejidad de los algoritmos propuestos.
- Razonar de manera abstracta, analítica y crítica, sabiendo elaborar y defender argumentos en su área de estudio y campo profesional.

La competencia transversal asignada a la asignatura es “Análisis y resolución de problemas” y para trabajarla se realizan actividades de prácticas de laboratorio así como resolución de problemas en el aula que implican la elección del modelo de datos y su implementación eficiente a la hora

de resolver. Esta asignatura es punto de control de dicha competencia transversal por lo que se plantea como estrategias de evaluación la realización de pruebas escritas de respuesta abierta donde el alumnado será capaz de analizar un problema y encuadrarlo en la tipología correcta. Para ello, habrá adquirido la capacidad de seleccionar el tipo de algoritmo más cercano al problema propuesto y adaptarlo al caso concreto. El alumnado será capaz de implementar la solución en un entorno de programación concreto. Las competencias específicas deben ser alcanzadas por medio del desarrollo del programa de la asignatura, descrito a continuación.

5.3. Planificación de la Asignatura

Para realizar la planificación de la asignatura se han tenido en cuenta los siguientes parámetros. En primer lugar, un crédito ECTS implica 25 de trabajo del alumnado. Además, se ha tenido en cuenta la distribución de sesiones correspondiente a un calendario académico de segundo cuatrimestre. La planificación del cuatrimestre realizada por la ETSINF incluye 15 Martes, Miércoles, Jueves y Viernes. Los Lunes se reservan para actos de evaluación y no se imparte docencia reglada.

Tras la implantación del Grado en Ingeniería Informática en la ETSINF, los grupos de teoría son del orden de unos 50-60 alumnos que se desdoblán en dos grupos de prácticas de unos 25-30 alumnos. La estructuración de las asignaturas implica 2 sesiones semanales de 1.5 horas de teoría y 1 sesión semanal de 1.5 horas de prácticas en el laboratorio. Por ello, hay un total de 30 sesiones de teoría de 1.5 horas presenciales cada una, y un total de 15 sesiones de prácticas de 1.5 horas presenciales de duración en el laboratorio. Esto origina 45 horas presenciales de clase de teoría y de 22.5 horas presenciales de clase en el laboratorio, es decir, un total de 67.5 horas presenciales.

Los 6 créditos ECTS implican una carga de 150 horas de trabajo del alumnado, repartidas en 67.5 horas presenciales y 82.5 horas no presenciales. Las horas no presenciales se han asignado mayoritariamente a la parte teórica de la asignatura para la realización de trabajos individuales y en grupo, así como los correspondientes entregables para cada tema. Sí que se ha reservado 1 hora de trabajo no presencial para todas las prácticas (salvo para la última, que se le asigna 1.5 horas debido a su mayor dificultad) con el objetivo de que el alumnado lea el boletín de prácticas previo a la sesión y pueda esbozar una propuesta de implementación. De esta manera, el trabajo en la sesión de laboratorio resulta más fructífero.

5.4. Programa Detallado

Esta sección describe el programa de la asignatura, tanto de teoría como de prácticas, propuesto por el candidato. La propuesta se fundamenta en la experiencia del candidato en impartir esta asignatura (y otras afines) en diferentes cursos académicos desde el curso académico 2004/2005.

1. Introducción: Estructuras de Datos y Algoritmos en el Entorno Java
2. Soluciones Divide y Vencerás para la Ordenación y la Selección
3. La Tabla Hash
4. Árboles, Árbol Binario y Árbol Binario de Búsqueda
5. Cola de Prioridad y Montículo Binario. Ordenación según un Montículo (Heap Sort)
6. Grafos
7. MF-Sets

Figura 5-1: Programa de teoría de la asignatura Estructura de Datos y Algoritmos.

5.4.1. Programa de Teoría

Una vez descritos los objetivos generales de la asignatura, a continuación se detalla la propuesta de programa de la asignatura con los contenidos apropiados para alcanzar dichos objetivos. Se utilizará el lenguaje de programación Java para ejemplificar las implementaciones desarrolladas. Esto responde a varias razones. Por un lado, es un lenguaje orientado a objetos con definición explícita de tipos que permite al alumnado conocer los problemas derivados de la incompatibilidad de tipos. Por otro lado, es un lenguaje multiplataforma ya que existen implementaciones de la máquina virtual de Java para casi cualquier arquitectura. A continuación se describe el programa de teoría y su estructuración en unidades didácticas. Posteriormente, se muestra el programa de prácticas.

La Figura 5-1 muestra la división del programa de teoría de la asignatura en sus correspondientes unidades didácticas. El temario comienza con una introducción al diseño de estructuras de datos y algoritmos usando el lenguaje de programación Java. Posteriormente, se trata la aproximación Divide y Vencerás (DyV) para resolver el problema de la ordenación vectorial y la selección. A continuación, se aborda la Tabla Hash. Luego se explican estructuras jerárquicas orientadas a la búsqueda de datos como es el caso del Árbol Binario de Búsqueda. Esto sirve de punto de partida para hablar sobre el Montículo Binario y la implementación del modelo de Cola de Prioridad, tratando también el problema de ordenación usando Montículos. Después se tratan los Grafos como estructuras para representar relaciones binarias entre elementos y resolver problemas como el del cálculo de caminos mínimos. Finalmente, se estudian los MF-Sets, que posibilitan la implementación de algunos algoritmos relacionados con Grafos.

En las próximas páginas se detalla cada uno de los temas propuestos, indicando los principales resultados de aprendizaje, el índice propuesto, la duración estimada, una pequeña descripción del mismo y una propuesta de trabajos entregables a realizar por los alumnos, algunos de ellos en grupo y otros de forma individual.

Tema 1. Introducción: Estructuras de Datos y Algoritmos en el Entorno Java

Resultados de aprendizaje

- Conocer los conceptos avanzados de Programación Orientada a Objetos y su soporte en el lenguaje de programación Java.
- Entender el mecanismo de referencias a objeto como soporte para la implementación de estructuras de datos.

Índice

1. Conceptos avanzados de Programación Orientada a Objetos (POO)
 - a) Referencias, Clases Abstractas, Interfaces, Polimorfismo
2. Jerarquías de clases Java
 - a) Soporte a la implementación de EDAs
 - b) EDAs disponibles en Java

Duración estimada

3 horas presenciales (2 sesiones) y 7 horas no presenciales.

Descripción

Este tema comienza con una revisión y profundización de conceptos avanzados de Programación Orientada a Objetos en Java. En concreto, se revisa el concepto de referencia a un objeto en Java y su implicación en las futuras implementaciones basadas en representación enlazada. A continuación se revisan los conceptos de clases abstractas como mecanismo para la creación de clases repositorio de operaciones y las interfaces para la definición de modelos de acceso a datos, independientes de la implementación.

A continuación se explican las jerarquías de clases en Java como herramienta para la construcción de EDAs a partir de otras clases. Posteriormente, se habla sobre la existencia de implementaciones de las diferentes estructuras de datos en Java. Se enfatiza la necesidad de conocer la implementación subyacente por motivos de eficiencia.

Entregables

Código	Descripción	Modalidad	Para cuándo	Puntos
#1.1	Ejercicios sobre clases y polimorfismo	En grupo	Final de la sesión 2	30

Tema 2. Soluciones Divide y Vencerás para la Ordenación y la Selección

Resultados de aprendizaje

- Entender el funcionamiento de algoritmos recursivos no triviales.
- Comprender la estrategia de diseño recursivo Divide y Vencerás (DyV).
- Comprender los principales métodos de ordenación recursiva (QuickSort y MergeSort).
- Analizar el problema y la solución al problema de la selección del k-ésimo menor elemento.

Índice

1. Estrategia Divide y Vencerás de ordenación rápida
2. Los algoritmos MergeSort y QuickSort
3. El problema de la Selección del k-ésimo menor elemento.

Duración estimada

7.5 horas presenciales (5 sesiones) y 10 horas no presenciales

Descripción

El objetivo de este tema es consolidar y avanzar en el conocimiento que tiene el alumnado de la estrategia de diseño de algoritmos recursivos vista en la asignatura de Programación. El tema comienza revisando la taxonomía de la recursión como mecanismo para clasificar algoritmos recursivos. Luego, se profundiza en la comprensión del flujo de ejecución de un método recursivo dependiendo del tipo de recursión implementada. A continuación, el tema se centra en la estrategia Divide y Vencerás para métodos con recursión múltiple. Ésta última se ejemplifica por medio del estudio de los algoritmos de ordenación rápida MergeSort y Quicksort. Finalmente, se estudia el problema de la Selección y se propone una solución basada en una estrategia DyV.

Entregables

Código	Descripción	Modalidad	Para cuándo	Puntos
#2.1	Traza de MergeSort y QuickSort	Individual	Final de la sesión 4	30

Tema 3: La Tabla Hash

Resultados de aprendizaje

- Conocer el funcionamiento de estructuras orientadas a la búsqueda por clave, como la Tabla Hash.
- Comprender la influencia de la función de dispersión, las colisiones y su resolución mediante encadenamiento enlazado.
- Entender la eficiencia de una Tabla Hash en función de su factor de carga.

Indice

1. La Tabla Hash
 - a) Estudio de la eficiencia temporal y espacial
 - b) Resolución de colisiones
 - c) Implementación de una Tabla Hash en Java
2. La Tabla Hash en el JDK

Duración estimada

6 horas presenciales (4 sesiones) y 9 horas no presenciales.

Descripción

En este tema se describe la Tabla Hash como una estructura de datos orientada a la búsqueda. En primer lugar el tema realiza una breve introducción en la que se describen los principales conceptos. En ella se habla de funciones de dispersión, se descubre el problema de las colisiones y se detalla un mecanismo enlazado para resolverlo. A continuación, se realiza un estudio de la eficiencia de la Tabla Hash en base a su factor de carga y al mecanismo de resolución de colisiones. De esta manera, el alumnado debe ser consciente de la potencia y las limitaciones de esta estructura.

Posteriormente, se desarrolla una implementación de la Tabla Hash en Java, detallando cada una de las principales operaciones y analizando su coste. Finalmente, se comenta la funcionalidad existente en el JDK para utilizar Tablas Hash (a través de la clase Hashtable). Esta aproximación permite complementar el punto de vista del programador con el de usuario de la estructura.

Entregables

Código	Descripción	Modalidad	Para cuándo	Puntos
#3.1	Implementación de rehashing	En grupo	Final de la sesión 4	30

Tema 4: Árboles, Árbol Binario y Árbol Binario de Búsqueda

Resultados de aprendizaje

1. Conocer la estructura de Árbol Binario y Árbol Binario de Búsqueda (ABB), así como sus principales propiedades, operaciones y recorridos.
2. Analizar la implementación enlazada de un ABB en Java.
3. Comprender la influencia del equilibrio del árbol en el coste de las principales operaciones.

Índice

1. Introducción
 - a) Árboles y Árboles Binarios
 - b) El problema de la búsqueda dinámica
2. Árboles Binarios de Búsqueda
 - a) Definición y propiedades
 - b) Operaciones principales: Procedimiento y costes
 - c) Implementación en Java de un ABB

Duración estimada

7.5 horas presenciales (5 sesiones) y 13 horas no presenciales

Descripción

Este tema comienza presentando el árbol binario como una estructura jerárquica para la representación de un grupo de objetos, estudiando sus principales propiedades. A continuación se describe el Árbol Binario de Búsqueda como una estructura de datos orientada a la búsqueda y se presenta la condición de ordenación que cumple el ABB.

Tras la definición, se estudian las principales operaciones a realizar sobre un ABB: inserción, búsqueda y borrado, detallando los costes de las mismas en función de la relación entre la altura del ABB y su tamaño, es decir, en función del grado de equilibrio del ABB. A continuación, se proporciona una implementación enlazada en Java mediante nodos con referencias a hijo izquierdo y derecho.

Entregables

Código	Descripción	Modalidad	Para cuándo	Puntos
#4.1	Eliminación recursiva en un ABB	En grupo	Final de la sesión 4	30

Tema 5: Cola de Prioridad y Montículo Binario.

Resultados de aprendizaje

- Conocer las características y principales operaciones de un Montículo Binario.
- Comprender el coste de las operaciones de inserción, búsqueda y borrado del Montículo Binario.
- Analizar la implementación del modelo Cola de Prioridad sobre un Montículo Binario.
- Entender el método de ordenación rápida HeapSort.

Índice

1. El Montículo Binario o Heap
 - a) Definición, propiedades, operaciones principales y costes
 - b) Implementación en Java de un Montículo Binario
2. Implementación eficiente del modelo Cola de Prioridad
3. Ordenación rápida basada en Montículo Binario: HeapSort

Duración estimada

7.5 horas presenciales (5 sesiones) y 12 horas no presenciales.

Descripción

Este tema describe la estructura de datos Montículo Binario como un árbol binario completo con cierta propiedad de ordenación que garantiza disponer del elemento mínimo (o el máximo) en la raíz del árbol. Por este motivo, es la estructura idónea para proporcionar una implementación eficiente del modelo de Cola de Prioridad. En este sentido, se presenta la implementación del modelo y se analiza el coste de sus operaciones. Previamente, es necesario definir un árbol binario completo y explicar los mecanismos de representación eficiente de este tipo de estructuras sobre un vector.

Posteriormente, se retoma el problema de la ordenación eficiente de un vector de elementos utilizando el procedimiento HeapSort. Se analiza la complejidad temporal asintótica de este método y se compara con las obtenidas por los algoritmos de ordenación rápida vistos en el tema 2 (MergeSort y QuickSort).

Entregables

Código	Descripción	Modalidad	Para cuándo	Puntos
#5.1	Implementación de MB maximal	En grupo	Final de la sesión 4	30
#5.2	Traza de HeapSort	Individual	Final de la sesión 5	20

Tema 6: Grafos

Resultados de aprendizaje

- Entender la necesidad del Grafo para representar una relación binaria entre objetos.
- Desarrollar una implementación en Java de un Grafo.
- Conocer algunas de sus aplicaciones más significativas (p.ej. caminos mínimos en un grafo, ordenación topológica).

Índice

1. Los Grafos
 - a) Representación: Matriz y Listas de Adyacencia
 - b) Implementación en Java de un Grafo
2. Algoritmos sobre Grafos
 - a) Recorridos de un Grafo. Caminos mínimos sin y con pesos
 - b) Ordenación topológica. Árboles de expansión mínima

Duración estimada

9 horas presenciales (6 sesiones) y 13 horas no presenciales.

Descripción

Este tema trata la representación de una relación binaria entre los datos de una colección mediante una estructura de Grafo. Para ello se estudian diferentes estrategias de representación como la matriz de adyacencia o la lista de adyacencia, discutiendo las ventajas e inconvenientes de cada una. A continuación se estudia una implementación en Java de Grafos mediante listas de adyacencia, aprovechando estructuras como es el caso de la Tabla Hash.

Además, se aborda la implementación de las operaciones de recorrido en profundidad y anchura, así como el cálculo de caminos mínimos tanto en grafos sin y con aristas ponderadas (Dijkstra). Finalmente, se abordan de forma intuitiva los algoritmos de Prim y Kruskal para el cálculo de árboles de recubrimiento mínimo.

Entregables

Código	Descripción	Modalidad	Para cuándo	Puntos
#6.1	Matriz vs Lista de Adyacencia	En grupo	Final de la sesión 3	30
#6.2	Traza del algoritmo de Dijkstra	Individual	Final de la sesión 5	30

Tema 7. MF-Sets

Resultados de aprendizaje

- Comprender la implementación de estructuras de datos para mantener conjuntos disjuntos.
- Conocer las principales aplicaciones de esta estructura datos, en especial con Grafos.

Índice

1. Estructuras de datos para conjuntos disjuntos
 - a) Operación *Merge*
 - b) Operación *Find*
2. Implementación de MF-Sets en Java
 - a) Complejidad Temporal
3. Aplicaciones principales: Kruskal

Duración estimada

4.5 horas presenciales (3 sesiones) y 7 horas no presenciales.

Descripción

Este tema introduce los MF-Sets como una estructura eficiente para almacenar una colección de subconjuntos disjuntos permitiendo así determinar las posibles particiones de un conjunto en clases de equivalencia a partir de la definición de una relación de equivalencia. Para ello se explican las dos principales operaciones involucradas: *Find* para determinar a qué subconjunto pertenece un determinado elemento y *Merge* para combinar dos conjuntos en uno solo. A continuación se analizan varias propuestas de implementación con el lenguaje Java. Se analiza la complejidad temporal asintótica de las principales operaciones. Finalmente, se comenta las principales aplicaciones de esta estructura. Se destaca su uso para la implementación del algoritmo de Kruskal permitiendo saber si al añadir una arista provocaría un ciclo en el Grafo resultante. También se comenta su utilidad para conocer las componentes conexas de un grafo no dirigido.

Entregables

Código	Descripción	Modalidad	Para cuándo	Puntos
#6.1	Traza de operaciones	Individual	Final de la sesión 2	30

- Práctica 1. El entorno de trabajo en las prácticas de EDA
- Práctica 2. Estudio de la eficiencia de algoritmos de ordenación vectorial
- Práctica 3. Uso de una Tabla Hash para representar un Diccionario
- Práctica 4. Traducción palabra a palabra del castellano al inglés
- Práctica 5. Diseño iterativo de operaciones del Árbol Binario de Búsqueda
- Práctica 6. Simulación de urgencias de un Hospital: Modelo de Cola de Prioridad
- Práctica 7. Cálculo eficiente de rutas por carretera: Algoritmo de Dijkstra

Figura 5-2: Programa de prácticas de la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos

5.4.2. Programa de Prácticas

A continuación se detalla el programa de prácticas. El objetivo de este programa consiste en afianzar los conceptos vistos en el programa de teoría con ayuda de un ordenador. Para una asignatura de estas características la parte práctica resulta fundamental ya que el alumnado debe adquirir parte de las capacidades, habilidades y destrezas necesarias para resolver los problemas con ayuda del ordenador que le serán de utilidad en su futura vida laboral.

Como plataforma para el desarrollo de las prácticas se ha elegido el entorno BlueJ [58, 209, 49]. Este entorno ha sido diseñado específicamente para la enseñanza de programación orientada a objetos con Java. Además, su licencia permite utilizarlo libremente en el aula, de ahí que sea una buena elección para los primeros cursos de programación en una ingeniería. Actualmente, el sistema está soportado por Oracle.

Las prácticas se han diseñado teniendo en cuenta su correspondencia con el programa propuesto de temas de teoría. El objetivo es que el alumnado conozca los conceptos necesarios con la suficiente antelación como para desarrollar de forma efectiva las prácticas de laboratorio.

La Figura 5-2 muestra la propuesta del programa de prácticas de la asignatura. En las próximas páginas se detallan las prácticas propuestas. Para cada una de ellas se describen los objetivos, el índice, la duración estimada y una breve descripción de la misma.

Práctica 1. El Entorno de Trabajo en las Prácticas de EDA

Resultados de aprendizaje

- Utilizar los principales comandos de consola en Linux.
- Manejar el entorno de desarrollo integrado BlueJ.
- Crear proyectos de pequeña envergadura en BlueJ.

Índice

1. Organización del espacio de trabajo
 - a) Estructura de directorios
 - b) Herramientas del sistema
2. Uso del entorno de desarrollo BlueJ
3. Trabajar con proyectos en BlueJ
 - a) Desarrollo de un analizador léxico simple

Duración estimada

1.5 horas presenciales (1 sesión) y 1 hora no presencial.

Descripción

El objetivo de esta primera práctica es que el alumno se familiarice con el entorno de desarrollo que utilizará a lo largo de la asignatura. Para ello, la práctica comienza explicando la estructura de directorios común para distinguir entre las librerías creadas por el estudiante y los proyectos que, utilizando dichas librerías, proporcionan la solución a las prácticas.

Luego, se realiza un breve repaso al entorno de desarrollo BlueJ. El alumnado debe haber utilizado esta herramienta en las asignaturas de primer curso IIP (Introducción a la Informática y a la Programación) y en PRG (Programación), de ahí que tan solo se realice un breve recordatorio. Para ello, se muestran las principales opciones y el banco de trabajo de BlueJ que permite crear objetos de forma dinámica e invocar sus métodos en un entorno visual.

Finalmente, para verificar que los alumnos han ganado cierta destreza con la herramienta, se les pide que realicen un analizador léxico simple. Esta aplicación debe permitir descomponer una frase dada en las palabras que contiene y obtener su número de caracteres.

Práctica 2. Estudio de la eficiencia de algoritmos de ordenación vectorial

Resultados de Aprendizaje

- Utilizar los mecanismos de temporización de algoritmos proporcionados por Java.
- Analizar experimentalmente el tiempo de ejecución de diversos algoritmos de ordenación de vectores.
- Emplear herramientas gráficas para visualizar las curvas de coste temporal en base a la talla del problema.

Índice

1. Métodos de ordenación estudiados
2. Estudio experimental de la eficiencia de un algoritmo
3. Toma de tiempos comparativa del proceso de ordenación
4. Interpretación y representación gráfica de los resultados

Duración estimada

3 horas presenciales (2 sesiones) y 1 hora no presencial.

Descripción

El objetivo de esta práctica consiste en analizar el comportamiento temporal de los algoritmos de ordenación de vectores QuickSort, MergeSort e Inserción Directa. Para ello, se le proporciona al alumnado una clase que incluye la implementación genérica parcial de los métodos de ordenación. El alumnado deberá completar esa clase correctamente y desarrollará baterías de pruebas con el objetivo de temporizar la ordenación de vectores de diferentes tallas con distintas estrategias de ordenación. Se deberán repetir las pruebas de medición de forma automática para poder obtener valores promedios.

Tras haber realizado la toma de tiempos, los resultados se analizarán de forma gráfica utilizando la herramienta *gnuplot*. Tras obtener las gráficas de evolución del coste temporal frente a la talla del problema, para los diferentes métodos, el alumnado debe verificar si los resultados obtenidos tienen correspondencia con la cota de coste temporal asintótico obtenido en la clase de teoría. De esta manera, el alumnado puede establecer la correspondencia entre coste asintótico y coste temporal del algoritmo en una máquina concreta.

Práctica 3. Uso de una Tabla Hash para representar un Diccionario

Resultados de Aprendizaje

- Conocer la utilidad de la Tabla Hash en aplicaciones que precisan la búsqueda en tiempo constante.
- Utilizar la Tabla Hash en una aplicación de gestión de la información de un conjunto de municipios.
- Identificar las ventajas e implicaciones de la Tabla Hash en la gestión de un grupo de objetos.

Índice

1. Descripción del problema
 - a) Gestión de información de municipios
2. Implementación parcial de la aplicación
 - a) La clase Municipio
 - b) El menú de gestión de la información

Duración Estimada

3 horas presenciales (2 sesiones) 1 hora no presencial.

Descripción

Esta práctica plantea que el alumnado construya un programa encargado de gestionar la información de un grupo de municipios para su consulta y actualización. Para ello, se utiliza un diccionario mediante una Tabla Hash que permite la búsqueda de municipios con coste constante a partir de su nombre.

Para alcanzar los objetivos, el alumnado debe implementar la clase Municipio sabiendo que va a ser la clase de los objetos almacenados en la Tabla Hash. Deberá completar parte de la implementación de la Tabla Hash, como las operaciones de inserción y borrado y el *rehashing*. Deberá implementar parcialmente el proceso de lectura de datos a partir de ficheros con la información de los municipios para poder rellenar la Tabla Hash en el arranque de la aplicación.

Finalmente, el alumnado deberá desarrollar un menú sencillo que permite la introducción de nuevos municipios, la consulta de los datos de un municipio, la eliminación, etc. Para ello, se deberá utilizar las operaciones de Tabla Hash previamente implementadas.

Práctica 4. Traducción palabra a palabra del castellano al inglés

Resultados de Aprendizaje

- Conocer el ámbito de aplicación del modelo de Diccionario.
- Utilizar el modelo de Diccionario en una aplicación de traducción de idioma de un texto.
- Implementar operaciones básicas de manejo de Tabla Hash.

Índice

1. Descripción del problema
 - a) Traducción palabra a palabra
2. Implementación del traductor
 - a) Métodos de inserción y eliminación
 - b) Traducción del idioma de una frase
3. Implementación del menú de prueba del traductor

Duración estimada

3 horas presenciales (2 sesiones) y 1 hora no presencial.

Descripción

El objetivo de esta práctica consiste en realizar una aplicación real de traducción de textos palabra a palabra entre dos idiomas. Para ello, se utiliza el modelo de Diccionario implementado mediante una Tabla Hash. El alumnado dispone de dicha implementación y una guía acerca de cómo plantear el diseño del traductor. El alumnado deberá acceder al diccionario para realizar las consultas de traducción de palabras. Este proceso requiere capturar las posibles excepciones derivadas de buscar palabras que no existen en el diccionario.

El alumnado deberá desarrollar un menú con diferentes opciones para interactuar con el diccionario. De esta manera se posibilitará trabajar con diferentes diccionarios, así como poder insertar o actualizar palabras en él.

Además, en esta práctica se le proporciona al alumnado un Diccionario ya implementado utilizando un Árbol Binario de Búsqueda. Se le pide que cargue los datos de un fichero ordenado y que compruebe la eficiencia en el acceso al mismo. Dado que el ABB estará degenerado, su coste aumentará en gran medida frente al diccionario implementado mediante la Tabla Hash. Esto dará pie a profundizar en el tema de ABBs de teoría.

Práctica 5. Diseño de operaciones del Árbol Binario de Búsqueda

Resultados de Aprendizaje

- Implementar operaciones tanto iterativas como recursivas en el Árbol Binario de Búsqueda.
- Comprender el coste de las operaciones implementadas en una estructura jerárquica.
- Justificar las implicaciones de coste de las estrategias iterativas y recursivas.

Índice

1. Descripción del problema
 - a) Inserción sin repetidos
 - b) Eliminar
 - c) Eliminar el mínimo
 - d) Buscar
2. Implementación de las operaciones
3. Verificación de funcionalidad sobre un Diccionario

Duración estimada

3 horas presenciales (2 sesiones) y 1 hora no presencial.

Descripción

En esta práctica el alumnado debe implementar gran parte del Árbol Binario de Búsqueda. Concretamente, se plantea que implemente las versiones iterativas y recursivas de los métodos de inserción sin repetidos, eliminar, eliminar el mínimo y buscar en un Árbol Binario de Búsqueda. Tras verificar la corrección de los métodos, se debe evaluar su coste temporal ante distintas instancias de ABB (árbol perfectamente balanceado, árbol degenerado). De esta manera, se pone de manifiesto la necesidad de incorporar la eficiencia como estrategia de diseño.

Además, deben analizar el coste espacial de las versiones iterativas y recursivas para poder decidir las ventajas e inconvenientes de ambas aproximaciones. Para ello, se plantearán casos de prueba donde la altura del árbol exceda la profundidad de la recursión para que un método recursivo de búsqueda falle. Esto propiciará que el alumnado tenga que analizar con detalle la explicación de este comportamiento.

Tras realizar la implementación, se verificará su buen funcionamiento sobre un Diccionario implementado mediante un Árbol Binario de Búsqueda y se sustituirá la implementación proporcionada al alumnado en la práctica 4 por la que ellos mismos han programado en esta práctica.

Práctica 6. Simulación de urgencias de un hospital: Modelo de Cola de Prioridad

Resultados de Aprendizaje

- Identificar las ventajas de la Cola de Prioridad como modelo para la obtención del dato más prioritario.
- Incorporar un criterio de comparación a los objetos de una determinada clase Java.
- Utilizar el Montículo Binario como soporte para la implementación de la Cola de Prioridad.

Índice

1. Especificación del problema y simulación dirigida a eventos
2. La clase Paciente
 - a) Criterio de prioridad entre pacientes
 - b) Estados de un paciente
3. Las clases Urgencias, Hospital y Simulación
 - a) Tratamiento de un paciente en urgencias
 - b) Ingreso y recuperación en planta

Duración estimada

4.5 horas presenciales (3 sesiones) y 1.5 horas no presenciales.

Descripción

Esta práctica plantea modelar el funcionamiento de las urgencias de un hospital utilizando una simulación dirigida a eventos donde, de forma simplificada, se consideran tres eventos: i) llegada de un paciente a urgencias, ii) tratamiento del paciente en urgencias y iii) atender un nuevo paciente en urgencias.

Para ello, se describen inicialmente las clases involucradas para su desarrollo: Hospital, Paciente, Urgencias y Simulación. El esqueleto de las clases se proporciona al alumnado, así como una GUI donde se observa la entrada y salida de pacientes al hospital así como su proceso de recuperación (o fallecimiento). El alumnado deberá definir el criterio de urgencia teniendo en cuenta un criterio con dos objetivos. En primer lugar se mira el estado (leve, grave, crítico, etc.) y, a igualdad de estado se considera la edad. El alumnado debe implementar el núcleo de la simulación dirigida a eventos donde se mantiene una cola de prioridad de objetos de tipo evento, involucrando por tanto operaciones de inserción y borrado del mínimo. Se obtendrán estadísticas básicas de uso diario del hospital como número total de pacientes atendidos, pacientes fallecidos, etc.

Práctica 7. Cálculo eficiente de rutas por carretera: Algoritmo de Dijkstra

Resultados de Aprendizaje

- Utilizar el algoritmo de Dijkstra para calcular el camino más corto desde un cierto vértice del grafo hasta el resto de vértices.
- Aplicar los conceptos de teoría de grafos a una aplicación de cálculo de ruta más corta entre dos municipios.

Índice

1. Descripción del problema
 - a) Cálculo de la ruta más corta entre dos municipios
2. Implementación parcial de la aplicación
 - a) Incorporar la implementación de un grafo
 - b) Recuperación del camino más corto
3. Verificación de funcionalidad

Duración Estimada

4.5 horas presenciales (3 sesiones) y 1.5 horas no presenciales.

Descripción

En esta práctica se plantea que el alumnado adquiera destrezas en la utilización de los conceptos de grafos estudiados en el tema de teoría. Para ello, se le proporciona la implementación parcial en Java de un grafo dirigido con aristas ponderadas y vértices etiquetados. Debe implementar el algoritmo de Dijkstra para el cálculo del camino más corto entre dos vértices de un grafo ponderado.

Sobre el código de la práctica 3 el alumnado debe integrar el cálculo de la ruta más corta entre dos ciudades. Se le proporciona una GUI con los municipios representados en un mapa y la información en ficheros para poder construir un Grafo de objetos Municipio. Debe manejar las estructuras de datos del grafo para obtener y presentar el camino más corto (y la distancia) entre dos municipios especificados.

Finalmente, debe validar la aplicación desarrollada mediante el cálculo de diversas rutas entre municipios.

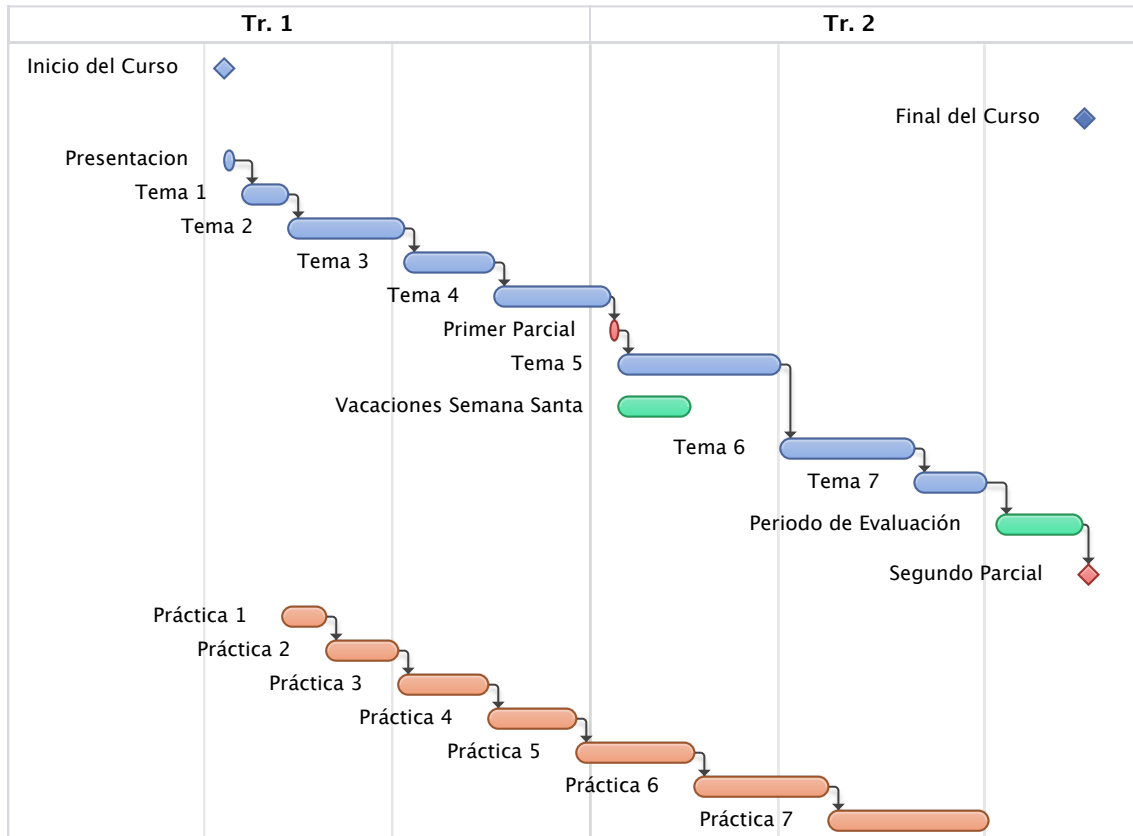


Figura 5-3: Planificación temporal de la asignatura a lo largo de un curso académico.

Evento	Fecha	Evento	Fecha
Inicio del cuatrimestre	03/02	Fin del cuatrimestre	18/06
Primer Parcial	02/04	Segundo Parcial	04/06
Recuperación del Primer Parcial	18/06	Recuperación del Segundo Parcial	18/06

Tabla 5.2: Fechas de los principales eventos en la distribución temporal.

5.5. Planificación Temporal

La Figura 5-3 muestra la planificación temporal de los contenidos propuestos a lo largo de un curso académico. La Tabla 5.2 resume las fechas de los principales eventos. Se ha planificado el primer parcial de la asignatura tras acabar el tema 4 y previo a las vacaciones de Semana Santa. El segundo parcial se realiza al finalizar la asignatura, en Junio. También están planificadas las correspondientes recuperaciones tanto del primero como del segundo parcial, realizadas ambas el 18/06.

Se han tenido en cuenta tanto los periodos vacacionales como los periodos de evaluación definidos por el centro para ajustar la propuesta de contenidos al tiempo disponible. Por ello, la planificación propuesta permite que los alumnos dispongan de los suficientes conocimientos teóricos para poder abordar de forma satisfactoria las prácticas de la asignatura.

5.6. Metodología Docente Propuesta

Esta sección detalla la metodología docente propuesta por el candidato para impartir la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos.

5.6.1. Factores Condicionantes

La selección del método docente viene condicionada por diversos factores que se resumen a continuación:

Objetivos y contenidos

La asignatura consta de una parte teórica y otra práctica, por lo que debe existir una fuerte relación entre los objetivos de ambas partes. Por lo tanto, es importante que los contenidos teóricos se aborden antes que la parte práctica para que el alumnado esté preparado para aprovechar las sesiones en el laboratorio.

Recursos humanos y materiales

Por lo general, los profesores de teoría también imparten prácticas, para que tengan una visión global de la asignatura. Las aulas en las que se imparte la docencia teórica constan de los recursos típicos de un aula universitaria moderna (pizarra, cañón de proyección, etc.). De la misma manera, se aprovecha la infraestructura de laboratorios del Departamento de Sistemas Informáticos y Computación para impartir las clases prácticas. Cada uno de los laboratorios está equipado con 20 ordenadores y los alumnos, generalmente, realizan las prácticas en pareja. Por otra parte, en las bibliotecas del campus de la UPV existen suficientes ejemplares de los principales libros recomendados en la bibliografía de la asignatura.

5.6.2. Sobre las Sesiones de Teoría en el Aula

Es importante que el alumnado sepa la planificación de actividades a realizar en cada una de las sesiones de teoría. Por ello se plantea la definición de guías didácticas para cada uno de los temas. A continuación se explica esta estrategia.

La Guía Didáctica

La guía didáctica refleja la planificación de actividades docentes y discentes de cada una de las sesiones de la asignatura. De esta manera, el alumnado puede conocer de antemano los contenidos que se van a tratar en cada una de las sesiones, cuál es la bibliografía recomendada que deben consultar antes de entrar en clase, qué trabajos deben realizar y cuales son los plazos de las entregas.

Este candidato tiene experiencia en la definición de guías didácticas [170] para asignaturas afines. Por ello, esta propuesta de proyecto docente incluye la definición de guías didácticas para todos los temas de la asignatura. Por ello, cada tema constará de las correspondientes transparencias oficiales que abarcan los contenidos necesarios para alcanzar los resultados de aprendizaje así como la guía didáctica que especificará, para cada una de las sesiones del tema, la estructuración de la misma en contenidos y ejercicios a realizar. Concretamente, estos son los puntos que incluye una guía didáctica [170]:

1. Índice de contenidos del tema.
2. Resultados de aprendizaje específicos. Enumerados de acuerdo a la taxonomía de Bloom [56, 57] y utilizando los verbos recomendados en el trabajo de Valero Garcia y Navarro Guerrero [378].
3. Planificación de tareas. Incluye (i) los contenidos a tratar en cada sesión, junto con una propuesta de temporización, (ii) la bibliografía a consultar antes de asistir a cada sesión, (iii) las tareas que el alumnado debe realizar en clase y fuera de clase, individualmente o en grupo, (iv) fecha límite y modalidad de entrega de cada tarea (correo electrónico, en papel, o a través de PoliformaT).
4. Conceptos y problemas que mínimamente deben estudiarse en este tema. Complementa la enumeración de los objetivos (más abstracta) en el apartado 2. La finalidad de este punto es ayudar a que el alumnado sepa, de una manera más concreta, qué se les va a exigir en el tema.
5. Tabla resumen de entregas. Ayuda a que el alumnado tenga una visión global de las tareas que debe realizar tanto en clase como fuera de clase, e incluye: fecha límite, modalidad de entrega (en grupo o individualmente), breve descripción de la tarea y puntuación asignada
6. Calificación. Describe cómo se evalúan las tareas planteadas para el tema.

Es posible encontrar un ejemplo de Guía Didáctica en el Anexo [A](#).

Estructura de las Sesiones

Dado el elevado número de alumnos que hay en las clases teóricas, una de las estrategias docentes más apropiada es la lección magistral participativa. Como se ha comentado anteriormente, la lección magistral se convierte en participativa cuando se involucra al alumno en la dinámica de las clases, resolviendo problemas y ejercicios y planteando cuestiones. Involucrar al alumno en la marcha de la clase es fundamental para mantener su motivación. Para ello, se plantea dividir las sesiones teóricas de acuerdo a la siguiente estructura: fase inicial, fase de exposición y fase de cierre, descritas a continuación.

- **Fase Inicial.** Durante la fase inicial, el profesor debe establecer relación con el grupo, captando la atención de la audiencia y motivando a los alumnos para que estén interesados por el tema a tratar durante la sesión. Además, es importante dedicar unos momentos a resolver dudas que puedan haber quedado pendientes de la última sesión. En esta fase, el profesor debe contextualizar el tema a tratar mediante un esquema que relacione los nuevos conceptos con aquellos ya vistos en anteriores sesiones. De esta manera, los alumnos deben tener claro cual va a ser el contenido y la planificación de la sesión así como su relación con los contenidos de la clase anterior.
- **Fase de Exposición.** Durante la fase de exposición, hay que tratar de mantener la atención del alumno. Dado que la capacidad de atención de los alumnos no puede ser mantenida durante toda la sesión, este candidato propone que, la primera parte de esta fase se dedique a tratar los conceptos teóricos del tema mientras que el resto de tiempo el alumno realice ejercicios en clase supervisado por el profesor. A priori, es complicado establecer el tiempo dedicado a conceptos teóricos y a ejercicios. Como estimación, se calculan los siguientes porcentajes 70 % (conceptos teóricos) y 30 % (ejercicios). La parte más teórica debe seguir un orden que permita secuenciar de manera coherente los contenidos.

Durante esta etapa, es importante obtener retroalimentación de los alumnos, para verificar si están comprendiendo los conceptos. Para ello, el profesor debe utilizar la pregunta directa como mecanismo para propiciar el razonamiento del alumno. Dado que la asignatura puede resultar un tanto abstracta para alumnos noveles, el profesor debe establecer analogías entre los conceptos vistos en clase y la vida real. Para ello, se plantea incorporar aplicaciones reales de proyectos de investigación en los que ha trabajado para ejemplificar algunas secciones de la materia.

Con respecto a la parte dedicada a ejercicios, se plantea proponer a los alumnos ejercicios que tengan relación directa con los conceptos teóricos para que puedan entrenar sus habilidades con la materia. Tras dejar un tiempo prudencial en la que el alumno resuelve el ejercicio, con ayuda del compañero y del profesor si es necesario, se comenta y discute una posible solución entre todos.

- **Fase de Cierre.** En la fase de cierre, el profesor debe realizar un breve resumen de los conceptos trabajados durante la sesión, destacando las principales ideas y conclusiones extraídas. Además, es importante contextualizar de nuevo, estableciendo una relación con los conceptos que se tratarán en próximas sesiones. En este punto, si el tema lo permite, se puede proporcionar información complementaria al alumno interesados en ampliar los conceptos tratados. Por otra parte, es importante recordar a los alumnos que tienen a su disposición el servicio de tutorías, para poder resolver aquellas dudas que, por cualquier razón, no hayan sido planteadas durante

la clase. Finalmente, el profesor procederá a asignar los trabajos entregables que los alumnos deben hacer fuera de clase así como indicar la documentación que deben consultar antes de la siguiente sesión.

Grupos Base y Entregables

El proceso de evaluación continua requiere la realización de actividades que puedan estar sujetas a un control y evaluación por parte del profesor para conocer la evolución del alumno a lo largo de la asignatura. La asignatura EDA se caracteriza por una componente eminentemente práctica en la que resulta apropiado plantear pequeños trabajos de desarrollo de código e implementación, o trazas de ejecución de algoritmos, donde el alumno demuestre que va alcanzando los resultados de aprendizaje que persigue la asignatura.

Por ello, se plantea la creación de grupos base, una de las formas de aprendizaje cooperativo más utilizadas, que consiste en organizar a los alumnos en grupos base [85]. Estos son grupos de trabajo constituidos al inicio del curso y formados por entre 3 y 4 personas que se encargan de realizar de manera cooperativa algunas de las tareas demandadas por el profesor.

El profesor plantea de manera periódica ciertas actividades a realizar fuera del aula que o bien deben resolverse de forma individual o en el seno del grupo base. A veces, es posible plantear un esquema híbrido, basado en el Puzle de Aronson [133] donde los alumnos trabajan en primer lugar la solución al problema de forma individual y, posteriormente, se reúnen en el grupo para acabar obteniendo la mejor solución, como fusión de las soluciones parciales de cada miembro. Estos trabajos irán acompañados de su correspondiente entregable que será evaluado por el profesor de acuerdo a una rúbrica pública que establezca de antemano los criterios de corrección establecidos por el profesor.

Las calificaciones de los trabajos de seguimiento entregables constituyen la Nota de Actividades de Seguimiento (NAS), tal y como se detalla en la sección 5.6.4.

5.6.3. Sobre las Sesiones Prácticas en el Laboratorio

Las sesiones de laboratorio se llevan a cabo en aulas informáticas de 20 ordenadores que permite el trabajo de hasta 40 alumnos distribuidos en parejas. Estas prácticas constan de 1 sesión semanal de 1.5 horas y suelen comenzar una semana después del inicio del curso académico.

Los alumnos reciben previamente la información de la práctica que consiste en un boletín en el que se detallan las acciones a realizar. Este boletín se deja accesible en la herramienta de gestión de contenidos PoliformaT [301] en formato electrónico. Por lo tanto, la labor del profesor en el aula práctica es mucho menor que en las sesiones teóricas y se suele reducir a orientar a los alumnos en el proceso de resolución de la misma así como a resolver las dudas de los alumnos en la realización de las actividades propuestas.

Por tanto, se propone comenzar la sesión práctica con una breve explicación del contenido de la sesión que ayude al alumno a comprender los objetivos a alcanzar. A continuación, el profesor deja tiempo libre a los alumnos para que trabajen de forma autónoma y puedan consultar sus dudas tanto a otros alumnos como al profesor, que les guiará a cumplir los objetivos de la sesión. Periódicamente, el profesor comprobará la evolución de los alumnos colaborando con aquellos que puedan precisar de ayuda complementaria. Finalmente, el profesor debe animar a los alumnos de prácticas a que utilicen las tutorías del profesor para resolver las dudas que hayan quedado tras la sesión de laboratorio.

5.6.4. La Evaluación

En el marco de un sistema de evaluación continua no resulta apropiado considerar la calificación obtenida en una única prueba a lo largo de todo el curso como método para determinar el grado de cumplimiento de los objetivos de aprendizaje por parte de un alumno. De hecho, la evaluación continua debe favorecer el seguimiento continuado de las actividades docentes por parte de los alumnos y una mejor graduación de su esfuerzo a lo largo del curso que redunda en una mayor capacidad de alcance de los objetivos de aprendizaje y, en consecuencia, en una mejora del rendimiento académico [281].

La evaluación se efectuará mediante la ponderación de la nota obtenida por los alumnos en tres partes diferenciadas:

- Nota Ponderada de Parciales (NPP): se obtiene de la evaluación de pruebas escritas y tienen un peso en la calificación final de un 60 %.
- Nota de Prácticas de Laboratorio (NPL): se obtiene de la evaluación continua de las prácticas y tiene un peso en la calificación final de un 20 %.
- Nota de Actividades de Seguimiento (NAS): se obtiene de las pruebas de seguimiento (entregables) y evaluación continua de los alumnos a lo largo del curso y supone un 20 % de la nota.

La nota final (NF) de un alumno se calculará según la siguiente fórmula:

$$NF = 0,6 * NPP + 0,2 * NPL + 0,2 * NAS \quad (5.1)$$

La Nota Ponderada de Parciales debe ser superior a 4 para poder aprobar la asignatura; en caso contrario la nota final será:

$$NF = \min(4, 0,6 * NPP + 0,2 * NPL + 0,2 * NAS) \quad (5.2)$$

Nota Ponderada de Parciales (NPP)

Se realizarán dos pruebas escritas obligatorias que constituirán el 60 % de la nota final. El primer parcial cubre desde el primer tema hasta el tema 4 incluido y supondrá un 40 % de NPP. El segundo parcial cubriría los restantes temas y supondrá el 60 % restante de NPP, esto es:

$$NPP = 0,4 * NP1 + 0,6 * NP2 \quad (5.3)$$

donde $NP1$ es la nota del primer parcial y $NP2$ es la nota del segundo parcial.

Para que se pueda aplicar esta fórmula es imprescindible que $NP1 \geq 3$ y $NP2 \geq 3$. Los alumnos que no hayan obtenido la calificación suficiente, o deseen obtener una mayor calificación, podrán repetir las pruebas en la recuperación de Junio, siempre que se hayan presentado a los parciales y hayan obtenido una nota superior o igual a 5 tanto en NAS como en NPL.

Nota de Prácticas de Laboratorio (NPL)

Dado que las prácticas de la asignatura involucran el desarrollo de programas, en la forma de algoritmos y diseño e implementación de estructuras de datos, resulta importante que la evaluación se centre en estos aspectos. Por ello, cada práctica de laboratorio va acompañada de un procedimiento de evaluación que puede realizarse en el mismo laboratorio durante la última media hora de la última sesión asignada a cada práctica (salvo en el caso de la primera, que no lleva evaluación asociada). La nota de las pruebas de laboratorio supone un 20 % de la nota final de la asignatura y se calcula como la suma de las notas de cada una de las 7 prácticas realizadas a lo largo del curso, esto es:

$$NPL = \sum_{i=1}^7 NPL_i \quad (5.4)$$

Cada práctica o grupo de prácticas de laboratorio se evalúa mediante una prueba con una puntuación máxima asociada. Para poder aprobar la asignatura, NPL debe ser mayor o igual que 3.

Se proponen diferentes estrategias de evaluación, entre los siguientes:

- Test de PoliformaT. Permite diseñar un conjunto de preguntas que se contestan a través de Internet. Resulta una forma sencilla de conocer aquellos alumnos que han alcanzando los objetivos básicos de una práctica sencilla. Este puede ser el esquema de evaluación de una práctica sencilla, como es el caso de la primera práctica de la asignatura.
- Informe de Desarrollo e Implementación. Este informe permite resumir la propuesta de solución que ha realizado el alumno (o el grupo de alumnos) para la práctica en cuestión. En ella se especifican las estructuras de datos y los algoritmos que se han utilizado para dar respuesta a la problemática. Estos informes deben llevar asociado una rúbrica que identifique de forma inequívoca los aspectos a considerar en la evaluación del informe.

- Implementación *in situ*. El profesor plantea al alumno un pequeño problema, o modificación de alguna práctica ya realizada, que el alumno debe resolver en un tiempo acotado. Esto permite asegurar que el alumno conoce la estructura de las prácticas sobre las que ha trabajado y tiene soltura en la implementación de nueva funcionalidad. Es conveniente en estos casos la definición de casos de prueba que permitan verificar de forma automática la bondad de la solución propuesta por el alumno.
- Verificación del código desarrollado en base a rúbricas. Para ello se especifica de antemano una rúbrica en la que se detallan los aspectos a tener en cuenta por parte del alumno para poder alcanzar la máxima nota. De esta manera, la rúbrica se convierte en un compromiso para el profesor y el alumno, de manera que si éste último satisface las condiciones de la rúbrica podrá alcanzar la máxima calificación. Adicionalmente, este mecanismo de evaluación incluye una breve entrevista a los miembros del grupo para verificar que efectivamente son los autores del código. Es posible encontrar un ejemplo de rúbrica en el Anexo B.

A continuación se detalla el mecanismo de evaluación de cada una de las prácticas:

Práctica	Evaluación	Puntuación
1	Sin evaluación	-
2	Informe con la comparativa gráfica de evolución del coste temporal	1
3	Test de PoliformaT con conceptos sobre implementación	1
4	Implementación de ejercicio de ampliación	2
5	Implementación de ejercicio de ampliación	2
6	Informe de desarrollo	1.5
7	Verificación del código en base a rúbrica	2.5

Nota de Actividades de Seguimiento (NAS)

Las actividades de seguimiento suponen un 20 % de la nota final de la asignatura. A lo largo del curso el profesor propone ciertas actividades a realizar durante las sesiones de clase o fuera de ellas, de forma individual o en grupo. Cada actividad entregable se valorará con un determinado número de puntos y la NAS se calculará a partir de los puntos obtenidos. En la propuesta de programa de teoría se han esbozado un mínimo número de trabajos entregables a plantear por el profesor.

Finalmente, comentar que la evaluación de la competencia transversal asignada “Análisis y resolución de problemas” se evalúa mediante pruebas escritas de respuesta abierta donde el alumno será capaz de analizar un problema y encuadrarlo en la tipología correcta. Habrá adquirido la capacidad de seleccionar el tipo de algoritmo más cercano al problema propuesto y adaptarlo al caso concreto. El alumno será capaz de implementar la solución en un entorno de programación concreto.

5.6.5. Tutorías

Las tutorías constituyen una parte importante del proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que permiten al alumno entablar contacto directo con el profesor para aclarar dudas que puedan haber surgido durante las sesiones teóricas o prácticas.

Dado el elevado número de alumnos por clase teórica, a menudo resulta difícil conocer bien a todos ellos. En este sentido, las tutorías permiten al profesor conocer con mayor detalle a su alumno y averiguar sus inquietudes y problemáticas que, con bastante seguridad, serán comunes al resto de compañeros.

Para poder realizar un buen uso de las tutorías, este candidato propone dos alternativas. Por un lado, las tutorías presenciales mediante la modalidad bajo demanda, soportadas por la UPV desde el curso 2010/2011. Los alumnos contactan con el profesor y quedan en una franja horaria que les venga bien a ambos para realizar la tutoría. Por otro lado, se ofrecen tutorías virtuales por medio de la herramienta Microsoft Teams, que posibilita un entorno de compartición de audio, vídeo, documentos y pizarra digital. En estas sesiones virtuales interactivas es posible visualizar al alumno a través de una webcam y ayudarlo a resolver sus dudas mostrando documentos e incluso dibujando mediante una tableta digital para que el alumno pueda ver la construcción de un diagrama en su pantalla. Esta herramienta posibilita prácticamente toda la funcionalidad necesaria para mantener una sesión equivalente a una tutoría convencional.

5.6.6. Uso de las TIC

Actualmente, el uso de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TIC) ofrece herramientas que ayudan al alumno en su proceso de aprendizaje. En esta asignatura el candidato plantea un uso intensivo de las TIC en la práctica docente. A continuación se presenta una breve descripción de las herramientas empleadas:

- PoliformaT. Esta herramienta [301] supone el campus virtual de aprendizaje de la UPV, que sirve como punto de contacto entre profesores y alumnos. Está basada en el proyecto Sakai [321] y permite centralizar la publicación de información relacionada con las asignaturas así como sus guías docentes para todas las asignaturas de la UPV. Además, proporciona canales de comunicación entre profesores y alumnos como salas de conversación y foros.
- Foros de la asignatura. La utilización de los foros permite que el alumno resuelvan sus dudas de forma rápida. Al mismo tiempo, evita que los profesores contesten a las mismas preguntas en repetidas ocasiones con diferentes alumnos. Por todo ello, los foros suponen una excelente herramienta como complemento a las sesiones presenciales y a las tutorías.
- Aplicaciones en línea. Existen numerosas aplicaciones informáticas visuales, desarrolladas por

otras universidades, que permiten ejemplificar algunos de los conceptos que aborda esta asignatura. Por ejemplo, el tema correspondiente a árboles binarios de búsqueda puede ejemplificarse de forma animada con herramientas software de visualización de estructuras de datos como [324]. Este candidato plantea incorporar dichas herramientas, siempre que sus licencias lo permitan, a la práctica docente. La utilización de dichas utilidades permite a los alumnos practicar con las estructuras de datos de una forma que complementa a la teoría vista en clase.

- Polimedias. Con la introducción de la herramienta Polimedia en la UPV, es posible realizar grabaciones de video de corta duración (unos 10 minutos) en los que el profesor, con apoyo de material suplementario, explica algún concepto teórico o práctico. El candidato cuenta con varios Polimedias grabados para esta asignatura, cuyo enlace se proporciona como hipervínculo:
 - [Genericidad en el Lenguaje de Programación Java](#)
 - [El Árbol Binario de Búsqueda](#)
 - [El Montículo Binario](#)
 - [La Tabla Hash](#)
 - [Estructuras de Datos Lineales: Pila, Cola y Lista con Punto de Interés](#)
 - [Listas Enlazadas Genéricas en Java](#)
 - [Gestión de excepciones en Java](#)
 - [Complejidad Temporal Asintótica para Métodos Recursivos](#)
- Video-Ejercicios. Mediante grabaciones de tipo *screencast*, el profesor puede enseñar a sus alumnos el proceso de resolución de algunos ejercicios bien sea detallando el proceso como si de lápiz y papel se tratase o programando un extracto de un programa en un entorno de desarrollo. Estos vídeos, disponibles en Internet, permiten al alumno comprender el proceso de resolución y no limitarse a consultar la resolución de un ejercicio. Se muestran 5 video-ejercicios relacionados, a modo de ejemplo:
 - [Traza del Cálculo de la Talla en una Pila \(Recursivo\)](#)
 - [Traza de Inserción Recursiva en un Arbol Binario de Búsqueda](#)
 - [Traza de Recorrido PostOrden en un Árbol Binario de Búsqueda](#)
 - [Traza de Búsqueda Recursiva en un Montículo Binario Minimal](#)
- Tests de Autoevaluación. El candidato ha implementado tests de autoevaluación de corrección automática para cada uno de los temas de la asignatura. Cada test consta de 10 preguntas y los resultados obtenidos, actualmente son puramente informativos. De esta manera, el alumno puede estimar la evolución de su aprendizaje antes de realizar cada examen. Para el futuro,

se plantea ampliar las baterías de preguntas e incluso hacer exámenes variables, en los que las preguntas sean escogidas al azar de grandes baterías de preguntas. Las calificaciones obtenidas en los tests se integran dentro de PoliformaT, de manera que es posible saber el trabajo realizado por cada alumno.

5.7. Bibliografía Comentada

En esta sección se realiza una breve descripción de la bibliografía empleada para preparar la asignatura. Como bibliografía básica se recomienda el libro de Weiss [387]. No obstante, los otros libros pueden resultar de interés para aquellos alumnos que desean profundizar en algún aspecto de la asignatura. Para cada uno de los libros, se realiza una breve descripción de su contenido y relación con el temario propuesto de la asignatura.

Fundamentos de Algoritmia, de Brassard y Bratley [63]

Se trata de un libro centrado en el diseño de algoritmos eficientes (algoritmos voraces, divide y vencerás, programación dinámica, algoritmos probabilistas y algoritmos heurísticos). Incluye análisis de eficiencia de algoritmos y notación asintótica. También aporta información, aunque breve, sobre algunas estructuras de datos (grafos, árbol binario y montículo binario), desarrollado en pseudocódigo. Incluye un poco de información sobre computación en paralelo.

Introduction to Algorithms, de Cormen et al [99]

Este libro combina la algorítmica con el diseño de estructuras de datos. Se dedica todo un apartado del libro a la ordenación vectorial (Heapsort, QuickSort, MergeSort y Radix sort). También aborda estructuras de datos sencillas, como las pilas, colas, listas enlazadas, tablas hash y árboles binarios de búsqueda, así como estructuras avanzadas como los árboles rojinegros, árboles B y montículo binario). Existe una sección del libro dedicada exclusivamente a los grafos y algoritmos sobre grafos. Para ejemplificar los algoritmos se utiliza pseudocódigo.

Estructuras de Datos en Java: Compatible con Java 2, de Weiss [387]

El libro comienza con una introducción a Java y la programación imperativa. Posteriormente, se explica el paradigma de programación orientada a objetos y se ejemplifica el soporte que proporciona este lenguaje, haciendo especial énfasis en la herencia. Existe un capítulo dedicado al análisis de algoritmos y el uso de la notación asintótica. Weiss distingue entre modelos e implementaciones, dedicando capítulos separados. En el libro se tratan las pilas, colas, listas enlazadas, árboles binarios, árboles binarios de búsqueda, tablas hash y montículos binarios. Se realizan diversas implementaciones de los modelos analizando con detalle el coste de las operaciones. Dedicar un capítulo completo

a la ordenación de vectores utilizando diferentes estrategias. Como curiosidad, incluye información sobre creación de interfaces gráficas, pero solo con AWT (Abstract Window Toolkit). Además, dada su fecha de publicación, no cubre la genericidad.

Fundamentals of OOP and Data Structures in Java, de Wiener y Pinson [388]

Este libro comienza con una introducción a la programación orientada a objetos (clases, objetos, métodos, abstracción de datos, encapsulación, interfaces, etc.), empleando el lenguaje Java para ejemplificar los conceptos. Al igual que el libro anterior no incluye información de genericidad y la sección dedicada a interfaces gráficas únicamente cubre AWT. El capítulo 7 está dedicado a las excepciones y errores que se pueden producir en Java. La segunda parte del libro se centra en las estructuras de datos. Se estudia la pila y la cola, implementadas tanto con vectores como con listas de nodos. También se habla de árboles binarios de búsqueda y de árboles AVL. La tabla hash también se estudia, pero a través de la implementación proporcionada por Java (clase `Hashtable`). Adicionalmente, se habla del modelo de Diccionario. El libro contiene ejemplos con código Java.

Estructuras de Datos y Algoritmos, de Hernández et al [179]

Este libro empieza tratando los algoritmos de ordenación de vectores. A diferencia de los anteriores, incluye un capítulo de ordenación basada en memoria secundaria. A continuación entra con los tipos de datos abstractos dinámicos lineales (pila y cola) implementados tanto con vectores como con listas enlazadas. Se utiliza una notación muy similar al lenguaje PASCAL para expresar las operaciones. Posteriormente, se habla de los tipos de datos abstractos dinámicos no lineales (árboles), cubriendo los árboles binarios de búsqueda y los árboles AVL, así como los árboles B. El libro finaliza con una breve introducción a la programación orientada a objetos.

Estructura de Datos con Java: Diseño de estructuras y algoritmos, de Lewis y Chase [215]

Este libro utiliza el JDK 5.0 que contiene el soporte para genericidad. El primer capítulo del libro comienza hablando sobre el proceso de desarrollo de software. A continuación, se habla sobre el diseño orientado a objetos y se pasa a estudiar el API de colecciones (*Collections*) de Java. Posteriormente se abordan las estructuras enlazadas empleando genericidad y también las pilas y las colas.

En todos los casos se analiza la eficiencia de las implementaciones. En capítulos posteriores se trata la implementación de los árboles binarios de búsqueda (y sus variantes AVL y rojinegro) así como el montículo binario y la tabla hash. El último capítulo está dedicado a grafos y a los principales algoritmos. Un punto importante de este libro es observar las implementaciones que ofrece el JDK ya que permite conocer la funcionalidad que, de por sí, ofrece Java.

Parte II

Proyecto Investigador

Capítulo 6

Introducción y Contexto de la Investigación

Este proyecto de investigación ha sido elaborado para concursar a la plaza 6708 del cuerpo de Catedráticos de Universidad del área de conocimiento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial de la Universitat Politècnica de València. Esta plaza fue convocada a concurso por resolución de fecha 22 de junio de 2022, publicada en el Boletín Oficial del Estado número 157 del 1 de julio de 2022.

La función de un catedrático de universidad lleva aparejada una importante dedicación investigadora además de docente, necesaria para la adecuada formación y actualización del nivel científico y tecnológico de los profesores universitarios. La función investigadora de un catedrático es, entre otras funciones, de coordinación y formación investigadora.

Este primer capítulo trata sobre el contexto del proyecto investigador, describiendo el marco donde se desarrolla la investigación así como una breve trayectoria investigadora del candidato. Por ello, en primer lugar, el capítulo comienza con una exposición general sobre la investigación, el desarrollo y la innovación, centrandó la exposición principalmente en el ámbito de España. A continuación el discurso se centra en la UPV. Para ello, se describe la Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI), el polo de investigación e innovación de la UPV. En ella se enmarca el Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (I3M), centro al que está adscrito el Grupo de Grid y Computación de Altas Prestaciones (GRyCAP), grupo al que pertenece el candidato. Finalmente, se describe la trayectoria investigadora del candidato.

Este proyecto investigador se centra en la computación en la nube para la ejecución de aplicaciones computacionalmente intensivas, incluyendo las aplicaciones científicas. Esto es un área de investigación en tecnologías horizontales que tienen diferentes aplicaciones en cualquier ámbito multidisciplinar que requiera el uso de técnicas de computación avanzada para reducir los tiempos de

ejecución, agilizar el despliegue de aplicaciones y favorecer la escalabilidad de dichas aplicaciones.

6.1. Introducción

El profesor universitario, como Personal Docente e Investigador (PDI), tiene entre sus funciones una labor investigadora que persigue profundizar el conocimiento sobre las disciplinas en las que desarrolla su función. En el campo de la informática, la actividad investigadora precisa conjugar el conocimiento existente sobre el estado del arte de una materia concreta con los avances científico-tecnológicos para profundizar en el dominio de la materia, generando nuevos conocimientos y herramientas. En la actual sociedad de la información, la comunidad investigadora puede intercambiar información a través de Internet, lo que ha facilitado el acceso al conocimiento pero también ha provocado un aumento en la cantidad de información disponible sobre cualquier ámbito investigador. De ahí que la labor de un buen investigador sea la de gestionar apropiadamente la información existente para proponer nuevas vías de estudio que complementen los trabajos ya existentes en el área con nuevas aproximaciones para resolver problemas no abordados previamente o resolverlos de maneras más eficientes.

Hacer frente a los grandes retos científicos requiere, sin lugar a dudas, la formación de equipos multidisciplinares que combinen los conocimientos de diferentes áreas para resolver problemas que hasta la fecha no hubieran sido abordados. En este sentido, las tareas investigadoras deben estar soportadas por un sistema de I+D que proporcione el soporte y la financiación apropiada para apoyar y facilitar el trabajo de los investigadores. Antes, sin embargo, es necesario definir qué se entiende por investigación, desarrollo e innovación.

6.2. Investigación, Desarrollo e Innovación

De acuerdo a la Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental, también conocido como el Manual de Frascati [108], una propuesta de manual de I+D de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la investigación es el conjunto de trabajos creativos que se emprenden de modo sistemático para aumentar los conocimientos, incluidos el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, así como la utilización de esos conocimientos para concebir nuevas aplicaciones. Esta definición entronca con el proceso investigador habitual seguido en ámbitos científicos, descrito a continuación:

1. Identificación del problema y elección del objetivo.
2. Planteamiento de una hipótesis.
3. Elaboración del plan de trabajo.

4. Experimentación.
5. Obtención de resultados iniciales y contraste con la hipótesis de partida.
6. Replanteamiento y realización de nuevos experimentos.
7. Resultados y conclusiones.

El planteamiento investigador descrito, lejos de seguir una estructura lineal se convierte en un proceso iterativo que permite ahondar en la generación de conocimiento sobre un área concreta con el objetivo de obtener resultados y conclusiones pertinentes que supongan una aportación clara al estado del arte actual en dicha área.

En España, el Real Decreto legislativo 4/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Impuesto sobre Sociedades (TRLIS), en su artículo 35 sobre deducción por actividades de investigación y desarrollo e innovación tecnológica, derogado por la Ley 27/2014 del Impuesto de Sociedades de 27 de noviembre, incluye su propia definición del concepto investigación. En ella, se considera investigación a la indagación original planificada que persigue descubrir nuevos conocimientos y una superior comprensión en el ámbito científico y tecnológico, y desarrollo a la aplicación de los resultados de la investigación o de cualquier otro tipo de conocimiento científico para la fabricación de nuevos materiales o productos o para el diseño de nuevos procesos o sistemas de producción, así como para la mejora tecnológica sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistentes. También se considerará actividad de investigación y desarrollo la creación, combinación y configuración de software avanzado, mediante nuevos teoremas y algoritmos o sistemas operativos, lenguajes, interfaces y aplicaciones destinados a la elaboración de productos, procesos o servicios nuevos o mejorados sustancialmente. Se asimilará a este concepto el software destinado a facilitar el acceso a los servicios de la sociedad de la información a las personas con discapacidad, cuando se realice sin fin de lucro. No se incluyen las actividades habituales o rutinarias relacionadas con el mantenimiento del software o sus actualizaciones menores.

El Manual de Oslo [289], una guía para la innovación, desarrollada por la OCDE, define la innovación como “la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores”.

En dicho artículo 35 se considera innovación tecnológica la actividad cuyo resultado sea un avance tecnológico en la obtención de nuevos productos o procesos de producción o mejoras sustanciales de los ya existentes. Se considerarán nuevos aquellos productos o procesos cuyas características o aplicaciones, desde el punto de vista tecnológico, difieran sustancialmente de las existentes con anterioridad. Esta actividad incluirá la materialización de los nuevos productos o procesos en un plano, esquema o diseño, la creación de un primer prototipo no comercializable, los proyectos de demostración inicial o proyectos piloto, incluidos los relacionados con la animación y los videojuegos

y los muestrarios textiles, de la industria del calzado, del curtido, de la marroquinería, del juguete, del mueble y de la madera, siempre que no puedan convertirse o utilizarse para aplicaciones industriales o para su explotación comercial.

A la vista de las definiciones anteriores, para que una actividad pueda ser calificada como de Investigación y Desarrollo, es requisito necesario que la novedad del mismo sea objetiva en el mercado al que se destina (mundial, nacional o incluso sectorial). Si el producto o proceso no supone una novedad objetiva, podría no obstante constituir actividad de innovación tecnológica, según el artículo 35.2 de la Ley del Impuesto de Sociedades, siempre que el resultado obtenido sea novedoso desde el punto de vista subjetivo, es decir, difiera de los utilizados hasta entonces por el sujeto. No obstante, con independencia del carácter objetivo o subjetivo de los avances buscados, para que pueda hablarse de I+D o de IT, en términos del artículo 35, no basta cualquier grado de novedad o distinción de los productos que se pretende obtener. Es imprescindible, en ambos casos, la existencia de una novedad científica o tecnológica significativa, es decir, que difiera sustancialmente de lo existente con anterioridad, en los nuevos productos o procesos.

6.3. El Espacio Europeo de Investigación

Para reforzar la investigación en Europa, el Comisario Europeo de Investigación Philippe Busquin introdujo en 1999 el concepto del Espacio Europeo de Investigación (ERA - European Research Area) [340]. El concepto de ERA se basa en la idea de que se puede obtener una ganancia en eficiencia si los sistemas de investigación nacionales aislados se vuelven más interoperables, permitiendo mejores flujos de conocimiento, tecnología y personas entre ellos y creando un sistema europeo de investigación más integrado.

En 2008 el consejo europeo publicó su visión para 2020 y determinó que para dicha fecha: “todos los actores se beneficiarán plenamente de la ”quinta libertad”¹ en toda la ERA: libre circulación de investigadores, conocimientos y tecnología. El ERA proporciona condiciones atractivas y una gobernanza eficaz y eficiente para llevar a cabo investigaciones e invertir en sectores intensivos en I+D en Europa. Crea un valor añadido significativo al fomentar una sana competencia científica en toda Europa al tiempo que garantiza el nivel adecuado de cooperación y coordinación. Responde a las necesidades y ambiciones de los ciudadanos y contribuye eficazmente al desarrollo sostenible y la competitividad de Europa.”

La estrategia de innovación e investigación 2020-2024 de la Comisión Europea [310] indica que el nuevo conocimiento y la innovación innovadora impulsarán las transformaciones verdes y digitales que están en marcha en la sociedad. Ayudarán a avanzar más rápido hacia un futuro sostenible y próspero para las personas y el planeta, basado en la solidaridad y el respeto por los valores europeos

¹Las cuatro primeras libertades se refieren al libre movimiento de bienes, capitales, servicios y personas, por lo que la quinta se refiere al libre movimiento del conocimiento.

compartidos.

La política de investigación e innovación desempeñará un papel clave en la respuesta a los desafíos provocados por la pandemia mundial de COVID-19. Ayudará a cumplir el plan de recuperación de Europa, allanando el camino para salir de la crisis actual en el camino hacia un futuro más justo, basado en un crecimiento económico que respete al planeta. Por ello la Comisión ha establecido 6 objetivos políticos generales. La investigación y la innovación serán un motor clave para lograr cada uno de ellos:

- Medio ambiente y clima, para evitar la degradación ambiental y especialmente la emergencia climática que amenazan los sistemas críticos de soporte vital de la Tierra y el futuro del mundo tal como lo conocemos.
- Nuestro futuro digital, para fortalecer su soberanía digital y establecer estándares, en lugar de seguir los de otros, con un claro enfoque en los datos, la tecnología y la infraestructura. La ciencia, el conocimiento y la innovación de alta calidad aceleran todos los aspectos de las transformaciones digitales e industriales y acercarán al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Empleo y economía, mediante el nuevo concepto de Industria 5.0 para reconocer el poder de la industria para lograr los objetivos sociales de convertirse en un proveedor resiliente de prosperidad, haciendo que la producción respete los límites de nuestro planeta y colocando el bienestar de los trabajadores en el centro del proceso de producción.
- Proteger a nuestros ciudadanos y nuestros valores, mejorando y protegiendo la salud de las personas en todas las edades es una prioridad máxima. La Comisión está construyendo una Unión Europea de la Salud, en la que los países de la UE respondan juntos a las crisis sanitarias, y los pacientes reciban la mejor atención posible para enfermedades como el cáncer.
- Europa en el mundo, fortaleciendo su voz en el mundo defendiendo el multilateralismo y un orden global basado en reglas. Un enfoque fuerte, justo y abierto del comercio hace de Europa un lugar atractivo para los negocios.
- Democracia y derechos, desarrollando innovaciones, políticas e instituciones para apoyar los procesos democráticos y aumentar la confianza en las instituciones democráticas, a través de una mayor transparencia, rendición de cuentas, estado de derecho e igualdad, incluida la igualdad de género.

6.3.1. Programas de I+D Europeos

Horizon Europe (HE) [310] es el programa de financiación clave de la UE para la investigación y la innovación con un presupuesto de 95.500 millones de euros. Aborda el cambio climático, ayuda a

alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas e impulsa la competitividad y el crecimiento de la UE.

El programa facilita la colaboración y fortalece el impacto de la investigación y la innovación en el desarrollo, apoyo y aplicación de las políticas de la UE al tiempo que aborda los desafíos globales. Apoya la creación y mejor dispersión de excelentes conocimientos y tecnologías. Crea puestos de trabajo, involucra plenamente a la reserva de talentos de la UE, impulsa el crecimiento económico, promueve la competitividad industrial y optimiza el impacto de la inversión dentro de un Espacio Europeo de Investigación fortalecido. Pueden participar personas jurídicas de la UE y países asociados.

La estructura del programa HE consta de diferentes pilares:

- Pilar I. Ciencia excelente, formado por los programas del consejo europeo de investigación (European Research Council), las acciones Marie Skłodowska-Curie y las infraestructuras de investigación (Research Infrastructures).
- Pilar II. Retos Globales y Competitividad Industrial Europea, formado por diferentes clusters:
 - Salud
 - Cultura, Creatividad y Sociedad Inclusiva
 - Seguridad Civil para la Sociedad
 - Digital, Industria y Espacio
 - Clima, Energía y Movilidad
 - Alimentación, Bioeconomía, Recursos Naturales, Agricultura y Medio Ambiente
- Pilar III. Europa innovadora, con los programas del consejo europeo de innovación (European Innovation Council), los ecosistemas de innovación europeos (European Innovation Ecosystems) y el Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (European Institute of Innovation and Technology)

6.4. El Sistema de I+D+i en España

La Ley 14/2011 de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, que deroga la Ley de Investigación Científica y Tecnológica de 1986, establece un marco general para el fomento y la coordinación de la investigación científica y técnica con el fin de contribuir al desarrollo sostenible y al bienestar social mediante la generación y difusión del conocimiento y la innovación.

El texto se compone de cuatro Títulos y uno Preliminar. En este se recogen el objeto y los objetivos de la Ley y se define el Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación, que está

integrado por el Sistema de la Administración General del Estado y por los Sistemas de cada una de las Comunidades Autónomas, e incluye a agentes de coordinación, de financiación y de ejecución.

La coordinación se asienta sobre una Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT) y una Estrategia Española de Innovación, de nueva creación, que constituyen el marco de referencia para alcanzar los objetivos compartidos por todas las administraciones territoriales; el Consejo de Política Científica, Tecnológica y de Innovación, formado por representantes de máximo nivel de la Administración General del Estado y de las Comunidades Autónomas; el Consejo Asesor de Ciencia, Tecnología e Innovación, que asesora al anterior y en el que están representados los agentes económicos y sociales; y por último, el Comité Español de Ética de la Investigación, que es el órgano consultivo encargado de velar por la ética de la investigación.

La ENCYT es un documento de posición elaborado con la participación de los actores del sistema español de Ciencia y Tecnología, en el que se recogen los grandes principios y objetivos generales que han de regir las políticas de ciencia y tecnología, tanto nacionales como regionales, en el horizonte temporal 2007-2015. La iniciativa de la elaboración de esta estrategia surge como resultado de la experiencia de los sucesivos Planes Nacionales desarrollados hasta el momento y de los resultados de la iniciativa INGENIO 2010 que ha supuesto un impulso importante a la ciencia y la tecnología en España. A continuación se resumen los principios básicos de esta estrategia, tal y como aparecen descritos en la web del Ministerio de Ciencia e Innovación:

- Poner la I+D+I al servicio de la ciudadanía, del bienestar social y de un desarrollo sostenible, con plena e igual incorporación de la mujer.
- Hacer de la I+D+I un factor de mejora de la competitividad empresarial.
- Reconocer y promover la I+D como un elemento esencial para la generación de nuevos conocimientos.

En este marco, el Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTI) consta de instituciones y organismos de titularidad pública y privada dedicados a la generación de conocimiento mediante la realización de actividades de I+D y/o la utilización de éste en el ámbito productivo, así como al conjunto de reglas, normas, usos y costumbres. La Figura 6-1 incluye los agentes involucrados en el sistema de I+D+i en España.

En junio de 2022 se aprobó el proyecto de ley por el que se reforma la Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, incluyendo medidas como una mejora de la carrera científica y técnica en el ámbito de la I+D+I; medidas para estimular la atracción de talento y la movilidad profesional; reducción de la carga administrativa y fomento de la transferencia de conocimiento y más reconocimiento al personal de investigación.

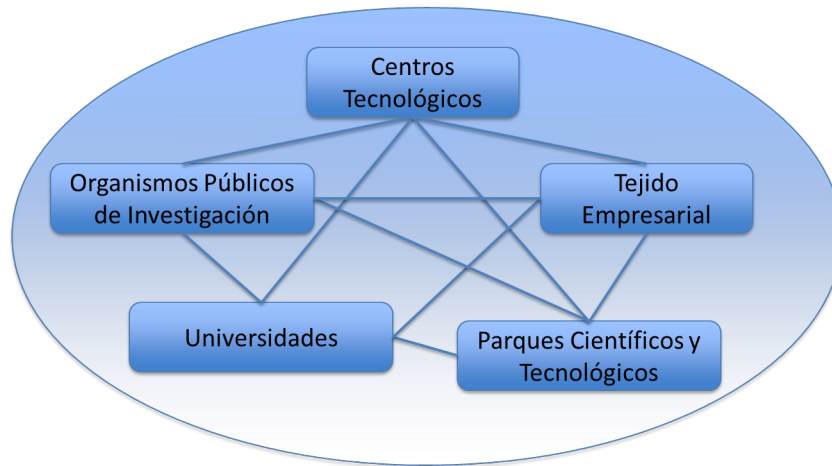


Figura 6-1: Agentes en el sistema de I+D+i en España

6.4.1. Organismos Públicos de Investigación

Los Organismos Públicos de Investigación (OPI) son instituciones de investigación de carácter público y de ámbito nacional que, junto con las universidades, forman el núcleo básico del sistema público de investigación científica y desarrollo tecnológico español, ya que ejecutan la mayor parte de las actividades programadas en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica.

Las funciones que la Ley de la Ciencia establece para estos organismos son las siguientes. Por un lado, gestionar y ejecutar los Programas Nacionales y Sectoriales que les sean asignados en el Plan Nacional y, en su caso, los derivados de convenios firmados con Comunidades Autónomas, así como desarrollar los programas de formación de investigadores. También, contribuir a la definición de los objetivos del Plan Nacional y colaborar en las tareas de evaluación y seguimiento de los mismos. Esto implica asesorar en materia de investigación científica e innovación tecnológica a los Organismos dependientes de la Administración del Estado o de las Comunidades Autónomas que lo soliciten.

Estos organismos, adscritos al Ministerio de Ciencia e Innovación son:

- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Es la mayor institución pública de España dedicada a la investigación científica y técnica y una de las más destacadas del Espacio Europeo de Investigación y el principal agente de ejecución del SECTI.
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Organismo Público de Investigación adscrito al Ministerio de Ciencia e Innovación a través de la Secretaría General de Investigación, focalizado principalmente en los ámbitos de la energía y el medio ambiente y los campos tecnológicos relacionados con ambos.
- Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Acreditado por el Gobierno español como “Centro

de Excelencia Severo Ochoa”, es un organismo público de investigación español que gestiona dos de los mejores observatorios internacionales del mundo.

- Instituto de Salud Carlos III (ISCIII). Se trata de un organismo de referencia nacional e internacional en investigación biomédica y salud pública.

6.4.2. Centros Tecnológicos y Centros de Apoyo a la Innovación Tecnológica

Se consideran Centros Tecnológicos (CT) de ámbito estatal a aquellas entidades sin ánimo de lucro, legalmente constituidas y residentes en España, que sean creadas con el objeto de contribuir al beneficio general de la sociedad y a la mejora de la competitividad de las empresas mediante la generación de conocimiento tecnológico, realizando actividades de I+D+i y desarrollando su aplicación. En el caso de los Centros de Apoyo a la Innovación Tecnológica (CAIT) de ámbito estatal, serán creados con el objeto de facilitar la aplicación del conocimiento generado en los organismos de investigación, incluidos los centros tecnológicos, mediante su intermediación entre éstos y las empresas, proporcionando servicios de apoyo a la innovación.

La mayoría de los centros tecnológicos de ámbito estatal están asociados a la Federación Española de Centros Tecnológicos (FEDIT) [144]. FEDIT es la representante de los centros y debido a la actividad que estos inducen a sus clientes, ésta es uno de los principales agentes privados de I+D+I del país y el primer proveedor de servicios de Investigación y Desarrollo a las empresas.

6.4.3. Parques Científicos y Tecnológicos

Un Parque Científico y Tecnológico, de acuerdo a la Asociación de Parques Científicos y Tecnológicos de España (APTE) [36], se trata de un proyecto, generalmente asociado a un espacio físico que mantiene relaciones formales y operativas con las universidades, centros de investigación y otras instituciones de educación superior. Está diseñado para alentar la formación y el crecimiento de empresas basadas en el conocimiento y de otras organizaciones de alto valor añadido pertenecientes al sector terciario, normalmente residentes en el propio parque. Además, posee un organismo estable de gestión que impulsa la transferencia de tecnología y fomenta la innovación entre las empresas y organizaciones usuarias del parque.

La APTE es un componente fundamental del Sistema de Ciencia, Tecnología y Empresa de España. Tiene como miembros parques científicos y tecnológicos que están ubicados en 17 comunidades autónomas diferentes.

6.4.4. Programas de I+D Nacionales

La I+D en España también se realiza en el ámbito militar, como es el caso de los Programas Nacionales de I+D del Ministerio de Defensa [305] cuyo objeto es la contratación de servicios directamente

relacionados con los equipos, armas y municiones, pudiendo incluir la obtención de demostradores y prototipos de sistemas. Son programas de alta complejidad técnica cuya ejecución suele abarcar varias anualidades. Estos programas se originan principalmente desde los Cuarteles Generales o el Estado Mayor Conjunto. Sin embargo, en esta sección nos centramos en los programas de I+D nacionales orientados a la comunidad científica en el ámbito civil.

Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación

El Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación (PEICTI) [235] es el instrumento de programación con el que cuenta el sistema español de Ciencia, Tecnología y Empresa para la consecución de los objetivos y prioridades de la política de investigación, desarrollo e innovación tecnológica de nuestro país a medio plazo, según se define en la Ley de la Ciencia y en la Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT).

Actualmente está vigente el Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación (PEICTI) 2021-2023 [235], que está dirigido a todos los agentes del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación, tanto públicos como privados, que serán responsables de la ejecución de las actividades de I+D+I propuestas, de la difusión y promoción de sus resultados y de la prestación de servicios de I+D+I para el progreso del conjunto de la sociedad y la economía españolas. Consta de los siguientes objetivos:

- Mejorar el modelo de gestión, estableciendo una financiación por objetivos.
- Fomentar el relevo generacional, impulsando la atracción de talento mediante el desarrollo de una carrera científica en la que se propone la creación de un nuevo contrato de incorporación al sistema público de investigación que mejore sustancialmente el modelo de contratación temporal actual.
- Impulso de la investigación en líneas estratégicas (top-down), mediante la creación de nuevas convocatorias de proyectos de generación de conocimiento, tanto transversales como en áreas concretas, y en líneas orientadas al sector público o a la colaboración público-privada.
- Particular foco en salud y medicina de vanguardia.
- Diseño conjunto entre el Gobierno y las Comunidades Autónomas de los denominados Planes Complementarios.
- Protagonismo en la construcción del Espacio Europeo de Investigación.
- Intensificar los incentivos a la transferencia, reforzando el vínculo entre investigación e innovación, para ayudar a trasladar los avances científicos a modelos de negocio viables y rentables.

El plan se orienta principalmente a las siguientes agrupaciones temáticas:

- Salud.
- Cultura, creatividad y sociedad inclusiva
- Seguridad civil para la sociedad
- Mundo digital, industria, espacio y defensa
- Clima, energía y movilidad
- Alimentación, bioeconomía, recursos naturales y medioambiente

El PEICT 2021-2023 instrumentaliza 4 programas estatales (PE), con 13 subprogramas estatales (SE), relacionados a continuación:

- PE 1: Afrontar las prioridades de nuestro entorno
 - SE1: Subprograma estatal de internacionalización
 - SE2: Subprograma estatal de sinergias territoriales
 - SE3: Subprograma estatal de acciones estratégicas
- PE 2: Impulsar la investigación científico-técnica y su transferencia
 - SE4: Subprograma Estatal de Generación de Conocimiento
 - SE5: Subprograma Estatal de Transferencia de Conocimiento
 - SE6: Subprograma Estatal de Fortalecimiento Institucional
 - SE7: Subprograma Estatal de Infraestructuras y Equipamiento Científico-Tecnológico
- PE 3: Desarrollar, atraer y retener talento
 - SE8: Subprograma Estatal de Formación
 - SE9: Subprograma Estatal de Incorporación
 - SE10: Subprograma Estatal de Movilidad
- PE 4: Catalizar la innovación y el liderazgo empresarial
 - SE11: Subprograma Estatal de I+D+I Empresarial
 - SE12: Subprograma Estatal de Crecimiento Innovador
 - SE13: Subprograma Estatal de Colaboración Público-Privada

6.4.5. El Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial

El Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) [83] es una Entidad Pública Empresarial, dependiente del Ministerio de Economía y Competitividad, que promueve la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas españolas. Desde el año 2009 es la entidad que canaliza las solicitudes de financiación y apoyo a los proyectos de I+D+i de empresas españolas en los ámbitos estatal e internacional. Así pues, el objetivo del CDTI es contribuir a la mejora del nivel tecnológico de las empresas españolas mediante el desarrollo de las siguientes actividades:

- Evaluación técnico-económica y financiación de proyectos de I+D desarrollados por empresas.
- Gestión y promoción de la participación española en programas internacionales de cooperación tecnológica.
- Promoción de la transferencia internacional de tecnología empresarial y de los servicios de apoyo a la innovación tecnológica.
- Apoyo a la creación y consolidación de empresas de base tecnológica.

El CDTI concede a la empresa ayudas financieras propias y facilita el acceso a la de terceros (financiación bancaria de la Línea para la Financiación de la Innovación Tecnológica y Subvenciones del Programa Marco de I+D de la UE) para la realización de proyectos de investigación y desarrollo tanto nacionales como internacionales. Asimismo, presta apoyo a la empresa para explotar internacionalmente tecnologías desarrolladas por ella, para lo que ofrece ayudas a la promoción tecnológica y proyectos de innovación y transferencia de tecnología, su red exterior y los proyectos de cooperación.

6.4.6. Gasto y Resultados de I+D en España

De acuerdo a epdata [130], la agencia de datos de Europa Press, y tomando como fuente los datos del Instituto Nacional de Estadística, El gasto en Investigación y Desarrollo (I+D) interna ascendió a 15.768 millones de euros en 2020, representando el 1,41 % del Producto Interior Bruto (PIB) [131], tal y como se muestra en la Figura 6-2.

La labor de investigación siempre debe ir convenientemente acompañada de la labor de difusión, sin la cual no sería posible dar a conocer a la comunidad investigadora los avances realizados en un campo concreto. En el campo de la informática, esto se traduce, en el mejor de los casos, en participaciones en congresos de relevancia internacional así como en publicaciones científicas en revistas de alto impacto indexadas en índices de reconocido prestigio como el Journal Citation Reports (JCR) del Science Citation Index (SCI). España publicó 105.461 documentos en 2020, lo que representa un 3,3 % de la producción científica mundial. El porcentaje de publicaciones españolas de excelencia se situó en un 15,1 % [143]. Se puede observar la tendencia desde 2011 hasta 2020 en la Figura 6-3.

Evolución del gasto en I+D interna en España

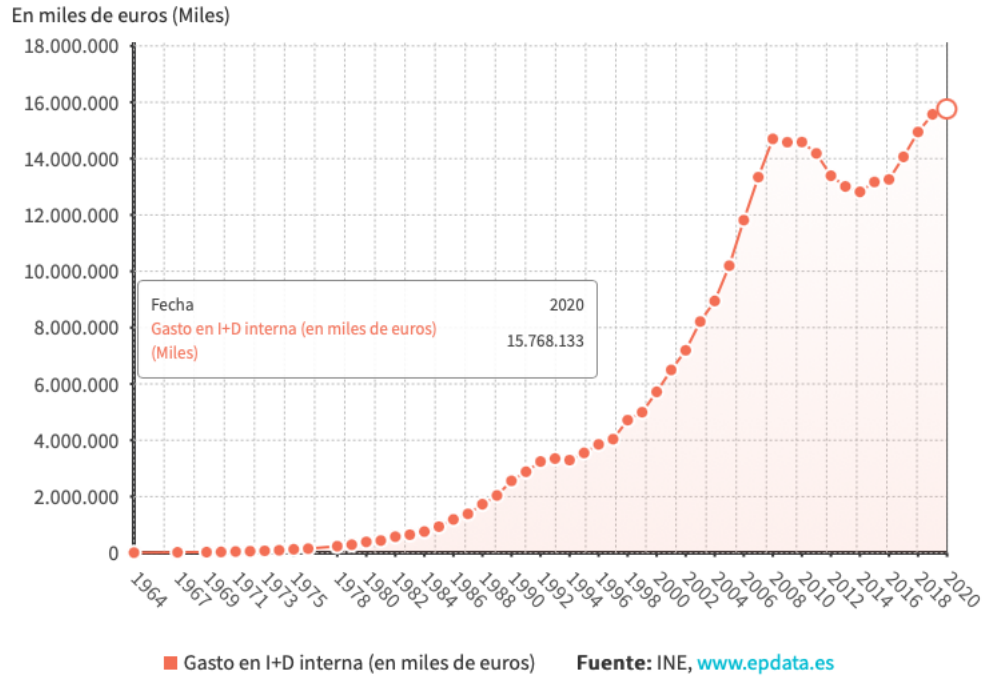


Figura 6-2: Evolución del gasto en I+D interna en España. Fuente: [131]

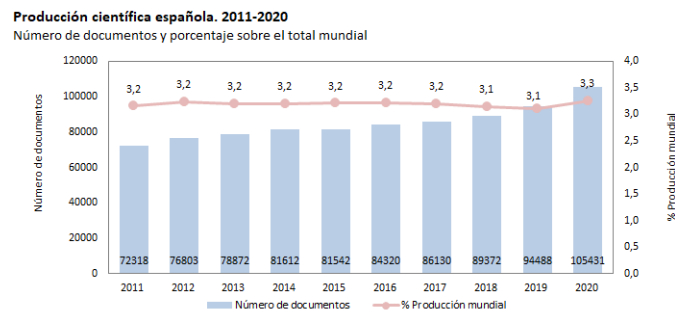


Figura 6-3: Producción científica medida en número de publicaciones en el periodo 2011-2020. Fuente: [143]

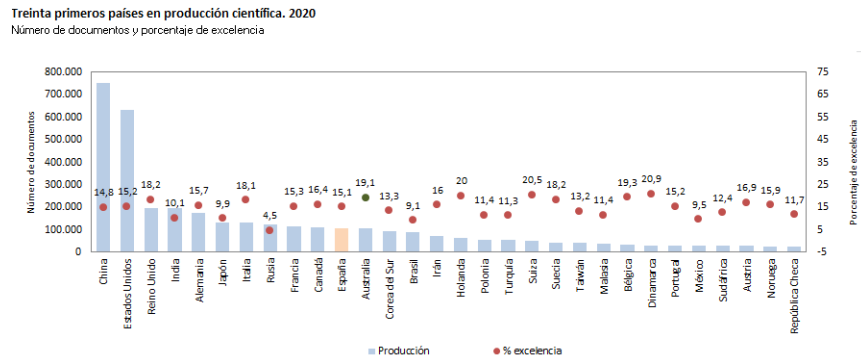


Figura 6-4: Treinta primeros países en producción científica. Fuente: [143]

La Figura 6-4 muestra los treinta primeros países en producción científica, destacando el número de documentos (suma de artículos científicos, actas de congresos y revisiones anuales) y el porcentaje de excelencia. La excelencia se mide en porcentaje de las publicaciones científicas de un país o institución se incluyen en el conjunto del 10 % de los artículos más citados de su área. Es un indicador de la alta calidad de la investigación.

6.5. La Investigación en la Comunitat Valenciana

El 16 de abril de 2009, tras su aprobación por las Cortes Valencianas, se publica en el Diari Oficial de la Comunitat Valenciana (DOCV) la Ley 2/2009, de 14 de abril, de la Generalitat, de Coordinación del Sistema Valenciano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. Se trata, tal y como se indica en su preámbulo, de “un nuevo marco normativo flexible y armónico, orientado a que se creen las condiciones adecuadas para alcanzar nuevos y ambiciosos objetivos de investigación para que contribuyan al progreso científico, industrial, económico y social de la Comunitat Valenciana”. En el Título II de esta Ley se define el Plan General Estratégico de Ciencia y Tecnología de la Comunitat Valenciana (PGECYT) como un Plan de desarrollo destinado a fomentar y coordinar la investigación científica y técnica de la Comunitat Valenciana.

Este plan se enmarca dentro del Sistema Valenciano de Ciencia e Investigación, constituido por órganos de decisión (Corts Valencianes y Consell de la Generalitat), organismos de gestión (todas las Conselleries) y organismos de ejecución (centros de I+D+i, empresas e instituciones privadas sin ánimo de lucro). Todo ello se completa con un organismo asesor (el Alto Consejo Consultivo en I+D+i de la Presidencia de la Generalitat), un organismo de evaluación (la Agència Valenciana d’Avaluació i Prospectiva) y dos organismos de planificación y coordinación institucional (la Comisión Delegada del Consell para la Investigación Científica y el Desarrollo Tecnológico, y la CONCITEC o Conferencia General de Ciencia y Tecnología).

6.5.1. Programas de I+D+i Autonómicos

A modo de ejemplo, el programa para la promoción de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación en la Comunidad Valenciana para el año 2022² incluye las siguientes categorías:

- Programa I+D+i
 - Subvenciones para la contratación de personal investigador predoctoral
 - Subvenciones para estancias de contratados predoctorales en centros de investigación fuera de la Comunitat Valenciana
 - Subvenciones del programa Santiago Grisolia
 - Subvenciones para la contratación de personal investigador en fase postdoctoral
 - Subvenciones para apoyar la contratación de personal investigador doctor de las ayudas Ramón y Cajal
 - Subvenciones para la contratación de personal de apoyo vinculado a un proyecto de transferencia tecnológica
 - Subvenciones para la realización de estancias de personal investigador doctor en empresas de la Comunitat Valenciana
 - Subvenciones para estancias de personal investigador doctor en centros de investigación radicados fuera de la Comunitat Valenciana
 - Subvenciones a grupos de investigación emergentes
 - Subvenciones para grupos de investigación consolidados
 - Subvenciones programa Prometeo para grupos de investigación de excelencia
 - Subvenciones para la captación de proyectos europeos u otros programas de carácter internacional
 - Subvenciones para la organización y difusión de congresos, jornadas y reuniones científicas, tecnológicas, humanísticas o artísticas de carácter internacional
 - Subvenciones para la promoción y dinamización de los parques científicos
- Equipamiento e infraestructuras FEDER
- Formación apoyo técnico I+D+i Garantía juvenil
- Programa para el apoyo a personas investigadoras con talento - Plan GenT

²https://innova.gva.es/es/web/ciencia/convocatories_2022

- Subvenciones para la contratación de investigadoras e investigadores doctores de excelencia para desarrollar un proyecto de i+d+i en la comunitat
 - Subvenciones para la contratación de doctores y doctoras con experiencia internacional
 - Subvenciones a la excelencia científica de juniors investigadores
- Programa Investigo

Además, la Agencia Valenciana de la Innovación [4] es el lugar de encuentro de todos los agentes del Sistema Valenciano de Innovación (SVI). Su misión es contribuir a la transformación del modelo productivo de la Comunitat Valenciana con el objetivo de alcanzar un crecimiento económico inteligente, sostenible y cohesionado socialmente, mediante el fomento del conocimiento ya disponible y el desarrollo de nuestra capacidad innovadora.

Dentro de los programas y líneas de apoyo se encuentran:

- Valorización y transferencia de resultados de investigación a las empresas
- Promoción del talento: agentes de innovación, incorporación de tecnólogos en empresas y doctorandos empresariales
- Impulso a la compra pública innovadora
- Proyectos estratégicos en cooperación
- Consolidación de la cadena de valor empresarial
- Acciones complementarias de impulso y fortalecimiento de la innovación

6.6. La Investigación en la UPV

La Memoria del Curso Académico 2019/2020 de la Universitat Politècnica de València [353] indica que en el año 2019 el volumen económico de las actividades de la I+D+i de la UPV fue de 75,19 millones de euros, lo que supone un aumento de 28,19 respecto a 2018. Al analizar la actividad de I+D+i competitiva de la UPV según la naturaleza jurídica de la entidad financiadora se observa que continúa siendo la administración central, con un 45,1 % del volumen económico total el primer financiador, seguido de la Unión Europea que representa un 28,3 % del global. La Generalitat Valencia supone un 23,5 %.

En el curso académico 2020/2021, la correspondiente memoria académica [354] muestra que en el año 2020 el volumen económico de las actividades de I+D+i de la Universitat Politècnica de València fue de 58,8 millones de euros, lo que supone una reducción de 21,6 % respecto al año anterior. Al analizar la actividad de I+D+i competitiva de la UPV según la naturaleza jurídica de la entidad

financiadora podemos observar que la Unión Europea lidera la aportación económica con un 34,8% del total, con un incremento de 6 puntos respecto al año anterior. Le sigue la aportación de la GVA con un 33,2% que se incrementa un 10% sobre el año anterior y disminuye la aportación de la Administración Central que pasa de 45,1% a 28,9% del total.

6.6.1. Estructuras de Investigación

La UPV organiza su actividad investigadora y de transferencia de tecnología a través de diferentes estructuras [348]. Entre ellas, están los departamentos universitarios, los institutos universitarios de investigación y las Estructuras Propias de Investigación (EPI).

Los departamentos son los órganos encargados de coordinar las enseñanzas de una o varias áreas de conocimiento y de apoyar las iniciativas docentes o investigadoras del profesorado. Entre otras funciones, los departamentos elaboran los programas de las asignaturas que imparten, y proponen las metodologías docentes y los sistemas de evaluación. En el apartado de investigación, se encargan de fomentar la creación de grupos y promueven proyectos de investigación. Hay actualmente 42 departamentos en la UPV.

Los institutos universitarios de investigación son centros de gran relevancia e intensa actividad dedicados a la investigación científica, técnica y artística. Su creación es aprobada por la Generalitat Valenciana, de acuerdo con lo establecido en la LOU. En cuanto a su naturaleza, pueden ser propios de la universidad -integrados por personal de la UPV y con dependencia exclusiva de ella- o mixtos, es decir, creados en colaboración con otros organismos públicos o privados mediante un convenio. Actualmente hay 16 institutos universitarios, 4 institutos universitarios mixtos y concertados y, finalmente, 1 instituto de investigación interuniversitaria.

Las EPI son centros que se dedican a la investigación, desarrollo e innovación y tratan de dar respuesta a la demanda de productos tecnológicos y artísticos tanto de la Universidad como del entorno social. En cuanto a su naturaleza pueden ser centros de investigación propios, centros de investigación mixtos y concertados, y centros de investigación interuniversitarios. También se pueden dar unidades de investigación conjunta (UIC), que son alianzas temporales entre estructuras de investigación de la UPV y de otras entidades en un determinado ámbito científico-tecnológico. Existen 21 centros de investigación, 3 centros de investigación mixtos y concertados y 11 UICs, entre las que destacamos la “UIC en Cloud Computing entre INDRA SA y el Ins. de Instrumentación en Imagen Molecular”, coordinada por nuestro grupo de investigación.

6.6.2. La Ciudad Politécnica de la Innovación

La Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI) [101] es el Parque Científico de la Universitat Politècnica de València (UPV). El parque científico se concibe como un espacio, no solo físico, donde conectar universidad, empresa y sociedad, para acelerar la generación de actividades intensivas en

conocimiento. La CPI pretende contribuir a capitalizar el conocimiento de la UPV generando impacto mediante la transferencia de sus resultados y contribuyendo al desarrollo socioeconómico.

La CPI forma parte de la Asociación Española de Parques Científicos y Tecnológicos (APTE) [36] y de la International Association of Science Parks and Areas of Innovation (IASP) [196]. Para tener una idea de la dimensión de esta entidad, a continuación se relacionan los centros de investigación desglosados por áreas de trabajo:

- Agricultura y biotecnología:

- Instituto Agroforestal Mediterráneo

- Instituto Universitario Mixto de Biología Molecular y Celular de Plantas

- Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología Animal

- Instituto Universitario de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana

- Instituto Universitario Mixto de Biología Molecular y Celular de Plantas

- Alimentación:

- Centro Avanzado de Microbiología de Alimentos

- Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo

- Arte y patrimonio:

- Centro de Investigación Arquitectura, Patrimonio y Gestión para el Desarrollo Sostenible

- Centro de Investigación Arte y Entorno

- Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio

- Construcción e ingeniería civil:

- Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica

- Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón

- Instituto del Transporte y Territorio

- Diseño gráfico e industrial:

- Centro de Investigación en Tecnologías Gráficas

- Energía:

- Instituto Universitario de Ingeniería Energética

- Instituto de Tecnología Eléctrica

- Gestión del agua y medio ambiente:
 - Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego
 - Instituto Universitario de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente
 - Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras
- Gestión empresarial y economía de la innovación:
 - Centro de Gestión de la Calidad y del Cambio
 - Centro de Investigación en Dirección de Proyectos, Innovación y Sostenibilidad
 - Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción
 - Centro de Investigación en Gestión de Empresas (CEGEA)
 - Instituto de Gestión de la Innovación y del Conocimiento
- Industria química y materiales:
 - Instituto de Tecnología de Materiales
 - Instituto Universitario Mixto de Tecnología Química
- Informática, automatización industrial y logística:
 - Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial
- Matemática:
 - Instituto Universitario de Matemática Multidisciplinar
 - Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada
- Salud, calidad de vida y educación:
 - Centro de Biomateriales
 - Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular
 - Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería
 - Instituto Universitario de Ingeniería Mecánica y Biomecánica
- Seguridad:
 - Instituto Universitario de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental
- Tecnologías de la información y las comunicaciones:
 - Instituto Universitario Mixto de Tecnología de Informática
 - Instituto Universitario de Tecnología Nanofotónica
 - Instituto Universitario de Tecnologías de la Información y Comunicaciones

Instituto Universitario de Telecomunicación y Aplicaciones Multimedia

Instituto Universitario Valenciano de Investigación en Inteligencia Artificial

- Transporte y automoción:

Instituto Universitario CMT – Motores Térmicos

Instituto de Diseño para la Fabricación y Producción Automatizada

6.6.3. El Programa de Apoyo a la I+D+i en la UPV

Entre los programas que la Universitat Politècnica de València ha establecido en cumplimiento de la labor de fomento de la investigación en las Universidades, establecido en el Título VII de la Ley Orgánica 6/2001, de 6 de diciembre, de Universidades y el capítulo II del Título III de los Estatutos de la UPV, para el fomento y apoyo de su actuación en I+D+I se encuentra el Programa de Apoyo a la I+D (PAID). Este programa consta de las siguientes ayudas, si bien su contenido es variable a lo largo de las convocatorias que ha habido en los últimos años:

- Programas de Movilidad. Incluye bolsas de viaje para asistencia a congresos, ayudas para la estancia de PDI de la UPV en centros de prestigio, así como ayudas para la estancia de investigadores de prestigio en la UPV.
- Iniciativas en Investigación. Incluye ayudas a la organización de congresos científicos, primeros proyectos de investigación, proyectos de investigación para la iniciación de nuevas líneas de investigación multidisciplinares, ayuda a la edición de revistas de investigación, acciones especiales y, finalmente, ayudas a la adquisición de software científico.
- Formación de Personal Investigador. Incluye el programa para la Formación de Personal Investigador (FPI) de la UPV y el programa de Becas de Excelencia de la UPV.

A modo de ejemplo, en el año 2022 el Programa de Apoyo a la Investigación y Desarrollo ha incluido las siguientes convocatorias:

- Primeros Proyectos de Investigación
- Ayudas para potenciar la investigación postdoctoral de la UPV

6.6.4. Evaluación de la Investigación en la UPV

La Universitat Politècnica de València ha finalizado su Plan Estratégico UPV 2015-2020 [355] compuesto por los siguientes retos estratégicos:

- Reto Estratégico 1: Ser un referente en docencia y formación de calidad orientada a las necesidades de la sociedad

- Reto Estratégico 2: Desarrollar una investigación relevante y de impacto
- Reto Estratégico 3: Transferir sus resultados a nivel nacional e internacional
- Reto Estratégico 4: Ser considerado un aliado estratégico por universidades, empresas e instituciones a nivel global
- Reto Estratégico 5: Destacar por sus compromisos en materia de responsabilidad social como universidad pública

Relacionado con el reto estratégico 2, la UPV dispone de un reglamento para la evaluación de la actividad de investigación, desarrollo, innovación y transferencia, que define el mecanismo para asignar un Índice de Actividad Investigadora (IAI) para cada investigador.

Para la evaluación del IAI se tienen en cuenta, entre otros, los siguientes conceptos:

- Consecución de acciones I+D+I y captación de recursos
- Publicaciones de investigación en revistas
- Publicaciones de investigación en congresos
- Publicaciones de investigación en libros completos con ISBN
- Publicaciones de investigación en libros con capítulos con ISBN
- Patentes y otros títulos de propiedad intelectual
- Otros méritos de I+D+I
- Producción artística
- Trabajos artísticos
- Premios relevantes de investigación
- Sexenios
- Participación en comités de revistas
- Participación en comités de congresos
- Editor de libros
- Tesis doctorales
- Actividades de servicio general a la investigación
- Spin-off

Categoría	VAIP 2020
Catedrático de Universidad	185,13
Titular de universidad	73,43
Profesor contratado doctor	57,08
Catedrático de escuela universitaria	54,53
Profesor ayudante doctor	44,78
Profesor colaborador	11,52
Titular de escuela universitaria	10,36
Profesor asociado	13,30

Tabla 6.1: Valores promedios de VAIP correspondientes a 2020.

A partir de dicha información se asigna una Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada (VAIP). A modo de referencia, la Tabla 6.1 muestran los datos promedios de VAIP correspondientes al año 2020 (los últimos disponibles en el momento de redacción de este documento), donde la media global es de 55,06:

6.7. El Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular

El Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (I3M) [187] es un centro de investigación mixto creado en 2010 por la Universitat Politècnica de València y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) situado en el Campus de Vera de la UPV. Está dirigido por José María Benlloch, premio Jaime I en la modalidad de nuevas tecnologías en el año 2008, premio nacional investigación Leonardo Torres Quevedo en 2014 y miembro de la Academia Europea de Ciencias desde el año 2018.

La actividad prioritaria del instituto es la investigación de nuevas técnicas de instrumentación científica para aplicaciones de imagen en el ámbito biomédico. Más concretamente, se centra en el desarrollo de instrumentos para la obtención de imágenes moleculares del organismo. Estos instrumentos permiten visualizar procesos fisiológicos, metabólicos y de expresión génica internos, no sólo imágenes morfológicas, y son de gran utilidad en los entornos hospitalarios para el diagnóstico y la terapia del cáncer, entre otras muchas aplicaciones, como es el caso de la neurología y la cardiología.

Por ejemplo, la tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) y tomografía por emisión de positrones (PET) han resultado ser las herramientas más precisas para imagen funcional, proporcionando información sobre procesos fisiológicos a nivel molecular, con una resolución y especificidad superior a las expectativas iniciales. Existen tres áreas principales:

- Sistemas de Terapia e Imagen Médica
 - Laser Acceleration of Ions and Applications (LAIA)
 - Magnetic Resonance Imaging Laboratory (MRILab)

- Ultrasound Medical and Industrial Laboratory (UMIL)
 - Detectors for Molecular Imaging Laboratory (DMIL)
 - Medical Imaging Reconstruction Group (MIRG)
- Diseño de Sistemas Electrónicos
 - Computación Distribuida

En el marco del instituto está integrado el Grupo de Grid y Computación de Altas Prestaciones (GRyCAP), grupo de investigación al que pertenece el candidato. A continuación se procede a resumir las principales líneas de actividad de este grupo y proporcionar una breve descripción.

6.7.1. El grupo de investigación GRyCAP

El grupo de Grid y Computación de Altas Prestaciones (GRyCAP) de la Universitat Politècnica de València (UPV), creado en 1986 por el profesor Vicente Hernández García, centró inicialmente su actividad en el desarrollo y aplicación de las tecnologías Grid y la Computación de Altas Prestaciones en diferentes ámbitos como la ingeniería, la biomedicina, el e-Gobierno o la computación científica. Desde Marzo de 2014, tras la jubilación del profesor Vicente Hernández García, el profesor Ignacio Blanquer asumió el liderazgo de este grupo.

El grupo cuenta actualmente con 20 miembros y participa o ha participado en un número significativo de proyectos europeos, nacionales y regionales relacionados con las tecnologías de computación distribuida (orientados tanto hacia el desarrollo de aplicaciones y al despliegue y operación de la infraestructura como al desarrollo de componentes middleware), con la Computación de Altas Prestaciones (orientados principalmente al desarrollo y migración de aplicaciones en los ámbitos de la Ingeniería y la Biomedicina, pero también en la promoción y transferencia de tecnología), con las tecnologías Cloud (orientado al desarrollo de servicios de plataforma para la gestión eficiente de recursos en la nube), así como en la gestión de datos de gran dimensión, especialmente en el ámbito de la biomedicina.

El grupo fue catalogado en el año 2003 como Grupo de Excelencia de I+D+I por la Generalitat Valenciana (referencia GRUPOS03/021) y se encuentra integrado en el Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (I3M). Anteriormente, el GRyCAP formó parte de ITACA (Instituto Universitario de Tecnologías de la Información y Comunicaciones) el Centro en Red de Ingeniería Biomédica (CRIB) y el Instituto Universitario Mixto de Tecnología de Informática (ITI). En los últimos 10 años, el grupo ha participado en 20 proyectos nacionales y Europeos y ha producido más de 60 publicaciones en revistas, la mayor parte de ellas indexadas, así como más de 100 comunicaciones en congresos internacionales.

A su vez, es miembro de la infraestructura nacional de grid (ES-NGI), participando uno de los miembros en el comité director, así como en la infraestructura internacional EGI. Es importante

destacar la labor del GRyCAP en la difusión científica y tecnológica, ya que ha sido la entidad responsable de la Red Española de e-Ciencia.

A continuación se resumen las principales líneas actuales de actividad del grupo:

- **Tecnologías Cloud.** La tecnología Cloud Computing se ha convertido en un tópico de alto interés tanto en los entornos académicos, como en los empresariales. En el marco del GRyCAP, el interés se centra en la Infraestructura como Servicio (IaaS), la Plataforma como Servicio (PaaS) y las Funciones como Servicio (FaaS). El GRyCAP, además de gestionar despliegues Cloud propios (IaaS) basados en OpenNebula [286] y en OpenStack [288], desarrolla herramientas y servicios para la configuración, despliegue, escalado, reconfiguración y ejecución de aplicaciones en la nube.
- **Tecnologías Grid.** Las tecnologías Grid permiten compartir hasta centenares de miles de ordenadores para que compartan no sólo capacidad de cómputo, sino también información almacenada en grandes espacios de almacenamiento distribuidos, con el objetivo de resolver retos que trascienden la capacidad individual de los centros individuales. El Grid se concibe con la perspectiva de crear sobre una red Internet de nueva generación, un conjunto de protocolos abiertos y de propósito general y de servicios adicionales que funcionen sobre la red, permitiendo el acceso controlado y flexible a los recursos compartidos y en función de los permisos de la organización virtual a la que pertenezca el usuario que haya lanzado la tarea. El GRyCAP gestiona un site federado en la infraestructura internacional EGI.
- **Computación Científica.** Esta tecnología surge en el ámbito científico pero su implantación en la industria es cada vez mayor. La necesidad de resolver problemas complejos (tratamientos de grandes volúmenes de datos, simulación de procesos, etc.) requieren de soluciones económicas y que ofrezcan las máximas prestaciones.
- **Ingeniería.** Las aproximaciones secuenciales tradicionalmente empleadas en el área del análisis de estructuras ofrecen unas prestaciones y posibilidades muy limitadas frente a aproximaciones basadas en Computación de Altas Prestaciones y Grid. Es especialmente relevante el producto Architrave³, un software de altas prestaciones para la simulación dinámica de estructuras de edificación. El uso de la Computación de Altas Prestaciones y Grid ofrece ciertas ventajas. Por un lado, permite abordar un análisis sin simplificaciones mucho más realista con una alta fiabilidad y robustez en los cálculos realizados. Por otro lado, permite abordar estructuras de mayor dimensión y reducir notablemente los tiempos de cómputo.
- **Aplicaciones Biomédicas.** Bajo el término “biomedicina” se enmarcan tanto las actividades relacionadas con la biología como con la medicina y la salud. La biomedicina implica a numerosas disciplinas relacionadas con las Tecnologías de la Información y Comunicaciones, como

³<https://www.architrave.es/>

la computación intensiva, los sistemas distribuidos, las bases de datos y la seguridad. Dentro de este ámbito destacan la biocomputación, la imagen médica, la simulación de modelos biomédicos y la epidemiología.

El grupo tiene una buena alineación con la iniciativa europea *European Open Science Cloud* (EOSC) [96], una iniciativa de la Comisión Europea para proporcionar a los investigadores Europeos, empresas y ciudadanos un entorno federado, abierto y multidisciplinar donde puedan publicar, encontrar y reutilizar datos, así como herramientas y servicios para la investigación, innovación y educación. Ignacio Blanquer es miembro de la asociación EOSC⁴ y el grupo participa en algunos de los principales proyectos europeos que contribuyen a esta iniciativa, como es el caso de EGI-ACE [121], EOSC-Synergy [129] y AI4EOSC [6].

La página web del GRyCAP [173] dispone de mayor información sobre el grupo de investigación. Además, el grupo dispone de una organización en GitHub [174] donde se aloja la práctica totalidad de los desarrollos de código abierto del grupo, con el objetivo de fomentar la diseminación de los desarrollos software realizados.

⁴EOSC Association: <https://eosc.eu>

Capítulo 7

Perfil investigador

En este capítulo se presentan los datos del candidato Germán Moltó para el concurso para la plaza 6708 de Catedrático de Universidad en el área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial en el Departamento de Sistemas Informáticos y Computación de la Universitat Politècnica de València, resultante de la resolución de fecha 22 de junio de 2022, publicada en el Boletín Oficial del Estado número 157 del 1 de julio de 2022.

En primer lugar se presentan brevemente los datos del candidato. A continuación, se relacionan los principales proyectos y contratos de investigación que el candidato ha dirigido como Investigador Principal (IP) y en los que ha tenido una mayor involucración. Luego, se relacionan los artículos de investigación en revistas indexadas. Posteriormente, se analiza el resultado del candidato en el índice “Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada” (VAIP) con el objetivo de posicionar el desempeño del candidato en contexto con otros investigadores de la institución en base a este índice. Después, se recopilan los perfiles digitales del candidato en diversas plataformas online que permiten agregar la labor investigadora. Finalmente, el capítulo termina describiendo las principales colaboraciones internacionales que ha tenido el candidato a lo largo de su trayectoria investigadora más reciente.

Es importante destacar que la información aportada en este documento es un extracto de aquellos méritos que se han considerado más relevantes para la plaza objeto de concurso. La información detallada más completa, junto con el Curriculum Vitae Normalizado (CVN) y la justificación documental de todos los méritos alegados en él, puede encontrarse en el Historial Académico, Docente e Investigador¹.

¹Entregado junto con la documentación y accesible online en <https://www.grycap.upv.es/gmolto/cu/index.html>, con la contraseña aportada en la documentación y disponible también mediante petición a gmolto@dsic.upv.es

Nombre	Germán Moltó Martínez
Número de registro personal (funcionario)	5265643713 A0504
Fecha de nacimiento	06/01/1979
Fecha de defensa de la tesis doctoral	22/10/2007
Sexenios de investigación	3 (2003-2008 2009-2014 2015-2020)
Sexenios de docencia	3 (2005-2010 2010-2015 2015-2020)
Universidad	Universitat Politècnica de València (UPV)
Departamento	Departamento de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC)
Área de conocimiento	Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial
Instituto de investigación	Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (I3M)
Grupo de investigación	Grupo de Grid y Computación de Altas Prestaciones (GRyCAP)
Responsabilidad de gestión de la investigación	Responsable del área de Cloud computing dentro del grupo de investigación
Otros perfiles	Coordinador del Equipo de Innovación y Calidad Educativa (EICE) denominado “Metodologías Activas y Tecnologías de la Información”

Tabla 7.1: Datos básicos del investigador candidato.

7.1. Datos del candidato

La Tabla 7.1 recoge los datos fundamentales del candidato.

7.2. Proyectos y Contratos de Investigación

Esta sección describe brevemente los principales proyectos de investigación en los que el candidato ha participado con mayor grado de implicación. La Figura 7-1 muestra un cronograma con los proyectos europeos (programas Horizon 2020 y Horizon Europe) (arriba) y proyectos nacionales (abajo). Se destacan con un asterisco aquellos en los que el candidato ha actuado como investigador principal.

7.2.1. Breve resumen de los principales proyectos y contribución

A continuación se proporciona un breve resumen de los principales proyectos en los que se ha participado, indicando el papel que el candidato ha desarrollado en ellos. En primer lugar, los proyectos Europeos:

- INDIGO-Datacloud (INtegrating Distributed data Infrastructures for Global ExpLOitation, del 01/04/2015 al 30/09/2017) [191]. Este gran proyecto H2020 de middleware tuvo como objetivo el desarrollo de una plataforma de computación datos en código abierto enfocada a las

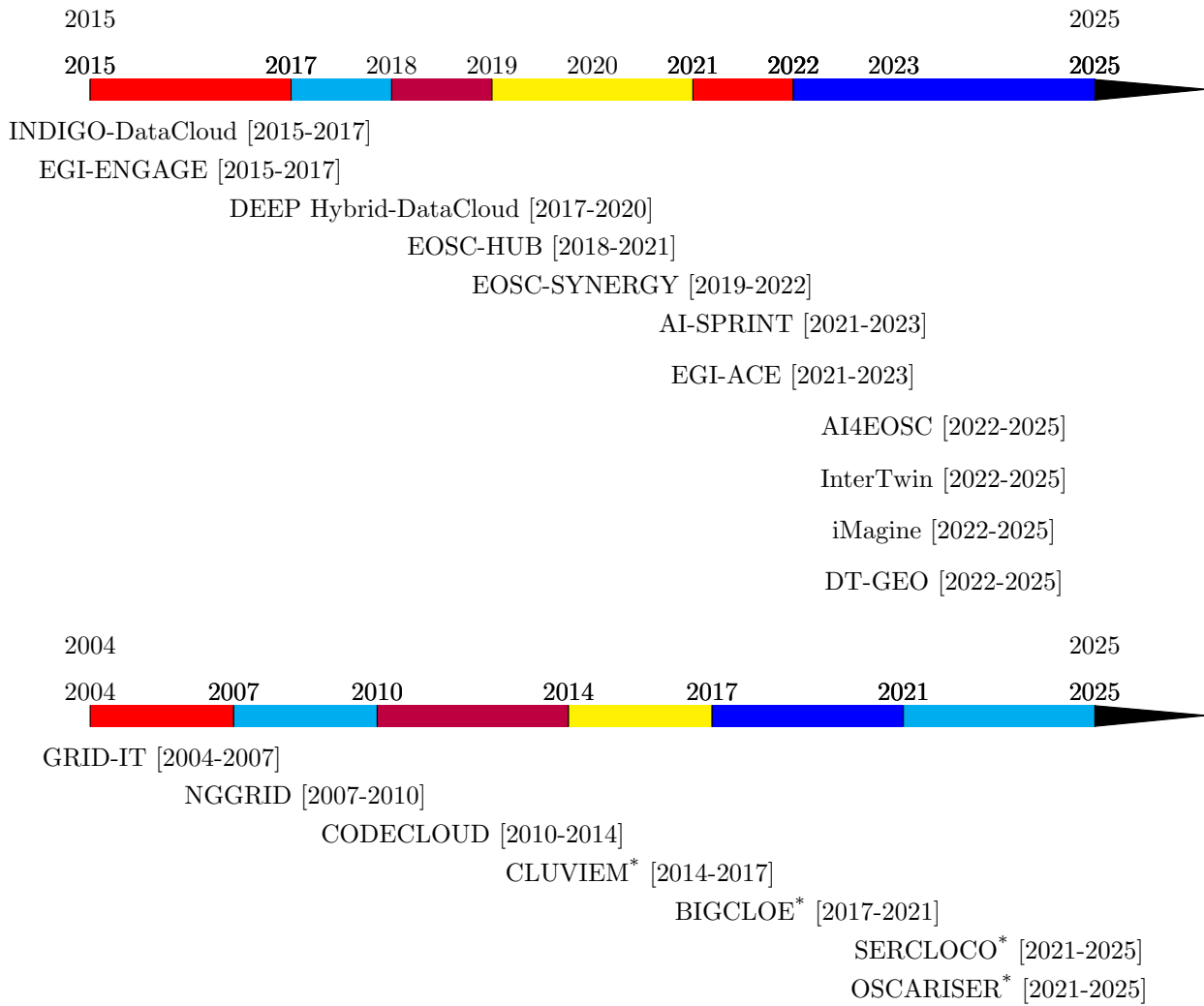


Figura 7-1: Principales proyectos Europeos (arriba) y nacionales (abajo) en los que ha participado el candidato. El asterisco marca responsabilidad como Investigador Principal.

comunidades científicas. En el marco de esta plataforma se han desarrollado numerosos componentes que han sido transferidos a otros proyectos e iniciativas de computación distribuida. El GRyCAP fue responsable del diseño e implementación del núcleo de la plataforma (PaaS - Platform as a Service) además de ser responsable de uno de los casos de estudio enfocando al proceso de imágenes médicas. El candidato fue el líder de la tarea responsable de la definición de dicho PaaS, integrando componentes como el Infrastructure Manager (IM).

- EGI-ENGAGE (Engaging the EGI Community towards an Open Science Commons, del 01/03/2015 al 32/08/2017) [122] continuó con la actividad de la iniciativa EGI [156], fomentando el desarrollo de la parte de cloud federado, en la que el GRyCAP ha tenido una importante responsabilidad, formando parte desde el principio de la iniciativa de cloud federado.
- DEEP Hybrid-DataCloud (Designing and Enabling E-infrastructures for intensive Processing in a Hybrid DataCloud, del 1/11/2017 al 30/04/2020) [110] fue un proyecto H2020 orientado al desarrollo de una serie de servicios para facilitar el desarrollo de aplicaciones de Deep Learning (aprendizaje profundo) en la nube, tanto para el entrenamiento de modelos usando técnicas de aceleración como GPUs, como para la inferencia. En este proyecto el GRyCAP participó como responsable de la tarea de orquestación de servicios y la composición mediante herramientas gráficas de descripciones de arquitecturas de aplicaciones mediante TOSCA, usando la herramienta Alien4Cloud². El candidato fue co-líder del paquete de trabajo orientado a la creación de interfaces gráficas.
- EOSC-HUB (Services for the European Open Science Cloud, del 1/1/2018 al 31/12/2020) [128] fue un ambicioso proyecto H2020 formado por 100 socios de 53 países que pretende integrar casi 50 servicios que han demostrado su funcionamiento en producción en los proyectos EGI-ENGAGE, INDIGO-DataCloud y EUDAT en una única infraestructura integrada para satisfacer los requisitos de un amplio espectro de problemas científicos. En este proyecto el GRyCAP tiene diferentes responsabilidades, destacando las tareas de identificación de requisitos (en la se lideró un grupo temático). El candidato fue co-responsable de la tarea de procesamiento y orquestación de servicios.
- EOSC-SYNERGY (European Open Science Cloud - Expanding Capacities by Building Capabilities, del 01/09/2019 al 01/03/2022) [129] es un proyecto H2020 que persigue la ampliación del EOSC (European Open Science Cloud) con una masa crítica de recursos de computación y almacenamiento para que puedan ser aprovechados mediante servicios federados. También persigue la creación de recursos formativos para facilitar la adopción de los servicios entre los investigadores. Finalmente, persigue la definición de métricas de calidad de software y de servicios que puedan ser verificadas de forma automatizada así como la emisión de reconocimiento

²Alien4Cloud. <https://https://alien4cloud.github.io/>

mediante insignias (*badges*). El GRyCAP ha sido el responsable de la tarea de creación de la web encargada de facilitar la obtención de informes de cumplimiento de dichas métricas para proyectos de código abierto, llamada SQAaaS-web³.

- AI-SPRINT (AI in Secure Privacy-preserving Computing Continuum, del 01/01/2021 al 01/01/2024) [5] es un proyecto H2020 que persigue la creación de un novedoso framework para el diseño y operación de aplicaciones de inteligencia artificial en el continuo de computación. AI-SPRINT va más allá de respaldar el desarrollo de aplicaciones de inteligencia artificial al permitir el diseño y la partición sin problemas de las aplicaciones de inteligencia artificial entre la gran cantidad de soluciones basadas en la nube y dispositivos de sensores basados en inteligencia artificial, proporcionando garantías de seguridad y privacidad. En este proyecto se adoptan las herramientas desarrolladas por el GRyCAP como: Infrastructure Manager (IM), para el despliegue de infraestructuras virtuales y OSCAR, para la inferencia de modelos de inteligencia artificial ya entrenados.
- EGI-ACE (EGI Advanced Computing for EOSC, del 01/01/2021 al 01/07/2023) [121] es un proyecto H2020 coordinado por la Fundación EGI con la misión de capacitar a los investigadores de todas las disciplinas para colaborar en la investigación intensiva en datos y computación a través de servicios gratuitos en el punto de uso. Sobre la base de la integración de la computación distribuida en el proyecto EOSC-hub, EGI-ACE entregará la Plataforma de Computación EOSC y contribuirá a la EOSC Data Commons a través de una federación de instalaciones de almacenamiento y computación en la nube, servicios PaaS y espacios de datos con herramientas de análisis y federados. servicios de acceso. El grupo contribuye a este proyecto con la evolución del IM y EC3 para el soporte a casos de uso científicos.
- AI4EOSC (Artificial Intelligence for the European Open Science Cloud, del 01/09/2022 al 01/09/2025) [6]. AI4EOSC ofrece un conjunto mejorado de servicios avanzados para el desarrollo de modelos y aplicaciones de inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático (ML) y aprendizaje profundo (DL) en la nube europea de ciencia abierta (EOSC). Estos servicios se agrupan en una plataforma integral que proporciona características avanzadas como aprendizaje distribuido, federado y dividido; nuevos metadatos de procedencia para modelos AI/ML/DL; servicios de procesamiento de datos basados en eventos o provisión de servicios AI/ML/DL basados en computación sin servidor (*serverless*). El proyecto se basa en los resultados de DEEP-Hybrid-DataCloud y la plataforma informática y los servicios de EOSC para proporcionar esta plataforma informática especializada. Además, AI4EOSC ofrece componentes de personalización para proporcionar despliegues personalizados de la plataforma, adaptándose a las necesidades cambiantes de los usuarios. Nuestro grupo de investigación contribuye a este

³SQAaaS web. <https://sqaas.eosc-synergy.eu/>

proyecto liderando el paquete de trabajo de co-diseño de arquitectura y portafolio de servicios. También contribuye en las tareas de procesamiento y orquestación y ejecución mediante una aproximación serverless, y en la composición de funciones serverless para la creación de workflows. Finalmente, también en la calidad de software y comprobación de datos FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*).

- InterTwin (An interdisciplinary Digital Twin Engine for science, del 01/09/2022 al 01/09/2025). Este proyecto codiseña e implementa el prototipo de un *Digital Twin Engine* (DTE) interdisciplinario, una plataforma de código abierto que proporciona componentes de software genéricos y personalizados para el modelado y la simulación para integrar *Digital Twins* (DT) específicos de la aplicación. La ambición es desarrollar un enfoque común para la implementación de DT que sea aplicable en todo el espectro de disciplinas científicas y más allá para facilitar el desarrollo y la colaboración. El codiseño involucra casos de uso de DT para física de alta energía, radioastronomía, física de astropartículas, investigación climática y monitorización ambiental, cuyos requisitos complejos se espera que avancen significativamente el estado del arte del modelado y la simulación utilizando infraestructuras digitales distribuidas heterogéneas, composición de flujos de trabajos avanzados, gestión y procesamiento de datos en tiempo real, seguimiento de la calidad y la incertidumbre de los modelos, fusión y análisis de datos. Como resultado, surgirá una consolidación de tecnologías de software que apoyen la investigación. Nuestro grupo de investigación participa en las tareas de composición avanzada de workflows y la adquisición y procesado de datos en tiempo real. También en la validación de la calidad del modelo y, por último, en analíticas de Big Data.
- iMagine (Imaging data and services for aquatic science, del 01/09/2022 al 01/09/2025). iMagine ofrece conjuntos de datos de imágenes “gratuitos en el punto de uso”, herramientas de análisis de imágenes de alto rendimiento potenciadas con inteligencia artificial (IA) y documentos de buenas prácticas para el análisis científico de imágenes. Estos servicios y materiales permiten procesamiento y análisis de datos de imágenes más eficiente en la investigación marina y de agua dulce, acelerando los conocimientos científicos sobre procesos y medidas relevantes para océanos, mares, aguas costeras e interiores saludables. Al basarse en la plataforma de European Open Science Cloud (EOSC), el proyecto ofrece un marco genérico para el desarrollo, la capacitación y la implementación de modelos de IA, que los investigadores pueden adoptar para refinar sus aplicaciones basadas en IA para la mitigación de la contaminación del agua, la biodiversidad, y estudios de ecosistemas, análisis del cambio climático y monitorización de playas, pero también para desarrollar y optimizar otras aplicaciones basadas en IA en este campo. Nuestro grupo de investigación participa operando en producción servicios para la ejecución de modelos de IA ya entrenados (*DEEP AI Applications as a Service*) y para el

desarrollo de los mismos (*DEEP AI Application Development Service*).

- DT-GEO (A Digital Twin for GEOphysical extremes, del 01/09/2022 al 01/09/2025). Se trata de un proyecto que aprovecha las infraestructuras de investigación computacionales y de datos existentes, las redes de monitorización operativo y las asociaciones académicas y de investigación de vanguardia en varios campos de la geofísica. El proyecto fusionará y ensamblará los últimos desarrollos de otros proyectos europeos y Centros de Excelencia para implementar 12 Gemelos Digitales, pensados como entidades contenedoras autónomas que incorporan códigos de simulación, capas de Inteligencia Artificial, grandes volúmenes de flujos de datos en tiempo real desde y hacia lagos de datos, metodologías de asimilación de datos y flujos de trabajo generales para la implementación y ejecución de gemelos digitales únicos o acoplados en HPC centralizado e infraestructuras de computación en la nube. Nuestro grupo de investigación participa en tareas de arquitecturas de workflows y en actividades de verificación de la calidad software y pipelines de integración y entrega continua.

A continuación, se relacionan los proyectos nacionales en los que se ha participado, siendo Investigador Principal en los cuatro últimos:

- GRID-IT (Investigación y Desarrollo de Servicios Grid: Aplicación a Modelos Cliente-Servidor, Colaborativos y de Alta Productividad, TIC2003-01318).
- NGGRID (ngGrid – Componentes de Nueva Generación para la Explotación Eficiente de Infraestructuras Grid en eCiencia, Ministerio de Educación y Ciencia, TIN2006-12890).
- CODECLOUD (Servicios Avanzados para el Despliegue y Contextualización de Aplicaciones Virtualizadas para dar Soporte a Modelos de Programación en Entornos Cloud, TIN2010-17804).
- CLUVIEM (Cluster Virtuales Elásticos y Migrables sobre Infraestructuras Cloud Híbridas, TIN2013-44390-R-AR).
- BIGCLOE (Computación Big Data y de Altas Prestaciones sobre Multi-Clouds Elásticos, TIN2016-79951-R).
- SERCLOCO (Serverless Scientific Computing Across the Hybrid Cloud Continuum, PID2020-113126RB-I00).
- OSCARISER (Open Serverless Computing for the Adoption of Rapid Innovation on Secure Enterprise-ready Resources, PDC2021-120844-I00).

7.3. Artículos de Investigación en Revistas Indexadas

En este apartado se listan las publicaciones realizadas en revistas indexadas en el JCR que tienen relación con la computación distribuida, incluyendo computación de altas prestaciones y computación en la nube, así como su aplicación en ámbitos científicos:

1. Sebastián Risco y Germán Moltó. “GPU-Enabled Serverless Workflows for Efficient Multimedia Processing”. En: *Applied Sciences* 11.4 (feb. de 2021), pág. 1438. ISSN: 2076-3417. DOI: [10.3390/app11041438](https://doi.org/10.3390/app11041438). URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1438>
2. Diana María Naranjo, Sebastián Risco, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “A serverless gateway for event-driven machine learning inference in multiple clouds”. En: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* (dic. de 2021). ISSN: 1532-0626. DOI: [10.1002/cpe.6728](https://doi.org/10.1002/cpe.6728). URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpe.6728>
3. Vicent Gimenez-Alventosa, German Molto y J. Damian Segrelles. “TaScaaS: A Multi-Tenant Serverless Task Scheduler and Load Balancer as a Service”. En: *IEEE Access* 9 (2021), págs. 125215-125228. ISSN: 2169-3536. DOI: [10.1109/ACCESS.2021.3109972](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3109972). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9528423/>
4. Sebastián Risco, Germán Moltó, Diana M. Naranjo e Ignacio Blanquer. “Serverless Workflows for Containerised Applications in the Cloud Continuum”. En: *Journal of Grid Computing* 19.3 (sep. de 2021), pág. 30. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-021-09570-2](https://doi.org/10.1007/s10723-021-09570-2). URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10723-021-09570-2>
5. Miguel Caballer, Marica Antonacci, Zdeněk Šustr, Michele Perniola y Germán Moltó. “Deployment of Elastic Virtual Hybrid Clusters Across Cloud Sites”. En: *Journal of Grid Computing* 19.1 (mar. de 2021), pág. 4. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-021-09543-5](https://doi.org/10.1007/s10723-021-09543-5). arXiv: [2102.08710](https://arxiv.org/abs/2102.08710). URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10723-021-09543-5>
6. Vicent Giménez-Alventosa, José Damián Segrelles, Germán Moltó y Mar Roca-Sogorb. “APRICOT: Advanced Platform for Reproducible Infrastructures in the Cloud via Open Tools”. En: *Methods of Information in Medicine* 59.S 02 (dic. de 2020), e33-e45. ISSN: 0026-1270. DOI: [10.1055/s-0040-1712460](https://doi.org/10.1055/s-0040-1712460). URL: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0040-1712460>
7. Jose Herrera y Germán Moltó. “Toward Bio-Inspired Auto-Scaling Algorithms: An Elasticity Approach for Container Orchestration Platforms”. En: *IEEE Access* 8.1 (2020), págs. 52139-52150. ISSN: 2169-3536. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2980852](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2980852). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9036958/>

8. Alvaro Lopez Garcia, Jesus Marco De Lucas, Marica Antonacci, Wolfgang Zu Castell, Mario David, Marcus Hardt, Lara Lloret Iglesias, Germen Molto, Marcin Plociennik, Viet Tran, Andy S. Alic, Miguel Caballer, Isabel Campos Plasencia, Alessandro Costantini, Stefan Dlugolinsky, Doina Cristina Duma, Giacinto Donvito, Jorge Gomes, Ignacio Heredia Cacha, Keiichi Ito, Valentin Y. Kozlov, Giang Nguyen, Pablo Orviz Fernandez, Zdenek Sustr y Pawel Wolniewicz. “A Cloud-Based Framework for Machine Learning Workloads and Applications”. En: *IEEE Access* 8 (2020), págs. 18681-18692. ISSN: 2169-3536. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2964386](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964386). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8950411/>
9. Diana M. Naranjo, Sebastián Risco, Carlos de Alfonso, Alfonso Pérez, Ignacio Blanquer y Germán Moltó. “Accelerated serverless computing based on GPU virtualization”. En: *Journal of Parallel and Distributed Computing* 139 (mayo de 2020), págs. 32-42. ISSN: 07437315. DOI: [10.1016/j.jpdc.2020.01.004](https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2020.01.004). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0743731519303533>
10. V. Giménez-Alventosa, Germán Moltó y Miguel Caballer. “A framework and a performance assessment for serverless MapReduce on AWS Lambda”. En: *Future Generation Computer Systems* 97 (ago. de 2019), págs. 259-274. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2019.02.057](https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.057). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X18325172>
11. Sergio López-Huguet, Alfonso Pérez, Amanda Calatrava, Carlos de Alfonso, Miguel Caballer, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “A self-managed Mesos cluster for data analytics with QoS guarantees”. En: *Future Generation Computer Systems* 96.96 (jul. de 2019), págs. 449-461. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2019.02.047](https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.047). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X18311087>
12. Alfonso Pérez, Germán Moltó, Miguel Caballer y Amanda Calatrava. “Serverless computing for container-based architectures”. En: *Future Generation Computer Systems* 83 (jun. de 2018), págs. 50-59. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2018.01.022](https://doi.org/10.1016/j.future.2018.01.022). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X17316485>
13. Carlos de Alfonso, Miguel Caballer, Amanda Calatrava, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “Multi-elastic Datacenters: Auto-scaled Virtual Clusters on Energy-Aware Physical Infrastructures”. En: *Journal of Grid Computing* 17.1 (mar. de 2019), págs. 191-204. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-018-9449-z](https://doi.org/10.1007/s10723-018-9449-z). URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10723-018-9449-z>
14. Davide Salomoni y col. “INDIGO-DataCloud: a Platform to Facilitate Seamless Access to E-Infrastructures”. En: *Journal of Grid Computing* 16.3 (sep. de 2018), págs. 381-408. ISSN:

- 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-018-9453-3](https://doi.org/10.1007/s10723-018-9453-3). arXiv: [1711.01981](https://arxiv.org/abs/1711.01981). URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10723-018-9453-3>
15. Miguel Caballer, Sahdev Zala, Álvaro López García, Germán Moltó, Pablo Orviz Fernández y Mathieu Velten. “Orchestrating Complex Application Architectures in Heterogeneous Clouds”. En: *Journal of Grid Computing* 16.1 (mar. de 2018), págs. 3-18. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-017-9418-y](https://doi.org/10.1007/s10723-017-9418-y). arXiv: [1711.03334](https://arxiv.org/abs/1711.03334). URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10723-017-9418-y>
16. Carlos de Alfonso, Amanda Calatrava y Germán Moltó. “Container-based virtual elastic clusters”. En: *Journal of Systems and Software* 127 (mayo de 2017), págs. 1-11. ISSN: 01641212. DOI: [10.1016/j.jss.2017.01.007](https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.01.007). URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121217300146>
17. Amanda Calatrava, Eloy Romero, Germán Moltó, Miguel Caballer y Jose Miguel Alonso. “Self-managed cost-efficient virtual elastic clusters on hybrid Cloud infrastructures”. En: *Future Generation Computer Systems* 61 (ago. de 2016), págs. 13-25. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2016.01.018](https://doi.org/10.1016/j.future.2016.01.018). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X16300024>
18. Germán Moltó, Miguel Caballer y Carlos de Alfonso. “Automatic memory-based vertical elasticity and oversubscription on cloud platforms”. En: *Future Generation Computer Systems* 56 (mar. de 2016), págs. 1-10. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2015.10.002](https://doi.org/10.1016/j.future.2015.10.002). URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2015.10.002>
19. Miguel Caballer, Damián Segrelles, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “A platform to deploy customized scientific virtual infrastructures on the cloud”. En: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 27.16 (nov. de 2015), págs. 4318-4329. ISSN: 1532-0626. DOI: [10.1002/cpe.3518](https://doi.org/10.1002/cpe.3518). URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cpe.3518>
20. F. R. Arteaga-Sierra, C. Milián, I. Torres-Gómez, M. Torres-Cisneros, G. Moltó y A. Ferrando. “Supercontinuum optimization for dual-soliton based light sources using genetic algorithms in a grid platform”. En: *Optics Express* 22.19 (sep. de 2014), pág. 23686. ISSN: 1094-4087. DOI: [10.1364/OE.22.023686](https://doi.org/10.1364/OE.22.023686). URL: <https://opg.optica.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-22-19-23686>
21. Miguel Caballer, Ignacio Blanquer, Germán Moltó y Carlos de Alfonso. “Dynamic Management of Virtual Infrastructures”. En: *Journal of Grid Computing* 13.1 (mar. de 2015), págs. 53-70. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-014-9296-5](https://doi.org/10.1007/s10723-014-9296-5). URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10723-014-9296-5>

22. Miguel Caballer, Carlos de Alfonso, Germán Moltó, Eloy Romero, Ignacio Blanquer y Andrés García. “CodeCloud: A platform to enable execution of programming models on the Clouds”. En: *Journal of Systems and Software* 93 (jul. de 2014), págs. 187-198. ISSN: 01641212. DOI: [10.1016/j.jss.2014.02.005](https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.02.005). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121214000521>
23. Miguel Caballer, Carlos de Alfonso, Fernando Alvarruiz y Germán Moltó. “EC3: Elastic Cloud Computing Cluster”. En: *Journal of Computer and System Sciences* 79.8 (dic. de 2013), págs. 1341-1351. ISSN: 00220000. DOI: [10.1016/j.jcss.2013.06.005](https://doi.org/10.1016/j.jcss.2013.06.005). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022000013001141>
24. Carlos de Alfonso, Miguel Caballer, Fernando Alvarruiz y Germán Moltó. “An economic and energy-aware analysis of the viability of outsourcing cluster computing to a cloud”. En: *Future Generation Computer Systems* 29.3 (mar. de 2013), págs. 704-712. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2012.08.014](https://doi.org/10.1016/j.future.2012.08.014). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X12001720>
25. Erik Torres, Germán Moltó, Damià Segrelles, Ignacio Blanquer y Vicente Hernández. “A replicated information system to enable dynamic collaborations in the Grid”. En: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 24.14 (sep. de 2012), págs. 1668-1683. ISSN: 15320626. DOI: [10.1002/cpe.1915](https://doi.org/10.1002/cpe.1915). URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpe.1915>
26. Karen Cardona, Beatriz Trénor, Germán Moltó, Miguel Martínez, José María Ferrero, Frank Starmer y Javier Saiz. “Exploring the role of pH in modulating the effects of lidocaine in virtual ischemic tissue”. En: *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 299.5 (nov. de 2010), H1615-H1624. ISSN: 0363-6135. DOI: [10.1152/ajpheart.00425.2010](https://doi.org/10.1152/ajpheart.00425.2010). URL: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpheart.00425.2010>
27. Germán Moltó, María Suárez, Pablo Tortosa, José M Alonso, Vicente Hernández y Alfonso Jaramillo. “Protein design based on parallel dimensional reduction”. En: *Journal of chemical information and modeling* 49.5 (mayo de 2009), págs. 1261-71. ISSN: 1549-9596. DOI: [10.1021/ci8004594](https://doi.org/10.1021/ci8004594)
28. G Moltó, V Hernández y J.M. Alonso. “Automatic replication of WSRF-based Grid services via operation providers”. En: *Future Generation Computer Systems* 25.8 (sep. de 2009), págs. 876-883. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2009.03.004](https://doi.org/10.1016/j.future.2009.03.004). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X09000351>
29. J.M. Alonso, V. Hernández y G. Moltó. “A high-throughput application for the dynamic analysis of structures on a Grid environment”. En: *Advances in Engineering Software* 39.10 (oct. de

- 2008), págs. 839-848. ISSN: 09659978. DOI: [10.1016/j.advengsoft.2007.05.005](https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2007.05.005). URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965997807001056>
30. Jose M. Alonso, Jose M. Ferrero, Vicente Hernandez, Germán Moltó, Javier Saiz y Beatriz Trenor. “A Grid Computing-Based Approach for the Acceleration of Simulations in Cardiology”. En: *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* 12.2 (mar. de 2008), págs. 138-144. ISSN: 1089-7771. DOI: [10.1109/TITB.2007.907982](https://doi.org/10.1109/TITB.2007.907982). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4358913/>
31. G. Moltó, V. Hernández y J.M. Alonso. “A service-oriented WSRF-based architecture for metascheduling on computational Grids”. En: *Future Generation Computer Systems* 24.4 (abr. de 2008), págs. 317-328. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2007.05.001](https://doi.org/10.1016/j.future.2007.05.001). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X07000891>
32. Beatriz Trenor, Lucia Romero, Jose María Ferrero (Jr.), Javier Saiz, Germán Moltó y Jose Miguel Alonso. “Vulnerability to Reentry in a Regionally Ischemic Tissue. A Simulation Study”. En: *Annals of Biomedical Engineering* 35.10 (2007), págs. 1756-1770
33. José M Alonso, Fernando Alvarruiz, José M Desantes, Leonor Hernández, Vicente Hernández y Germán Moltó. “Combining Neural Networks and Genetic Algorithms to Predict and Reduce Diesel Engine Emissions”. En: *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 11.1 (feb. de 2007), págs. 46-55. ISSN: 1089-778X. DOI: [10.1109/TEVC.2006.876364](https://doi.org/10.1109/TEVC.2006.876364). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4079607/>
34. J M Alonso, V Hernández y G Moltó. “GMarte: Grid middleware to abstract remote task execution”. En: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 18.15 (dic. de 2006), págs. 2021-2036. ISSN: 1532-0634. DOI: [10.1002/cpe.1052](https://doi.org/10.1002/cpe.1052). URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cpe.1052>

También se incluyen aquí aquellas publicaciones indexadas relacionadas con la investigación educativa:

1. J. Damian Segrelles Quilis, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “A cloud framework for problem-based learning on grid computing”. En: *Journal of Parallel and Distributed Computing* 155 (sep. de 2021), págs. 24-37. ISSN: 07437315. DOI: [10.1016/j.jpdc.2021.04.012](https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2021.04.012). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0743731521000952>
2. Germán Moltó, Diana M. Naranjo y J. Damian Segrelles. “Insights from Learning Analytics for Hands-On Cloud Computing Labs in AWS”. En: *Applied Sciences* 10.24 (dic. de 2020), pág. 9148. ISSN: 2076-3417. DOI: [10.3390/app10249148](https://doi.org/10.3390/app10249148). URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/24/9148>

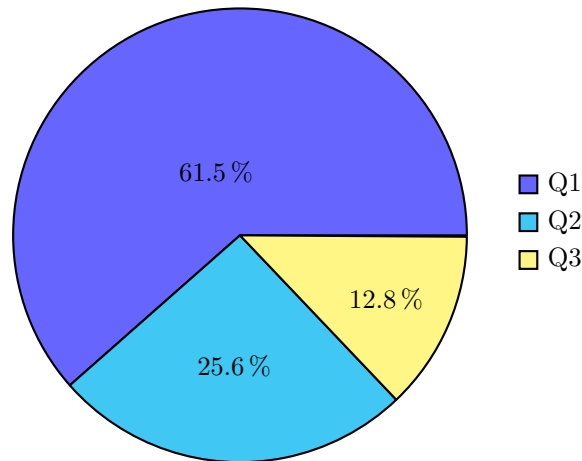


Figura 7-2: Distribución en cuartiles del Journal Citation Reports de las publicaciones en revista del candidato.

3. Diana M. Naranjo, José R. Prieto, Germán Moltó y Amanda Calatrava. “A Visual Dashboard to Track Learning Analytics for Educational Cloud Computing”. En: *Sensors* 19.13 (jul. de 2019), pág. 2952. ISSN: 1424-8220. DOI: [10.3390/s19132952](https://doi.org/10.3390/s19132952). URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/13/2952>
4. J. Damian Segrelles, Alicia Martinez, Nuria Castilla y Germán Moltó. “Virtualized Computational Environments on the cloud to foster group skills through PBL: A case study in architecture”. En: *Computers & Education* 108 (mayo de 2017), págs. 131-144. ISSN: 03601315. DOI: [10.1016/j.compedu.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.001). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131517300246>
5. Ana Fita, Jose F. Monserrat, Germán Moltó, Eva M. Mestre y Adrián Rodríguez-Burruezo. “Use of synchronous e-learning at university degrees”. En: *Computer Applications in Engineering Education* 24.6 (nov. de 2016), págs. 982-993. ISSN: 10613773. DOI: [10.1002/cae.21773](https://doi.org/10.1002/cae.21773). URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cae.21773>

A continuación se muestran unas estadísticas sobre las principales publicaciones realizadas en revistas. La Figura 7-2 muestra la distribución en cuartiles del Journal Citation Reports (JCR) para las publicaciones del candidato. Se observa que la mayoría de las publicaciones están publicadas en revistas situadas en el primer cuartil de dichos rankings en sus respectivas categorías. No hay publicaciones en revistas situadas en el cuarto cuartil.

La Figura 7-3 muestra el número de publicaciones realizadas por el candidato en revistas indexadas por el JCR mostrando su categoría. Se puede observar como la principal área es “Computer Science, Theory and Methods”, seguido de contribuciones menores a otras áreas científicas.

A continuación, se obtienen una serie de estadísticas del portal Web of Science [385] mediante

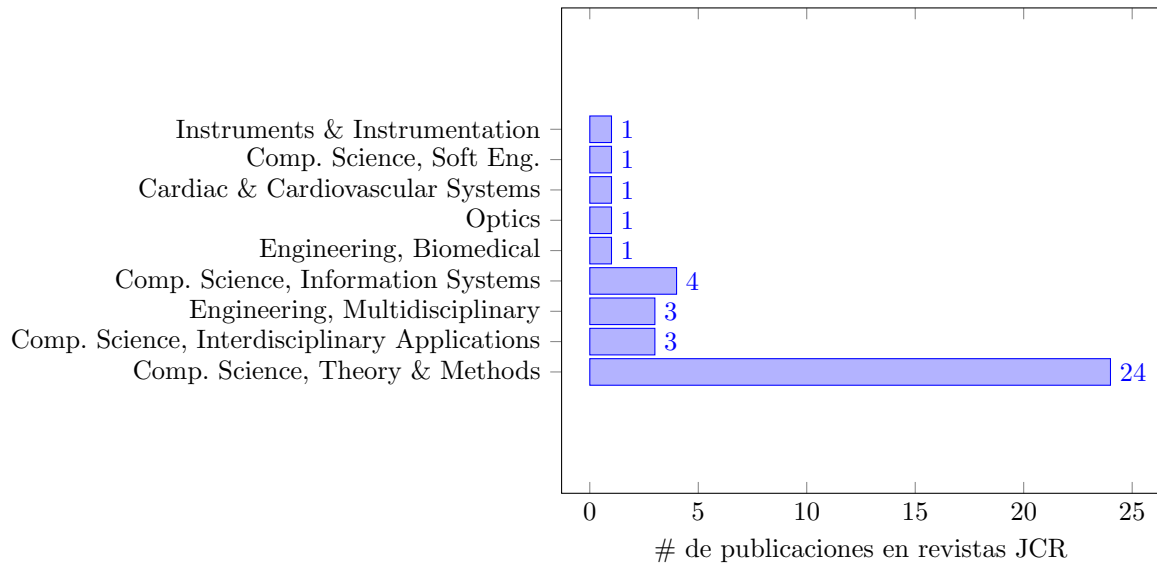


Figura 7-3: Número de publicaciones en revista indexada en JCR, para cada categoría.

una búsqueda por autor (usando las claves “German Molto” y “G. Molto”) y eliminando aquellos resultados que no pertenecen al candidato⁴. Por tanto, se incluyen no únicamente artículos publicados en revistas JCR pero sí que aparezcan en este indexador. El resultado incluye 85 artículos, como se muestra en la figura 7-4. Sin embargo, el listado completo de contribuciones con artículos a revistas y congresos de todo tipo del candidato desde el comienzo de su carrera investigadora asciende a 186, registrado por medio de la aplicación Mendeley y disponible públicamente⁵. Por tanto, resulta importante destacar la falta de presencia de gran cantidad de estas contribuciones en el indexador de Web of Science.

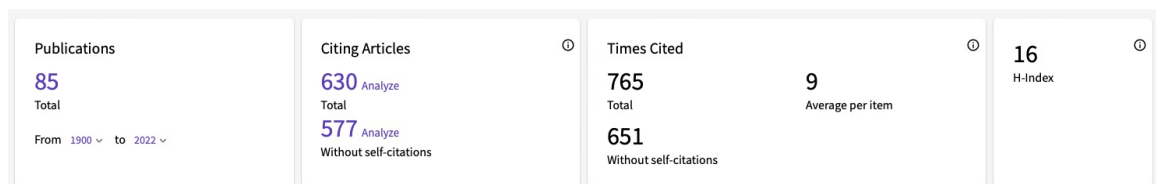


Figura 7-4: Resultado de la búsqueda de publicaciones por autor en Web of Science (en Agosto de 2022))

La Figura 7-5 muestra las áreas temáticas en las que se han realizado publicaciones, obtenidas en Agosto de 2022 a partir de la base de datos Web of Science. De nuevo, el área en la que mayor número de publicaciones se ha contribuido es “Computer Science, Theory and Methods” seguido de “Computer Science, Information Systems” y “Computer Science, Interdisciplinary Applications”.

La Figura 7-6 muestra el número de publicaciones realizadas en cada año junto con el número

⁴Existe un autor de la Universidad de Buenos Aires que firmó siete artículos como G.A. Molto entre los años 1997 y 2008

⁵Publicaciones de Germán Molto: <https://www.grycap.upv.es/gmolto/publications.php>



Figura 7-5: Áreas temáticas en las que se han realizado contribuciones (obtenido desde Web of Science)

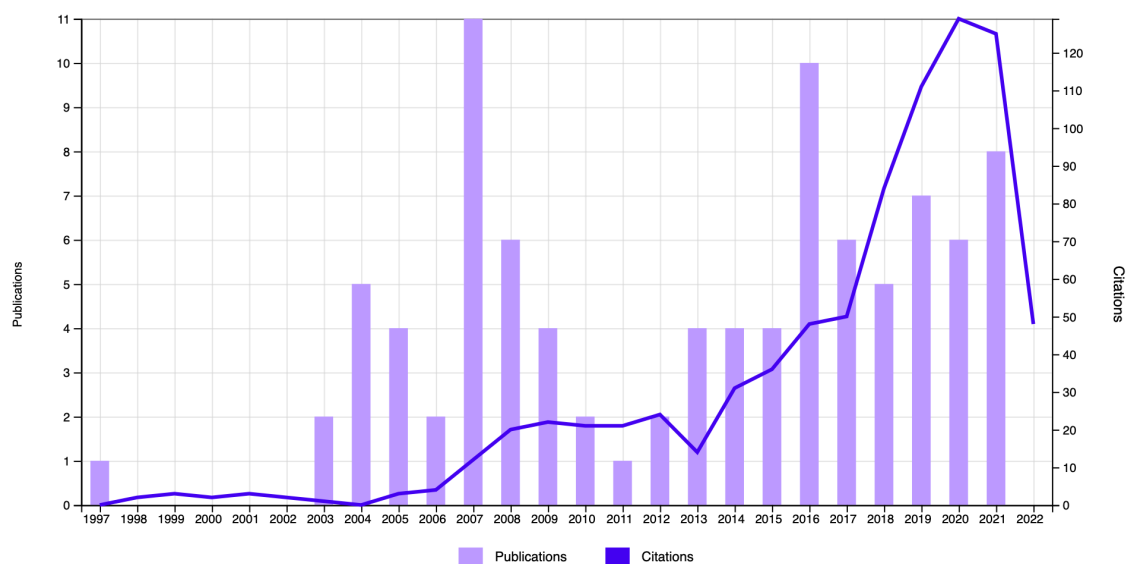


Figura 7-6: Veces citado y publicaciones a lo largo del tiempo (obtenido en Agosto de 2022 desde Web of Science)



Figura 7-7: Áreas de procedencia de las citas obtenidas por las publicaciones (obtenido en Agosto de 2022 de Web of Science)

de citas obtenidas a partir de la base de datos Web of Science. Se observa un promedio de unas 5.6 publicaciones por año en la última década, con un tasa creciente de citas a lo largo de dicho periodo. Nótese que los datos de 2022 no están consolidados hasta que no finaliza el año.

La Figura 7-7 muestra las áreas de procedencia de los artículos que citan los artículos publicados. En este caso las áreas que más destacan son “Computer Science, Theory and Methods” seguido de “Computer Science, Information Systems”. También aparece “Engineering Electrical Electronic”, principalmente debido a las publicaciones realizadas durante el desarrollo de la Tesis Doctoral, relativas a la simulación de la actividad eléctrica cardiaca por medio de técnicas computacionales avanzadas.

La Figura 7-8 muestra los co-autores más frecuentes en las publicaciones, obtenidas a partir de la base de datos Web of Science. Se observa que, del total de publicaciones contempladas en este análisis (85), tan solo 14 de ellas tienen como co-autor a Ignacio Blanquer, responsable del grupo de investigación, lo que arroja evidencias de independencia investigadora. En efecto, nuestro grupo de investigación se caracteriza por una fuerte componente investigadora, además del desarrollo de software y operación de servicios, en la que se trabaja de forma relativamente descentralizada, realizando colaboraciones puntuales entre los miembros del grupo de investigación y garantizando que los firmantes de las publicaciones han desarrollado un trabajo efectivo durante la realización de la misma.

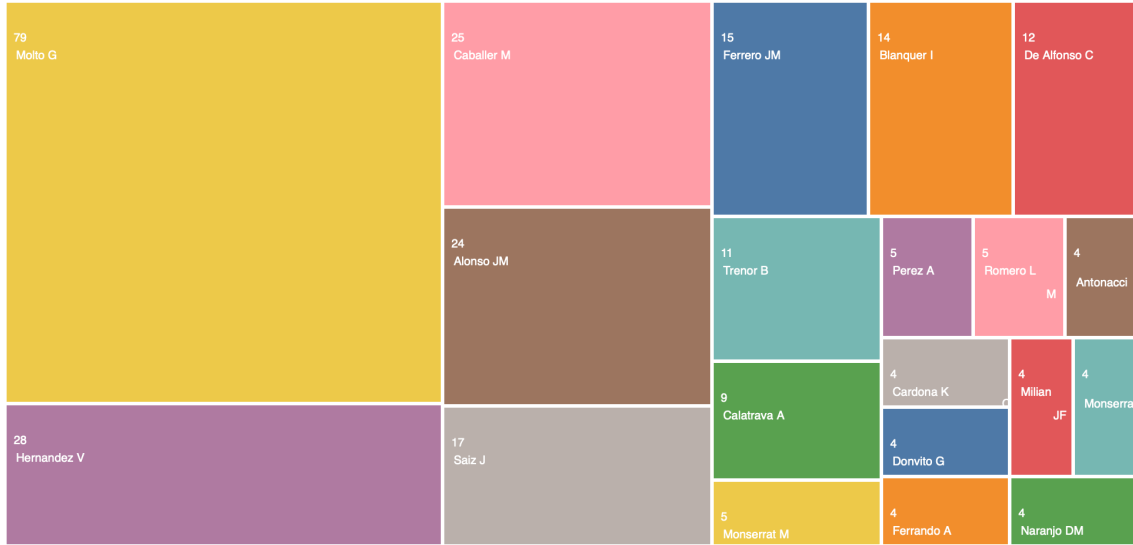


Figura 7-8: Co-autores en las publicaciones del candidato indexadas por WoS

7.4. Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada (VAIP)

Desde 1998, la Universitat Politècnica de València define el Índice de Actividad Investigadora Personalizado (IAIP), así como la Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada (VAIP) [350]. Éstos índices ponen de manifiesto que una de las actividades básicas del profesor universitario es la investigación, por lo que la actividad investigadora debe ser cuantificada y controlada. Sin embargo, también indica que esta cuantificación no deberían darse a penalizar la falta de actividad investigadora sino fomentar la investigación y a incrementar los recursos disponibles para dar soporte a la misma [357].

La valoración de la actividad I+D+i personalizada contempla los años anteriores a fin de tener en cuenta la variabilidad de la medida anual. Se define el VAIP de un año como la ponderación de los IAIP del año que se evalúa y de los tres años anteriores según la ecuación siguiente, donde XX indica los últimos dígitos del año objeto de evaluación, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VAIP_{20XX} = IAIP_{20XX} + 0,75 \cdot IAIP_{20XX-1} + 0,5 \cdot IAIP_{20XX-2} + 0,25 \cdot IAIP_{20XX-3} \quad (7.1)$$

Aunque el detalle de los indicadores queda reflejado en el Reglamento para la Evaluación de la Actividad de Investigación, Desarrollo e Innovación en la Universidad Politècnica de València [357] a continuación se mencionan los principales indicadores de los que consta el índice:

1. Resultados de Investigación Consolidados
 - a) Evaluaciones positivas de la Comisión nacional de evaluación de la actividad investigadora

- (Sexenios)
- b) Premios relevantes de investigación
 2. Consecución de acciones de investigación, desarrollo e innovación competitivas y colaborativas
 - a) Proyectos de investigación, desarrollo e innovación competitivos
 - b) Otras acciones de I+D+i competitivas
 - c) Proyectos de investigación, desarrollo e innovación bajo Contratos
 3. Publicación de resultados en revistas de investigación
 - a) Artículos en revistas indexadas nivel 1
 - b) Artículos en revistas indexadas nivel 2
 - c) Artículos en revistas indexadas nivel tres
 - d) Artículos en revistas no Indexadas
 - e) Estándares
 4. Publicación de resultados en congresos de investigación
 5. Dirección de tesis doctorales
 6. Resultados de la creación artística
 7. Patentes y otros Derechos de Propiedad Industrial e Intelectual (DPII) registrados
 8. Captación de recursos
 - a) Acciones de I+D + y competitivas, colaborativas y bajo contrato al amparo del artículo 83 de la LOU
 - b) Ingresos por licencias de DPII
 - c) Otras acciones de apoyo técnico bajo contrato al amparo del artículo 83 de la LOU
 - d) Creación y participación en Spin-Off UPV
 9. Actividades del servicio general de Investigación
 10. Otros méritos de investigación desarrollo e innovación

La Tabla 7.2 muestra el VAIP histórico obtenido por el candidato a lo largo de los últimos años. Sin embargo, la valoración de este índice se entiende mejor si se compara con la actividad investigadora media de otros colectivos equivalentes. Para ello, la Figura 7-9 muestra la evolución del VAIP del autor de este proyecto docente e investigador con respecto al VAIP medio de los colectivos de Titulares de Universidad y Catedráticos de Universidad de la UPV en la última década.

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Consecución de acciones I+D+i	27.61	29.89	20.77	49.46	41.07	26.68	38.3
Publicaciones de investigación en revistas	16	21.8	18.8	23.91	45.17	45.92	66.6
Publicaciones de investigación en congresos	1.8	2.18	8.8	0	11.6	9	0.8
Sexenios	5.24	6.14	5.24	6	6	9	9
Participación en comités de revistas	4	4	4	14.25	2.25	2.25	2.25
Tesis Doctorales	3	3	0	0	0	6	3
IAI Personalizado	57.65	67.51	57.61	94.62	107.09	98.85	121.51
VAIP Total	124.6	147.51	148.54	186	223.74	240.88	272.85

Tabla 7.2: Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada (VAIP) del candidato en los últimos años.

Como se puede apreciar, el VAIP medio del candidato ha sido desde 2013 superior al de su categoría profesional (Titulares de Universidad). Como referencia, comentar que el candidato obtuvo la plaza de Titular de Universidad en 2012. Además, desde 2015 se sitúa muy por encima del VAIP medio de la categoría de Catedráticos de Universidad. Los últimos datos agregados de VAIP disponibles en el momento de redacción de este documento llegan hasta 2020.

7.5. Perfiles digitales

La difusión del conocimiento a través de Internet requiere la creación de perfiles digitales que permitan a los investigadores centralizar la producción de conocimiento de forma que sea accesible para otros investigadores. A continuación se muestran capturas de pantalla de diferentes portales con perfiles de investigador, obtenidas en agosto de 2022.

La Figura 7-11 muestra la evolución del número de citas recibidas a lo largo de la carrera investigadora. Se observa una tendencia creciente a lo largo de más de una década.

La Figura 7-12 muestra el perfil del investigador tanto en Publons como en ResearchGate.

La Figura 7-13 muestra el valor del índice RG Score [161], indicando que está por encima del 87,5% del valor para otros miembros de ResearchGate. El RG Score indica cómo los compañeros reciben el trabajo de un investigador. Se basa en la idea de que los investigadores son los mejores jueces del trabajo de los demás y que toda la investigación de una persona, publicada o no, merece crédito. El RG Score se calcula en función de cualquier contribución compartida en ResearchGate o agregada al perfil, como artículos publicados, investigaciones no publicadas, proyectos, preguntas y respuestas.

El algoritmo analiza cómo los compañeros reciben y evalúan estas contribuciones, y quiénes son. Cuanto más altas sean las puntuaciones RG de aquellos que interactúan con la investigación,

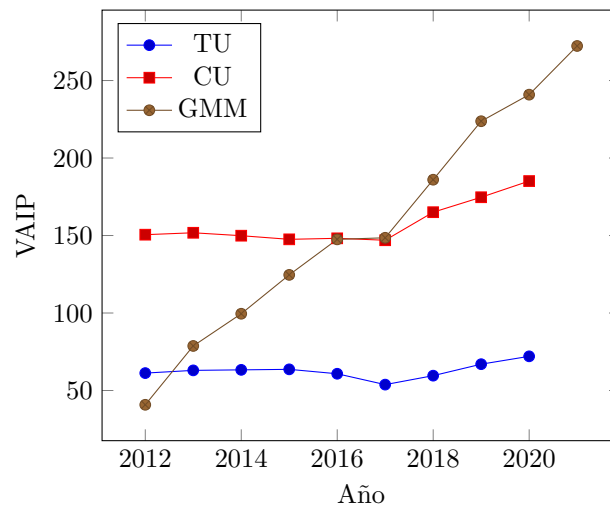


Figura 7-9: Valoración de la Actividad Investigadora Personalizada (VAIP) del candidato (GMM) con respecto al VAIP medio del colectivo de Titulares de Universidad y de Catedráticos de Universidad.

Germán Moltó
 Associate Professor (Profesor Titular de Universidad en el área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial) in the Department of Computer Systems and Computation (DSC) at the Universitat Politècnica de València (UPV). PhD in Computer Science.
 Researcher with the Grid and High Performance Computing Group (GriH/CAP), in the Institute of Instrumentation for Molecular Imaging (IMI) at the Valencia Polytechnic City of Innovation (CPI), UPV.
 Co-founder and active member of the Active Methodologies and Information Technologies (AMIT) education research team, created by the Institute of Education Sciences, UPV.

Courses
 Curso Online de Cloud Computing con AWS

Interested in
 Serverless Computing, Cloud Computing, Scientific Computing, High Performance Computing, Active Learning Methodologies, Technology Enhanced Learning, Learning Analytics

Academic and Researcher Profiles
 ORCID, Scopus, ResearchGate, Publons

European H2020 Research Projects
 SPRINT, FACE, deap, ESCUB, NDRG, DmiCloud

Affiliations
 GriH/CAP, I3M, Universidad Politècnica de València, etinf, DSC

Germán Moltó
 Institute for Molecular Imaging Technologies, Universitat Politècnica de València
 Dirección de correo verificada de disc.upv.es - [Elegir principal](#)
 Cloud Computing Serverless Computing Scientific Computing Technology Enhanced Learn...

TÍTULO	CITADO POR	AÑO
Combining neural networks and genetic algorithms to predict and reduce diesel engine emissions	166	2017
Serverless computing for container-based architectures	104	2018
Dynamic management of virtual infrastructures	101	2015
Container-based virtual elastic clusters	99	2017
Elastic memory management of virtualized infrastructures for applications with dynamic memory requirements	99	2013
INDIGO-DataCloud: A platform to facilitate seamless access to e-infrastructure	96	2018
EC3: Elastic cloud computing cluster	91	2013
Automatic memory-based vertical elastic clusters and oversubscription on cloud platforms	46	2016
Vulnerability to reentry in a regionally ischemic tissue: a simulation study	45	2007
A cloud-based framework for machine learning workloads and applications	41	2020
A framework and a performance assessment for serverless MapReduce on AWS Lambda	41	2019
A service-oriented WSRF-based architecture for metascheduling on computational Grids	40	2008
Infrastructure deployment over the cloud	38	2011
Orchestrating complex application architectures in heterogeneous clouds	37	2018
An economic and energy-aware analysis of the viability of outsourcing cluster computing to a cloud	37	2013
Self-managed cost-efficient virtual elastic clusters on hybrid Cloud infrastructures	35	2016
A generic catalog and repository service for virtual machine images in a grid platform	30	2010
Supercontinuum optimization for dual-wavelength based light sources using genetic algorithms in a grid platform	29	2014
GMante: Grid middleware to abstract remote task execution	29	2006
A visual dashboard to track learning analytics for educational cloud computing	28	2019

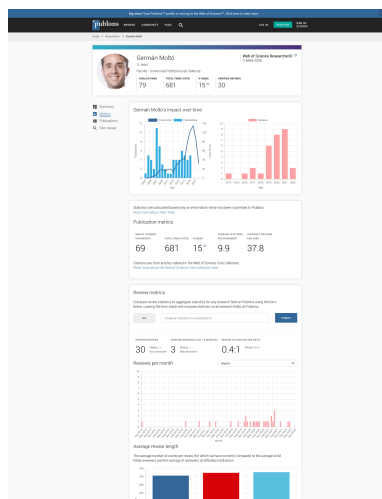
(a) Web personal

(b) Perfil en Google Scholar

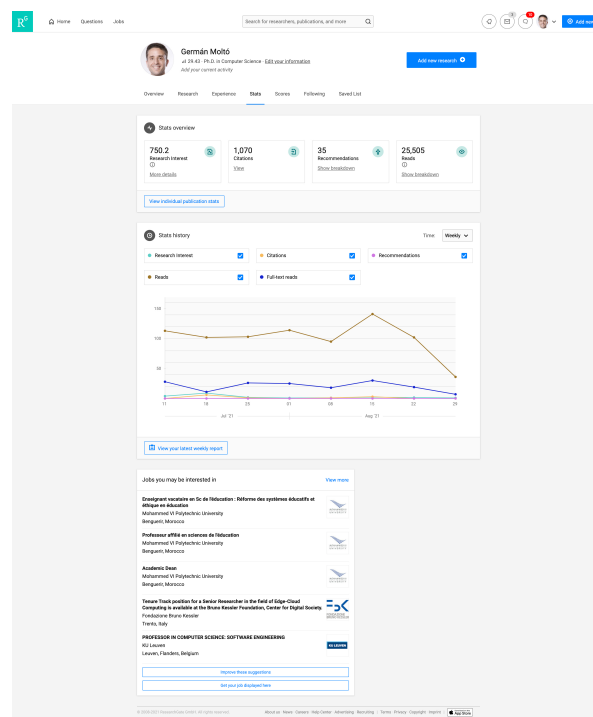
Figura 7-10: Perfiles digitales: web personal y Google Scholar.



Figura 7-11: Evolución del número de citas recibidas de acuerdo a Google Scholar



(a) Perfil en Publons



(b) Perfil en ResearchGate

Figura 7-12: Perfiles digitales: Publons y ResearchGate.

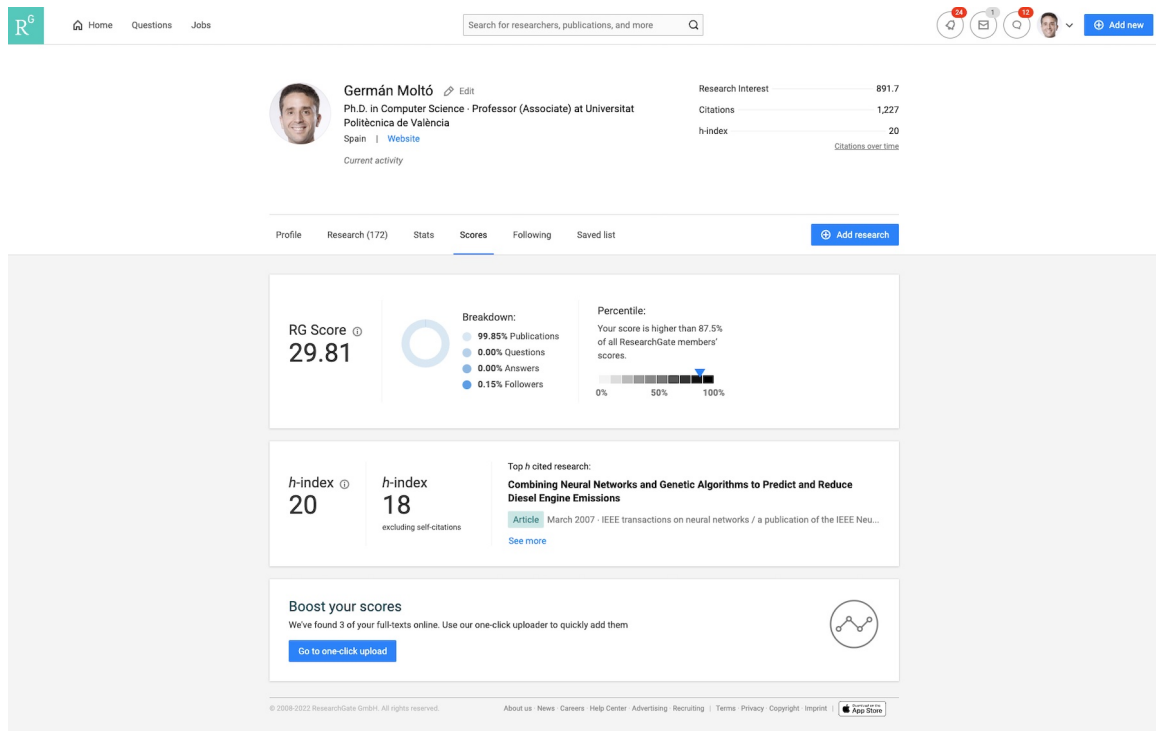


Figura 7-13: Perfil en ResearchGate - Scores

más aumentará el valor del indicador. Una contribución de baja calidad probablemente no atraerá comentarios positivos y reconocimiento de la comunidad, por lo que no contribuirá a su puntuación de manera significativa.

La Figura 7-14 muestra el perfil del investigador en Scopus.

7.6. Colaboraciones Internacionales

El candidato ha participado en diferentes proyectos internacionales (relacionados en la sección 7.2.1) fruto de los cuales mantiene o ha mantenido relaciones con diferentes centros de investigación, mostrando un mapa de los países involucrados en la Figura 7-15. Se considera que ha existido una colaboración si se acredita una publicación conjunta realizada en la última década. A continuación, se resume brevemente algunos de los centros de investigación y la(s) persona(s) de contacto con la que se ha mantenido una colaboración, aportando una breve descripción del vínculo.

- LIP es el laboratorio de referencia para la investigación en física experimental de partículas y tecnologías relacionadas en Portugal. El laboratorio es nacional, con nodos en Lisboa Coimbra y Braga, en estrecha colaboración con las universidades locales y cerca de 200 miembros. LIP es el socio de referencia del CERN en Portugal. LIP está comprometido con la investigación y el desarrollo en física de partículas experimentales, nuevos instrumentos y métodos y computación

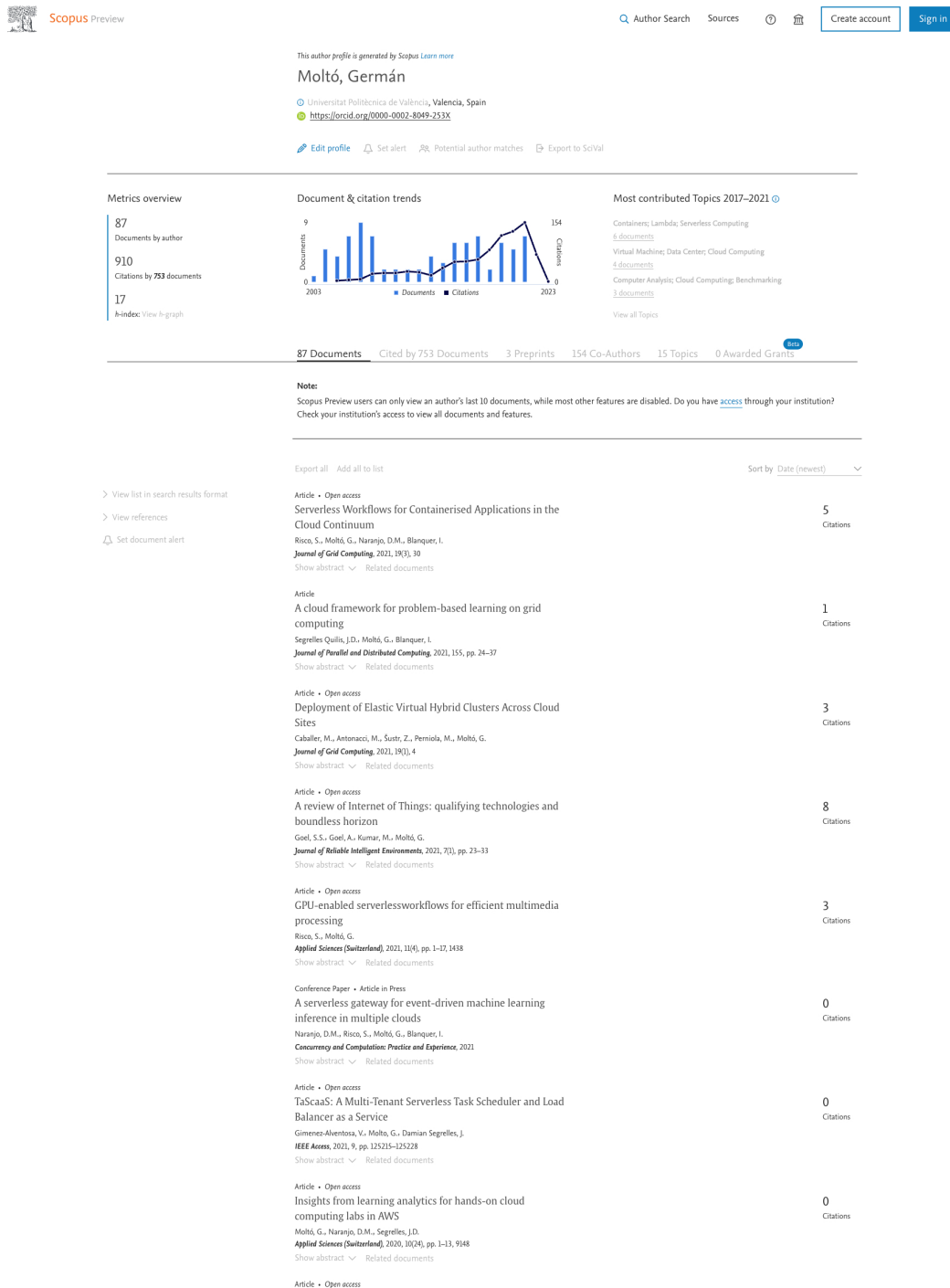


Figura 7-14: Perfil en Scopus

científica.

- Jorge Gomes [203] es el IP del Grupo de Computación Distribuida e Infraestructuras Digitales. Mario David [225] pertenece al mismo grupo de investigación. Jorge es el líder del Paquete de Trabajo 3 de EOSC-Synergy [129] responsable del aseguramiento de la calidad del software, mientras que Mario es el Líder de Tareas. El candidato ha sido responsable del Software Quality Assurance as a Service (SQaaS) web [358], implementado por Diana M. Naranjo.
- Publicación conjunta: D. Salomoni, I. Campos, L. Gaido, G. Donvito, P. Fuhrman, J. Marco, A. Lopez-Garcia, P. Orviz, I. Blanquer, G. Molto, M. Plociennik, M. Owsiak, M. Urbaniak, M. Hardt, A. Ceccanti, B. Wegh, J. Gomes, M. David, C. Aiftimiei, L. Dutka, S. Fiore, G. Aloisio, R. Barbera, R. Bruno, M. Fargetta, E. Giorgio, S. Reynaud y L. Schwarz. *INDIGO-Datacloud: foundations and architectural description of a Platform as a Service oriented to scientific computing*. Inf. téc. INDIGO-DataCloud, mar. de 2016, pág. 30. arXiv: [1603.09536](https://arxiv.org/abs/1603.09536). URL: <http://arxiv.org/abs/1603.09536>
- El CCG (Centro de Computação Gráfica) es una entidad calificada por el Sistema Científico y Tecnológico Nacional (SCTN) y reconocida por el Gobierno portugués como Centro de Interfaz Tecnológica (CIT) para la economía digital. Con 27 años de experiencia, es una unidad de interfaz de la Universidad de Minho.
 - Miguel Angel Guevara [238] es profesor adjunto de la Universidad Politécnica de Setúbal y previamente director del departamento de visión por computador, interacción y gráficos del CCG. Esta colaboración surgió durante la realización de la tesis de máster de Javier Jorge Cano, en el que se usó el Infrastructure Manager para desplegar infraestructura en AWS para hacer entrenamiento federado y se utilizó un caso de uso proporcionado por esta institución sobre reconocimiento de edad en imágenes de personas.
 - Publicación conjunta: Javier Jorge, Germán Moltó, Damian Segrelles, João Fontes y Miguel Guevara. “Deployment Service for Scalable Distributed Deep Learning Training on Multiple Clouds”. En: *Proceedings of the 11th International Conference on Cloud Computing and Services Science*. SCITEPRESS - Science y Technology Publications, 2021, págs. 135-142. ISBN: 978-989-758-510-4. DOI: [10.5220/0010359601350142](https://doi.org/10.5220/0010359601350142). URL: <https://www.scitepress.org/DigitalLibrary/Link.aspx?doi=10.5220/0010359601350142>
- El Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN; “Instituto Nacional de Física Nuclear”) es la institución coordinadora de física nuclear, de partículas, teórica y de astropartículas en Italia.

- Giacinto Donvito [162] es un tecnólogo del INFN. Fue el Director Técnico y líder del paquete de trabajo que desarrolla la capa PaaS en el proyecto INDIGO-DataCloud [323], así como director técnico en el proyecto EOSC-HUB [128]. En ambos proyectos, el candidato fue líder de tarea responsable de las tareas de orquestación y despliegue automatizadas, implementadas principalmente por Miguel Caballer. También se colaboró con Marica Antonacci [224], en el ámbito del procesado y creación de recetas siguiendo el estándar TOSCA (Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications)[282].
- Publicación conjunta: Marica Antonacci, Alberto Brigandì, Miguel Caballer, Eva Cetinić, Davor Davidovic, Giacinto Donvito, Germán Moltó y Davide Salomoni. “Digital repository as a service: automatic deployment of an Invenio-based repository using TOSCA orchestration and Apache Mesos”. En: *EPJ Web of Conferences*. Ed. por A. Forti, L. Betev, M. Litmaath, O. Smirnova y P. Hristov. Vol. 214. Sep. de 2019, pág. 07023. DOI: [10.1051/epjconf/201921407023](https://doi.org/10.1051/epjconf/201921407023). URL: <https://www.epj-conferences.org/10.1051/epjconf/201921407023>
- IISAS (Institute of Informatics Slovak Academy of Sciences). El alcance de las actividades del Instituto de Informática incluye trabajos científicos y de investigación en informática, tecnología de la información, teoría de control, robótica e inteligencia artificial, enfocados en las siguientes direcciones de investigación: computación paralela y distribuida, diseño de sistemas digitales, procesamiento de imágenes, entre otras.
 - Ladislav Hluchy [213] es el editor en jefe de la revista Computing and Informatics (CAI) [97], en la que el candidato actúa como parte del comité editorial. Viet Tran [384], miembro de IISAS, ha participado en el proyecto DEEP Hybrid-DataCloud, donde el candidato era responsable de paquete trabajo de modelado de aplicaciones TOSCA.
 - Publicación conjunta: Alvaro Lopez Garcia, Jesus Marco De Lucas, Marica Antonacci, Wolfgang Zu Castell, Mario David, Marcus Hardt, Lara Lloret Iglesias, Germen Molto, Marcin Plociennik, Viet Tran, Andy S. Alic, Miguel Caballer, Isabel Campos Plasencia, Alessandro Costantini, Stefan Dlugolinsky, Doina Cristina Duma, Giacinto Donvito, Jorge Gomes, Ignacio Heredia Cacha, Keiichi Ito, Valentin Y. Kozlov, Giang Nguyen, Pablo Orviz Fernandez, Zdenek Sustr y Pawel Wolniewicz. “A Cloud-Based Framework for Machine Learning Workloads and Applications”. En: *IEEE Access* 8 (2020), págs. 18681-18692. ISSN: 2169-3536. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2964386](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964386). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8950411/>
- KIT (Karlsruhe Institute of Technology) es una universidad pública de investigación y un centro de investigación en la Asociación Helmholtz que es una de las instituciones educativas más grandes y la institución de investigación más grande por financiación en Alemania.

- Marcus Hardt [223] y Valentin Kozlov [377] son investigadores en el KIT y han participado en los proyectos INDIGO-DataCloud, DEEP Hybrid-DataCloud y EOSC-Synergy, en los que ha participado el candidato. Se ha colaborado en el ámbito del despliegue de infraestructuras virtuales usando el Infrastructure Manager.
- Publicación conjunta: Davide Salomoni y col. “INDIGO-DataCloud: a Platform to Facilitate Seamless Access to E-Infrastructures”. En: *Journal of Grid Computing* 16.3 (sep. de 2018), págs. 381-408. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-018-9453-3](https://doi.org/10.1007/s10723-018-9453-3). arXiv: [1711.01981](https://arxiv.org/abs/1711.01981). URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10723-018-9453-3>
- CESNET (Czech Education and Scientific NETwork) es el desarrollador y operador de la infraestructura electrónica nacional para la ciencia, la investigación, el desarrollo y la educación en la República Checa. La asociación CESNET fue fundada en 1996 por las universidades públicas checas y la Academia de Ciencias de la República Checa. Una parte importante de las actividades de CESNET es la investigación de tecnologías y aplicaciones de redes avanzadas, desde redes híbridas, hardware programable, metacomputación hasta middleware y transmisiones de video.
 - Zdeněk Šustr [395] es un investigador de CESNET con el que se ha colaborado durante el proyecto INDIGO-DataCloud y DEEP Hybrid-DataCloud para el despliegue de clusters virtuales elásticos entre CESNET y la UPV.
 - Publicación conjunta: Miguel Caballer, Marica Antonacci, Zdeněk Šustr, Michele Perniola y Germán Moltó. “Deployment of Elastic Virtual Hybrid Clusters Across Cloud Sites”. En: *Journal of Grid Computing* 19.1 (mar. de 2021), pág. 4. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-021-09543-5](https://doi.org/10.1007/s10723-021-09543-5). arXiv: [2102.08710](https://arxiv.org/abs/2102.08710). URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10723-021-09543-5>
- PSNC (Poznan Supercomputing Center) es un centro de Polonia que proporciona acceso a una infraestructura electrónica de clase mundial para la comunidad científica, un entorno específico de investigación y desarrollo.
 - Marcin Plociennik [222] es el Jefe del departamento de Sistemas IoT en PSNC. La colaboración se inició en el proyecto INDIGO-DataCloud y posteriormente se mantuvo durante los proyectos DEEP Hybrid-DataCloud y EOSC-Synergy, basada en el apoyo al despliegue de infraestructuras virtuales y la introducción de cursos EOSC dentro del Máster Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones.
 - Publicación conjunta: Marco Fargetta, Riccardo Bruno, Roberto Barbera, Marcin Plociennik, Sandro Fiore, Michal Owsiak, Tomasz Zok, Daniel Figat, Giacinto Donvito, Marco Antonio Tangaro, Federico Zambelli, Dean N. Williams, Valentine Anantharaj, Giovanni

Aloisio, Emidio Giorgio, Lionel Schwartz, Germán Moltó y Bas Wegh. “Enabling scientific applications on hybrid e-Infrastructures: the FutureGateway framework”. En: *Digital Infrastructures for Research 2016 (DI4R 2016)*. 2016. URL: <https://www.digitalinfrastructures.eu/content/enabling-scientific-applications-hybrid-e-infrastructures-futuregateway-framework>

- El Instituto Nacional de Informática (NII) es un instituto de investigación japonés ubicado en Chiyoda, Tokio, Japón. NII se estableció en abril de 2000 con el propósito de avanzar en el estudio de la informática. Este instituto también trabaja en la creación de sistemas para facilitar la difusión de información científica al público en general.
 - Akihiro Takasu [7] es miembro de la División de Investigación de Ciencias de los Medios y Contenidos Digitales Profesor / Asesor del Director General. La colaboración surgió derivada de la estancia José Herrera durante la realización de su tesis doctoral, dirigida por el candidato.
 - Publicación conjunta: José Herrera, Germán Moltó y Atsuhiko Takasu. “Logotype Detection in Streaming Multimedia Using Apache Storm”. En: *Proceedings of the 2017 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA)*. 2017, págs. 81-87. URL: <http://csce.ucmss.com/books/LFS/CSREA2017/PDP3398.pdf>
- National Institute of Technology Jalandhar. El Dr. B. R. Ambedkar National Institute of Technology Jalandhar (NIT Jalandhar o NITJ), anteriormente Regional Engineering College Jalandhar, es una universidad pública de ingeniería ubicada en Jalandhar, Punjab, India. Ha sido declarado como Instituto de Importancia Nacional bajo el Ministerio de Desarrollo de Recursos Humanos, Gobierno de India. Es uno de los 31 Institutos Nacionales de Tecnología de la India.
 - Mohit Kumar [243] es profesor de la institución. Se realizó una colaboración para un artículo de revisión sobre Internet de las Cosas.
 - Publicación conjunta: Shalini Sharma Goel, Anubhav Goel, Mohit Kumar y Germán Moltó. “A review of Internet of Things: qualifying technologies and boundless horizon”. En: *Journal of Reliable Intelligent Environments* (ene. de 2021). ISSN: 2199-4668. DOI: [10.1007/s40860-020-00127-w](https://link.springer.com/article/10.1007/s40860-020-00127-w). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40860-020-00127-w>
- International Business Machines Corporation (IBM) es una empresa multinacional estadounidense de tecnología y consultoría con sede en Armonk, Nueva York. IBM fabrica y comercializa hardware y software para computadoras, y ofrece servicios de infraestructura, alojamiento de

Internet, y consultoría en una amplia gama de áreas relacionadas con la informática, desde computadoras centrales hasta nanotecnología.

- Sahdev Zala [334] es ingeniero de software senior y líder técnico de código abierto en la división de Tecnología Abierta del Ecosistema de Desarrolladores de IBM. Sahdev tiene más de 17 años de experiencia en desarrollo de software, incluidos más de 8 años de trabajo de desarrollo de código abierto. En su puesto actual, es colaborador de Kubernetes y se desempeña como mantenedor en el proyecto etcd. También es revisor central en OpenStack y miembro del comité técnico de OASIS TOSCA. Esta colaboración surgió durante el proyecto INDIGO-DataCloud para la orquestación de clusters virtuales in diferentes clouds usando TOSCA.
 - Publicación conjunta: Miguel Caballer, Sahdev Zala, Álvaro López García, Germán Moltó, Pablo Orviz Fernández y Mathieu Velten. “Orchestrating Complex Application Architectures in Heterogeneous Clouds”. En: *Journal of Grid Computing* 16.1 (mar. de 2018), págs. 3-18. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-017-9418-y](https://doi.org/10.1007/s10723-017-9418-y). arXiv: [1711.03334](https://arxiv.org/abs/1711.03334). URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10723-017-9418-y>
- La Universidad de Guanajuato (Mexico) es la máxima casa de estudios medio superior y superior del estado de Guanajuato.
- Miguel Torres-Cisneros [239] es profesor e investigador científico en el ámbito de óptica y fotónica. Esta colaboración surge de la aplicación de técnicas de computación distribuida durante el desarrollo de la tesis doctoral de Francisco R. Arteaga-Sierra.
 - Publicación conjunta: F. R. Arteaga-Sierra, C. Milián, I. Torres-Gómez, M. Torres-Cisneros, G. Moltó y A. Ferrando. “Supercontinuum optimization for dual-soliton based light sources using genetic algorithms in a grid platform”. En: *Optics Express* 22.19 (sep. de 2014), pág. 23686. ISSN: 1094-4087. DOI: [10.1364/OE.22.023686](https://doi.org/10.1364/OE.22.023686). URL: <https://opg.optica.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-22-19-23686>
- CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), es una organización de investigación europea que opera el laboratorio de física de partículas más grande del mundo. La organización tiene 22 estados miembros y es uno de los centros de investigación más importantes en el mundo.
- Ricardo Rocha [311] es un ingeniero de computadoras del CERN, encargado de ayudar al Almacenamiento y análisis de grandes cantidades de datos, centrado en tecnología relacionadas con el Cloud. La colaboración surgió en el ámbito del proyecto INDIGO-DataCloud, para el despliegue de clusters Kubernetes definidos mediante el estándar TOSCA.

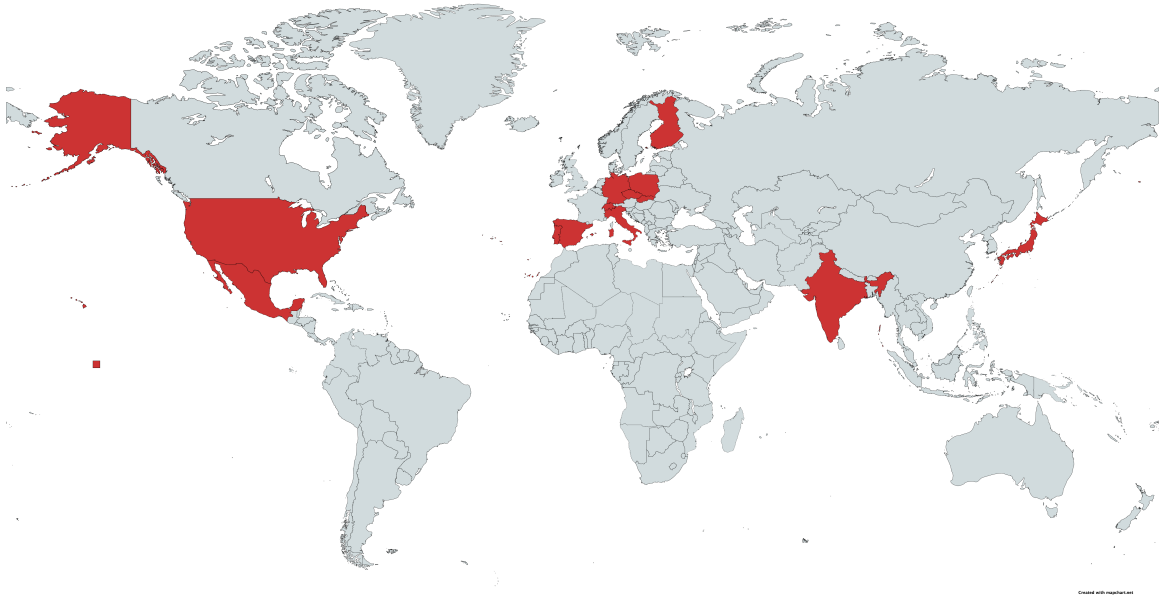


Figura 7-15: Mapa de colaboraciones internacionales del candidato (publicación conjunta en la última década)

- Publicación conjunta: M Caballer, G Donvito, G Moltó, R Rocha y M Velten. “TOSCA-based orchestration of complex clusters at the IaaS level”. En: *Journal of Physics: Conference Series* 898 (oct. de 2017), pág. 082036. ISSN: 1742-6588. DOI: [10.1088/1742-6596/898/8/082036](https://doi.org/10.1088/1742-6596/898/8/082036). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/898/8/082036>
- La Universidad de Tampere es una universidad pública de Finlandia. Con cerca de 20000 estudiantes es la segunda universidad más grande del país.
 - Davide Taibi [106] es profesor titular en el grupo de ingeniería del software de dicha universidad. Su investigación se centra en la ingeniería del software empírica aplicada a los sistemas Cloud. La colaboración surgió a raíz de una visita del profesor Taibi a la UPV, donde surgió la posibilidad de trabajar en una publicación conjunta en el ámbito de la evaluación (testing) de aplicaciones Serverless. En el momento de redactar este documento dicho trabajo está en preparación.

Parte III

Trabajo Original de Investigación

Capítulo 8

Proyecto de Investigación

Adaptado de “Germán Moltó (IP), Ignacio Blanquer (IP) “Serverless Scientific Computing in the Cloud Continuum”, Proyectos I+D+i 2020 (Proyectos de I+D+i Retos Investigación)”

Esta sección presenta el proyecto de investigación titulado “Serverless Scientific Computing in the Cloud Continuum”, de acrónimo SERCLOCO, aprobado en la convocatoria de Proyectos de I+D+i Retos Investigación (Proyectos I+D+i 2020), en el que el candidato actúa como Investigador Principal. Aunque la memoria fue inicialmente presentada en inglés por haber solicitado financiación superior a 100K € en costes directos, aquí se presenta traducida de forma íntegra al castellano. El resultado del informe de valoración científico-técnica emitido por el Ministerio de Ciencia e Innovación, tras la correspondiente evaluación por pares, se muestra en la Tabla 8.1.

Criterio de Evaluación	Valoración
1. Calidad y viabilidad de la propuesta	38.55 (40)
2. Equipo de investigación	29.85 (30)
3. Impacto	28.9 (30)

Tabla 8.1: Puntuaciones del informe de valoración científico-técnica del proyecto de investigación presentado por el candidato.

A modo de indicadores adicionales de la calidad de la propuesta se incluyen las siguientes afirmaciones obtenidas del informe de evaluación:

- **Calidad de la propuesta:** La propuesta está bien justificada y resulta de calidad, con objetivos claramente definidos, y paquetes de trabajo y tareas adecuadamente descritos, con indicación de sus responsables y una división muy clara de tareas.
- **Viabilidad:** La propuesta es viable y razonada, y presenta un plan de contingencia claramente

definido.

- **Equipo de investigación:** El equipo de investigación cuenta con una buena trayectoria, perfectamente adecuada a los objetivos a desarrollar en la propuesta. La capacidad formativa del equipo y el programa de formación propuesto se ha valorado favorablemente.
- **Impacto científico-técnico:** El impacto científico-técnico de los resultados es elevado. Se valora la posibilidad de desarrollar una plataforma en código abierto capaz de dar servicio a varias aplicaciones.
- **Impacto social y económico:** Tanto el impacto social como económico de los resultados resultan adecuados, encontrándose mejor descritos los aspectos económicos.

El proyecto fue financiado con 145.321 € para cuatro años (del 01/09/2021 al 01/09/2025). Tiene asignada una ayuda para contratos predoctorales para la formación de doctores contemplada en el Subprograma Estatal de Formación del Programa Estatal para Desarrollar, Atraer y Retener Talento, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023.

8.1. Resumen

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una plataforma de código abierto para permitir la computación sin servidor (*serverless*) para aplicaciones científicas en múltiples nubes híbridas, es decir, que involucran simultáneamente plataformas de nube públicas y locales y a lo largo del continuo de la nube, que admite simultáneamente tanto la computación en el borde como nubes basadas en el modelo de servicio IaaS (*Infrastructure as a Service*). La plataforma permitirá la ejecución dirigida por eventos de aplicaciones de procesamiento de datos que pueden necesitar requisitos de programación específicos, como dispositivos informáticos acelerados (por ejemplo, GPUs o FPGAs). También abordará la redistribución dinámica de cargas de trabajo para la ejecución eficiente de flujos de trabajo de funciones basados en datos en plataformas informáticas heterogéneas, es decir, con rendimientos computacionales dispares, como es el caso de las infraestructuras en la nube.

El proyecto contribuirá a mejorar el soporte de la computación sin servidor acelerada para aplicaciones científicas. En primer lugar, esto implica la compatibilidad con infraestructuras seguras de múltiples usuarios (*multi-tenant*) para nubes híbridas que pueden abarcar varios proveedores mediante el uso de redes definidas por software (*software-defined networks*) para proporcionar secciones de red aisladas. En segundo lugar, esto requiere el aprovisionamiento oportunista de recursos para plataformas FaaS compatibles con el escalado a cero que minimicen el consumo de recursos (y energía) para cargas de trabajo dinámicas. En tercer lugar, se pretende soportar la computación de altas prestaciones en infraestructuras sin servidor. Esto requiere sistemas de archivos distribuidos compartidos para plataformas FaaS públicas como AWS Lambda, para superar las estrictas limitaciones

actuales. Además, la capacidad de admitir dispositivos de hardware acelerados desde plataformas FaaS locales, ya sea a través de PCI Passthrough o utilizando GPU remotas a través de RCUDA para lograr una computación sin servidor acelerada altamente escalable. En cuarto lugar, nuestro objetivo es brindar soporte para la ejecución basada en MPI dirigida por eventos para proporcionar un puente entre la computación sin servidor y la supercomputación para clústeres de computación altamente elásticos con escalado a cero.

Una vez mejorados los bloques de construcción básicos para la computación sin servidor, el proyecto abordará el procesamiento de datos dirigido por eventos para el continuo de la nube. En primer lugar, se mejorará la computación sin servidor eficiente al proporcionar pipelines automatizados (CI/CD, *Continuous Integration / Continuous Delivery*) para la creación de imágenes con soporte a múltiples arquitecturas para contenedores para los componentes principales de la plataforma FaaS, pudiendo ejecutarse en dispositivos de bajo consumo como Raspberry Pis. En segundo lugar, un lenguaje de definición de funciones basado en datos (FDL) respaldará la definición de flujos de trabajo (*workflows*) en todo el continuo de la nube. Esto permitirá la ejecución de flujos de trabajo híbridos sin servidor de funciones en nubes públicas y locales, que admiten dispositivos de aceleración basados en GPU.

Se logrará un consumo de energía reducido y una asignación de recursos mejorada sobre la base de una programación sin servidor eficiente en todo el continuo de la nube. En primer lugar, se introducirá la redistribución dinámica de tareas para la computación desequilibrada en nubes híbridas con el fin de optimizar la asignación de recursos para reducir los costes y reducir la capacidad total de tareas de computación de alto rendimiento altamente paralelas. En segundo lugar, se abordará la programación de invocaciones FaaS consciente de los recursos para solicitudes especiales (como funciones que requieran aceleración mediante GPU y entornos de ejecución de confianza (*trusted computing*)), considerando también la localidad de datos en nubes híbridas. Se utilizará una aproximación de delegación de ejecución en funciones FaaS para plataformas habituales basadas en clústeres, como SLURM, para proporcionar pasarelas integradas para que los usuarios científicos existentes se beneficien de forma transparente de la computación sin servidor. Finalmente, la programación de múltiples capas para las funciones de FaaS se desarrollará en base a la optimización automatizada de la asignación de recursos para las funciones de FaaS a través de la monitorización introspectiva, la elección automatizada de la plataforma de ejecución en función de los requisitos de la aplicación y el comportamiento histórico y, finalmente, el uso de Funciones FaaS replicadas en proveedores públicos para la ejecución acelerada de ráfagas de cargas de trabajo.

Esta plataforma de código abierto se alineará con las métricas de Software Quality Assurance (SQA) definidas por proyectos en la iniciativa European Open Science Cloud (EOSC-SYNERGY), podrá aprovisionar recursos de EGI Federated Cloud, y se promoverá su integración con el EOSC Marketplace para garantizar una mayor sostenibilidad del desarrollo, junto con una alineación ade-

cuada con la iniciativa GAIA-X. La plataforma se evaluará a través de varios casos de uso que involucran el soporte para escenarios de IoT basados en servidores para ciudades inteligentes y el sector automotriz, el procesamiento de datos biomédicos acelerado y seguro y los flujos de trabajo de imágenes médicas en plataformas públicas sin servidor y, finalmente, el procesamiento de datos geoespaciales en nubes híbridas.

Palabras clave: Serverless, FaaS, Cloud Computing, High Performance Computing, Containers

8.2. Estado del Arte

La computación en la nube se ha convertido en la última década en la principal opción para la computación virtualizada. Ha logrado aumentar tanto la utilización de recursos de hardware como la capacidad de ejecutar cargas de trabajo informáticas dispares con requisitos complejos en entornos de computación compartidos. Los modelos de prestación de servicios iniciales, como la Infraestructura como Servicio (IaaS - *Infrastructure as a Service*), se ejemplificaron mediante servicios públicos en la nube como Amazon EC2 [23] y plataformas de gestión en la nube locales como OpenStack [288]. Estos se ampliaron más tarde para dar cabida a modelos adicionales como Plataforma como servicio (PaaS - *Platform as a Service*) y, más recientemente Funciones como servicio (FaaS - *Functions as a Service*), en la búsqueda de elevar el nivel de abstracción para los desarrolladores de aplicaciones a expensas de depender del proveedor de infraestructura. para una elasticidad automatizada, un aprovisionamiento eficiente de infraestructura virtual y una mejor asignación de recursos.

Los servicios iniciales de FaaS, ejemplificados por servicios públicos en la nube como AWS Lambda [41] y Azure Functions [42], brindan ejecución basada en eventos de funciones codificadas en ciertos lenguajes de programación compatibles, ofreciendo asignación automatizada de recursos y capacidades ultraelásticas que reemplazan a las que se encuentran en las ofertas tradicionales de IaaS. Por ejemplo, una función Lambda puede admitir hasta 3000 invocaciones simultáneas, lo que es dos órdenes de magnitud más allá del número predeterminado de máquinas virtuales que se pueden implementar en una cuenta de AWS recién creada, que es 20 (cuyo límite puede ampliarse a petición). Esto solo puede lograrse mediante el uso de tecnologías de virtualización ligeras, como es el caso de Firecracker [1][66], que permite desplegar micro-máquinas virtuales (microVM) en entornos no virtualizados en menos de un segundo. En general, la virtualización ligera, como los contenedores de software de Linux, también allanó el camino para este éxito.

De hecho, la creciente popularidad ganada por los contenedores de software de Linux, con la irrupción de Docker [113], creó todo un ecosistema de herramientas que impulsó la innovación y la adopción generalizada. Tanto las cargas de trabajo empresariales como la informática científica se beneficiaron de esta tendencia para proporcionar aplicaciones encapsuladas con todas las dependencias para garantizar una ejecución exitosa en una gran variedad de plataformas informáticas. Las imá-

genes de Docker se convirtieron en un estándar de facto para la entrega consistente de aplicaciones multiplataforma. La llegada de los contenedores, junto con el mayor desarrollo de las Plataformas de Orquestación de Contenedores como Kubernetes [212], allanó el camino para implementar las capacidades dirigidas por eventos de FaaS en plataformas de código abierto como OpenFaaS [126], KNative [206] y Apache OpenWhisk [31]. Estas plataformas imitan la funcionalidad de los servicios públicos de FaaS para la ejecución de funciones codificadas en ciertos lenguajes, pero dentro de las instalaciones de una organización.

Sin embargo, los beneficios de la computación sin servidor no pueden limitarse solo a la computación basada en funciones, especialmente en el caso de la computación científica, donde se requieren complejas dependencias de software, requisitos de uso intensivo de recursos y, a veces, la necesidad de hardware acelerado, características que actualmente no se encuentran disponibles en ofertas sin servidor de nube pública. Por ejemplo, una función de AWS Lambda no se puede ejecutar más allá de los 15 minutos, usar más de 10240 MBytes de RAM, usar cualquier dispositivo de cómputo acelerado como GPU y usar un espacio de almacenamiento efímero superior a 10 GB, comprometiendo así la adopción de estas plataformas por parte de científicos.

Aún así, varios grupos de investigación entendieron desde el principio que la computación sin servidor ciertamente podría beneficiar a la computación científica. Este es el caso del trabajo de Jonas et al. [201] quien introdujo la herramienta PyWren¹ para realizar computación distribuida usando AWS Lambda, con el fin de admitir varios modelos de programación, partiendo del supuesto de que las funciones sin estado pueden ser un ajuste natural para el procesamiento de datos. Nuestro trabajo previo en el área, MARLA (MapReduce en AWS Lambda)² por Giménez-Alventosa et al. [164] creó un marco para ejecutar aplicaciones MapReduce basadas en Python en AWS Lambda, produciendo así una herramienta de código abierto sin servidor de alto rendimiento para ejecutar trabajos de Computación de Altas Prestaciones sin requerir ninguna infraestructura de computación aprovisionada previamente por el usuario. En este trabajo identificamos las propiedades de rendimiento desequilibradas de las plataformas sin servidor como AWS Lambda y realizamos una investigación exhaustiva que identificó variabilidades de rendimiento tanto en la red como en la CPU para diferentes invocaciones de la misma función Lambda, incluso con los mismos recursos asignados. Esto provocó la necesidad de crear estrategias adecuadas de equilibrio de carga sin servidor para trabajos de HTC que puedan minimizar tanto el tiempo de ejecución a través de la asignación de carga dinámica adecuada, lo que se traduce en una reducción de los costes mediante el uso de modelos de facturación detallados. Además, el trabajo de Fouladi et al. [155] también previó el mapeo de miles de subprocesos paralelos a múltiples invocaciones de una función Lambda para lograr tiempos de finalización casi interactivos. Produjeron la herramienta de software gg³, que tiene como objetivo

¹PyWren: <https://pywren.io>

²MARLA (MAPReduce on AWS Lambda): <https://github.com/grycap/marla>

³gg: <https://github.com/StanfordSNR/gg>

principal realizar compilaciones distribuidas de gran tamaño basado en código, junto con otros casos de uso como la codificación de video, ofreciendo una API con enlaces para Python y C++.

Desde el principio, nuestro grupo de investigación vio el potencial de llevar los beneficios de la computación sin servidor a la ejecución de aplicaciones científicas generales, sin necesidad de refactorizar la aplicación para que encaje en un modelo de programación de funciones creado en un modelo de lenguaje de programación específico compatible con el plataforma sin servidor. Por eso creamos la herramienta de código abierto SCAR⁴, descrita en el trabajo de Pérez y Moltó et al. [296], que brindó la capacidad de ejecutar contenedores de forma transparente a partir de imágenes de Docker en AWS Lambda, admitiendo aplicaciones genéricas complejas en varias áreas como marcos de aprendizaje profundo como Darknet, herramientas de procesamiento de video como FFmpeg y código en prácticamente cualquier lenguaje de programación (incluso aquellos que no eran compatibles de forma nativa en ese momento con AWS Lambda, como R, Erlang y Elixir). Para ello, la herramienta se apoya en udocker⁵ [169], un desarrollo de código abierto que permite ejecutar contenedores a partir de imágenes de Docker en el espacio de usuario, es decir, sin requerir ningún privilegio de root y sin requerir una instalación de Docker, pudiendo así ejecutar contenedores en ejecución restringida. entornos como supercomputadoras. SCAR fue ampliamente adoptado por la comunidad, actualmente tiene 570 estrellas en GitHub y es la única herramienta de código abierto contribuida desde España que aparece en el panorama sin servidor de Cloud Native Computing Foundation (CNCF)⁶. Se ha utilizado en proyectos europeos a gran escala como DEEP Hybrid-DataCloud y AI-SPRINT para proporcionar una plataforma automatizada para la inferencia de aprendizaje automático sin servidor escalable [248].

Como se indicó anteriormente, la creciente popularidad de la computación sin servidor junto con la mayor madurez de las plataformas de orquestación de contenedores allanó el camino para el surgimiento de múltiples desarrollos de código abierto que imitan la funcionalidad ofrecida por las ofertas públicas sin servidor. Este es el caso de OpenFaaS [126], Apache OpenWhisk [31], Kubeless [211], KNative [206] y Fission [148], por nombrar solo algunos. Estos marcos brindan la capacidad de crear funciones definidas por el usuario generalmente empaquetadas como contenedores de Linux que se pueden invocar bajo demanda y la ejecución se lleva a cabo coordinada por una plataforma de orquestación como Kubernetes. Sin embargo, imitar la funcionalidad ofrecida por los servicios serverless de proveedores Cloud públicos deja de lado el soporte para aplicaciones científicas complejas para el procesamiento de datos, con grandes dependencias, requisitos de ejecución estrictos y que eventualmente pueden necesitar hardware acelerado como GPUs.

Para superar estos problemas, nuestro grupo de investigación participó en la primera convocatoria del EGI Strategic and Innovation Fund⁷, en 2018, para crear un prototipo destinado a introducir

⁴SCAR. Serverless Container-aware ARchitectures: <https://github.com/grycap/scar>

⁵udocker: <https://github.com/indigo-dc/udocker>

⁶<https://landscape.cncf.io/format=serverless&selected=scar>

⁷EGI Strategic and Innovation Fund - <https://www.egi.eu/about/egi-council/egi-strategic-and-innovatio>

soporte a la computación serverless para aplicaciones científicas en EGI Federated Cloud [156], el despliegue Cloud federado europeo más grande que agrupa recursos de las nubes privadas académicas y de centros de investigación, dando soporte a múltiples comunidades científicas. El resultado fue OSCAR⁸, descrito en el trabajo de Pérez et al. [294], un prototipo de código abierto para admitir el modelo informático de Funciones como servicio (FaaS) para aplicaciones de procesamiento de datos. OSCAR se puede desplegar automáticamente en múltiples nubes para crear aplicaciones serverless de procesamiento de archivos altamente paralelas y dirigidas por eventos que se ejecutan en entornos personalizados proporcionados por contenedores Docker que se ejecutan en un clúster elástico de Kubernetes.

De hecho, nuestro grupo de investigación tiene una sólida trayectoria en la producción de software que ya está integrado en producción (*Technology Readiness Level 8*) dentro de EGI Federated Cloud, como parte de la iniciativa *European Open Science Cloud* (EOSC), una visión de la Comisión Europea de un gran infraestructura para apoyar y desarrollar la ciencia abierta y la innovación abierta en Europa y más allá. En particular, a través de nuestra participación en proyectos de investigación europeos de H2020 a gran escala como EGI-Engage, INDIGO-DataCloud, EOSC-HUB y EOSC-SYNERGY, hicimos posible desplegar instancias de IM (Infrastructure Manager)⁹ [74] y EC3 (Elastic Cloud Computing Cluster)¹⁰ [71, 77] para proporcionar, respectivamente, soporte para el despliegue dinámico de infraestructuras virtuales y el aprovisionamiento de clústeres virtuales elásticos sobre EGI Federated Cloud.

Actualmente se utilizan en la producción, se mantienen a través de la financiación asegurada de próximos proyectos que tenemos aceptados de la UE Horizon Europe y se integran en el EOSC marketplace (véanse [194] y [125] las entradas correspondientes en el portal EOSC). OSCAR usa tanto EC3 como IM para aprovisionar automáticamente un clúster de Kubernetes configurado en varios back-end de la nube (incluido EGI Federated Cloud) que puede escalar dinámicamente desplegando y terminando recursos en función de la cantidad de máquinas virtuales, no solo la cantidad de pods en ejecución, que es el enfoque clásico: utiliza un complemento creado por nuestro sistema de elasticidad CLUES¹¹, aunque más tarde Kubernetes introdujo su propio componente Kubernetes AutoScaler. Esto nos permitió soportar casos de uso científicos como el análisis de imágenes en enfermedad cardíaca reumática a través de la computación de imágenes y la inteligencia artificial (ver [307] para detalles adicionales), clasificación de plantas con Lasagne / Theano [300] y procesamiento de video a través de la composición de funciones básicas [383].

Sin embargo, el soporte de la computación sin servidor para la computación científica requiere resolver desafíos específicos que están por delante del desarrollo de nuestro primer prototipo. Para

n-fund/

⁸OSCAR - Open Source Serverless Computing for Data-Processing Applications. <https://github.com/grycap/oscar>

⁹Infrastructure Manager - <https://www.grycap.upv.es/im>

¹⁰EC3 - <https://www.grycap.upv.es/ec3>

¹¹CLUES: <https://www.grycap.upv.es/clues>

comenzar con el primer desafío, un problema que sigue sin resolverse es el encadenamiento de la composición de funciones para producir flujos de trabajo sin servidor que puedan explotar por completo los recursos desde las nubes locales a las públicas, incluida la computación en el borde para el preprocesamiento de datos locales. El trilema serverless de Baldini et al. [46] identificó que la composición de funciones para una aplicación serverless es posible, pero la composición de la función debe obedecer un principio de sustitución con respecto a la invocación sincrónica y se debe evitar la doble facturación por dichas invocaciones, lo que plantea una restricción adicional para la implementación de flujos de trabajo sin servidor con respecto a los sistemas de flujo de trabajo tradicionales.

Un trabajo inicial de Malawski [220] exploró la idea de flujos de trabajo sin servidor para procesar tareas en segundo plano de aplicaciones web y cómo repensar arquitecturas sin servidor para ejecutar flujos de trabajo científicos, presentando un prototipo basado en Google Cloud Functions junto con el motor de flujo de trabajo Hyperflow. En esta línea, el trabajo de Skluzacek et al. [337] introdujo Xtract, un servicio para procesar grandes colecciones de archivos científicos para extraer metadatos de varios tipos de archivos. Utilizaron funcX [87] para desarrollar un sistema FaaS federado para permitir la ejecución de funciones a través de recursos distribuidos heterogéneos. Estas funciones son fragmentos de código Python y el sistema se basa en la transferencia de datos con Globus [167] para realizar la preparación de datos. Los autores encontraron que puede ser difícil modificar aplicaciones para ejecución sin estado, ya que el estado no se comparte fácilmente entre funciones. Por lo tanto, las soluciones mal diseñadas pueden generar una sobrecarga de comunicación significativa.

De hecho, los flujos de trabajo sin servidor son un área de investigación activa y una prueba de esta afirmación es que la especificación de flujo de trabajo sin servidor [95], para definir modelos de flujo de trabajo declarativos que orquestan aplicaciones sin servidor controladas por eventos, fue aprobada recientemente como un proyecto de nivel *sandbox* de la *Cloud Native Computing Foundation* (CNCF). Esperamos que esta especificación brinde beneficios en el área de la coherencia, proporcionando una forma común de describir los flujos de trabajo sin servidor, la portabilidad y la accesibilidad, para brindar interoperabilidad entre los tiempos de ejecución de los flujos de trabajo serverless.

Para el segundo desafío, la computación sin servidor para aplicaciones científicas requiere acceso a datos de alto rendimiento, soporte de hardware acelerado y la capacidad de soportar un equilibrio de carga detallado para superar las disparidades de rendimiento identificadas en los proveedores cloud públicos. Primero, esto requiere la introducción de mecanismos para lograr cierto soporte de estado para la comunicación cruzada entre funciones. Incluso si muchos autores restringen la computación sin servidor a la ejecución dirigida por eventos de invocaciones sin estado, pioneros en esta área, como el trabajo de Shillaker et al. [336] vio los beneficios de la computación sin servidor para el procesamiento de Big Data, pero destacó el tiempo adicional y el costo que implica la duplicación

y serialización de datos repetidamente. Introdujeron Faaslets, una nueva abstracción de aislamiento para computación sin servidor de alto rendimiento, que proporciona aislamiento de memoria a través de WebAssembly donde las regiones de memoria se pueden compartir entre las funciones ejecutadas para evitar costosos movimientos de datos. Crearon Faasm¹², un tiempo de ejecución sin servidor con estado de alto rendimiento, que traduce aplicaciones a funciones de soporte de WebAssembly escritas en varios lenguajes de programación como C / C++, Python, TypeScript y Javascript, integrado con Knative y ejecutado en una plataforma Kubernetes. Sin embargo, otras estrategias, como el uso de sistemas de archivos compartidos distribuidos montados de forma remota que proporcionan acceso de tipo POSIX, pueden proporcionar soporte con estado en un conjunto distribuido de nodos a cargo de ejecutar las funciones.

A continuación, el soporte de hardware acelerado requiere la creación de tecnologías de virtualización desarrolladas para acceder a dichos dispositivos. Nuestro trabajo inicial en esta área, como se describe en el artículo de Naranjo et al. [277], realizó una comparación de costo / beneficio del uso de *PCI passthrough* [390] para permitir el acceso directo a dispositivos GPU para cargas de trabajo sin servidor en clústeres OSCAR implementados en nubes locales versus el uso de virtualización GPU remota proporcionada por RCUDA [299]. Los resultados indicaron que la computación sin servidor y la virtualización de GPU proporcionaron un enfoque de computación acelerada basado en eventos rentable que se puede aplicar a una amplia variedad de casos de uso científico. Sin embargo, todavía existen áreas abiertas con respecto a la integración de la computación basada en GPU en las ofertas de la nube pública a través de dichas técnicas de virtualización remota para la computación sin servidor acelerada, que se explorarán durante la vida útil de este proyecto. Junto con los dispositivos acelerados, otras extensiones de hardware, como los enclaves SGX [195] para ejecutar software en datos cifrados en la memoria, constituyen una solución para ejecutar de forma segura el procesamiento confidencial incluso en entornos de nube que no son de confianza. Existen soluciones para soportar contenedores Docker, como SCONE [381] y Asylo [37]. Una colaboración previa del grupo [55] reveló que esta tecnología es adecuada para ejecutar procesos sobre datos sensibles. La actividad del GRyCAP de apoyo a proyectos sobre la aplicación de la IA al procesamiento de imágenes médicas, a saber, PRIMAGE [304] y CHAIMELEON [86], son una gran oportunidad para validar y promover este enfoque.

El tercer desafío, la computación en el borde (*edge computing*), ha surgido con el aumento en el volumen de datos producidos por los dispositivos de IoT, y existe una clara necesidad de soportar flujos de datos cercanos a las fuentes donde se producen los datos, no solo para preprocesarlos, como supone la anonimización en imágenes escaneadas en hospitales, pero también para proporcionar computación distribuida geográfica donde los dispositivos / sensores están produciendo dichos datos. Trabajos prospectivos en el campo como el de Moreno-Vozmediano et al. [273] se centraron en el

¹²Faasm: [Faasm.https://github.com/llds/faasm](https://github.com/llds/faasm)

uso de arquitecturas de nube desagregadas para implementar su propia infraestructura y servicios informáticos de borde a través de la combinación de infraestructura de nube local con nodos de borde distribuidos geográficamente desplegados en proveedores externos. Los servicios de nube pública como AWS IoT Greengrass [40] demostraron los beneficios de soportar computación FaaS en el borde, lo que permite que los dispositivos conectados ejecuten funciones de AWS Lambda o contenedores Docker para realizar actividades como predicciones basadas en modelos de aprendizaje automático (ML), dispositivos de sincronización, etc.

El trabajo de Hall et al. [176] identifica problemas clave al ejecutar funciones sin servidor en el borde, como la sobrecarga introducida por los contenedores Docker para la ejecución de aplicaciones que requieren respuestas de baja latencia, proponiendo así la adopción de WebAssembly [386]. De hecho, las restricciones en tiempo real requieren que el cálculo se realice lo más cerca posible de la fuente de datos. Sin embargo, esto requiere un aprovisionamiento flexible y dinámico de recursos informáticos a lo largo del continuo de la nube, con desafíos en diversas áreas, como la orquestación eficiente, la asignación de recursos consciente de los costes en infraestructuras informáticas heterogéneas con capacidades de rendimiento dispares, que se abordarán en este proyecto. Un escenario ideal para un sistema de este tipo es un enfoque de ML en el que los datos de imagen se generan en los nodos de borde que se preprocesan utilizando un pipeline serverless para la normalización de datos y se ingestan en una plataforma sin servidor de procesamiento de datos que asigna automáticamente los recursos informáticos, ya sea desde una nube local o nube pública, y que es capaz de aprovechar los recursos informáticos acelerados para una ejecución eficiente antes del almacenamiento a largo plazo en un almacenamiento en la nube federado / replicado.

Es precisamente en la frontera de este estado del arte donde se encuentran los objetivos de este proyecto, que persigue producir una plataforma de código abierto que proporcione computación científica sin servidor en todo el continuo de la nube y que brinde contribuciones clave a la ejecución de flujos de trabajo dirigidos por eventos. Se persiguen despliegues híbridos de infraestructuras en múltiples nubes, incluida la computación en el borde y la orquestación eficiente de recursos que tiene en cuenta la latencia y los costes y considera los dispositivos informáticos acelerados como parte de la ejecución de dichos flujos serverless. La plataforma se desarrollará como componentes de código abierto sobre la base de la tecnología proporcionada por nuestros desarrollos anteriores en el área (SCAR, OSCAR, EC3 e IM) y producirá contribuciones clave en el área de la computación sin servidor para aplicaciones científicas con el fin de desbloquear nuevas áreas potenciales de éxito. La plataforma se alinearán completamente con la European Open Science Cloud, cumplirá con las líneas base de *Software Quality Assurance* (SQA) que se están definiendo en EOSC-SYNERGY y, finalmente, integraremos la plataforma resultante como un nuevo desarrollo en el *EOSC Marketplace*, como hemos demostrado con éxito con nuestros desarrollos previos en el campo de la computación en nube en alineación con la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación [134] que

menciona explícitamente el fomento de la contribución española a la EOSC. Se llevará a cabo la alineación con la iniciativa europea GAIA-X para el soporte multi-nube.

8.3. Hipótesis y Objetivos del Proyecto

La hipótesis principal es que las aplicaciones científicas de procesamiento de datos en múltiples etapas pueden beneficiarse de la provisión automática y oportunista de recursos a lo largo del continuo de la computación en nube (edge, on-premises y nubes públicas), utilizando un enfoque serverless en el que el usuario no realiza una gestión explícita de los servidores en la provisión / administración de infraestructura. Se persigue soportar la ejecución de flujos de trabajo basados en datos que pueden usar, si es necesario, técnicas aceleradas como dispositivos GPU y ejecuciones paralelas basadas en MPI. El alcance del proyecto está en línea con el Reto 7: Economía y Sociedad Digital (Reto 7: Economía y sociedad digital), cuya definición incluye los temas de Cloud Computing, Fog / Edge computing, High Performance Computing y tecnologías de procesamiento masivo de datos (Big Datos). Además, esta propuesta está alineada temáticamente con la iniciativa European Open Science Cloud (EOSC) identificada en el programa de trabajo Horizonte 2020 2018-2020 [184]. Contribuiremos a esta iniciativa con desarrollos concretos de software y servicios novedosos llevados a cabo en este proyecto, debidamente canalizados a través de nuestra participación en proyectos europeos H2020 relacionados con EOSC (EOSC-SYNERGY, EOSC-HUB y EGI-ACE). Estos son los Objetivos específicos (O) de este proyecto. Se proporciona un resumen conciso para cada objetivo.

O1. Infraestructuras de computación híbridas elásticas para el continuo Cloud Este objetivo persigue automatizar la creación del sustrato informático / de red necesario para comunicar y aprovechar los componentes informáticos en todo el continuo de la nube. Desde el despliegue automatizado de redes superpuestas (*overlay*) a través de un enfoque basado en estándares, hasta el soporte de modelos avanzados de elasticidad conscientes del coste / latencia para optimizar el consumo de recursos, con un enfoque especial en integrar la computación serverless y el procesamiento confidencial de aplicaciones científicas que pueden requerir dispositivos de aceleración de hardware.

O2. Plataforma de procesamiento de datos basada en eventos para el continuo Cloud Este objetivo persigue la creación de una plataforma web de código abierto para que los usuarios se autoaprovisionen recursos de computación / almacenamiento / redes a lo largo del continuo de la nube y en su nombre para la ejecución eficiente de aplicaciones de procesamiento de datos basadas en eventos y basadas en flujos de trabajo.

O3. Planificación serverless eficiente para la nube continua Este objetivo persigue introducir técnicas de programación mejoradas tanto para el aprovisionamiento de recursos que requieren recursos

especiales como GPUs en el continuo de la nube como para la reasignación dinámica de tareas para aplicaciones de computación de altas prestaciones que se ejecutan en sustratos de computación desequilibrados, como los proporcionados por plataformas sin servidor, con el fin de minimizar el tiempo de ejecución y el coste económico total. También tiene como objetivo la capacidad de realizar la programación de múltiples capas de réplicas de funciones FaaS en nubes federadas.

04. Casos de uso de aplicación El proyecto está fuertemente orientado a la investigación aplicada y, por lo tanto, está motivado por necesidades y demandas reales de casos de uso científicos e industriales relevantes. Este objetivo tiene como propósito definir un conjunto de casos de uso que orientarán el desarrollo a través de la identificación de requisitos, la aplicación de las tecnologías desarrolladas a través de experimentos piloto y su validación. Prevemos validar la tecnología en cuatro disciplinas que cubren diferentes demandas.

05. Enlace internacional, difusión, explotación y sostenibilidad Este objetivo persigue maximizar el conocimiento y uso de los resultados del proyecto a nivel internacional. Esto incluye la publicación de artículos, la participación (física o virtual) en los eventos de las principales iniciativas internacionales y la divulgación y protección de los resultados bajo licencias de código abierto. Esto incluye alineación con las iniciativas EOSC y GAIA-X y sinergias con proyectos afines de H2020 en los que participa nuestro grupo de investigación (EOSC-SYNERGY, PRIMAGE) y próximos proyectos adicionales de Horizon Europe en los que se ha conseguido financiación (InterTwin, DT-GEO y AI4EOSC). También abordará la persistencia a largo plazo de los resultados y la sostenibilidad de los componentes desarrollados.

8.4. Materiales y Métodos

Este proyecto aborda la ejecución en el continuo Cloud y, por lo tanto, diferentes infraestructuras serán utilizadas:

- Una nube local basada en OpenStack aportada por nuestro grupo de investigación con 7 nodos con 14 procesadores Intel Skylake Gold 6130 con 14 núcleos cada uno con un total de 5,25 TB de RAM. Cuenta con 21 aceleradores gráficos NVIDIA Tesla V100, con 32 GB de RAM cada uno, 2 FGPA Arria 10GX, 1 acelerador gráfico AMD Instinct MI25, 1 acelerador gráfico NVIDIA Tesla P40 y, finalmente, 2 puertos de 10GbE y 1 puerto Infiniband en cada nodo.
- Infraestructuras de nube pública. Nos centraremos en Amazon Web Services, un proveedor que hemos utilizado en los últimos años, para respaldar la computación científica serverless a través de SCAR. También trabajaremos con Microsoft Azure, especialmente para extender el soporte de FaaS en SCAR a proveedores adicionales.

- Nubes federadas. Utilizaremos recursos informáticos basados en EOSC, a saber, el servicio EGI Cloud Compute (también conocido como EGI Federated Cloud), que es la nube comunitaria federada más grande de Europa que integra recursos informáticos y de almacenamiento de diferentes centros de investigación.
- Se requiere financiar la adquisición de una plataforma con dispositivos de bajo consumo como Raspberry Pis para respaldar los casos de uso de IoT.

Los endpoints de producción tanto de IM como de EC3 se integraron en EOSC para realizar el despliegue de infraestructura en múltiples nubes, contribuyendo así a incrementar sus métricas de uso. Conseguimos financiación en el proyecto EGI-ACE con el fin de mantener e integrar mejor ambos desarrollos con EGI, lo que ayudará a la sostenibilidad a largo plazo de la plataforma desarrollada.

La metodología de la investigación se basará en los siguientes principios: i) definición de un grupo de estrecha colaboración con claros puntos de interacción; ii) dividir el trabajo por unidades funcionales y niveles conceptuales; iii) realizar una revisión periódica de los resultados de la comunidad para obtener retroalimentación de los logros externos; iv) desarrollo y perfeccionamiento de prototipos para validar las arquitecturas y transferir los resultados y, v) definir una estrategia de explotación y difusión para impulsar las actividades de investigación.

8.5. Paquetes de Trabajo

La estructura por paquetes de trabajo (WP) se proporciona en esta sección. Se ha creado un paquete de trabajo por objetivo que implica desarrollo (O1-O4). La difusión y explotación de los resultados del proyecto es una actividad transversal a todo el proyecto (O5). En la Figura ?? se muestra un diagrama general de la arquitectura propuesta, así como la interacción entre los componentes.

8.5.1. WP1: Infraestructuras computacionales híbridas elásticas para el continuo

Periodo de ejecución: T1-T8

T1.1 Infraestructuras seguras de múltiples usuarios (*multi-tenant*) para diversas nubes Esta tarea proporcionará medios automatizados para realizar despliegues híbridos de infraestructuras virtuales en todo el continuo de la nube, con un enfoque especial en las plataformas de orquestación de contenedores como Kubernetes. Con este objetivo, se crearán recetas automatizadas para redes definidas por software (SDN) y redes superpuestas utilizando la herramienta de DevOps Ansible y se describirán adecuadamente utilizando TOSCA (*Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications*) [282] para que estén completamente integradas con el Administrador de infraestructura (IM) servicio de implementación. Además, el enrutador virtual INDIGO se integrará para brindar

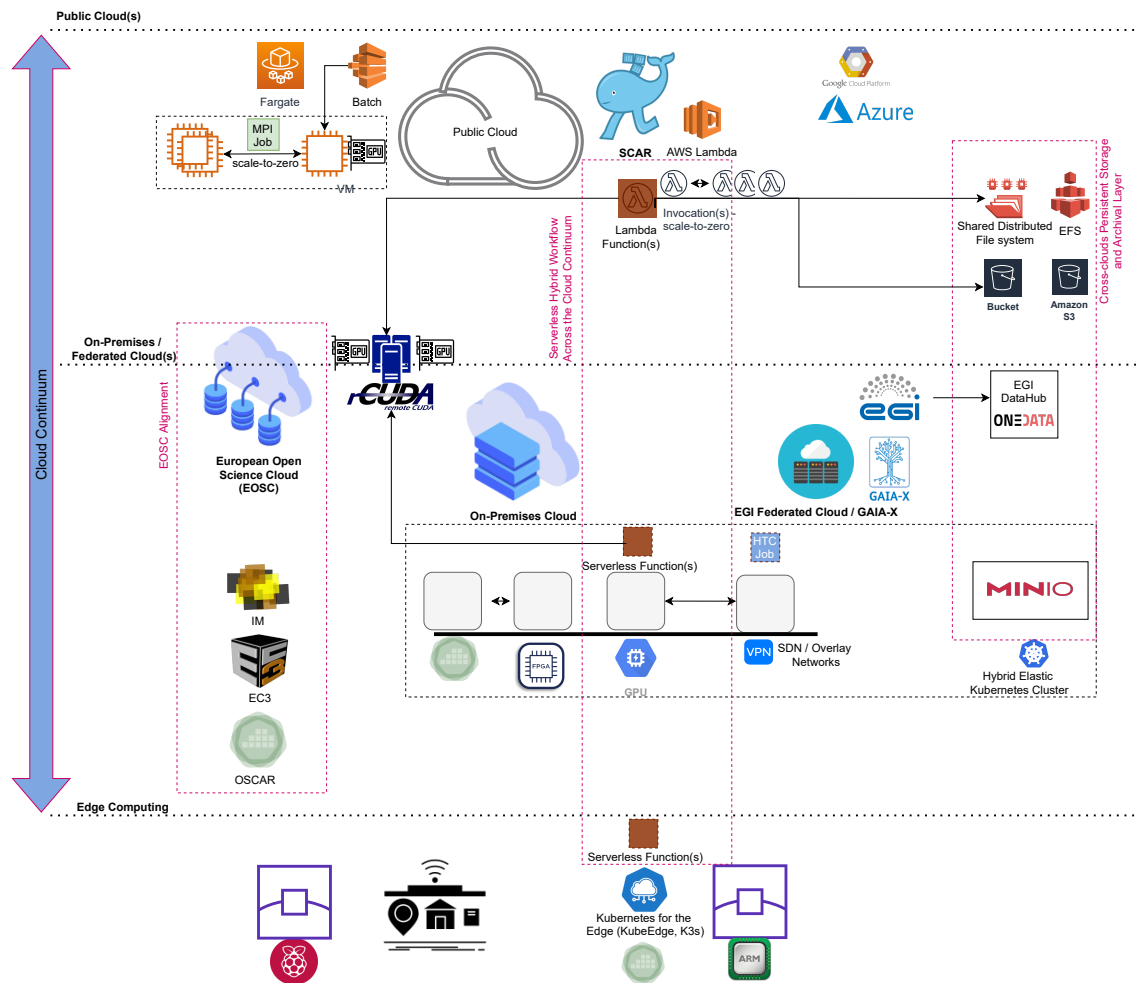


Figura 8-1: Arquitectura global para computación científica sin servidor en todo el continuo de la nube.

acceso OpenVPN a redes privadas aisladas que albergan clústeres OSCAR que respaldan la ejecución de las funciones de FaaS. También se proporcionarán medios automatizados para crear nubes privadas virtuales (VPC), como límites de redes privadas aisladas dentro de las nubes locales existentes, como OpenStack.

T1.2 Modelos de elasticidad para la nube continua Esta tarea desarrollará complementos adicionales en el sistema de elasticidad CLUES para el aprovisionamiento anticipado de recursos para plataformas FaaS con el fin de acomodar mejor las capacidades de escalado a cero para los nodos de trabajo de los clústeres OSCAR locales. Los modelos de elasticidad abarcarán el escalado considerando la latencia / coste con el fin de aprovisionar recursos lo más cerca posible de los datos y de la nube disponible que proporcionen un tiempo de respuesta promedio más bajo con la cantidad óptima de recursos informáticos requeridos, especialmente útil en el caso de infraestructuras federadas como EGI Federated Cloud.

T1.3 Supercomputación serverless acelerada Esta tarea se beneficiará de los servicios sin servidor existentes para admitir la informática acelerada de alto rendimiento. En primer lugar, evolucionará el modelo de ejecución proporcionado por SCAR para adaptarse a tamaños de imagen de Docker más grandes y un almacenamiento persistente con estado. Esto requiere proporcionar soporte de sistema de archivos distribuido basado en POSIX para plataformas sin servidor a fin de combinar los beneficios de la elasticidad automatizada y el aprovisionamiento de recursos con la conveniencia de un back-end con estado potencialmente compartido entre invocaciones.

Con la reciente introducción de soporte para Amazon EFS [22] en AWS Lambda, tenemos el potencial de desbloquear casos de uso adicionales en nuestra herramienta SCAR al proporcionar un sistema de archivos distribuido consistente basado en POSIX basado en NFS que se puede compartir entre múltiples invocaciones de Lambda, eliminando así por completo la restricción de 10 GB de almacenamiento efímero que estaba disponible antes de este cambio. Esto introducirá beneficios sin precedentes para poder ejecutar prácticamente cualquier aplicación empaquetada como contenedor en una plataforma sin servidor. Se integrará la compatibilidad nativa con imágenes Docker que se introdujo recientemente en AWS Lambda. Esta tarea también integrará la aceleración basada en GPU en plataformas sin servidor locales. Las técnicas de virtualización de GPU remotas implementadas por Remote CUDA (RCUDA) serán evaluadas para probar su viabilidad técnica y adecuación de costes en entornos de computación sin servidor restringidos.

En escenarios donde *PCI passthrough* esté disponible, proporcionaremos los medios para aprovechar el acceso directo desde el contenedor Docker a las GPU basadas en tecnologías como *nvidia-docker*, que se optimizarán para configurarse automáticamente en el momento del despliegue. Esta tarea también introducirá soporte para aplicaciones basadas en MPI de ejecución dirigidas por eventos con aprovisionamiento dinámico de clústeres y capacidades de escalado a cero.

T1.4 Computación serverless confidencial Esta tarea se beneficiará de los servicios sin servidor existentes para respaldar la ejecución de funciones en contenedores que se ejecutan en entornos de ejecución de confianza (TEE - *Trusted Execution Environment*). Primero, evolucionará el modelo de ejecución proporcionado por SCAR para adaptarse a los requisitos específicos impuestos por las extensiones de TEE, como Intel SGX. Se utilizarán contenedores especiales (como SCONE o Asylo) para entregar entornos de ejecución encriptados que se ejecutarán cifrados en la memoria, asegurando la confidencialidad del procesamiento. Esta tarea es especialmente relevante para análisis de datos sensibles.

8.5.2. WP2: Plataforma de procesamiento de datos basada en eventos para la Nube Continua

Periodo de ejecución: T1-T12

T2.1 Computación serverless eficiente para el borde (*edge*) Esta tarea adaptará OSCAR para beneficiarse de la computación en el borde de la nube. Primero, se introducirá soporte para ejecutar los servicios centrales de OSCAR en una distribución de Kubernetes minificada (como K3S [204] o KubeEdge [210]). Incluiremos pipelines de entrega continua (CD) adicionales basadas en Jenkins para crear imágenes de contenedores de múltiples arquitecturas que permitan ejecutar estos componentes en dispositivos de baja potencia como Raspberry PI.

Se utilizará una estrategia para la minimización de contenedores basada en nuestro desarrollo de código abierto minicon [240]. Para la adquisición de datos en el borde, planeamos integrar Apache Nifi [32] como fuente de eventos / datos. Esta tarea también incluirá la capacidad de realizar una delegación automatizada y oportunistas (*cloud burst*) en una nube pública, que estará respaldada por la capacidad de SCAR para aprovechar un FaaS público como AWS Lambda. Para ello, se desarrollarán modelos energéticos y conscientes de los costes con el fin de optimizar la solicitud de asignación de recursos desde el borde a la nube pública.

T2.2 Workflows Serverless Dirigidos por Eventos Esta tarea evolucionará el lenguaje de SCAR en un lenguaje de definición de funciones (FDL) completo que puede admitir la descripción de múltiples proveedores de almacenamiento, incluidos, entre otros, proveedores de almacenamiento en la nube pública (por ejemplo, Amazon S3), soluciones de almacenamiento en bloque locales (por ejemplo, MinIO [241], Ceph [84] o Rucio [316]) y soluciones de espacios de datos federados (por ejemplo, Onedata [284] o dCache [107]).

En la medida de lo posible, adoptaremos / contribuiremos a la especificación de flujo de trabajo sin servidor. Se desarrollará una API REST segura basada en JWT (*JSON Web Tokens*) para recibir solicitudes de implementación y, por lo tanto, introducir capacidades del lado del servidor

para SCAR, que actualmente es una herramienta del lado del cliente.

T2.3 Flujos de trabajo acelerados basados en eventos / datos híbridos para diferentes nubes Esta tarea producirá la integración de SCAR y OSCAR para acomodar la ejecución de flujos de trabajo híbridos sin servidor en nubes públicas y locales. Se agregarán extensiones al FDL creado en T2.2 con el fin de ampliar el alcance de los flujos de trabajo de las funciones a través del continuo de la nube con la capacidad de utilizar back-end de almacenamiento de datos dispares que pueden actuar como desencadenantes de las múltiples fases de dichos flujos de trabajo.

Se desarrollará una interfaz gráfica de usuario (GUI) basada en la web para facilitar la composición gráfica basada en bloques de dichos flujos de trabajo para facilitar su adopción por usuarios menos técnicos, manteniendo tanto la API como la CLI para una mayor versatilidad. Esta aplicación web, desarrollada utilizando el patrón arquitectónico JAMStack, se integrará con la solución EGI Check-In para agilizar la adopción del servicio por parte de múltiples comunidades científicas, ya que este sistema AAI (*Authentication and Authorization Infrastructure*) está integrada con múltiples IdP (proveedores de identidad). Esto también facilitará el proceso de integración del servicio en el EOSC, como se requiere en las pautas de incorporación, un proceso que ya seguimos para integrar tanto IM como EC3.

8.5.3. WP3: Planificación Eficiente Serverless para la Nube Continua

Periodo de ejecución: T1-T13

T3.1 Redistribución dinámica de tareas para computación desequilibrada en plataformas serverless

Las plataformas serverless como AWS Lambda ofrecen plataformas informáticas no homogéneas con rendimientos dispares, como se identificó en nuestro trabajo anterior [77], lo que provoca una distribución desequilibrada de la carga de trabajo, que afecta el tiempo y el costo de ejecución general, que se factura en milisegundos.

Para mitigar este problema, esta tarea investigará métodos para redistribuir dinámicamente las cargas de trabajo a través de las invocaciones de funciones aprovisionadas con la ayuda de balanceadores de carga serverless que redistribuyen dinámicamente la cantidad de carga de trabajo para las ejecuciones de computación de altas prestaciones que normalmente surgen en tareas altamente paralelas, con el fin de proporcionar estrategias computacionales rentables y con limitaciones de tiempo en plataformas serverless para este tipo de aplicaciones científicas.

T3.2 Programación de FaaS consciente de los recursos para requisitos especiales

Esta tarea implementará estrategias de programación específicas para plataformas locales y públicas sin servidor. Para el primero, se establecerá la integración del soporte de GPU para la ejecución acelerada de

funciones para plataformas sin servidor, tanto usando estrategias nativas como nvidia-docker como subcontratando solicitudes a conjuntos externos de GPUs usando RCUDA.

Investigaremos cómo se puede utilizar RCUDA desde los estrictos entornos de ejecución de servicios serverless públicos como AWS Lambda, lo que se convertiría en el primer enfoque para admitir la computación basada en GPU para funciones públicas sin servidor, con un impacto potencial en numerosos casos de uso en el área de Deep Learning, que se benefician de este hardware acelerado. Esta tarea también maximizará la ubicación de los datos de función en nubes híbridas para acercar el cálculo lo más posible a los datos al poder desplazar el cálculo a lo largo del continuo de la nube. Finalmente, esta tarea integrará el uso en la nube automatizado y oportunista para clústeres basados en SLURM para proporcionar una integración perfecta con servicios serverless públicos a través de SCAR.

Esto proporcionará una puerta de enlace automatizada para trabajos ejecutados por el sistema de colas SLURM y, por lo tanto, los usuarios se beneficiarán de los beneficios altamente escalables de la tecnología sin servidor dentro de sus cargas de trabajo tradicionales, no solo para trabajos secuenciales sino también para trabajos basados en MPI, mediante una delegación sin problemas en servicios administrados como AWS Batch.

T3.3 Programación y configuración multicapa de funciones FaaS Esta tarea apoyará las optimizaciones automatizadas de las asignaciones de recursos para las funciones serverless a través de la monitorización introspectiva y la reconfiguración dinámica para mantener el nivel de servicio mientras se minimiza el costo económico. Esto se hará considerando tanto los requisitos de la aplicación como el comportamiento histórico en caso de que no se pueda realizar un perfil de rendimiento a priori para reducir los requisitos de cálculo.

Esta tarea también se centrará en el uso automatizado de la nube FaaS desde las plataformas FaaS locales a las funciones FaaS públicas duplicadas para la ejecución acelerada de las ráfagas entrantes de trabajos. Los pronósticos de latencia se utilizarán como base para esta programación multicapa para que la implementación de una plataforma en la nube local pueda complementarse automáticamente con invocaciones de la misma función implementada en una plataforma FaaS pública. Con este objetivo, adoptaremos estrategias conscientes de la latencia comúnmente disponibles en DNS mediante balanceo de carga geográfico.

8.5.4. WP4: Casos de uso de aplicación

Periodo de ejecución: T1-T16

T4.1 Aplicaciones sin servidor en IoT: Smart-City y virtualización de ECU en el sector de la automoción Una aplicación prometedora de la computación sin servidor basada en la ejecución dirigida

por eventos es la distribución de la carga de trabajo entre cientos de dispositivos finales para aplicaciones de IoT en Smart Cities. El proyecto integrará resultados basados en contratos de investigación previos con empresas enfocadas en dispositivos finales en sistemas de distribución de agua limpia y sensores de alcantarillado y otros relacionados con la detección ambiental de parámetros de calidad de vida (comportamiento de abejas en colmenas distribuidas) con la plataforma diseñada.

Además, la virtualización de ECU (tablero de control electrónico) en un vehículo eléctrico es una tendencia en la última investigación innovadora de hoy para la prueba de software integrado en aplicaciones automotrices donde coexisten cientos de ECU en un automóvil eléctrico [172]. Estas aplicaciones utilizan pequeñas tarjetas electrónicas con microprocesadores de baja potencia que pueden aprovechar una plataforma híbrida FaaS para procesar datos de sensores del mundo real que van desde la temperatura o la presión del agua hasta el consumo de corriente en un motor eléctrico o cargador de batería.

T4.2 Flujos de trabajo bioinformáticos eficientes en nubes públicas La infraestructura de Omics-Cloud en BioBam Bioinformatics S.L. está diseñada para ejecutar tareas con algoritmos bioinformáticos, cubriendo diferentes procesos genómicos. Actualmente hay más de 40 algoritmos y se están integrando continuamente algoritmos adicionales. La plataforma, utilizada en todo el mundo, ejecuta miles de tareas todos los días. Con la ayuda de las herramientas y los servicios de monitorización en la nube, podemos obtener información sobre las ejecuciones y el comportamiento de la infraestructura.

Este caso de uso se centra en la adopción de canalizaciones de flujo de trabajo sin servidor, creadas a través de la plataforma desarrollada, con el fin de agilizar la ejecución de canalizaciones bioinformáticas en nubes públicas que se benefician de las capacidades ultraelásticas de servicios como AWS Lambda pero con los beneficios de los paquetes preempaquetados, suites de software, en contenedores. Este caso de uso demostrará los beneficios de la plataforma diseñada en un caso de uso industrial que busca flujos de trabajo automatizados, rentables y sin servidor que escalen a cero y puedan aprovisionar automáticamente los recursos óptimos.

T4.3 Flujos de trabajo de imágenes médicas eficientes y seguras en nubes híbridas El grupo de investigación de la propuesta trabaja en el Instituto de Instrumentación de Imagen Molecular, y colabora estrechamente con varios hospitales y empresas del área de biomedicina. En particular, el grupo tiene una colaboración sostenida en la provisión de servicios y recursos en la nube para ejecutar biomarcadores de imágenes médicas para el cáncer. Los proyectos PRIMAGE y CHAIMELEON son actualmente el marco más importante para esta cooperación.

En esta propuesta, el objetivo es ampliar los servicios en la nube que brindamos para admitir la computación segura y acelerada sin servidor (GPU) en un entorno híbrido en el que los datos confidenciales se procesan en entornos de ejecución confiables y los datos anonimizados o seudonimizados se procesan en nubes públicas externas. Esto permitirá desplegar un modelo de aprendizaje

	Year 1 (Trimesters)				Year 2 (Trimesters)			
Goal	1	2	3	4	5	6	7	8
1	M1.1	M1.2	X	M1.3	X	M1.4	X	M1.5
2	X	M2.1	X	M2.2	M2.3	X	X	M2.4
3	X	M3.1	M3.2	M3.3	M3.4	X	M3.5	X
4	M4.1	X	X	X	X	X	X	X

Figura 8-2: Planificación de la primera mitad (dos anualidades) del proyecto

en el que la parte informática más intensiva se realiza en dispositivos acelerados y la parte menos intensiva en computación se ejecuta en CPUs involucrando posiblemente TEEs.

T4.4 Procesamiento de datos geospaciales en nubes híbridas El grupo de investigación de la propuesta tiene una colaboración con INDRA Space para brindar servicios de infraestructura en la nube a su entorno de procesamiento de datos (gCore). Prevemos extender su funcionalidad para beneficiarse de los entornos informáticos elásticos basados en servidores para brindar soporte a la ejecución de cargas útiles externas bajo demanda. Este modelo se aplicará al análisis de datos satelitales de Copernicus, SMOS o PAZ.

8.6. Plan de Trabajo

Las tablas 8-2 y 8-3 describen el cronograma de los principales objetivos relacionados con el desarrollo (O1-O4) a lo largo de la duración del proyecto junto con los hitos esperados y los entregables, que se describen a continuación. O5 (difusión) se realiza a lo largo de todo el proyecto y, por lo tanto, se omite en el cuadro siguiente en aras de la brevedad.

8.7. Puntos de control y entregables

El resultado de los prototipos y las versiones finales involucrará lanzamientos de software de código abierto. MX.Y representa el hito Y-ésimo del paquete de trabajo X. Se especifica el trimestre en el que se alcanzará el hito.

	Year 3 (Trimesters)				Year 4 (Trimesters)			
Goal	9	10	11	12	13	14	15	16
1								
2	X	M2.5	X	M2.6				
3	X	M3.6	X	X	M3.7			
4	M4.2	X	M4.3	M4.4	X	M4.5	X	M4.6

Figura 8-3: Planificación de la segunda mitad (dos anualidades) del proyecto

- M1.1 Prototipo para el despliegue de redes definidas por software descritas en TOSCA, T1
- M1.2 Análisis de la latencia anticipada / aprovisionamiento de recursos consciente de los costes para plataformas FaaS, T2
- M1.3 Prototipo para integrar almacenamiento en bloque persistente remoto en un servicio público FaaS para ejecuciones con estado de aplicaciones científicas, T4
- M1.4 Prototipo para entregar entornos de ejecución encriptados que se ejecutarán encriptados en memoria, asegurando la confidencialidad del procesamiento, T6
- M1.5 Versiones finales, T8
- M2.1 Prototipo para ejecutar OSCAR en Kubernetes minificado con imágenes de contenedor minificado de varios arcos, T2
- M2.2 Prototipo para la adquisición de datos dirigida por eventos en el borde integrado en OSCAR, T4
- M2.3 Soporte de prototipo para el lenguaje de definición de funciones que involucra múltiples dispositivos de almacenamiento a lo largo del continuo de la nube, T5
- M2.4 Prototipo para el soporte de la definición y promulgación del flujo de trabajo híbrido sin servidor, T8
- M2.5 Prototipo para la composición de GUI basada en web integrada con EGI Check-In, T10
- M2.6 Versiones finales, T12

- M3.1 Prototipo para la redistribución de cargas de trabajo en plataformas públicas sin servidor para aplicaciones HTC, T2
- M3.2 Prototipo para integrar RCUDA con plataformas públicas sin servidor, T3
- M3.3 Prototipo para programar cargas de trabajo para maximizar la localidad de datos de función en nubes híbridas, T4
- M3.4 Prototipo para la integración del planificador SLURM con SCAR para la delegación automática de la nube, T5
- M3.5 Prototipo para la optimización automatizada de la asignación de recursos para funciones sin servidor mediante reconfiguración dinámica, T7
- M3.6 Prototipo para la delegación automatizada en la nube (FaaS) desde la plataforma FaaS local a un servicio público sin servidor utilizando estrategias de equilibrio de carga, T10
- M3.7 Versiones finales, T13
- M4.1 Análisis de requisitos de casos de uso, T1
- M4.2 Prototipo demostrativo para la integración de la computación sin servidor para escenarios de IoT, T9
- M4.3 Prototipo demostrativo para flujos de trabajo bioinformáticos eficientes en nubes públicas, T11
- M4.4 Aplicaciones de prototipo demostrativo para servidores sin servidor en TEE, T12
- M4.5 Aplicación de prototipo demostrativo para el procesamiento de datos geoespaciales en nubes híbridas, T14
- M4.6 Versiones finales de los casos de uso, T16

Aparte de los hitos identificados, habrá pequeñas mejoras y corrección de errores durante todo el proyecto en todos los paquetes de trabajo. Además, se prepararán y enviarán publicaciones para su publicación a lo largo del proyecto.

8.7.1. Gestión y Mitigación de Riesgos

La Tabla 8.2 muestra los riesgos asociados al proyecto así como una propuesta de mitigación.

Descripción del Riesgo	Mitigación de Riesgo
Se subestima el esfuerzo necesario. <i>Probabilidad:</i> baja. <i>Impacto:</i> medio	La experiencia de los miembros obtenida de proyectos europeos / nacionales anteriores que involucran el desarrollo de software asegura una estimación adecuada de los esfuerzos para completar los objetivos. Se realizarán revaluaciones periódicamente.
Calidad de producción insuficiente de software. <i>Probabilidad:</i> baja. <i>Impacto:</i> medio	Se adoptará una infraestructura CI / CD como parte del proyecto con las pruebas unitarias adecuadas siguiendo los requisitos de línea de base de Garantía de calidad del software identificados en proyectos de vanguardia como EOSC-SYNERGY.
Aparecen nuevos marcos computacionales no previstos inicialmente durante el proyecto. <i>Probabilidad:</i> alta. <i>Impacto:</i> bajo	Se desarrollará una plataforma extensible para facilitar la integración de nuevos marcos computacionales. El código abierto basado en codificación colaborativa (GitHub) también ayudará a otros a crear complementos para marcos adicionales.
Otros proyectos realizan desarrollos cuya funcionalidad se superpone con este proyecto. <i>Probabilidad:</i> baja. <i>Impacto:</i> medio	Los proyectos se seguirán cuidadosamente durante el proyecto y se pueden establecer colaboraciones con la comunidad de código abierto para objetivos comunes. Las herramientas y los servicios desarrollados se adaptarán para adaptarse a los cambios de funcionalidad en las herramientas y los servicios externos adoptados.
Los usuarios no adoptan la plataforma y la tecnología desarrollada. <i>Probabilidad:</i> baja / media. <i>Impacto:</i> medio	Se han diseñado casos de uso específicos en todas las disciplinas para mostrar los beneficios. Se ha definido un plan de difusión adecuado. Se planea la divulgación a través de múltiples canales. En el caso de una baja adopción, el proyecto reforzará la difusión a través de sesiones prácticas específicas sobre conferencias convencionales. Se pueden desarrollar casos de uso adicionales si otras comunidades de casos de uso son más reactivas.
Los servicios desarrollados no se adoptan dentro de la iniciativa EOSC <i>Probabilidad:</i> baja. <i>Impacto:</i> medio	El equipo tiene experiencia previa en el proceso de incorporación de nuevos servicios en el Portal EOSC. Alinearemos el desarrollo del servicio con las mejores prácticas requeridas para facilitar este procedimiento.

Tabla 8.2: Gestión y mitigación de riesgos del proyecto SERCLOCO

8.8. Impacto Esperado de los Resultados

8.8.1. Impacto Científico-Técnico

Este proyecto permitirá a los usuarios implementar aplicaciones científicas de procesamiento de datos sin servidor en infraestructuras virtuales provistas dinámicamente que se extienden a lo largo del continuo de la computación en la nube. Estas aplicaciones se expresarán utilizando un lenguaje similar a un flujo de trabajo de alto nivel que se puede componer a través de una aplicación basada en la web para facilitar la adopción por parte de los usuarios con menos inclinaciones técnicas.

Estos flujos de trabajo se implementarán a lo largo del continuo de la nube para beneficiarse del hardware informático acelerado (como las GPU), la escalabilidad ultra alta de los servicios públicos de FaaS y la capacidad de ejecutar aplicaciones secuenciales y aplicaciones basadas en MPI a partir de recursos aprovisionados dinámicamente utilizando costes rentables. Se usarán estrategias conscientes de la latencia que podrán recopilar y conservar datos de varios back-end de almacenamiento a lo largo del continuo de la nube. Por ejemplo, una institución puede capturar archivos de dispositivos periféricos, depositar archivos en un back-end de almacenamiento local acoplado a una plataforma FaaS que activa la ejecución de funciones para anonimizar automáticamente los datos y cargar los datos en una plataforma pública FaaS Cloud para realice inferencias aceleradas basadas en GPU para reducir el rendimiento total y terminar con los resultados de salida en, por ejemplo, EGI DataHub, una solución de almacenamiento federado para que otros científicos accedan a este conjunto de datos. Esta flexibilidad informática a lo largo del continuo de la nube no está disponible actualmente, pero será factible con los resultados de este proyecto. Esto permitirá a los usuarios beneficiarse de una asignación de recursos mejorada a lo largo del continuo de la nube para respaldar la ejecución eficiente de diferentes tipos de aplicaciones, fomentando así la competitividad y el progreso.

Los principales resultados del proyecto se liberarán como código abierto, lo que ha demostrado ser una estrategia muy eficaz para que nuestro grupo de investigación maximice el impacto. Nuestros exitosos desarrollos de software anteriores, como IM, EC3 y CLUES, financiados por proyectos anteriores de RETOS I+D, ya se han transferido tanto a la industria como a la comunidad de investigación, y aprovecharemos los canales ya abiertos, especialmente los de los proyectos internacionales. donde participamos. Actualmente estamos participando en importantes proyectos europeos a través de los proyectos EOSC-SYNERGY, EOSC-HUB y PRIMAGE del programa Horizonte 2020. Los proyectos europeos en los que participamos desde 2021 como AI-SPRINT y EGI-ACE, en los que integraremos los desarrollos realizados con casos de uso adicionales, así como en los que comienzan en 2022 (InterTwin, DT-GEO y AI4EOSC). Todos estos proyectos utilizan tecnologías de computación en la nube y, por lo tanto, nuestro objetivo es mantener una colaboración sostenible para futuras oportunidades de investigación en el área. Se logrará una contribución tangible a la EOSC integrando el servicio que se ofrecerá en EOSC Marketplace, utilizando recursos informáticos de EGI

Federated Cloud y otras iniciativas de nube federada como GAIA-X.

8.8.2. Diseminación y Plan de Gestión de Datos

El plan de difusión se centra en aumentar la conciencia, el uso y la sostenibilidad de los desarrollos tecnológicos del proyecto. El plan de difusión se centra en 4 actividades principales:

- Difusión científica. Se publicarán resultados del proyecto preferiblemente en revistas indexadas de alto impacto (por ejemplo, Future Generation Computer Systems, IEEE Access, Journal of Grid Computing) y, en segundo lugar, en conferencias de informática (por ejemplo, IEEE Cloud, ACM Symposium on Applied Computing, Euro-Par). Esperamos lograr cuatro artículos por año en promedio, esperando más publicaciones en la segunda mitad del proyecto.
- Difusión online. El proyecto creará una página web dedicada con el resumen, referencias a las entidades financiadoras, enlaces a los artículos producidos y otro material y enlaces a los repositorios donde se están desarrollando los componentes individuales. La difusión electrónica incluirá presencia en redes sociales, incluyendo videos de difusión en el canal de YouTube de nuestro grupo de investigación. Planeamos contribuir con material de capacitación a nuestros títulos de maestría y también a través de actividades de aprendizaje relacionadas con EOSC, como la plataforma EOSC-Synergy Learn.
- Campaña de prensa. Con el fin de dar a conocer a un público en general, el proyecto colaborará con las oficinas de prensa de la UPV y proyectos asociados para producir referencias en blogs, revistas y periódicos, relacionados con el proyecto.
- Campaña de eventos. El proyecto perseguirá la participación en los principales eventos de la comunidad, como la European Grid Initiative Conference, la Research Data Alliance, CloudScape y los encuentros organizados por la iniciativa European Open Science Cloud, especialmente en forma de charlas, demostraciones y manos. en sesiones que han demostrado tener un impacto importante.

Además, la plataforma desarrollada se ofrecerá a la comunidad científica a través de un servicio online que pretende integrarse en el EOSC Marketplace. Esto permitirá a los usuarios evaluar los beneficios de la plataforma y aumentar la sostenibilidad del servicio desarrollado a través de financiación en las próximas convocatorias europeas.

El proyecto identificará en los primeros seis meses los conjuntos de datos que se producirán y dará a conocer un Plan de Gestión de Datos, siguiendo las directrices del Ministerio de Ciencia e Innovación español¹³ y la Comisión Europea¹⁴. El DMP describirá los datos, objetivos y procedimiento, el

¹³Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación. <https://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menutem.26172fcf4eb029fa6ec7da6901432ea0/?vgnnextoid=1387571a3db06610VgnVCM1000001d04140aRCRD>

¹⁴Gestión de Datos. https://ec.europa.eu/research/participants/docs/h2020-funding-guide/cross-cutting-issues/open-access-data-management/data-management_en.htm

cumplimiento de los principios FAIR, los recursos necesarios para la conservación a largo plazo, los medios de seguridad de los datos y si es necesario los aspectos éticos. En resumen, a los conjuntos de datos se les asignarán identificadores persistentes a largo plazo (PID) utilizando infraestructuras de archivos de datos sostenibles como Zenodo, de acuerdo con las políticas de OpenAire. El software se almacenará en repositorios públicos (GitHub), que admiten la persistencia a largo plazo a través del programa GitHub Archive, bajo una licencia de código abierto (Apache 2.0) para facilitar la adopción. Se adoptarán recetas de implementación automatizada a través de Helm charts, roles Ansible almacenados en Ansible Galaxy o enfoques similares para facilitar la instanciación y replicación del servicio en múltiples infraestructuras informáticas.

8.8.3. Transferencia de Tecnología

La plataforma se ofrecerá como un servicio en línea utilizando el mismo enfoque que usamos con EC3 [71] para el caso específico de los clústeres virtuales elásticos. La sostenibilidad se puede garantizar mediante el despliegue de la plataforma en AWS utilizando una estrategia sin servidor basada en JAMStack para el front-end junto con un back-end sin servidor que se ejecutaría casi en su totalidad bajo la capa gratuita de AWS, según la cantidad de usuarios. Los recursos implementados dinámicamente se aprovisionarán con las credenciales de acceso del usuario a las nubes locales / públicas / federadas existentes. Si este modelo de explotación demuestra su beneficio, exploraremos la creación de una empresa spin-off para aprovechar los servicios derivados del proyecto.

El proyecto interactuará con EGI Federated Cloud, que proporcionó la financiación inicial para el primer prototipo de OSCAR durante 2019. Como los servicios que se desarrollarán en este proyecto son independientes de la infraestructura de la nube, serán interoperables con esta infraestructura. Incorporaremos la plataforma en EOSC Marketplace una vez que el software alcance el TRL (Technology Readiness Level) 8, donde ya tenemos los servicios incluidos. Esto abrirá un camino adicional para la sostenibilidad (financiación asegurada de las próximas convocatorias de consolidación de EOSC) y facilitará una adopción más amplia.

Por último, pero no menos importante, también se establecerán colaboraciones con empresas de TI para promover la adopción de la plataforma desarrollada, como es el caso del actual convenio de colaboración entre INDRA Space y la UPV para la integración de los servicios de aprovisionamiento y orquestación de la nube elástica en la suite gCore de INDRA o la arquitectura en la nube implementada para la empresa QUIBIM, spin-off del Hospital Universitario la Fe para el desarrollo de biomarcadores. El GRyCAP también ha colaborado en los últimos 10 años con empresas como ATOS-BULL, IECISA, T-SYSTEMS y Microsoft en el desarrollo conjunto o transferencia de tecnología de aplicaciones y servicios en la nube. Varias entidades han expresado su interés en los resultados del proyecto a través de cartas oficiales de apoyo, entre ellas ATOS, INFN, INDRA, LIP, BIOBAM y QUIBIM, las cuales están disponibles bajo petición.

8.9. Capacidad Formativa

Esta propuesta está auspiciada por miembros de GRyCAP en la que la formación en I+D+i está en el centro de nuestros valores. El GRyCAP está integrado en la Universitat Politècnica de València, institución con más de 36.000 alumnos, y ha recibido dos veces el premio Campus de Excelencia Internacional. 11 miembros del grupo son profesores de dicha universidad, y desarrollan su actividad docente en el área de informática, principalmente sobre Cloud Computing, Big Data, High Performance Computing y su aplicación a diferentes disciplinas científicas como la imagen médica y la ingeniería civil. Destaca especialmente nuestra docencia en el Máster Universitario en Computación en la Nube de Altas Prestaciones (MUCNAP), que incluye diversas asignaturas relacionadas con el Cloud Computing, tema principal dentro de esta propuesta. También impartimos asignaturas relacionadas con la nube en el Máster en Big Data Analytics, en el Grado de Data Science, en el Máster en Ciberseguridad y Ciberinteligencia, y también ofrecemos el primer curso de habla hispana totalmente online sobre Cloud Computing con Amazon Web Services, que ha capacitado a más de 1000 personas desde julio de 2013.

En los últimos diez años, el grupo ha elaborado 19 tesis doctorales y hay 3 tesis doctorales en curso. Las tesis presentadas en los últimos 10 años son (destacando el impacto de la internacionalización):

- Sergio López Huguet, “Infraestructuras en la nube elásticas, interoperables y basadas en contenedores para la Computación de Alto Rendimiento”, con una beca post-doctoral en la UPV, trabajando en el GRyCAP.
- Vicent Giménez Alventosa, “Plataformes avançades en el Núvol per a la reproduïibilitat d’experimentos computacionals”, trabajando en el GRyCAP.
- Diana María Naranjo Delgado, “Estrategias de Computación sin Servidor en Plataformas Cloud”, trabajando en el GRyCAP.
- Alfonso Pérez González, “Plataformas Elásticas Avanzadas para Computación de Alto Rendimiento en Infraestructuras Basadas en Contenedores y Sin Servidor”, 2020, trabajando para Zscaler.
- José Herrera Hernández, “Optimización de arquitecturas distribuidas para el procesamiento de datos masivos”, 2020, trabajando en el sector público.
- Andrei Stefan Alic, “Aceleración del montaje en NGS mediante el uso de algoritmos paralelos en infraestructuras de muchos núcleos”, 2016.
- Amanda Calatrava Arroyo, “Computación Científica de Altas Prestaciones sobre Plataformas Cloud Híbridas”, 2016.

- Abel Antonio Carrión Collado, “Arquitectura genérica para abordar desafíos bioinformáticos utilizando infraestructuras distribuidas ”, 2017.
- David Guerrero López, “ Algoritmos de altas prestaciones para la reducción de modelos ”, 2015.
- José Miguel Alonso Abalos, “ Computación Paralela y Tecnologías Grid en Problemas Estáticos y Dinámicos de Gran Dimensión: Aplicación al Cálculo de Estructuras ”, 2016.
- Andrés García García, “ Representación y gestión de dominios de computación en la nube basada en SLA ”, 2014, se convirtió en investigador postdoctoral en IBM Haifa, Israel y ahora trabaja como ingeniero de aprendizaje automático en Amazon.
- Miguel Caballer Fernández, “Gestión de Infraestructuras Virtuales Configuradas Dinámicamente”, 2014.
- Carlos de Alfonso Laguna, “Gestión Elástica y Eficiente de Infraestructuras de Cómputo”, 2014.
- José Salavert Torres, “Alineamiento inexacto de secuencias cortas de ADN en entornos de computación de altas prestaciones ”, 2014, se convirtió en programador científico en EMBL-EI
- Fernando Alvarruiz Bermejo, “ Computación de Altas Prestaciones en la Simulación y Optimización de Redes de Abastecimiento de Agua ”, 2016.
- Eloy Romero Alcalde, “ Implementación paralela de métodos tipo Davidson para problemas de valores propios a gran escala ”, 2012, ahora investigador postdoctoral en la Universidad de Virginia.
- Himer Ávila George, “Construcción de matrices de cobertura mediante computación en paralelo y en cuadrícula”, 2012.
- Carles Milián Enrique, “Optimización de dispositivos fotónicos no lineales: diseño de espectros de fibra óptica y sistemas plasmónicos”, 2012, ahora en École Polytechnique, París.
- Erik Torres Serrano, “Técnicas de monitorización y diferenciación de servicios para la asignación de recursos en entornos de computación grid, en base a indicadores de nivel de servicio.”, 2010, actualmente trabajando para LIFULL connect.

Las tesis actualmente en desarrollo son:

- Sebastián Risco Gallardo, “Estrategias y Herramientas de Computación Serverless Híbrida para Aplicaciones Científicas”, año de vencimiento previsto: 2023;
- Bogdan Robert Nica, “Computación en la nube científica eficiente, segura y optimizada para bioinformática”, año de vencimiento previsto: 2023;

- Fabio García Castro, “Segmentación automatizada basada en inteligencia artificial y biomarcadores de imagen para la caracterización de tejidos articulares a partir de imágenes de resonancia magnética como parte de un avatar de paciente digital”, previsto para el año 2022.

8.10. Equipo de Investigación

Se presenta brevemente el equipo de investigación del proyecto. . Se ha considerado irrelevante incluir la información sobre el equipo de trabajo. Se ha optado por mantener los resúmenes de los CVs en inglés a modo de *golden paragraph*, tal y como se presentó en la propuesta.

8.10.1. Investigadores Principales

Germán Moltó

Germán Moltó received his BSc and PhD degrees in computer science from the Universitat Politècnica de València (UPV), Spain, in 2002 and 2007, respectively. He has been a member of the Grid and High Performance Computing research group (GRyCAP) at the Institute for Molecular Imaging (I3M) since 2002. He is also an associate professor in the Department of Computer Systems and Computation (DSIC) at UPV. He has participated in several European projects (highlighting INDIGO-DataCloud and DEEP Hybrid-DataCloud). He has been Principal Investigator of two national research projects in the area of cloud computing (CLUVIEM and BigCLOE). He has published over 32 publications in journals listed in the Journal Citation Reports (JCR) and over a 100 papers in international and national conferences (H-index: 21, Google Scholar; 17, Scopus). He has supervised over 20 Master’s Thesis and 7 Doctoral Theses. He is currently participating in the H2020 EOSC-SYNERGY and EOSC-HUB projects. His broad research interests are in the intersection of cloud computing and scientific computing. He teaches Cloud Computing subjects in the Masters Degree in Cloud Computing and High Performance Computing, in the Masters Degree in Cybersecurity and Cyberintelligence, in the Masters Degree in Information Management and in the Masters Degree in Big Data Analytics. He is the creator of the Online Course in Cloud Computing with Amazon Web Services which has trained more than 1000 students in the last years. He is also an AWS Certified Solutions Architect.

Ignacio Blanquer

Prof Ignacio Blanquer is full professor of the Computer System Department at UPV involved in Parallel Computation and Medical Image processing, participating in more than 60 national and European Research Projects, has authored and co-authored 40 articles in indexed journals and book chapters and in more than 80 papers in national and international journals and conference proceedings. He has served as coordinator of the application area in the Spanish Network for e-Science.

He has been the project coordinator of EUBrazilCloudConnect (FP7), EUBra-BIGSEA (H2020) and ATMOSPHERE (H2020) and co-principal investigator in the BigCLOE national research project. Ignacio Blanquer leads the Spanish Network for Open e-Science and is the vice-director of the Institute of Instrumentation for Molecular Imaging. Ignacio Blanquer is the UPVs delegate for the European Open Science Cloud Association and works as an expert in the Spanish Ministry of Science and Innovation as coordinator of the Spanish Network for e-Science. Ignacio Blanquer also belongs to the multi-disciplinary research group GIBI 2³⁰ from La Fe Polytechnic University Hospital. As Professor, he teaches in the Master Degree on Parallel and Distributed Computing, the Master Degree on Intelligent Transportation Systems and the Master Degree on Informatics.

8.10.2. Equipo de Investigación

Federico Silla

Federico Silla received the MS and PhD degrees from Universitat Politècnica de València (UPV), Spain. He is Full Professor at the Department of Computer Engineering (DISCA) of that university. Furthermore, he worked for two years at Intel Corporation, developing on-chip networks. His research addresses high performance on-chip and off-chip interconnection networks as well as distributed memory systems and remote GPU virtualization mechanisms. The different papers he has published so far provide an H-index impact factor equal to 28 according to Google Scholar. Additionally, he is leading and coordinating the development and advancement of the rCUDA remote GPU virtualization middleware since it began in 2008. The rCUDA technology, which enables remote virtualized access to CUDA GPUs, is exclusively and entirely developed by Universitat Politècnica de València. Moreover, he is leading and coordinating the development of other virtualization technologies. He was also co-founder of the (now extinct) “Remote Libraries” company, which was aimed at providing technical support for the rCUDA technology. He has participated in program committees of the most important conferences in the area, such as IPDPS, ICPP, SC, PACT, ICS, ISCA, MICRO, etc., being also the guest editor of different Special Issues in journals such as Cluster Journal, Concurrency and Computation: Practice and Experience or Journal of Parallel and Distributed Systems. In addition, he has been an associate editor in the Journal of Parallel and Distributed Systems since 2015. He has also published 32 articles in journals indexed in the JCR quality index, more than 100 articles in top-level international conferences and 11 book chapters. He has given 42 invited talks and 14 tutorials in international conferences. With respect to his teaching activities, he teaches Computer Networks as well as High Performance Interconnects courses at the Computer Engineering School of Universitat Politècnica de València.

Marcos Antonio Martínez

Marcos Martinez received the MS and PhD degrees from the Universitat Politècnica de València (UPV), Spain. He has been a lecturer at the UPV since 1993. He is an Assistant Professor at the Department of Electronic Engineering (DIEO). His initial research laid on the VLSI design of circuits for telecommunications applications (mobile phones and integrated circuits for video processing). He joined the electronics division of Linköping University for one year in 1999 to address his dissertation in VLSI digital filters. He has published 16 scientific papers and book chapters in the areas of FPGA and VLSI design and internet of things (IoT) applications. He has been principal investigator and researcher in more than 20 projects in the areas of digital design and the environmental applications of IoT hardware devices. He has led and developed more than 50 private funding projects with different industrial companies. He has a strong commitment to product-oriented projects and in the relationship between private companies and the university. He holds a patent in the IoT applications and was the co-founder of a spin-off company from UPV. His present interests are focused on the development of electronics boards for hybrid and electric motors in the automotive sector and IoT applications. He holds the UPV representative board in the AUTOSAR consortium (in charge of the standardization of software for the automotive industry). He is a technical reviewer in several H2020 European projects in the area of smart-cities and green-energy applications at the city level. As Assistant Professor he teaches digital design at the Master Degree on Telecommunication, the Master Degree on Electronic Engineering and at the graduate level at the School of Telecommunication Engineering.

José Damián Segrelles

J. Damian Segrelles received his BSc. and PhD. degrees in Computer Science from UPV in 2000 and 2008. He is a member of the GRyCAP at the Institute for Molecular Imaging (I3M). He is also professor at the Department of Computer Systems and Computation (DSIC) at UPV. He has published over 60 papers in conference proceedings and more than 15 contributions to JCR-indexed journals in the areas of Cloud Computing, Grid Computing, High Performance Computing and Scientific Computing. He got a deep expertise in areas such as cloud computing and digital medical imaging. He has been principal investigator and researcher in various projects in these areas. Recent examples are: 1) two autonomic projects aims to develop a knowledge database based on radiological structured reporting in a Big Data context (2015-2016), and develop a collaborative cloud platform for a continuous integration of Quantitative Imaging Biomarkers through smart specialisation (2017-2018); 2) one national project for deploying computational Big data Infrastructures on top of Elastic Multi-clouds (2016-2020); and 3) one international project aims to design and enable e-infrastructures for intensive processing in a hybrid datacloud (2017-2020).

8.11. Presupuesto

La tabla 8.3 muestra el presupuesto inicialmente planteado para el proyecto de investigación. El proyecto fue finalmente aprobado con una partida de 145.321 € compuesta por 120.100 € en costes directos y 25.221 € en costes indirectos. Se aprobó un contrato pre-doctoral vinculado al proyecto.

Concepto	Descripción	Coste Imputable (€)	Justificación
Viajes y Dietas	Asistencia a congresos y jornadas de carácter científico, entre las que se relacionan en el apartado de diseminación de la propuesta. Se propone realizar 20 viajes a lo largo de la duración del proyecto	30.000	La difusión de resultados es fundamental en un proyecto de I+D.
Otros gastos	Alquiler de capacidad de cómputo en proveedores de Cloud público	3.000	El proyecto requiere el uso de plataformas de Cloud público como parte de la ejecución de aplicaciones en el continuo Cloud, principalmente sobre infraestructuras serverless de tipo FaaS.
Gastos de Personal	Licenciado, Ingeniero, Arquitecto o Graduado	108.000	Actividades de desarrollo e implementación en las tareas T1.2 y T.1.3 así como en la tarea T3.1. También participará en WP4, dando soporte a los casos de uso.
Gastos de Personal	Licenciado, Ingeniero, Arquitecto o Graduado	108.000	Actividades de desarrollo e implementación en las tareas T2.2 y T2.3. También participará en WP4, dando soporte a los casos de uso.
Adquisición de inventariable	Cluster de desarrollo y validación de dispositivos en el borde, compuesto por 16 equipos tipo Raspberry Pi, ventiladores/disipadores, racks de montaje y concentradores de red.	2.000	Equipamiento informático necesario para las pruebas de validación y escalabilidad del modelo de computación en el borde (edge computing).
Fungible y similares	Material diverso para la participación en eventos y la difusión de resultados (impresión de posters, folletos, tóner, etc.)	1.000	Creación de materiales de diseminación del proyecto para la difusión de resultados en eventos del área (demostraciones en congresos, ferias, etc.).

Tabla 8.3: Presupuesto del proyecto de investigación presentado por el candidato.

Capítulo 9

Artículo de Investigación

Adaptado de “S. Risco, G. Moltó, D. M. Naranjo, and I. Blanquer, “Serverless Workflows for Containerised Applications in the Cloud Continuum”, J. Grid Comput., vol. 19, no. 3, p. 30, Sep. 2021, doi: <https://dx.doi.org/10.1007/s10723-021-09570-2>. [313]”

Este capítulo presenta el trabajo de investigación, titulado “Serverless Workflows for Containerised Applications in the Cloud Continuum”, correspondiente al artículo homónimo publicado en la revista Journal of Grid Computing, revista en el primer cuartil (Q1) en 2020, posición 16/110 en el área “Comp. Science, Theory & Methods” con un factor de impacto de 3,642. Se ha optado por incluir de manera íntegra el contenido de la publicación, respetando el idioma original. De acuerdo al sistema CRediT¹, el candidato participó en la elaboración de este artículo con los siguientes roles:

- Conceptualization
- Methodology
- Validation
- Investigation
- Writing - Original Draft
- Writing - Review & Editing
- Supervision
- Project administration

¹<https://www.elsevier.com/authors/policies-and-guidelines/credit-author-statement>

- Funding acquisition

Abstract

This paper introduces an open-source platform to support serverless computing for scientific data-processing workflow-based applications across the Cloud continuum (i.e. simultaneously involving both on-premises and public Cloud platforms to process data captured at the edge). This is achieved via dynamic resource provisioning for FaaS platforms compatible with scale-to-zero approaches that minimise resource usage and cost for dynamic workloads with different elasticity requirements. The platform combines the usage of dynamically deployed auto-scaled Kubernetes clusters on on-premises Clouds and automated Cloud bursting into AWS Lambda to achieve higher levels of elasticity. A use case in public health for smart cities is used to assess the platform, in charge of detecting people not wearing face masks from captured videos. Faces are blurred for enhanced anonymity in the on-premises Cloud and detection via Deep Learning models is performed in AWS Lambda for this data-driven containerised workflow. The results indicate that hybrid workflows across the Cloud continuum can efficiently perform local data processing for enhanced regulations compliance and perform Cloud bursting for increased levels of elasticity.

9.1. Introduction

Cloud computing has become in the last decade the premier option for virtualised computing. It has increased hardware resource utilization and provided the ability to execute disparate computing workloads with complex requirements on shared computing infrastructures. Initial service delivery models, such as Infrastructure as a Service (IaaS), were exemplified by public Cloud services such as Amazon EC2 [25] and on-premises Cloud Management Platforms (CMPs) such as OpenStack [288]. These were later extended to accommodate additional models such as Platform as a Service (PaaS) and, more recently, Functions as a Service (FaaS). FaaS aims to rise the level of abstraction for application developers at the expense of relying on the infrastructure provider for automated elasticity, efficient virtual infrastructure provisioning and improved resource allocation.

Initial FaaS services, exemplified by public Cloud services such as AWS Lambda [41] and Azure Functions [236], provide event-driven execution of functions coded in certain supported programming languages, offering automated resource allocation and ultra-elastic capabilities that superseded the ones found in traditional IaaS offerings. For example, a Lambda function can support up to 3000 concurrent executions which is two orders of magnitude beyond the default number of virtual machines that can be deployed in a newly created AWS account, which is 20 (and can of course be increased upon request). This could only be achieved by using lightweight virtualization technologies, as is the case of Firecracker [1] which allows deploying micro Virtual Machines (microVMs) in less than a second. In general, lightweight virtualization such as Linux containers (LXC) [217], introduced in

2008, also paved the way for this success. Indeed, the increased popularity gained by Linux software containers fostered the emergence of Docker [115] in 2013, which spawned an entire ecosystem of tools that boosted innovation and widespread adoption.

Both enterprise-based workloads and scientific computing benefited from this trend to provide encapsulated applications with all the dependencies to guarantee successful execution across a myriad of computing platforms. Docker images turned into a *de facto* approach for consistent multi-platform application delivery. The advent of containers, together with the sustained development of Container Orchestration Platforms (COPs) such as Kubernetes [65], paved the way for implementing the event-driven capabilities of FaaS under open-source platforms such as OpenFaaS [285], Knative [207] and Apache OpenWhisk [31]. These platforms mimic the functionality of public FaaS offerings for the execution of functions coded in certain languages within the premises of an organization. This computing paradigm for the Cloud, in which dynamic resource allocation is managed by the Cloud infrastructure provider, was coined as serverless computing [45].

However, the benefits of serverless computing cannot be restricted to just function-based computing, especially in the case of scientific computing [178] where complex software dependencies [199], resource-intensive requirements [382, 293] and, sometimes, the necessity of accelerated hardware is required [100], features that are not currently available in public Cloud serverless offerings. Currently, an AWS Lambda function cannot run beyond 15 minutes, use more than 10240 MBytes of RAM, use any accelerated computing device such as GPUs or use an ephemeral storage space greater than 512 MB, thus jeopardizing the adoption of these platforms by scientific computing.

Also, new challenges arise for scientific applications to harness the computing continuum, as indicated in the work by Beckman et al. [51], where they identify multiple infrastructures on which computing takes place such as interconnected sensors from IoT/Edge devices to computer clusters and Cloud infrastructures. Workflow-like applications may benefit from the orchestration of resources along the computing continuum. These applications may gather data at the edge, perform local processing to comply with privacy regulations on on-premises computing platforms and seamlessly profit from the elasticity of public Cloud infrastructures to reduce overall makespan.

Towards this vision, this paper introduces an architecture composed of open-source components that supports the execution of workflow-based data-processing applications packaged as Docker containers that can elastically provision resources from on-premises Clouds and perform automated bursting into a public Cloud using an event-driven serverless approach. The flexibility of this architecture provides a step forward in defining data-driven workflows that can execute along the Cloud continuum.

After the introduction, the remainder of this paper is structured as follows. First, section 9.2 introduces the related work in the area of serverless scientific computing. Next, section 9.3 describes the components of the designed platform and the Functions Definition Language created to support

data-driven workflows along the Cloud continuum. Later, section 9.4 describes a use case to assess the benefits of the developed platform that integrates Deep Learning models with serverless computing to produce cost-effective processing of videos from surveillance cameras to detect mask usage by the population. Finally, section 9.5 summarizes the main achievements of the paper and points to future work.

9.2. Related Work

Several research groups understood from the early beginning that serverless computing could certainly benefit scientific computing. This is the case of the work by Jonas et al. [201] who introduced the PyWren tool to perform distributed computing using AWS Lambda, in order to support several programming models, building on the assumption that stateless functions can be a natural fit for data processing. Our earlier work in the area, MARLA (MapReduce on AWS Lambda)² by Giménez-Alventosa et al. [164] created a framework to execute Python-based MapReduce applications on AWS Lambda, thus producing a high-performant serverless open-source tool to execute High Throughput Computing (HTC) jobs without requiring any pre-provisioned computing infrastructure by the user. In this work we identified the unbalanced performance properties of serverless platforms such as AWS Lambda and produced a thorough research which identified performance variabilities in both network throughput and CPU performance for different invocations of the same Lambda function even with the same allocated resources. This sparked the need to create appropriate serverless load balancing strategies for HTC jobs that can minimise both execution time through proper dynamic load assignment thus resulting in reduced cost using the fine-grained billing models, as described in [165]. Moreover, the work by Fouladi et al. [155] also envisioned the mapping of thousands of parallel threads to multiple invocations of a Lambda function in order to achieve close to near-interactive completion times. They produced the *gg* software tool³ which performs distributed compilation of large code bases, together with other use cases such as video encoding, offering an API with bindings for Python and C++.

The report by Sewak et al. [333] summarises the different applications of serverless computing along with the advantages and disadvantages of the main FaaS platforms in public Clouds, anticipating their growth and adoption in the near future, as well as indicating the need for new tools to harness the capabilities of these platforms and facilitating their adoption by developers. The applicability of serverless architectures to serve AI models has also been investigated in numerous studies. For example, the study carried out by Ishakian et al. [197] analyses the application of AWS Lambda to serve lightweight deep learning models, as the maximum available ephemeral storage in a function is 512 MB, concluding that such platforms can be suitable for workloads running on warm functions.

²MARLA - <https://github.com/grycap/marla>

³gg - <https://github.com/StanfordSNR/gg>

However, their results show how cold starts can add significant overhead in latency times when compared to conventional services deployed on virtual machines. Additionally, the papers conducted by Christidis et al. [92, 93] propose a set of optimisations for deploying machine learning workloads on serverless platforms. Some of these optimisations are in fact aligned with those implemented in our work, such as minimizing container images or loading them on the ephemeral storage of functions in order to overcome the maximum size of the deployment package. These studies further conclude that it is worth adapting such applications to serverless platforms in view of the potential savings and robust elasticity, and point to the growing need to support specialised AI-accelerated hardware on such platforms.

Indeed, supporting serverless computing for scientific computing requires solving specific challenges that lie ahead the development of our early prototype. To begin with the first challenge, a problem that remains unsolved is chaining function composition to produce serverless workflows that can fully exploit resources from on-premises to public Clouds including computing at the edge for local data preprocessing. The serverless trilemma by Baldini et al. [46] identified that engineering function composition for a serverless application is possible but function composition must obey a substitution principle with respect to synchronous invocation and invocations should not be double-billed, what poses additional constraints to enact serverless workflows with respect to traditional workflow systems.

An early work by Malawski [221] explored the idea of serverless workflows for processing background tasks of Web applications and how to rethink serverless architectures for executing scientific workflows, introducing a prototype based on Google Cloud Functions coupled with the Hyperflow workflow engine. In this line, the work by Skluzacek et al. introduced Xtract, a service to process large collections of scientific files to extract metadata from various file types. They used funcX [88] to develop the prototype, a federated FaaS system to enable function execution across heterogeneous distributed resources. These functions are snippets of Python code and the system relies on Globus transfer to perform data staging. The authors found that it can be difficult to modify applications for stateful execution, since the state is not easily shared among functions. Thus, poorly designed solutions may lead to significant communication overhead.

Despite the large number of open-source FaaS frameworks, few research has been dedicated to serverless workflows, specially to those that are inherently data-driven because they require processing data across multiple stages of the workflow. For example, Faas-flow [332] provides function composition for the OpenFaaS framework by creating chains of functions that can be executed both synchronously and asynchronously with support for parallel execution with branching, even upon certain conditions. Other workflow engines that run on top of Kubernetes may be used to provide some support for serverless workflows. This is the case of Argo Workflows [33], an open-source container-native workflow engine for orchestrating parallel jobs on Kubernetes which models multi-

step workflows as sequences of tasks via DAGs (Directed Acyclic Graphs) and which provides support for event-driven workflow automation.

In fact, serverless workflows is an active research area where several contributions are being proposed. For example, the work by Ristov et al. [314] introduces a language to describe function choreographies to connect serverless functions. Indeed, the Serverless Workflow Specification (SWS) [95] was recently approved as a Cloud native Sandbox level project to define declarative workflow models that orchestrate event-driven serverless applications. We expect that this specification will bring benefits in the area of consistency, providing a common way of describing serverless workflows, portability and accessibility, to provide interoperability among serverless workflow runtimes. However, for the time being, this specification allows to compose a workflow from pre-existing serverless functions and, therefore, does not involve function provisioning. Techniques such as *Dynamic parallelism* supported by AWS Step Functions are beneficial for the orchestration of microservices-based applications. Nevertheless, this technique is mainly employed for control-driven workflows, where the connections between the activities or tasks in a workflow represent a transfer of control from the proceedings task (or tasks) to the one (or ones) that follow [335]. However, the focus of our work is on data-driven workflows where a task input depends on the output data generated by the previous task.

Concerning the support to the computing continuum, several authors have previously explored this topic. For example, the work by Balouek-Thomert et al. [47] presents a vision to enable such a computing continuum and they set the focus on enabling edge-to-cloud integration to support data-driven workflows. They focus on stream-oriented workflows to filter data near the sources but they do not use a serverless approach and no open-source implementation is provided. The work by Baresi et al. [48] introduces the A3-E unified model for the Mobile-Edge-Cloud continuum which exploits the FaaS model to bring computation to the continuum. It uses Apache OpenWhisk to support the implementation together with AWS Lambda. However, no support for workflows is introduced.

It is precisely at the verge of this state-of-the-art that lies this contribution, producing an open-source platform that provides serverless scientific computing along the Cloud continuum, including both on-premises and public Clouds, and that supports data-driven workflow enactment in serverless platforms and multi-Cloud hybrid deployments of infrastructures. To best of the author's knowledge, this is the first platform that supports event-driven serverless scientific computing simultaneously harnessing resources from multiple Clouds (exemplified in our case via OpenStack and AWS Lambda). The platform, together with the definition of the use case described in this paper has been released as open-source, publicly available in GitHub, for the sake of reproducibility.

9.3. Components to Support Serverless Workflows along the Cloud continuum

This section identifies the main components employed to support hybrid serverless workflows that can span across on-premises Clouds and public Cloud platforms to process data that may be captured at the edge. First, the SCAR⁴ [296] software for serverless scientific computing in public Clouds is described. Later, the open-source OSCAR⁵ [298] framework to support serverless computing for data-processing applications in on-premises Clouds is covered. Finally, this section introduces the Functions Definition Language (FDL) created to define the functions together with its relationship with data-driven serverless computing workflows.

The main contribution of this paper lies in the development of a new version of the OSCAR framework to match the same computing model provided by SCAR. This allowed the integration of both components to support the same computing model across both on-premises and public FaaS platforms for data-processing applications. Another key contribution is the development of a novel FDL to define data-driven serverless workflows that can execute along the Cloud continuum, in order to support the definition of use cases that require processing at different levels of this continuum. Notice that, by building on existing open-source software that is being used in production we aim to foster long-term sustainability of the developed architecture.

9.3.1. SCAR: Serverless Scientific Computing in Public Clouds

SCAR is an open-source framework that supports a High Throughput Computing model [295] to create embarrassingly parallel event-driven file-processing serverless applications on public FaaS platforms, currently supporting AWS Lambda. The applications can be packaged as Docker images that can be optionally stored in Docker Hub [114] (alternative means include Amazon S3). This allows to execute complex scientific applications in AWS Lambda, thus being able to spawn up to 3000 parallel invocations (depending on the region used). There are strict computing requirements per invocation in AWS Lambda, which are currently 10240 MB of RAM, 512 MB of ephemeral storage that is potentially shared across invocations and 15 minutes of execution time. Therefore, this typically requires using container minimization strategies in order to fit the Docker container within AWS Lambda's runtime environment, such as those available in tools like *minicon* [240], which analyses an application execution to obtain a filesystem that exclusively contains the dependencies detected.

For those applications that do not fit within AWS Lambda's computing requirements, SCAR provides a seamless integration with AWS Batch [26] an elastic-cluster as a service offering by AWS

⁴SCAR - <https://github.com/grycap/scar>

⁵OSCAR - <https://github.com/grycap/oscar>

which dynamically deploys a cluster in charge of executing jobs packaged as a Docker images and which can grow and shrink depending on the number of jobs queued up at the Local Resource Management System (LRMS). This integration allows to delegate into AWS Batch functions invocations that require longer execution times, larger amount of memory or even GPU resources for accelerated execution, as described in the work by Risco et al. [312].

However, there are applications that can benefit from the event-driven behaviour of serverless platforms but that require strict privacy requirements and, therefore, cannot be run in a public Cloud provider. Also, there are organizations that are already operating an on-premises Cloud managed by a Cloud Management Platform such as OpenStack [287] and, therefore, do not want to spend additional economic cost from provisioning resources from a public Cloud. The OSCAR platform described in the following section was developed to support these scenarios.

9.3.2. OSCAR: Open-Source Serverless Computing for Data-Processing Applications

OSCAR is an open-source platform to support the Functions as a Service computing model for compute-intensive applications. OSCAR can be automatically deployed on multi-Clouds in order to create highly-parallel event-driven file-processing serverless applications that execute on customized runtime environments provided by Docker containers than run on an elastic Kubernetes cluster that grows and shrinks depending on the usage of resources.

The automated deployment of an OSCAR cluster on multi-Clouds is achieved using:

- IM (Infrastructure Manager) [74], a TOSCA-compliant [283] Infrastructure as Code (IaC) tool to deploy complex customized virtualised infrastructures on the major on-premises and public Infrastructure as a Service providers.
- CLUES (CLUster Elasticity System) [12], an elasticity manager that allows virtual clusters to grow and shrink in terms of the number of nodes. It has plugins for popular systems such as Kubernetes, Apache Mesos, SLURM, etc.
- EC3 (Elastic Cloud Computing Cluster) [77], which combines the two developments above to deploy automated self-scaling clusters on multi-Clouds.

An OSCAR cluster features the integration of the following components:

- Kubernetes [65], a container orchestration platform, thus managing containerised applications across multiple hosts. It provides basic mechanisms for deployment, maintenance, and scaling of applications.
- OpenFaaS [285], an open-source FaaS framework to execute short-lived functions on top of a container orchestration platform.

- MinIO [241], an open-source object storage system with Amazon S3’s API compatibility.
- OSCAR, the component in charge of creating a function together with the required resources to support event-driven batch-based GPU-aware executions on top of the Kubernetes cluster for serverless scientific computing.

The creation of an OSCAR function allows users to upload files to the object storage system which triggers the execution of the function to perform the data-processing, with automated elasticity if it is required, and the output data is stored in any of the object storage systems supported. This is the case of Onedata [116] a global data management system that provides access to distributed storage resources for data-intensive scientific computations. This is used to support EGI DataHub, a federated data storage layer auspiced by EGI (European Grid Infrastructure), the largest federated Cloud in Europe. OSCAR is compatible with the EGI DataHub. Other object storage systems, such as Amazon S3, can be employed to store the output data, thus allowing to trigger the AWS Lambda functions.

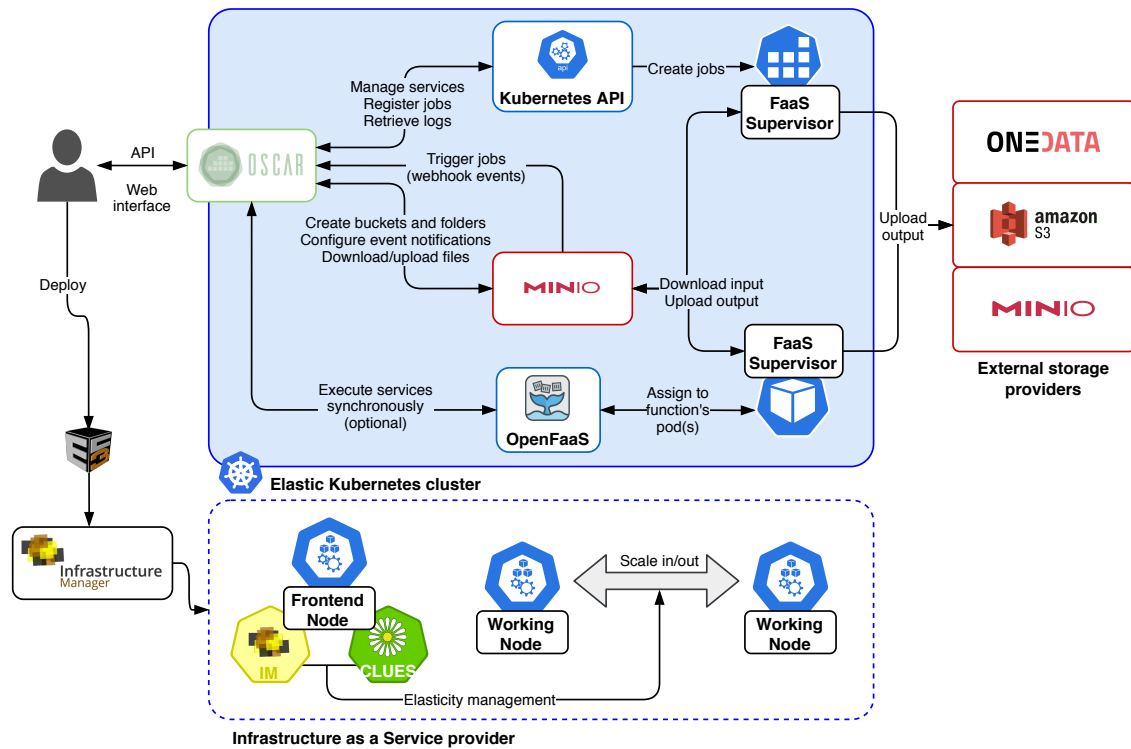


Figura 9-1: Architecture of the OSCAR platform and interactions among their services.

Fig. 9-1 describes the internal architecture of an OSCAR cluster. The bottom part depicts a horizontally elastic Kubernetes cluster that is deployed via EC3 from pre-defined TOSCA templates that are employed by the Infrastructure Manager (IM) to provision and configure the front-end node of the cluster. This node is configured with the required Kubernetes services, the CLUES elasticity

manager, and a private instance of the IM server deployed in the aforementioned front-end node. This way, the clusters become autonomous in deciding whether to scale out (provision additional nodes from the underlying Cloud) or to scale in, depending on the number of pods that are pending to be executed.

The upper part of the figure shows the main components of the cluster together with a typical workflow. For this contribution, OSCAR was completely redesigned in order to support the computing model offered by SCAR. To this aim, OSCAR exposes a secure REST API that receives requests to create functions. It is responsible for creating the corresponding input and output buckets in MinIO, depending on the function configuration, and configure the event notifications in order to trigger the function execution upon a file upload to the input bucket. OpenFaaS is employed in order to perform synchronous executions of function invocations, typically short-lived, which is the most common use case of serverless computing. However, in order to support resource-intensive event-driven scientific computing, asynchronous executions are required. To this aim, OSCAR creates a Kubernetes job for each asynchronous invocation that are delegated into the Kubernetes workload scheduler for efficient execution. These jobs are wrapped with the FaaS supervisor⁶, an Input/Output data manager especially created for multi-cloud settings, which allows to gather data from input data storages and upload output data into the corresponding data storages. The supported data storages are depicted in the right part of the picture.

Security has been addressed using best practices depending on the infrastructure being employed. For example, Lambda functions use pre-defined IAM (Identity and Access Management) Roles⁷ that follow the Principle of Least Privilege (PoLP) so that they can only access the resources required, such as an Amazon S3 bucket to store the generated output data. The deployment via EC3 of the Kubernetes cluster dynamically generates a token for the user to connect to the OSCAR web-based user interface and tokens to access the Kubernetes dashboard and MinIO browser, in case the user wants to directly access them. Dynamic generation of secrets prevents from reusing passwords that would cause severe security implications such as unauthorized access breach that could be exploited for nefarious purposes. Moreover, the OSCAR API requires basic auth and is exposed through a Kubernetes ingress that supports SSL. Finally, Onedata leases tokens, which can be revoked at any time, in order to provide access to the space.

9.3.3. Functions Definition Language for Data-Driven Serverless Workflows

To support the deployment of data-driven workflows of serverless functions that require complex data-processing, we opted for defining a YAML-based Functions Definition Language (FDL) that specifies the requirements for each function and how they are linked. Notice that, unlike the Serverless

⁶FaaS Supervisor - <https://github.com/grycap/faas-supervisor>

⁷IAM Roles: https://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/id_roles.html

Workflow Specification (SWS) which provides a workflow definition out of existing FaaS functions, our language focuses on the definition of the functions to be dynamically created across the hybrid Cloud. Therefore, our proposal could be coupled at a later stage with the SWS language to provide a portable, interoperable description of workflows out of the dynamically created functions from our platform.

Two top-level resources are defined in a FDL (see a sample document in Fig. 9-2, used to support the case study described in section 9.4):

- Functions, which are created in a Cloud provider and they are assigned a name, a certain amount of computing resources together with a shell-script that will be executed, as part of the function invocation, inside a container created out of a specific Docker image that may available in Docker Hub. The function will be triggered whenever a file is uploaded to a specific folder within a storage provider and the shell-script will be in charge to perform the data processing on the file.
- Storage Providers, which become sources of events for input data processing and store the output data results from a function invocation. By using as output from a function the input storage provider from another function, a precedence relationship is established among them and a data-driven link is created.

```

---
functions:
  aws:
    - lambda:
        name: scar-mask-detector
        memory: 1024
        init_script: mask-detector.sh
        container:
          image: grycap/mask-detector-yolo:mini
        input:
          - storage_provider: s3
            path: scar-mask-detector/intermediate
        output:
          - storage_provider: s3
            path: scar-mask-detector/result
    oscar:
      - my_oscar:
          name: oscar-anon-and-split
          memory: 2Gi
          cpu: '1.0'
          image: grycap/blurry-faces
          script: blurry-faces.sh
          input:
            - storage_provider: minio
              path: oscar-anon-and-split/input
          output:
            - storage_provider: s3.my_s3
              path: scar-mask-detector/intermediate
  storage_providers:
    s3:
      my_s3:
        access_key: xxxxxx
        secret_key: xxxxxx
        region: us-east-1

```

Figura 9-2: Functions Definition Language file to deploy the workflow used in the following section.

Notice that our platform focuses on data-processing applications and, therefore, each function is linked to an input storage provider (so that the function is invoked upon a file upload) and also to one or more output storage providers (where the output file results of the processing will be stored). The choice of Docker allows to have complex execution environments that may be required by scientific applications, which typically rely on multiple libraries, require specific OS distributions, etc. This way we can have a consistent execution environment whether using a public Cloud or an on-premises one. Note that SCAR's ability to handle Docker images as runtime environments within both AWS Lambda and AWS Batch also supports the decision to use Docker images in this environment.

The choice of shell-scripts instead of providing bindings for specific programming languages responds to the goal of supporting scientific applications, which are typically legacy applications that are unfeasible to be adapted to other programming languages other than those initially used to code them. Also, this allows to execute *any* application that supports the command-line, thus broadening the scope of applications that can be supported, instead of forcing developers to adapt their legacy applications to a certain programming language.

The integration of SCAR and OSCAR tools, together with the adaptation of the FaaS Supervisor, has been carried out in order to support these new FDL files. For this purpose, as previously indicated, OSCAR has been redesigned to support the function definition model through its REST API, along with other improvements such as a refreshed web interface and the ability to retrieve execution logs for enhanced visibility. The SCAR tool has also been improved to allow communication with OSCAR endpoints, as well as a parser update to handle the new functions definition files. Finally, the FaaS Supervisor required minor changes to support the loading of storage providers' credentials from the new files. In this way, as shown in Fig. 9-3, SCAR has become a tool capable of orchestrating resources to support file-processing serverless computing along the Cloud continuum. Hence, SCAR manages the creation of the required resources both in AWS and in the OSCAR cluster together with the corresponding output folders in the Onedata space. The composition of the different steps of the workflow is achieved by using the output bucket of one function as the input of the subsequent one. Therefore, to start the execution of the workflow, users only have to upload a file to the input bucket of the first function.

Note that infrastructure management is being left out from the FDL, in line with the serverless approach of delegating in the Cloud provider for this task. In our case, it is at deployment time of the OSCAR cluster when the user/administrator indicates the maximum number of nodes of the cluster, together with their computing requirements. This way, the user can focus on the definition of the application workflow and let the cluster auto-scale within the on-premises Cloud. In the case of functions created with SCAR, the concurrency limits can be specified by the user at creation time.

In order to demonstrate the benefits of the designed platform, the following section introduces a use case related to public health in smart cities.

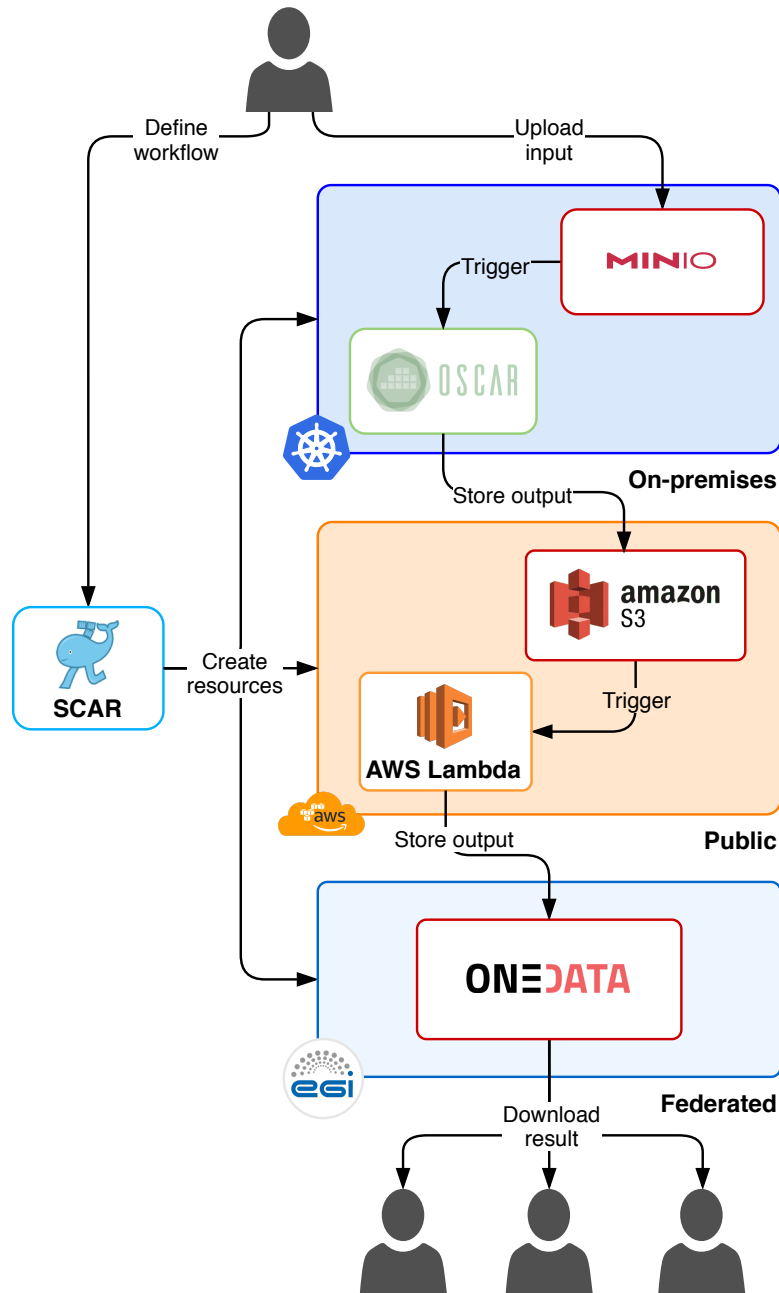


Figura 9-3: Simplified diagram of a hybrid serverless workflow that involves public, on-premises and federated cloud resources.

9.4. Use Case: Mask Wearing Detection via Anonymised Deep Learning Video Processing

Data analysis in the context of smart cities is an active area of research and the role of data processing (Big Data) to extract knowledge from dense networks of sensors across a city is summarised

in the review work by Nuaimi et al. [8], in the work of Camero et al. [78] and in the work by Chen et al. [90]. As an example, the work by Bello et al. [52] highlighted the importance of sound as a source of information about urban life, focusing on monitoring noise pollution and audio surveillance. Indeed, the work by Spadini et al. [338] focused on ambient sound processing across smart cities in order to detect abnormal events such as gunshots, sirens, etc.

Using a similar approach, we focus in this study on smart camera networks [309], which are distributed systems that perform computer vision tasks using multiple cameras. These have implications in activities such as surveillance with cameras that capture the natural movement of individuals and vehicles in everyday environments, as indicated in the work by Chen et al. [89].

This use case targets an scenario of video surveillance in which it is required to provide increased monitoring capabilities for the authorities to take better public health decisions. With the COVID-19 global pandemic that affected the entire world starting late 2019, many national authorities have regulated the mandatory use of face masks in order to minimize the spread of the virus across the population. To this aim, this use case introduces a workflow entirely based on open-source components that allows to determine the people that are not wearing a mask out of sampled images from video recordings that could be obtained from a network of cameras distributed throughout a city. This may allow public health authorities to better devote resources to minimize this trend in the specific areas being monitored.

However, according to the NIST Guide to Protecting the Confidentiality of Personally Identifiable Information (PII) [230], a person's face is considered a PII because it can unequivocally identify a human being. Therefore, in order to protect the privacy of the individuals, a pre-processing stage is performed in order to blur the faces before applying a deep learning model to perform the face mask recognition. This is why a hybrid serverless workflow is required so that processing is performed along the Cloud continuum, where data is captured at the edge (camera devices), pre-processing is carried out in an on-premises Cloud for regulatory compliance purposes and, finally, processing and storing of final results is carried out in a public Cloud using a serverless platform for increased elasticity and long-term persistence.

The steps of the workflow can be shown in Fig. 9-4. A set of cameras from a smart camera network periodically take short videos that are automatically uploaded to an on-premises Cloud with a MinIO installation. Each uploaded video triggers an event that starts the "Anon and split" function within the OSCAR cluster in order to extract a frame every 5 seconds of video and perform the initial anonymisation phase on the extracted images to blur the faces using the BlurryFaces tool [242]. This phase takes an average of 65 seconds to chunk and anonymise 1 minute of video at a resolution of 1920x1080. Therefore, considering the computational requirements and the need to comply with the local regulations related to the use of PII, this phase can be performed in the on-premises Cloud.

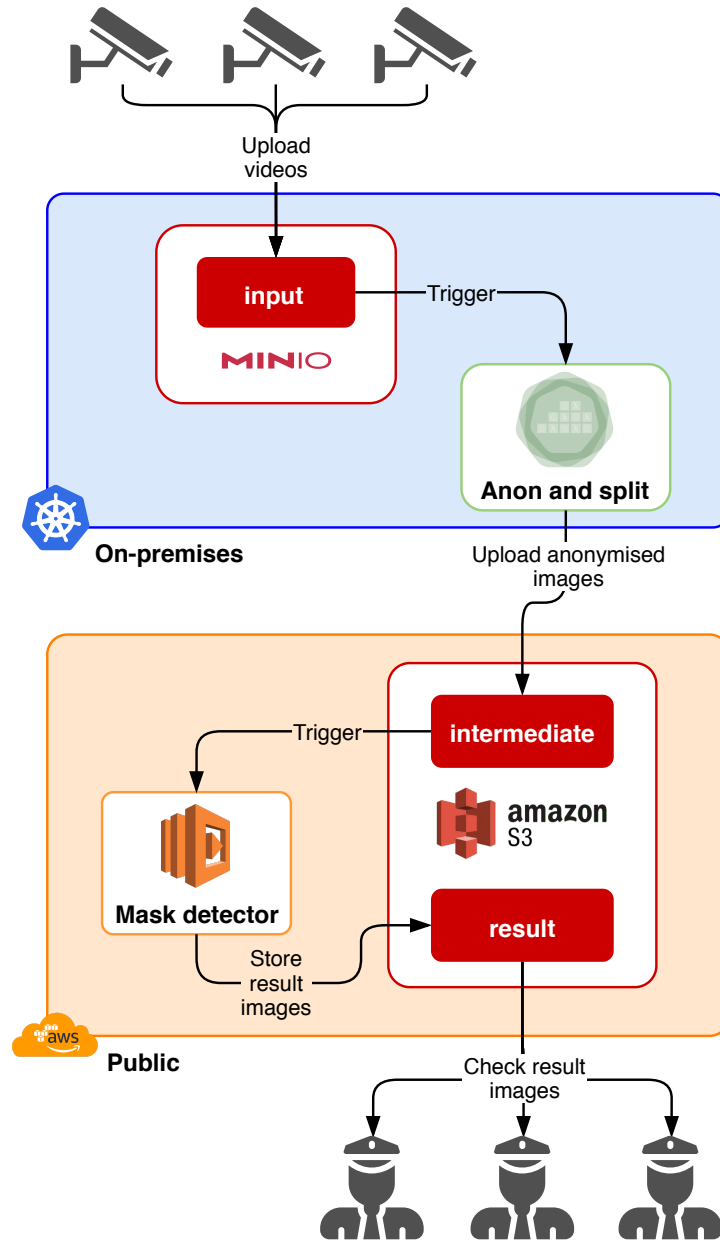


Figura 9-4: Workflow for the defined use case involving face mask detection on anonymised images on a hybrid Cloud.

The resulting anonymised images are then uploaded to an Amazon S3 bucket in order to start the inference process in the public Cloud. Each uploaded image triggers the “Mask detector” Lambda function responsible for using the *face-mask-detector* [306] Deep Learning model in order to compute the percentage of people in the picture that are not wearing a face mask. The output images are made available in another Amazon S3 bucket to guarantee long-term data persistence and for the responsible stakeholder to take actions upon the results obtained. We rely on Amazon S3 instead of

EGI DataHub to store the output data for the sake of easier reproducibility. A sample image result of the processed workflow is shown in Fig. 9-5.



Figura 9-5: Result image that differentiates people not wearing face masks.

Notice that this technology can be applied by the local authorities to perform a quantitative and systematic evaluation of the fulfillment of the regulations to determine if further enforcement is required. The ability to safely outsource the embarrassingly parallel part of the workflow to a public Cloud supports the scalability of the designed approach.

The following subsections describe the approach employed to create the workflow, together with optimization techniques applied for increased cost-effectiveness.

9.4.1. Optimal Resource Allocation for the Lambda Function

The allocation of computing resources for an AWS Lambda function is linearly dependent on the amount of allocated RAM. Hence, increased amount of RAM may reduce the execution time but, at the same time, increases the cost, which is billed in milliseconds of execution time. Therefore, in order to choose the optimal amount of memory to achieve cost-efficient executions in a timely manner, we relied on AWS Lambda Power Tuning [81], an open-source tool to optimize Lambda functions for cost/performance using a data-driven approach. The tool performs the execution of

the function with different memory allocations in order to compute both the execution time and the total cost.

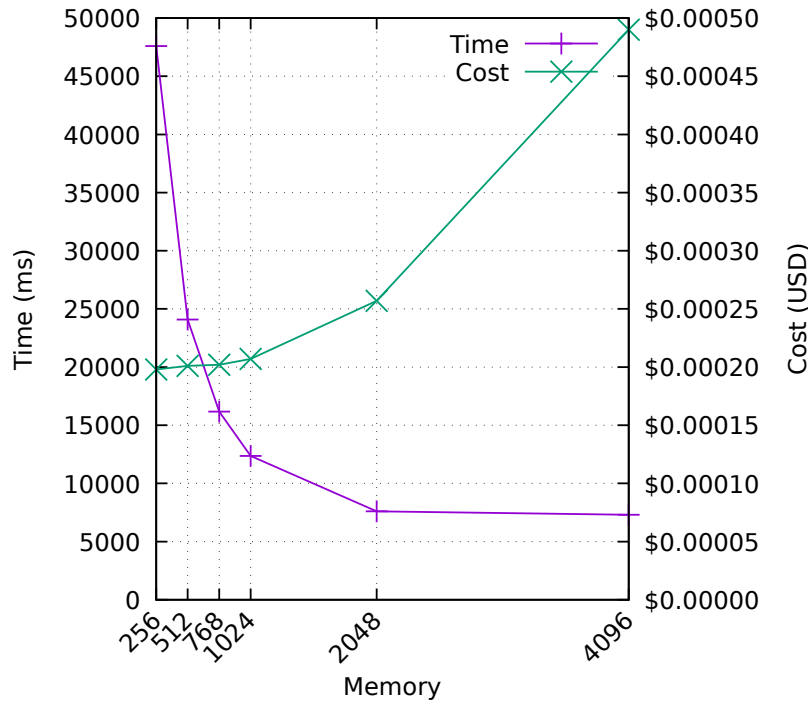


Figura 9-6: Time and cost analysis for the mask detector function running on AWS Lambda.

Fig. 9-6 shows the output results obtained by the aforementioned tool showing average values ($N = 5$ repetitions) for the execution cost and the execution time for the mask detector function running with different RAM values starting at 256 MB, the least amount of RAM required to execute the deep learning model, until 4096 MB. Larger memory amounts have been omitted since the execution time remained at similar values, as can be seen in the line between 2048 MB and 4096 MB, while the cost kept increasing. Note that the first invocation for each memory amount is performed when the container image is not available in the AWS Lambda environment, which results in an increased execution time due to the cold start, while in the remaining ones (i.e. when the Docker image is already available for the function invocations) no variation is appreciated. The function was created using SCAR in the *us-east-1* region and outside of a VPC (Virtual Private Cloud), which provides faster execution times.

The figure shows that the best cost is obtained with the least amount of memory, at the expense of achieving the worse (maximum) execution time. Notice that the execution time reduces almost linearly when using up to 512 MB of RAM. From this point on, increasing the RAM, which proportionally affects the CPU allocation, provides moderate improvements in the execution time with an increased cost, which starts to grow considerably from 1024 MB upwards. Finally, allocating 4096 MB provides a marginal improvement with respect to 2048 MB at the expense of a substantial cost

increment. For this particular application, the optimal amount of memory lies between 768 and 1024 MB of RAM, depending on the budget restrictions of the user.

Several key results are obtained from this analysis. On the one hand, allocating additional memory to a Lambda function tends to reduce the execution time, but this is not always the case (compare the execution time with 2048 and 4096 MB of RAM in the figure above). On the other hand, the execution time is billed in milliseconds and, therefore, optimization is a mandatory strategy when creating a Lambda function. Marginal optimizations on a Lambda function that are executed a large amount of times end up in producing significant cost savings.

9.4.2. Case Study Design

Two scenarios were designed in order to prove the benefits of the designed platform. In the first one, the whole workflow is executed on the on-premises platform. In the second one, the proposed hybrid workflow has been used, which involves resources both from the on-premises Cloud and the public Cloud. This allows to better assess the benefits of adopting a hybrid approach along the Cloud continuum.

The on-premises platform employed to conduct the experiment consists of an elastic Kubernetes cluster deployed with the EC3 tool, since the use of an Infrastructure as Code (IAC) [275] approach allows to guarantee deterministic provisioning of customized virtual infrastructures. The cluster is composed of a front-end node and a maximum of 5 working nodes, each one with 4 vCPUs and 8 GB of memory. The underlying infrastructure is a physical cluster supported by OpenStack which includes 14 Intel Skylake Gold 6130 processors, with 14 cores each, 5.25 TB of RAM and 2 x 10GbE ports and 1 Infiniband port in each node.

For the “Anon and split” function, which always runs on the OSCAR platform, 1 vCPU and 2 GB of memory were set. Note that although the working node instances have 4 vCPU, the internal components of Kubernetes require a small amount of resources (0.2 vCPU and 250 MB approximately), which makes the 4 entire vCPUs unavailable for processing. Therefore, the Kubernetes scheduler can only assign for execution three function jobs simultaneously on the same working node. Moreover, the “Mask detector” function was executed on the public or on-premises Cloud depending on the scenario. Considering the results of the study carried out in the section 9.4.1, 1024 MB of RAM were chosen for this function in both scenarios, setting 1 vCPU when running in the on-premises OSCAR cluster.

The SCAR client was used to perform the workflow deployment, depicted in Fig. 9-4 across the hybrid infrastructure using the FDL file shown in Fig. 9-2. This file shows the definition of two functions, one in AWS Lambda and one in the OSCAR cluster, together with their computing requirements. It also indicates the Docker image from which a container will be created to execute the script that will process the file that triggers the execution of the function. Decoupling the

infrastructure provisioning with the workflow deployment allows to reuse the underlying provisioned infrastructure to support multiple hybrid workflows from different users, thus supporting a multi-tenant approach.

To perform the different tests, a sample video with a resolution of 1920x1080 pixels and a duration of 186 seconds was used. After the “Anon and split” phase this resulted in 37 images to be processed by the “Mask detector” function. The different experiments conducted on each scenario together with the results obtained are presented below.

9.4.3. Results and Discussion

This section analyses the results obtained from the execution of the different scenarios previously defined.

Video Processing Analysis

In order to prove the effectiveness of hybrid serverless workflows for processing data produced at the edge, the times obtained after 5 workflow runs to process a single video were measured. As mentioned above, the first function is responsible for extracting frames from the input video every 5 seconds and then applying an anonymisation strategy based on distorting the faces. This “Anon and split” function will always run on the on-premises platform (OSCAR), which will ideally be deployed on private Cloud infrastructures that comply with established data protection regulations, or even on intermediate devices located near the edge (fog computing). Afterwards, the “Mask detector” function will be triggered by each image resulting from the previous function, hence it will be possible to evaluate its performance when processing several images in parallel on both scenarios.

Fig. 9-7 shows the times obtained for each function after processing the sample video 5 times in the two defined scenarios. The first function required an average time of 206.4 seconds on the first scenario and 227.4 seconds on the second one. This increment is caused by the uploading of the images to the input bucket of the second function, which in the first case was located in the same cluster (due to the use of MinIO), while in the hybrid workflow is on Amazon S3, so the files must be uploaded via the Internet.

In the second function, a significant improvement can be seen due to the massive parallelism supported by AWS Lambda, which allows all the images to be processed in parallel. The average time obtained in the first scenario was 111.4 seconds, since the maximum level of parallelism was 3 processing jobs within a single node. Notice that to process a single video, the CLUES elasticity manager of OSCAR does not have enough time to scale out the cluster by deploying additional working nodes. In AWS Lambda, however, the processing of all the images completed in an average of 19.6 seconds, which supposes an improvement of 82.4%. As you may observe, the processing time of the 27 images in AWS Lambda is longer than that of a single image, i.e. not all are strictly

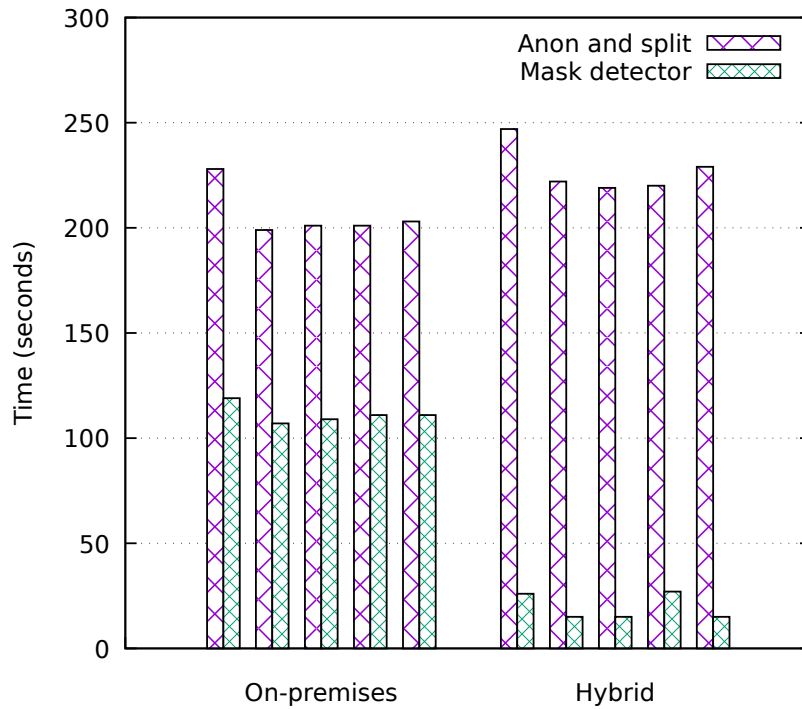


Figura 9-7: Execution times of the workflow functions in the two defined scenarios.

performed in parallel. This is due to the fact that the time has been measured from the moment the first image starts to be processed until the result of the last image is saved. Delays in uploading files to S3 from the first function directly affect the total image processing time, which causes that not all the images are uploaded simultaneously. Therefore, good network connectivity between the two Clouds will considerably increase the performance of the second function.

Moreover, as observed in the figure, the first execution of each function has longer times than the rest. This can be explained by the fact that these values are measured when the function is triggered for the first time on the platform. On the one hand, in the OSCAR Kubernetes cluster, the first time a function is executed on a working node, the container image must be downloaded from Docker Hub, which generates a delay of up to 13% in the first function and 10% in the second one. Notice that the image used in the first function is considerably larger (1.51 GB) than that used in the second function (219 MB), as it has been reduced by *minicon* to fit on the constrained environment of AWS Lambda. On the other hand, the “Mask detector” function in the second scenario is performed on AWS Lambda and, as described in [297], if the function is “cold”, the time taken to download the container image must be added to the time taken to start up the corresponding execution environment, increasing the gap from the average value.

Also, the execution cost of the “Mask detector” function in the second scenario has been analysed. As discussed in the section 9.4.1, the optimal performance point for the function in AWS Lambda was approximately 1024 MB of RAM. The average billed time after a cold start of the function is

12908 ms, which translates into an image processing cost of \$0.00021556. On the other hand, the subsequent executions, having the image of the container available, will be much faster, obtaining an average billed time of just 2123 ms and a cost of \$0.00003545. Summarizing, the processing cost of the 37 images generated by the video can range from \$0.00131165, when the function is “warm”, to \$0.00797572 in the worst case, if all the executions were triggered exactly at the same time and none of them had the container image in the file system.

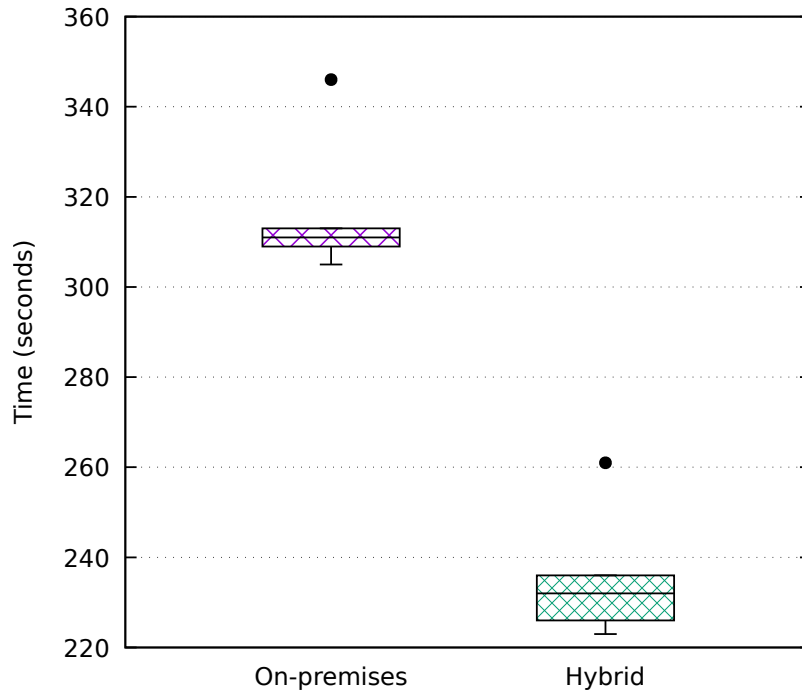


Figura 9-8: Total execution times of the workflow in the two defined scenarios.

The total times measured when performing a complete workflow execution are shown in Fig. 9-8. As mentioned above, the maximum values in each scenario, displayed in the box chart as outliers, match the first invocations of each function when the container images are not present in the working node and, in the case of AWS Lambda, the function is cold. Despite the fact that these situations considerably increase the time needed to complete the workflow, they can easily be avoided by downloading the images when each node in the cluster is started. For AWS Lambda several techniques exist to keep the functions “warm”, such as invoking them periodically or activating the *Provisioned Concurrency* feature, at the expense of increasing the cost of the application.

In an edge computing scenario, on-premises clusters used by the sensors (the surveillance cameras in the experiment) will be of reduced scale so they cannot scale up to the sizes of AWS Lambda. Moreover, automatic scaling up the cluster through CLUES would require booting up resources and for this specific case will imply a prohibitive overhead. Although the figures of the experiment with a larger-scale on-premise cloud would have been more competitive with respect to the AWS Lambda,

they would not be comparable in a large-scale production-level scenario.

Parallel Video Processing Analysis

In order to test the scalability of the designed system, we executed the workflow under the two scenarios with several number of videos to be processed. The videos were uploaded simultaneously to the input bucket thus simulating the data capturing process from several cameras at the edge. Fig. 9-9 shows the results obtained. Notice that the benefits of performing a hybrid approach appear since the beginning, as identified in the previous section, but the margin of improvement increases as the workload increases. Indeed, the impressive elasticity capabilities of AWS Lambda, that may perform up to 3000 parallel invocations greatly surpasses the bottlenecks that are typically found in on-premises Clouds where the parallel execution slots are limited to those available in the provisioned infrastructure.

At a more detailed level, the workflow execution for the processing of a single video on the first scenario has only been executed on one node. Despite the fact that CLUES triggers the scale-out order to the 4 remaining working nodes shortly after the creation of the 37 Kubernetes jobs for treating the images, all the jobs ended up on the active WN before the new ones completed their start up and configuration process. This means that resources are wasted when the load is low, as the platform is able to scale, but not in time. Thus, after a period of idle time the new nodes are shut down again. As can be seen, when the on-premises platform receives more load (starting from 5 videos), the processing time is reduced in both scenarios as a result of the availability of more resources for parallel job processing.

It is important to point out that the gap between the two lines in Fig. 9-9 can be closed by increasing the number of parallel execution slots and reducing the time until they are initially available for execution. The former is bounded by the underlying physical hardware available, which is fixed, and the allocation of resources to the deployed Virtual Machines, i.e., the instance types, which can be configured at deployment time. The latter depends on the elasticity rules employed in the cluster. In our case, the CLUES elasticity manager governing the rules to scale out (add additional nodes) and scale in (terminate the free nodes) was configured to only start the front-end of the cluster and a working node in charge of performing the job executions. This is a conservative strategy that aims to minimize energy consumption in an on-premises Cloud and only reactively provision additional resources whenever they are needed. Since CLUES rules can be configured, the user may prefer to have a pre-provisioned fleet of VMs that are immediately available upon moderate changes in the workload to be processed.

The use of an open-source stack that can be fully configured by the user in order to seamlessly perform both infrastructure provision along the Cloud continuum and data-driven workflow enactment using a serverless approach is an important step forward in widespreading the adoption of this

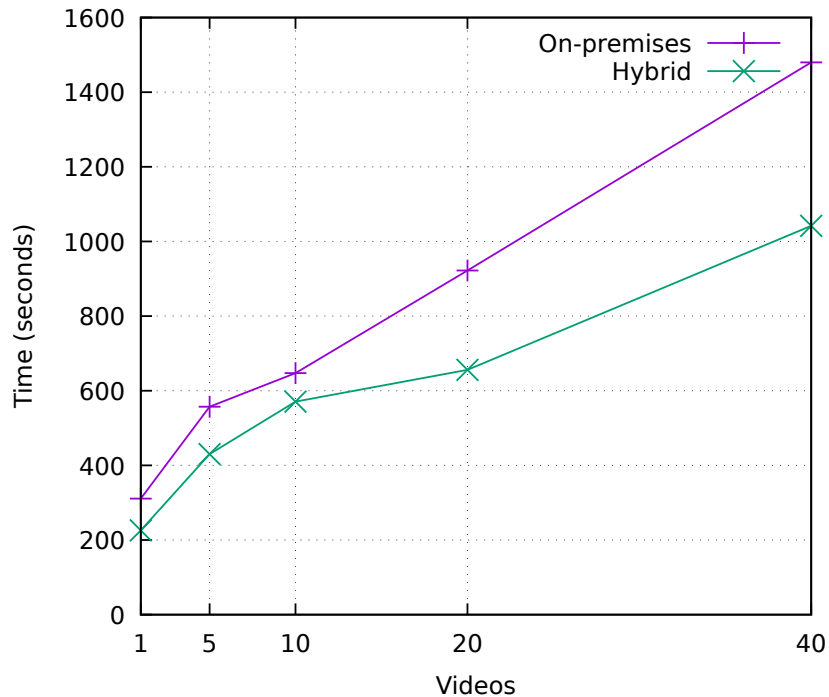


Figura 9-9: Measured times after processing different amounts of videos in parallel.

techniques for scientific computing. Traditional serverless use cases focused on unpredictable bursts of short-lived requests, as is the case of web applications. However, we have demonstrated that compute-intensive, workflow-based applications can also benefit from the event-driven capabilities and automated resource management provided by serverless computing.

9.5. Conclusions

This paper has introduced an open-source platform that supports the definition of event-driven file-processing workflows that can execute across the Cloud computing continuum that features underlying elasticity in the provisioning of resources. The ability to Cloud burst into a public Cloud using a serverless approach introduces an unprecedented level of elasticity when compared to traditional approaches based exclusively on Virtual Machines.

The seamless integration between SCAR, which supports the execution of containers within AWS Lambda to bring serverless for scientific computing, and OSCAR, which provides the FaaS computing model for file-processing applications on Kubernetes clusters, has allowed to create hybrid data processing workflows across the Cloud continuum. These workflows can orchestrate automated provisioning of resources both in the on-premises Cloud, through elastic Kubernetes clusters and in the public Cloud, through the use of serverless services such as AWS Lambda.

A use case based on smart camera networks with applications in smart cities for video surveillance

has been envisaged and assessed, in order to efficiently determine the usage of face masks across the population out of processed videos using Artificial Intelligence models. The use case has been made publicly available in GitHub⁸ in order to guarantee its reproducibility. The experiments show that it is affordable and efficient to deviate a computing intensive part of the processing to AWS Lambda, rather than processing it on limited-scale, on-premises clusters, even if those clusters would have better network connectivity. This fact is more evident as the scale factor increases

Future works include dynamic resource orchestration across the Cloud-to-Things continuum, where the workflow can anticipate the expected incoming workload in order to further adapt the resources. This would minimize the amount of time invested in provisioning additional nodes within the on-premises Cloud and the cold-start incurred by the Lambda functions once they have scaled-to-zero. We also plan to adapt OSCAR to minimalistic Kubernetes distribution to move part of the event-driven functionality of OSCAR closer to the edge, by enabling it to run on IoT devices, allowing the composition of workflows that begin the processing on the data gathering device itself.

9.6. Acknowledgements

The authors would like to thank the European Union for the project “Artificial Intelligence in Secure PRIVacy-preserving computing coNTinuum” (AI-SPRINT), with code 101016577, funded under the H2020 Framework Programme and also the regional government of the Comunitat Valenciana (Spain) for the project IDIFEDER/2018/032 (High-Performance Algorithms for the Modeling, Simulation and early Detection of diseases in Personalized Medicine), co-funded by the European Union ERDF funds (European Regional Development Fund) of the Comunitat Valenciana 2014–2020.

⁸Mask detector workflow - <https://github.com/grycap/scar/tree/master/examples/mask-detector-workflow>

Capítulo 10

Conclusiones

El proyecto investigador presentado plantea un ambicioso trabajo relacionado con la computación a lo largo de todo el continuo, desde el borde de la nube hasta las infraestructuras proporcionadas por los proveedores de Cloud público.

La Comisión Europea está apostando porque en el futuro la computación será ubicua e involucrará necesidades computacionales a lo largo de todo el continuo computacional. Prueba de ello fue el workshop “Digital Autonomy in the Computing Continuum”¹ así como la llamada de Horizon Europe titulada “Cognitive Cloud: AI-enabled computing continuum from Cloud to Edge (RIA)”, en el que el candidato ha participado en la preparación de una propuesta liderada por EGI Foundation.

La experiencia acumulada en la última década por el GRyCAP en el desarrollo de software y operación de servicios en producción integrados en infraestructuras federadas globales, como la ofrecida por EGI, ha permitido al grupo posicionarse como actor relevante en la creación de software para facilitar el uso de la nube para la ejecución de aplicaciones científicas.

El futuro de la computación requiere el desarrollo de herramientas que permitan integrar diversas estrategias computacionales ofrecidas tanto por proveedores de Cloud público como por infraestructuras on-premises y federadas para poder abordar problemas verticales, es decir, para un ámbito concreto. La variedad posibilita la oportunidad y, por ello, se espera el desarrollo de técnicas inteligentes que permitan mover cargas de trabajo a lo largo del continuo computacional. Desde el borde de la nube, donde se producen los datos, hasta servicios gestionados ofrecidos por proveedores de Cloud público, con el objetivo de acelerar la ejecución de aplicaciones científicas. Esto puede involucrar el uso de dispositivos específicos con el objetivo de reducir los tiempos de ejecución y/o los consumos energéticos, en función del objetivo perseguido.

El desarrollo de novedosas herramientas de código abierto, soportado por medio de técnicas de calidad de software, unido a su operación como servicios (modalidad *as a Service*) permitirá

¹<https://www.h-cloud.eu/event/ec-virtual-event-digital-autonomy-in-the-computing-continuum/>

que otros investigadores puedan beneficiarse fácilmente de las funcionalidades ofrecidas por dichas herramientas. El futuro computacional se antoja lleno de retos de investigación.

Parte IV

Apéndices

Apéndice A

Ejemplo de Guía Didáctica

Guía didáctica del Tema 7: Entrada y salida elemental

Profesores de IIP
Departament de Sistemes Informàtics i Computació
Universitat Politècnica de València



1. Contenidos

1. Introducción
2. Salida por pantalla
 - `System.out.println` y `System.out.print`
 - Salida formateada con `printf`
3. Entrada desde teclado
 - La clase `Scanner`

2. Objetivos específicos

Al finalizar este tema el alumno debe ser capaz de ...

- Objetivo 1** conocer los mecanismos básicos de entrada/salida del lenguaje de programación. (Conocimiento)
- Objetivo 2** conocer los principales métodos aplicables a `System.out`. (Conocimiento)
- Objetivo 3** conocer los principales métodos de la clase `Scanner`. (Conocimiento)
- Objetivo 4** invocar desde sus propios programas a las funciones básicas de entrada para capturar datos desde teclado, y a las funciones básicas de salida para mostrar datos por pantalla. (Aplicación)
- Objetivo 5** implementar programas, correctos sintácticamente y semánticamente, que realicen operaciones básicas como pedir datos al usuario, leerlos, almacenarlos en variables, realizar operaciones aritméticas sencillas y mostrar resultados. (Aplicación)
- Objetivo 6** implementar programas que soliciten datos básicos al usuario y los muestren por pantalla según el formato especificado. (Aplicación)

3. Bibliografía

- “Empezar a programar usando Java”
Apuntes de la asignatura - **Capítulo 7**
Poliformat de IIP 2011

- "Introduction to Programming Using Java, Sixth Edition"
D.J. Eck
Version 6.0, June 2011
<http://math.hws.edu/javanotes/>
Capítulo 2 - Sección 2.4.4
Capítulo 11 - Sección 11.1.5
- "JavaTM Platform, Standard Edition 6, API Specification"
Oracle, 2011
<http://download.oracle.com/javase/6/docs/api/>
- "Absolute Java, Fourth Edition."
W.J. Savitch
Pearson Education, 2010
Capítulo 2

4. Planificación temporizada de cada sesión

	Duración de las actividades	
	Presenciales	No Presenciales
Sesión 1	1h 30'	2h
	1h 30'	2h

Sesión 1

Actividades de clase (1h 30')

Minutos	Actividad
5'	El profesor introduce la entrada y salida elemental en Java.
10'	El profesor explica las instrucciones <code>System.out.println</code> y <code>System.out.print</code> que permiten realizar la salida por pantalla, y mediante ejemplos señala sus diferencias.
15'	El profesor explica la instrucción <code>System.out.printf</code> y muestra mediante ejemplos sus principales características.
5'	Resolución de dudas.
30'	El profesor explica cómo usar la clase <code>Scanner</code> para realizar la entrada de datos desde teclado y muestra a través de ejemplos los principales métodos de la misma.
5'	Resolución de dudas.
20'	Trabajo en grupo: Resolución del ejercicio 1 de los apuntes referenciados en la bibliografía, que será el entregable #7.1.

Actividades fuera de clase (hasta 2h)

- Cada alumno individualmente deberá leer al menos el capítulo 7 de los apuntes de la asignatura. La lectura del resto de la bibliografía recomendada ayudará a una mejor comprensión del tema.
- Es conveniente la resolución del resto de los ejercicios propuestos en los apuntes citados.

5. Entregas y calificación

La calificación del seguimiento de este tema se realizará en base a las entregas realizadas. La nota obtenida formará parte de la NAS (Nota Actividades de Seguimiento) que, a su vez, según las normas de evaluación contribuirá a la calificación final con un 20%. En la tabla siguiente se muestran de forma resumida las actividades a realizar en este tema junto con la puntuación máxima para cada una de ellas:

Código	Descripción	Modalidad	Cómo	Para cuándo	Puntos
#7.1	Resolución del ejercicio 1	En grupo	En papel	Durante la sesión 1	15

Apéndice B

Ejemplo de Rúbrica

Rúbrica de Evaluación para la Práctica 7

Profesores de EDA

Criterio	Nivel de Calidad		
	Bien	Mejorable	Mal
Correcto (6.5 p.)	El código se ejecuta correctamente y proporciona toda la funcionalidad esperada (6.5 p.)	El código se ejecuta correctamente pero hay al menos 2 funcionalidades que no se comportan correctamente (5 p.)	El código tiene fallos de compilación o existen al menos 4 funcionalidades no implementadas correctamente (1 p.)
Interfaz Amigable (Menú) (1.5 p.)	El menú está completo, claramente organizado, bien tabulado y los datos se muestran por pantalla de forma estructurada y organizada (1.5 p.)	El menú está completo y organizado pero existe al menos una opción de menú que muestra los datos de forma poco organizada e improvisada (1 p.)	Falta al menos una opción de menú o existen al menos dos opciones de menú que muestran los datos de forma poco estructurada (0 p.)
Código bien organizado, estructurado y documentado (2 p.)	El código está correctamente indentado y se ajusta a las convenciones de programación estándares ¹ . Además, la mayor parte de los métodos incluyen comentarios apropiados siguiendo el estilo JavaDoc (2 p.)	El código presenta una escasa indentación y existen al menos 2 convenciones de programación básicas incumplidas. La mayor parte de los métodos carece de documentación o en formato no estándar (0.5 p.)	El código está mal estructurado, mal indentado y no se cumplen las convenciones más básicas de producción de código. Los métodos no están documentados (0 p.)

Puntuado sobre 10. Luego se escalará la nota a [0,3], de acuerdo a las normas de la asignatura.

¹ Nombres de variables en minúscula, nombres de clases en mayúsculas, tabulación de estructuras de control, indentación apropiada, documentación de los métodos, etc.

Bibliografía

- [1] Alexandru Agache, Marc Brooker, Andreea Florescu, Alexandra Iordache, Anthony Liguori, Rolf Neugebauer, Phil Piwonka, Implementation Nsdi, Alexandra Iordache, Marc Brooker, Anthony Liguori, Rolf Neugebauer y Phil Piwonka. “Firecracker : Lightweight Virtualization for Serverless Applications This paper is included in the Proceedings of the”. En: *17th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '20)* (2020). URL: <https://www.usenix.org/system/files/nsdi20-paper-agache.pdf>.
- [2] *Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación(ANECA)*. URL: <https://www.aneca.es>.
- [3] *Agència Valenciana d’Avaluació i Prospectiva (AVAP)*. URL: <https://avap.es/es/>.
- [4] *Agencia Valenciana de la Innovación*. URL: <https://innoavi.es/es/>.
- [5] *AI-SPRINT*. URL: <https://www.ai-sprint-project.eu>.
- [6] *AI4EOSC*. URL: <https://ai4eosc.eu>.
- [7] *Akihiro Takasu*. URL: https://www.nii.ac.jp/en/faculty/digital%7B%5C_%7Dcontent/takasu%7B%5C_%7Datsuhiro/.
- [8] Eiman Al Nuaimi, Hind Al Neyadi, Nader Mohamed y Jameela Al-Jaroodi. “Applications of big data to smart cities”. En: *Journal of Internet Services and Applications* 6.1 (ago. de 2015). Publisher: Springer-Verlag London Ltd, pág. 25. ISSN: 1867-4828. DOI: [10.1186/s13174-015-0041-5](https://doi.org/10.1186/s13174-015-0041-5).
- [9] Dimitrios S. Alexiadis y Nikolaos Mitianoudis. “MASTERS: A Virtual Lab on Multimedia Systems for Telecommunications, Medical, and Remote Sensing Applications”. En: *IEEE Transactions on Education* 56.2 (mayo de 2013), págs. 227-234. ISSN: 0018-9359. DOI: [10.1109/TE.2012.2210224](https://doi.org/10.1109/TE.2012.2210224). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6257505/>.
- [10] Carlos de Alfonso, Miguel Caballer, Fernando Alvarruiz y Germán Moltó. “An economic and energy-aware analysis of the viability of outsourcing cluster computing to a cloud”. En: *Future Generation Computer Systems* 29.3 (mar. de 2013), págs. 704-712. ISSN: 0167739X.

- DOI: [10.1016/j.future.2012.08.014](https://doi.org/10.1016/j.future.2012.08.014). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X12001720>.
- [11] Carlos de Alfonso, Miguel Caballer, Amanda Calatrava, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “Multi-elastic Datacenters: Auto-scaled Virtual Clusters on Energy-Aware Physical Infrastructures”. En: *Journal of Grid Computing* 17.1 (mar. de 2019), págs. 191-204. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-018-9449-z](https://doi.org/10.1007/s10723-018-9449-z). URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10723-018-9449-z>.
- [12] Carlos de Alfonso, Miguel Caballer, Amanda Calatrava, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “Multi-elastic Datacenters: Auto-scaled Virtual Clusters on Energy-Aware Physical Infrastructures”. En: *Journal of Grid Computing* 17.1 (mar. de 2019), págs. 191-204. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-018-9449-z](https://doi.org/10.1007/s10723-018-9449-z).
- [13] Carlos de Alfonso, Amanda Calatrava y Germán Moltó. “Container-based virtual elastic clusters”. En: *Journal of Systems and Software* 127 (mayo de 2017), págs. 1-11. ISSN: 01641212. DOI: [10.1016/j.jss.2017.01.007](https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.01.007). URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121217300146>.
- [14] Joanna Allan. “Learning outcomes in higher education”. En: *Studies in Higher Education* 21.1 (ene. de 1996), págs. 93-108. ISSN: 0307-5079. DOI: [10.1080/03075079612331381487](https://doi.org/10.1080/03075079612331381487). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03075079612331381487>.
- [15] Mohamed (Ed.) Ally. *Mobile Learning: Transforming the Delivery of Education and Training*. Au Press, 2009. ISBN: 1897425430. URL: <https://www.amazon.es/Mobile-Learning-Transforming-Delivery-Education-ebook/dp/B00TUKDALC>.
- [16] C Alonso, D Gallego y P Honey. *Los Estilos de Aprendizaje. Procedimientos de Diagnostico y Mejora*. Bilbao: Ediciones Mensajero (6ª Edición), 1997. URL: <https://datos.bne.es/edicion/Mimo0002221778.html>.
- [17] J M Alonso, V Hernández y G Moltó. “GMarte: Grid middleware to abstract remote task execution”. En: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 18.15 (dic. de 2006), págs. 2021-2036. ISSN: 1532-0634. DOI: [10.1002/cpe.1052](https://doi.org/10.1002/cpe.1052). URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cpe.1052>.
- [18] J.M. Alonso, V. Hernández y G. Moltó. “A high-throughput application for the dynamic analysis of structures on a Grid environment”. En: *Advances in Engineering Software* 39.10 (oct. de 2008), págs. 839-848. ISSN: 09659978. DOI: [10.1016/j.advengsoft.2007.05.005](https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2007.05.005). URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965997807001056>.

- [19] José M Alonso, Fernando Alvarruiz, José M Desantes, Leonor Hernández, Vicente Hernández y Germán Moltó. “Combining Neural Networks and Genetic Algorithms to Predict and Reduce Diesel Engine Emissions”. En: *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 11.1 (feb. de 2007), págs. 46-55. ISSN: 1089-778X. DOI: [10.1109/TEVC.2006.876364](https://doi.org/10.1109/TEVC.2006.876364). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4079607/>.
- [20] Jose M. Alonso, Jose M. Ferrero, Vicente Hernandez, Germán Moltó, Javier Saiz y Beatriz Trenor. “A Grid Computing-Based Approach for the Acceleration of Simulations in Cardiology”. En: *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* 12.2 (mar. de 2008), págs. 138-144. ISSN: 1089-7771. DOI: [10.1109/TITB.2007.907982](https://doi.org/10.1109/TITB.2007.907982). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4358913/>.
- [21] Sara Álvarez Morán, Arturo Pérez Collera y M^a Luisa Suárez Álvarez. *Hacia un enfoque de la educación en competencias*. Oviedo : Consejería de Educación y Ciencia, Servicio de Evaluación, Calidad y Ordenación Académica, 2008, 2008, pág. 165. ISBN: 9788469123713. URL: <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/2576>.
- [22] *Amazon EFS*. URL: <https://aws.amazon.com/efs/>.
- [23] *Amazon Elastic Compute Cloud (EC2)*. URL: <http://aws.amazon.com/ec2> (visitado 01-01-2011).
- [24] *Amazon Web Services*. URL: <https://aws.amazon.com>.
- [25] Amazon Web Services. *Amazon Elastic Compute Cloud (EC2)*. URL: <https://aws.amazon.com/ec2/>.
- [26] Amazon Web Services. *AWS Batch — Easy and Efficient Batch Computing Capabilities*. URL: <https://aws.amazon.com/batch/>.
- [27] ANECA. *ACREDITA*. URL: <http://www.aneca.es/Programas-de-evaluacion/Evaluacion-de-titulos/ACREDITA>.
- [28] ANECA. *DOCENTIA*. URL: <http://www.aneca.es/Programas-de-evaluacion/Evaluacion-institucional/DOCENTIA>.
- [29] *Anteproyecto de Ley Orgánica del Sistema Universitario*. URL: <https://www.universidades.s.gob.es/portal/site/universidades/menuitem.21ef60083f296675105f2c10026041a0/?vgnnextoid=660607559eaab710VgnVCM1000001d04140aRCRD>.
- [30] Marica Antonacci, Alberto Brigandi, Miguel Caballer, Eva Cetinić, Davor Davidovic, Giacinto Donvito, Germán Moltó y Davide Salomoni. “Digital repository as a service: automatic deployment of an Invenio-based repository using TOSCA orchestration and Apache Mesos”. En: *EPJ Web of Conferences*. Ed. por A. Forti, L. Betev, M. Litmaath, O. Smirnova y P.

- Hristov. Vol. 214. Sep. de 2019, pág. 07023. DOI: [10.1051/epjconf/201921407023](https://doi.org/10.1051/epjconf/201921407023). URL: <https://www.epj-conferences.org/10.1051/epjconf/201921407023>.
- [31] Apache. *OpenWhisk*. URL: <https://openwhisk.apache.org/>.
- [32] Apache Nifi. URL: <https://nifi.apache.org>.
- [33] Argo. *Workflows & Pipelines*. URL: <https://argoproj.github.io/projects/argo/>.
- [34] F. R. Arteaga-Sierra, C. Milián, I. Torres-Gómez, M. Torres-Cisneros, G. Moltó y A. Ferrando. “Supercontinuum optimization for dual-soliton based light sources using genetic algorithms in a grid platform”. En: *Optics Express* 22.19 (sep. de 2014), pág. 23686. ISSN: 1094-4087. DOI: [10.1364/OE.22.023686](https://doi.org/10.1364/OE.22.023686). URL: <https://opg.optica.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-22-19-23686>.
- [35] *Asignaturas del Plan de Estudios del Grado en Ingeniería Informática de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática*. URL: https://www.upv.es/titulaciones/GII/menu%7B%5C_%7D1013007c.html.
- [36] *Asociación de Parques Científicos y Tecnológicos de España*. URL: <https://www.apte.org>.
- [37] *Asylo*. URL: <https://github.com/google/asylo>.
- [38] D.P. Ausubel, J.D. Novak y H. Hanesian. *Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, 1983. ISBN: 9682413346.
- [39] AWS. *Interfaz de línea de comandos de AWS (AWS CLI)*. URL: <https://aws.amazon.com/es/cli/>.
- [40] AWS IoT Greengrass. URL: <https://aws.amazon.com/greengrass/>.
- [41] AWS Lambda. URL: <https://aws.amazon.com/lambda>.
- [42] *Azure Functions*. URL: <https://azure.microsoft.com/es-es/services/functions/%7B%5C#%7Doverview>.
- [43] Caroline Baillie, John A. Bowden y Jan H. F. Meyer. “Threshold capabilities: threshold concepts and knowledge capability linked through variation theory”. En: *Higher Education* 65.2 (feb. de 2013), págs. 227-246. ISSN: 0018-1560. DOI: [10.1007/s10734-012-9540-5](https://doi.org/10.1007/s10734-012-9540-5). URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10734-012-9540-5>.
- [44] Ken Bain. *Lo que hacen los mejores profesores de Universidad*. Universitat de València, 2006.
- [45] Ioana Baldini, Paul Castro, Kerry Chang, Perry Cheng, Stephen Fink, Vatche Ishakian, Nick Mitchell, Vinod Muthusamy, Rodric Rabbah, Aleksander Slominski y Philippe Suter. “Serverless computing: Current trends and open problems”. En: *Research Advances in Cloud Computing*. Singapore: Springer Singapore, 2017, págs. 1-20. ISBN: 978-981-10-5026-8. DOI: [10.1007/978-981-10-5026-8_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5026-8_1).

- [46] Ioana Baldini, Perry Cheng, Stephen J. Fink, Nick Mitchell, Vinod Muthusamy, Rodric Rababah, Philippe Suter y Olivier Tardieu. “The serverless trilemma: function composition for serverless computing”. En: *Proceedings of the 2017 ACM SIGPLAN International Symposium on New Ideas, New Paradigms, and Reflections on Programming and Software - Onward! 2017*. New York, New York, USA: ACM Press, 2017, págs. 89-103. ISBN: 9781450355308. DOI: [10.1145/3133850.3133855](https://doi.org/10.1145/3133850.3133855). arXiv: [1611.02756](https://arxiv.org/abs/1611.02756). URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3133850.3133855>.
- [47] Daniel Balouek-Thomert, Eduard Gibert Renart, Ali Reza Zamani, Anthony Simonet y Manish Parashar. “Towards a computing continuum: Enabling edge-to-cloud integration for data-driven workflows”. En: *International Journal of High Performance Computing Applications* 33.6 (nov. de 2019). Publisher: SAGE Publications Inc., págs. 1159-1174. ISSN: 17412846. DOI: [10.1177/1094342019877383](https://doi.org/10.1177/1094342019877383).
- [48] L. Baresi, D. F. Mendonça, M. Garriga, S. Guinea y G. Quattrocchi. “A unified model for the mobile-edge-cloud continuum”. En: *ACM Transactions on Internet Technology* 19.2 (abr. de 2019). Publisher: Association for Computing Machinery, págs. 1-21. ISSN: 15576051. DOI: [10.1145/3226644](https://doi.org/10.1145/3226644).
- [49] David J Barnes y Michael Kölling. *Objects first with Java: A practical introduction using BlueJ*. Pearson Prentice Hall, 2006. URL: <https://www.bluej.org/objects-first/>.
- [50] Ronald Barnett. *Los Límites de la Competencia: El Conocimiento, la Educación Superior y la Sociedad*. Gedisa, 2001. URL: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=78108>.
- [51] Pete Beckman, Jack Dongarra, Nicola Ferrier, Geoffrey Fox, Terry Moore, Dan Reed y Micah Beck. “Harnessing the Computing Continuum for Programming Our World”. En: *Fog Computing*. Wiley, mayo de 2020, págs. 215-230. DOI: [10.1002/9781119551713.ch7](https://doi.org/10.1002/9781119551713.ch7).
- [52] Juan Pablo Bello, Charlie Mydlarz y Justin Salamon. “Sound Analysis in Smart Cities”. En: *Computational Analysis of Sound Scenes and Events*. Cham: Springer International Publishing, sep. de 2018, págs. 373-397. ISBN: 978-3-319-63450-0. DOI: [10.1007/978-3-319-63450-0_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63450-0_13).
- [53] Rui M.F. Bezerra, Irene Fraga y Albino A Dias. “Utilization of integrated Michaelis–Menten equations for enzyme inhibition diagnosis and determination of kinetic constants using Solver supplement of Microsoft Office Excel”. En: *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 109.1 (ene. de 2013), págs. 26-31. ISSN: 01692607. DOI: [10.1016/j.cmpb.2012.08.017](https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2012.08.017). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169260712002143>.

- [54] Ángeles Blanco. “Las rúbricas: un instrumento útil para la evaluación de competencias”. En: *La enseñanza universitaria centrada en el aprendizaje: estrategias útiles para el profesorado*. Ed. por Octaedro. 2008. ISBN: 978-84-8063-924-8.
- [55] Ignacio Blanquer, Francisco Brasileiro, Andrey Brito, Amanda Calatrava, André Carvalho, Christof Fetzer, Flavio Figueiredo, Ronny Petterson Guimarães, Leandro Marinho, Wagner Meira, Altigran Silva, Ángel Alberich-Bayarri, Eduardo Camacho-Ramos, Ana Jimenez-Pastor, Antonio Luiz L. Ribeiro, Bruno Ramos Nascimento y Fábio Silva. “Federated and secure cloud services for building medical image classifiers on an intercontinental infrastructure”. En: *Future Generation Computer Systems* 110 (sep. de 2020), págs. 119-134. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2020.04.012](https://doi.org/10.1016/j.future.2020.04.012).
- [56] B.S. Bloom. *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*. Ed. por Susan Fauer Company. Longman Group, 1956. ISBN: 978-0679302117.
- [57] B.S. Bloom y M.P. Rivas. *Taxonomía de los Objetivos de la Educación: la Clasificación de las Metas Educativas*. El Ateneo, 1972.
- [58] *BlueJ. The interactive Java environment*. <https://www.bluej.org>.
- [59] BOE. *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-37>.
- [60] BOE. *Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria*. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-2222>.
- [61] D. L. Bosworth. “The Rate of Obsolescence of Technical Knowledge—A Note”. En: *The Journal of Industrial Economics* 26.3 (1978), pág. 273. ISSN: 00221821. DOI: [10.2307/2097871](https://doi.org/10.2307/2097871).
- [62] Ernest L. Boyer. *Scholarship Reconsidered: Priorities of the Professoriate*. Inf. téc. 1990. DOI: [10.1080/87567555.1991.10532213](https://doi.org/10.1080/87567555.1991.10532213). URL: <https://www.umces.edu/sites/default/files/al/pdfs/BoyerScholarshipReconsidered.pdf>.
- [63] Gilles Brassard y Paul Bratley. *Fundamentos de algoritmia*. Prentice Hall, 1997.
- [64] Enric Brescó Baiges y Noemí Verdú Surroca. “Valoración del uso de las herramientas colaborativas Wikispaces y Google Drive, en la educación superior”. En: *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa* 49 (sep. de 2015), a283. ISSN: 1135-9250. DOI: [10.21556/edutec.2014.49.39](https://doi.org/10.21556/edutec.2014.49.39). URL: <https://www.edutec.es/revista/index.php/edutec-e/article/view/39>.
- [65] Eric A. Brewer. “Kubernetes and the path to cloud native”. En: *Proceedings of the Sixth ACM Symposium on Cloud Computing - SoCC '15*. New York, New York, USA: Association for Computing Machinery (ACM), 2015, págs. 167-167. DOI: [10.1145/2806777.2809955](https://doi.org/10.1145/2806777.2809955).

- [66] Marc Brooker, Adrian Costin Catangiu, Mike Danilov, Alexander Graf, Colm MacCarthaigh y Andrei Sandu. “Restoring Uniqueness in MicroVM Snapshots”. En: (2021). arXiv: [2102.12892](https://arxiv.org/abs/2102.12892). URL: <http://arxiv.org/abs/2102.12892>.
- [67] G Brown. *Lecturing and explaining*. London, Methuen, 1978.
- [68] George Brown y Madeleine Atkins. *Effective Teaching in Higher Education*. Routledge, 1988.
- [69] R Buyya, J Broberg y Andrzej M. Goscinski. *Cloud computing: Principles and Paradigms*. Wiley, 2011. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470940105.fmatter>.
- [70] M Caballer, G Donvito, G Moltó, R Rocha y M Velten. “TOSCA-based orchestration of complex clusters at the IaaS level”. En: *Journal of Physics: Conference Series* 898 (oct. de 2017), pág. 082036. ISSN: 1742-6588. DOI: [10.1088/1742-6596/898/8/082036](https://doi.org/10.1088/1742-6596/898/8/082036). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/898/8/082036>.
- [71] Miguel Caballer, Carlos de Alfonso, Fernando Alvarruiz y Germán Moltó. “EC3: Elastic Cloud Computing Cluster”. En: *Journal of Computer and System Sciences* 79.8 (dic. de 2013), págs. 1341-1351. ISSN: 00220000. DOI: [10.1016/j.jcss.2013.06.005](https://doi.org/10.1016/j.jcss.2013.06.005). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022000013001141>.
- [72] Miguel Caballer, Carlos de Alfonso, Germán Moltó, Eloy Romero, Ignacio Blanquer y Andrés García. “CodeCloud: A platform to enable execution of programming models on the Clouds”. En: *Journal of Systems and Software* 93 (jul. de 2014), págs. 187-198. ISSN: 01641212. DOI: [10.1016/j.jss.2014.02.005](https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.02.005). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121214000521>.
- [73] Miguel Caballer, Marica Antonacci, Zdeněk Šustr, Michele Perniola y Germán Moltó. “Deployment of Elastic Virtual Hybrid Clusters Across Cloud Sites”. En: *Journal of Grid Computing* 19.1 (mar. de 2021), pág. 4. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-021-09543-5](https://doi.org/10.1007/s10723-021-09543-5). arXiv: [2102.08710](https://arxiv.org/abs/2102.08710). URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10723-021-09543-5>.
- [74] Miguel Caballer, Ignacio Blanquer, Germán Moltó y Carlos de Alfonso. “Dynamic Management of Virtual Infrastructures”. En: *Journal of Grid Computing* 13.1 (mar. de 2015), págs. 53-70. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-014-9296-5](https://doi.org/10.1007/s10723-014-9296-5). URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10723-014-9296-5>
- [75] Miguel Caballer, Damián Segrelles, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “A platform to deploy customized scientific virtual infrastructures on the cloud”. En: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 27.16 (nov. de 2015), págs. 4318-4329. ISSN: 1532-0626. DOI: [10.1002/cpe.3518](https://doi.org/10.1002/cpe.3518). URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cpe.3518>.

- [76] Miguel Caballer, Sahdev Zala, Álvaro López García, Germán Moltó, Pablo Orviz Fernández y Mathieu Velten. “Orchestrating Complex Application Architectures in Heterogeneous Clouds”. En: *Journal of Grid Computing* 16.1 (mar. de 2018), págs. 3-18. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-017-9418-y](https://doi.org/10.1007/s10723-017-9418-y). arXiv: [1711.03334](https://arxiv.org/abs/1711.03334). URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10723-017-9418-y>.
- [77] Amanda Calatrava, Eloy Romero, Germán Moltó, Miguel Caballer y Jose Miguel Alonso. “Self-managed cost-efficient virtual elastic clusters on hybrid Cloud infrastructures”. En: *Future Generation Computer Systems* 61 (ago. de 2016), págs. 13-25. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2016.01.018](https://doi.org/10.1016/j.future.2016.01.018). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X16300024>.
- [78] Andrés Camero y Enrique Alba. “Smart City and information technology: A review”. En: *Cities* 93 (oct. de 2019). Publisher: Elsevier Ltd, págs. 84-94. ISSN: 02642751. DOI: [10.1016/j.cities.2019.04.014](https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.014).
- [79] Agustin C. Caminero, Salvador Ros, Roberto Hernandez, Antonio Robles-Gomez y Rafael Pastor. “Cloud-based e-learning infrastructures with load forecasting mechanism based on Exponential Smoothing: A use case”. En: *2011 Frontiers in Education Conference (FIE)*. IEEE, oct. de 2011, S3C-1–S3C-6. ISBN: 978-1-61284-469-5. DOI: [10.1109/FIE.2011.6142740](https://doi.org/10.1109/FIE.2011.6142740). URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6142740/>.
- [80] Karen Cardona, Beatriz Trénor, Germán Moltó, Miguel Martínez, José María Ferrero, Frank Starmer y Javier Saiz. “Exploring the role of pH in modulating the effects of lidocaine in virtual ischemic tissue”. En: *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 299.5 (nov. de 2010), H1615-H1624. ISSN: 0363-6135. DOI: [10.1152/ajpheart.00425.2010](https://doi.org/10.1152/ajpheart.00425.2010). URL: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpheart.00425.2010>.
- [81] Alex Casalboni. *AWS Lambda Power Tuning*. URL: <https://github.com/alexcasalboni/aws-lambda-power-tuning>.
- [82] Isaury Castillo Jáquez. *Scholarship of Teaching and Learning: una herramienta para la mejora de la Educación Superior*. Inf. téc. URL: <https://www.unibe.edu.do/docentes/wp-content/uploads/2019/01/3.-Scholarship.pdf>.
- [83] *Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI)*. URL: <https://www.cdti.es>.
- [84] *Ceph*. URL: <https://ceph.io>.
- [85] Agustín Cernuda del Río, Faraón Llorens Largo, Joe Miró Julià, Rosana Satorre Cuerda y Miguel Valero García. *Guía para el profesor novel. Versión 1.0*. Inf. téc. 2005. URL: <http://bioinfo.uib.es/%7B%7Djoemiro/aenui/novel/novel.pdf>.
- [86] *CHAI MELEON*. URL: <https://chaimoleon.eu>.

- [87] Ryan Chard, Yadu Babuji, Zhuozhao Li, Tyler Skluzacek, Anna Woodard, Ben Blaiszik, Ian Foster y Kyle Chard. “funcX: A Federated Function Serving Fabric for Science”. En: *Proceedings of the 29th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2020, págs. 65-76. ISBN: 9781450370523. DOI: [10.1145/3369583.3392683](https://doi.org/10.1145/3369583.3392683). arXiv: [2005.04215](https://arxiv.org/abs/2005.04215). URL: <https://doi.org/10.1145/3369583.3392683>.
- [88] Ryan Chard, Yadu Babuji, Zhuozhao Li, Tyler Skluzacek, Anna Woodard, Ben Blaiszik, Ian Foster y Kyle Chard. “funcX: A Federated Function Serving Fabric for Science”. En: *Proceedings of the 29th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2020, págs. 65-76. ISBN: 978-1-4503-7052-3. DOI: [10.1145/3369583.3392683](https://doi.org/10.1145/3369583.3392683).
- [89] Ching Hui Chen, Julien Favre, Gregorij Kurillo, Thomas P. Andriacchi, Ruzena Bajcsy y Rama Chellappa. “Camera Networks for Healthcare, Teleimmersion, and Surveillance”. En: *Computer* 47.5 (mayo de 2014). Publisher: IEEE Computer Society, págs. 26-36. ISSN: 0018-9162. DOI: [10.1109/MC.2014.112](https://doi.org/10.1109/MC.2014.112).
- [90] Qi Chen, Wei Wang, Fangyu Wu, Suparna De, Ruili Wang, Bailing Zhang y Xin Huang. “A Survey on an Emerging Area: Deep Learning for Smart City Data”. En: *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence* 3.5 (oct. de 2019). Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., págs. 392-410. ISSN: 2471-285X. DOI: [10.1109/TETCI.2019.2907718](https://doi.org/10.1109/TETCI.2019.2907718).
- [91] Karim Chine. “Learning math and statistics on the cloud, towards an EC2-based google docs-like portal for teaching/learning collaboratively with R and scilab”. En: *Proceedings - 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2010*. IEEE, jul. de 2010, págs. 752-753. ISBN: 9780769540559. DOI: [10.1109/ICALT.2010.120](https://doi.org/10.1109/ICALT.2010.120). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5572466>.
- [92] Angelos Christidis, Roy Davies y Sotiris Moschoyiannis. “Serving machine learning workloads in resource constrained environments: A serverless deployment example”. En: *Proceedings - 2019 IEEE 12th Conference on Service-Oriented Computing and Applications, SOCA 2019*. Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., nov. de 2019, págs. 55-63. ISBN: 978-1-72815-411-4. DOI: [10.1109/SOCA.2019.00016](https://doi.org/10.1109/SOCA.2019.00016).
- [93] Angelos Christidis, Sotiris Moschoyiannis, Ching Hsien Hsu y Roy Davies. “Enabling Serverless Deployment of Large-Scale AI Workloads”. En: *IEEE Access* 8 (2020). Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., págs. 70150-70161. ISSN: 21693536. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2985282](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2985282).

- [94] Ministerio de Educación y Ciencia. *Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales*. 2007. arXiv: [arXiv:1011.1669v3](https://arxiv.org/abs/1011.1669v3). URL: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-18770>.
- [95] CNCF. *Serverless Workflow: A specification for defining declarative workflow models that orchestrate Event-driven, Serverless applications*. URL: <https://serverlessworkflow.io>.
- [96] European Commission. *European Open Science Cloud (EOSC)*. URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/our-digital-future/open-science/european-open-science-cloud-eosc%7B%5C_%7Den.
- [97] *Computing and Informatics (CAI) Journal*. URL: <https://www.cai.sk>.
- [98] Concejo Educativo de Castilla y León. *El Trabajo Cooperativo, Una Clave Educativa*. 2005. URL: <http://www.concejoeducativo.org/alternat/coop-clave.htm>.
- [99] Thomas H Cormen, Charles E Leiserson, Ronald Rivest y Clifford Stein. *Introduction to algorithms*. MIT Press, 2001.
- [100] Raphaël Couturier. *Designing scientific applications on GPUs*. Publication Title: Designing Scientific Applications on GPUs. Chapman y Hall/CRC, 2013. 1-473. ISBN: 978-1-4665-7164-8. DOI: [10.1201/b16051](https://doi.org/10.1201/b16051).
- [101] CPI. *Ciudad Politécnica de la Innovación*. URL: <http://cpi.upv.es>.
- [102] *Criterios SIC basados en los estándares internacionales de ENQA*. URL: http://www.aneca.es/content/download/15771/193398/file/210208%7B%5C_%7DRelacionCONCriteriosENQA.pdf.
- [103] Universitat D'Alacant. *Grado en Ingeniería Informática por la Universitat d'Alacant*. URL: <https://web.ua.es/es/grados/grado-en-ingenieria-informatica/>.
- [104] Universitat D'Alacant. *Máster Universitario en Ciencia de Datos por la Universitat d'Alacant*. URL: <https://web.ua.es/es/masteres/ciencia-de-datos/>.
- [105] Universitat D'Alacant. *Máster Universitario Oficial de Desarrollo de Aplicaciones y Servicios Web*. URL: <https://eps.ua.es/es/master-web/>.
- [106] *Davide Taibi*. URL: <https://www.tuni.fi/en/davide-taibi>.
- [107] *dCache*. URL: <https://www.dcache.org>.
- [108] M. De Frascati. *Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*. Inf. téc. 1993.
- [109] Maria Africa de la Cruz Tomé. *Un Modelo de Lección Magistral para un Aprendizaje Activo y Cooperativo*. 2004. URL: http://webs.uvigo.es/webcalidad/area%7B%5C_%7Dcalidad/documentos/cursos/LeccionMagistralApuntes.pdf.

- [110] *DEEP Hybrid DataCloud*. URL: <https://deep-hybrid-datacloud.eu>.
- [111] Jaques Delors. *Los cuatro pilares de la educación*. Inf. téc. 1996. URL: <https://dspace.uca.es/bitstream/123456789/30016/1/169-619-1-PB.pdf>.
- [112] Sebastian Deterding, Miguel Sicart, Lennart Nacke, Kenton O'Hara y Dan Dixon. "Gamification. using game-design elements in non-gaming contexts". En: *Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI EA '11*. New York, New York, USA: ACM Press, mayo de 2011, pág. 2425. ISBN: 9781450302685. DOI: [10.1145/1979742.1979575](https://doi.org/10.1145/1979742.1979575). URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1979742.1979575>.
- [113] *Docker*. URL: <https://www.docker.com/>.
- [114] Docker. *Docker Hub*. URL: <https://hub.docker.com/>.
- [115] Docker. *Enterprise Container Platform*. URL: <https://www.docker.com/>.
- [116] Lukasz Dutka, Michal Wrzeszcz, Tomasz Lichoń, Rafał Słota, Konrad Zemek, Krzysztof Trzepla, Łukasz Opiola, Renata Słota y Jacek Kitowski. "Onedata - A step forward towards globalization of data access for computing Infrastructures". En: *Procedia Computer Science*. Vol. 51. ISSN: 18770509. 2015, págs. 2843-2847. DOI: [10.1016/j.procs.2015.05.445](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.445).
- [117] Robert L. Ebel y David A. Frisbie. *Essentials of educational measurement*. Prentice Hall College Div; 5th edition, 1991. ISBN: 978-0132846134.
- [118] EDA-OCW. *Estructura de Datos y Algoritmos (EDA)*. Versión OCW. URL: http://www.upv.es/pls/oalu/sic%7B%5C_%7Dasi.ficha%7B%5C_%7Dasig%7B%5C_%7Docw?p%7B%5C_%7Drama=T%7B%5C%7Dp%7B%5C_%7Didioma=c%7B%5C%7Dp%7B%5C_%7Dvista=MSE%7B%5C%7Dp%7B%5C_%7Dasi=5659%7B%5C%7Dp%7B%5C_%7Dcaca=2009.
- [119] Ministerio de Educación. *Datos y Cifras del Sistema Universitario Español*. Inf. téc. URL: <https://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/universitaria/datos-cifras-copia.html>.
- [120] EEES. *Espacio Europeo de Educación Superior*. URL: <http://www.eees.es/es/eees>.
- [121] EGI ACE. URL: <https://www.egi.eu/project/egi-ace/>.
- [122] EGI-Engage. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/654142/es>.
- [123] EICE. *Equipos de Innovación y Calidad Educativa*. URL: <https://www.ice.upv.es/innovacion/eice-equipos-de-innovacion-y-calidad-educativa/>.
- [124] Adam Eivy. "Be Wary of the Economics of Serverless Cloud Computing". En: *IEEE Cloud Computing* 4.2 (mar. de 2017), págs. 6-12. ISSN: 2325-6095. DOI: [10.1109/MCC.2017.32](https://doi.org/10.1109/MCC.2017.32). URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7912239/>.

- [125] *Elastic Cloud Computing Cluster (EC3)*. EOSC Portal. URL: <https://marketplace.eosc-portal.eu/services/elastic-cloud-compute-cluster-ec3>.
- [126] Alex Ellis. *OpenFaaS*. URL: <https://www.openfaas.com/>.
- [127] ENQA (*European Association for Quality Assurance in Higher Education*). URL: <https://www.enqa.eu>.
- [128] *EOSC-Hub*. URL: <https://www.eosc-hub.eu>.
- [129] *EOSC-Synergy*. URL: <https://www.eosc-synergy.eu>.
- [130] *epdata*. URL: <https://www.epdata.es>.
- [131] Epdata. *El gasto en I+D en España, en datos y gráficos*. URL: <https://www.epdata.es/datos/gasto-investigacion-innovacion-datos-graficos/224>.
- [132] Stanford C. Ericksen. *The essence of good teaching*. Jossey-Bass (San Francisco), 1984.
- [133] Francesc A. Esteve Turrillas y Sergio Armenta. “Empleo de la estrategia puzle de Aronson para fomentar la cooperación en grupos”. En: *riunet.upv.es*. 2017. DOI: 10.4995/inred2017.2017.6867. URL: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/161939>.
- [134] *Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027*. URL: <https://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.26172fcf4eb029fa6ec7da6901432ea0/?vgnextoid=1387571a3db06610VgnVCM1000001d04140aRCRD%7B%5C%7D0A>.
- [135] ETSINF. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática*. URL: <https://www.etsinf.upv.es>.
- [136] ETSINF UPV - *Perfil de LinkedIn*. URL: <https://www.linkedin.com/school/etsinf-upv/>.
- [137] Universidad Europea. *Grado en Ciencia de Datos por la Universidad Europea de Valencia*. URL: <https://universidadeuropea.com/grado-ciencia-datos-valencia/%7B%5C%7Dc1austro>.
- [138] Universidad Europea. *Grado en Ingeniería Informática por la Universidad Europea*. URL: <https://universidadeuropea.com/grado-ingenieria-informatica-online/>.
- [139] *European Quality Assurance Network for Informatics Education (EQANIE)*. URL: <https://eqanie.eu/>.
- [140] M.L. Fabra. *Técnicas de grupo para la cooperación*. Ediciones CEAC, 1994.
- [141] Ning Fang, Karen Nielson y Stephanie Kawamura. *Using Computer Simulations with a Real-World Engineering Example to Improve Student Learning of High School Physics: A Case Study of K-12 Engineering Education*. eng. 2013. URL: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4152179>.

- [142] Marco Fargetta, Riccardo Bruno, Roberto Barbera, Marcin Plociennik, Sandro Fiore, Michal Owsiak, Tomasz Zok, Daniel Figat, Giacinto Donvito, Marco Antonio Tangaro, Federico Zambelli, Dean N. Williams, Valentine Anantharaj, Giovanni Aloisio, Emidio Giorgio, Lionel Schwartz, Germán Moltó y Bas Wegh. “Enabling scientific applications on hybrid e-Infrastructures: the FutureGateway framework”. En: *Digital Infrastructures for Research 2016 (DI4R 2016)*. 2016. URL: <https://www.digitalinfrastructures.eu/content/enabling-scientific-applications-hybrid-e-infrastructures-futuregateway-framework>.
- [143] FECYT. *Producción científica española (2011-2020)*. Inf. téc. URL: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/analisis-de-la-produccion-cientifica-en-colaboracion-entre-espana-y-argentina-2011-2020>.
- [144] *Federación Española de Centros Tecnológicos*. URL: <https://fedit.com>.
- [145] A. Fernández. “El portafolio docente como estrategia formativa y de desarrollo profesional”. En: *Educación* 33 (2004), págs. 127-142.
- [146] Alberto Fernández, Daniel Peralta, José Manuel Benítez y Francisco Herrera. “E-learning and educational data mining in cloud computing: an overview”. En: *International Journal of Learning Technology* 9.1 (2014), pág. 25. ISSN: 1477-8386. DOI: [10.1504/IJLT.2014.062447](https://doi.org/10.1504/IJLT.2014.062447). URL: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJLT.2014.062447>.
- [147] Amparo Fernández March. “Metodologías activas para la formación de competencias”. En: *Educatio Siglo XXI* 24 (2006), págs. 35-36.
- [148] *Fission*. URL: <https://fission.io/>.
- [149] Ana Fita, Jose F. Monserrat, Germán Moltó, Eva M. Mestre y Adrián Rodríguez-Burruezo. “Use of synchronous e-learning at university degrees”. En: *Computer Applications in Engineering Education* 24.6 (nov. de 2016), págs. 982-993. ISSN: 10613773. DOI: [10.1002/cae.21773](https://doi.org/10.1002/cae.21773). URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/cae.21773>.
- [150] Ana M. Fita, José F. Monserrat, Germán Moltó, Eva M. Mestre y Adrián Rodríguez-Burruezo. “Multidisciplinary Experiences at University Degrees in the Use of Synchronous E-learning”. En: *International Conference: The Future of Education*. 2011, págs. 121-127. URL: http://www.pixel-online.net/edu%7B%5C_%7Dfuture/common/download/Paper%7B%5C_%7Dpdf/ELE07-Burruezo.pdf.
- [151] I.C Fita, G. Molto, A. Fita, J. F. Monserrat y E Mestre. “On the introduction of Flipped teaching across multi-disciplinary fields”. En: *2015 International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*. IEEE, jun. de 2015, págs. 1-4. ISBN: 978-1-4799-1756-3. DOI: [10.1109/ITHET.2015.7217970](https://doi.org/10.1109/ITHET.2015.7217970). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7217970/>.

- [152] Inma Fita, José F. Monserrat, Juan-Carlos Ruiz, Ana Fita, Eva M^a Mestre, Adrián Rodríguez-Burruezo, Rubén Picó y Germán Moltó. “Experiencias en el Uso de Vídeo-Ejercicios en la Docencia Universitaria”. En: *International Congress on University Teaching and Innovation (CIDUI 2012)*. 2012.
- [153] Inmaculada C. Fita, José F. Monserrat y Germán Moltó. “Aula Inversa: una oportunidad para el desarrollo de competencias transversales”. En: *Libro de Actas IN-RED 2016 - II Congreso Nacional de Innovación Educativa y de Docencia en Red*. Valencia: Universitat Politècnica València, jul. de 2016. ISBN: 978-84-9048-541-5. DOI: [10.4995/INRED2016.2016.4364](https://doi.org/10.4995/INRED2016.2016.4364). URL: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/INRED/INRED2016/paper/view/4364>.
- [154] Stephen Foster. “Ten Principles of Learning Revised in Accordance With Cognitive Psychology: With Implications for Teaching”. En: *Educational Psychologist* 21.3 (jun. de 1986), págs. 235-243. ISSN: 0046-1520. DOI: [10.1207/s15326985ep2103_5](https://doi.org/10.1207/s15326985ep2103_5). URL: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15326985ep2103_5.
- [155] Sadjad Fouladi, Francisco Romero, Dan Iter, Qian Li, Shuvo Chatterjee, Christos Kozyrakis, Matei Zaharia y Keith Winstein. “From laptop to Lambda: Outsourcing everyday jobs to thousands of transient functional containers”. En: *Proceedings of the 2019 USENIX Annual Technical Conference, USENIX ATC 2019*. 2019, págs. 475-488. ISBN: 9781939133038. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3358807.3358848>.
- [156] EGI Foundation. *EGI Federated Cloud*. URL: <https://www.egi.eu/federation/egi-federated-cloud/>.
- [157] Miguel Ángel Galindo Martín. *Ventajas del sistema actual de acreditación*. URL: <http://www.aneca.es/Documentos-y-publicaciones/ANECA-al-dia/Noticias-boletin/Ventajas-del-sistema-actual-de-acreditacion>.
- [158] Bernardo Gargallo. *Estilos de aprendizaje y estrategias de enseñanza*. Inf. téc. 2011. URL: <https://www.uv.es/~7B~7Dgargallo/gargallo.htm>.
- [159] R Garza y S Leventhal. *Aprender cómo aprender*. Ed. por Editorial Trillas. 2000. ISBN: 968-24-6028-X. URL: <http://en.scientificcommons.org/9093697>.
- [160] Alessio Gaspar, Sarah Langevin, William D. Armitage y Matt Rideout. “March of the (virtual) machines: past, present, and future milestones in the adoption of virtualization in computing education”. En: *Journal of Computing Sciences in Colleges* 23.5 (mayo de 2008), págs. 123-132. ISSN: 1937-4771. DOI: [10.5555/1352627.1352648](https://doi.org/10.5555/1352627.1352648). URL: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1352627.1352648>.
- [161] Research Gate. *RG Score*. URL: <https://explore.researchgate.net/display/support/RG+Score>.

- [162] *Giacinto Donvito's ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Giacinto-Donvito>.
- [163] Vicent Gimenez-Alventosa, German Molto y J. Damian Segrelles. "TaScaaS: A Multi-Tenant Serverless Task Scheduler and Load Balancer as a Service". En: *IEEE Access* 9 (2021), págs. 125215-125228. ISSN: 2169-3536. DOI: [10.1109/ACCESS.2021.3109972](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3109972). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9528423/>.
- [164] V. Giménez-Alventosa, Germán Moltó y Miguel Caballer. "A framework and a performance assessment for serverless MapReduce on AWS Lambda". En: *Future Generation Computer Systems* 97 (ago. de 2019), págs. 259-274. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2019.02.057](https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.057). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X18325172>.
- [165] V. Giménez-Alventosa, Germán Moltó y J. Damián Segrelles. "RUPER-LB: Load balancing embarrassingly parallel applications in unpredictable cloud environments". En: *International Symposium on Cloud Computing and Services for High Performance Computing Systems (as part of the 18th International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS 2020))*. 2020.
- [166] Vicent Giménez-Alventosa, José Damián Segrelles, Germán Moltó y Mar Roca-Sogorb. "APRICOT: Advanced Platform for Reproducible Infrastructures in the Cloud via Open Tools". En: *Methods of Information in Medicine* 59.S 02 (dic. de 2020), e33-e45. ISSN: 0026-1270. DOI: [10.1055/s-0040-1712460](https://doi.org/10.1055/s-0040-1712460). URL: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0040-1712460>.
- [167] *Globus*. URL: <https://www.globus.org/>.
- [168] Shalini Sharma Goel, Anubhav Goel, Mohit Kumar y Germán Moltó. "A review of Internet of Things: qualifying technologies and boundless horizon". En: *Journal of Reliable Intelligent Environments* (ene. de 2021). ISSN: 2199-4668. DOI: [10.1007/s40860-020-00127-w](https://doi.org/10.1007/s40860-020-00127-w). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40860-020-00127-w>.
- [169] Jorge Gomes, Emanuele Bagnaschi, Isabel Campos, Mario David, Luís Alves, João Martins, João Pina, Alvaro López-García y Pablo Orviz. "Enabling rootless Linux Containers in multi-user environments: The udocker tool". En: *Computer Physics Communications* 232 (nov. de 2018), págs. 84-97. ISSN: 00104655. DOI: [10.1016/j.cpc.2018.05.021](https://doi.org/10.1016/j.cpc.2018.05.021). arXiv: [1711.01758](https://arxiv.org/abs/1711.01758).
- [170] Jon Ander Gómez, Marisa Llorens, Carlos Herrero y Germán Moltó. "La Guía Didáctica como Eje Central en la Implantación de Metodologías Activas". En: *II Congreso Internacional de Docencia Universitaria (II CIDU 2011)*. 2011.

- [171] José A. González-Martínez, Miguel L. Bote-Lorenzo, Eduardo Gómez-Sánchez y Rafael Cano-Parra. “Cloud computing and education: A state-of-the-art survey”. En: *Computers and Education* 80 (ene. de 2015), págs. 132-151. ISSN: 03601315. DOI: [10.1016/j.compedu.2014.08.017](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.017). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131514001985>.
- [172] Ritesh Goyal, K. S. Kushal y Pratik Mistry. “Standard Process for Establishment of ECU Virtualization as Integral Part of Automotive Software Development Life-Cycle”. En: *SAE Technical Papers*. October. SAE International, mar. de 2019. DOI: [10.4271/2020-01-5007](https://doi.org/10.4271/2020-01-5007). URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2020-01-5007/>.
- [173] *Grupo de Grid y Computacion de Altas Prestaciones (GRyCAP)*. URL: <https://www.grycap.upv.es>.
- [174] *GRyCAP's GitHub organization*. URL: <https://github.com/grycap>.
- [175] Esra Güney, Ziya Ekşi y Murat Çakıroğlu. “WebECG: A novel ECG simulator based on MATLAB Web Figure”. En: *Advances in Engineering Software* 45.1 (mar. de 2012), págs. 167-174. ISSN: 09659978. DOI: [10.1016/j.advengsoft.2011.09.005](https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2011.09.005). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965997811002444>.
- [176] Adam Hall y Umakishore Ramachandran. “An execution model for serverless functions at the edge”. En: *IoTDI 2019 - Proceedings of the 2019 Internet of Things Design and Implementation*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Inc, abr. de 2019, págs. 225-236. ISBN: 9781450362832. DOI: [10.1145/3302505.3310084](https://doi.org/10.1145/3302505.3310084). URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3302505.3310084>.
- [177] Wynne Harlen y Ruth Deakin Crick. “Testing and motivation for learning”. En: *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice* 10.2 (2003), págs. 169-207. ISSN: 1465329X. DOI: [10.1080/0969594032000121270](https://doi.org/10.1080/0969594032000121270). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0969594032000121270>.
- [178] Michael T. Heath. *Scientific Computing: : An Introductory Survey, Revised Second Edition*. Philadelphia, PA: Society for Industrial y Applied Mathematics, nov. de 2018. 1-567. ISBN: 978-1-61197-557-4. DOI: [10.1137/1.9781611975581](https://doi.org/10.1137/1.9781611975581).
- [179] Roberto Hernández, Juan Carlos Lázaro, Raquel Dormido y Salvador Ros. *Estructuras de datos y algoritmos*. Prentice Hall, 2000.
- [180] Universidad Miguel Hernández. *Grado en Ingeniería Informática en Tecnologías de la Información por la Universidad Miguel Hernández*.

- [181] Universidad Miguel Hernández. *Máster Universitario en Estadística Computacional y Ciencia de Datos para la Toma de Decisiones por la Universidad Miguel Hernández*. URL: https://www.umh.es/contenido/Estudios/:tit%7B%5C_%7Dm%7B%5C_%7D277/datos%7B%5C_%7Des.html.
- [182] Jose Herrera y Germán Moltó. “Toward Bio-Inspired Auto-Scaling Algorithms: An Elasticity Approach for Container Orchestration Platforms”. En: *IEEE Access* 8.1 (2020), págs. 52139-52150. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2980852. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9036958/>.
- [183] José Herrera, Germán Moltó y Atsuhiko Takasu. “Logotype Detection in Streaming Multimedia Using Apache Storm”. En: *Proceedings of the 2017 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA)*. 2017, págs. 81-87. URL: <http://csce.ucmss.com/books/LFS/CSREA2017/PDP3398.pdf>.
- [184] *Horizon 2020 Work Programme*. URL: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-intro%7B%5C_%7Den.pdf.
- [185] Kai Hwang, Jack Dongarra y Geoffrey Fox. *Distributed and Cloud Computing: From Parallel Processing to the Internet of Things*. Morgan Kaufmann, 2012. ISBN: 9780123858801. URL: <https://www.elsevier.com/books/distributed-and-cloud-computing/hwang/978-0-12-385880-1>.
- [186] Universitat Jaume I. *Grado en Ingeniería Informática por la Universitat Jaume I*. URL: <https://www.uji.es/estudis/graus/informatica/%7B%5C%7Durl=/estudis/oferta/base/graus/actual/informatica/>.
- [187] I3M. *Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular*. URL: <https://www.upv.es/entidades/I3M/>.
- [188] ICE. *Módulo de Iniciación a la Investigación Educativa (INED)*. URL: https://www.upv.es/contenidos/ICEP/info/Modulos%7B%5C_%7DC.pdf.
- [189] ICE. *Título de Experto Universitario en Formación Online*. URL: <https://www.upv.es/contenidos/ICEP/info/868949normalc.html>.
- [190] ICE-UPV. *Encuesta de Opinión del Alumnado Sobre la Actuación Docente del Profesorado*. URL: <https://www.ice.upv.es/profesorado/encuestas/>.
- [191] *INDIGO-DataCloud*. URL: <https://www.indigo-datacloud.eu>.
- [192] Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. *Memoria para la Solicitud de Verificación del Título: Grado en Ingeniería Informática por la Universidad Politécnica de Valencia*. Inf. téc. 2009. URL: <https://www.upv.es/entidades/AEOT/infoweb/aeot/info/INF.pdf>.
- [193] *Infrastructure Manager (IM)*. URL: <https://www.grycap.upv.es/im>.

- [194] *Infrastructure Manager (IM)*. EOSC Portal. URL: <https://marketplace.eosc-portal.eu/services/infrastructure-manager-im>.
- [195] Intel. *Intel SGX*. URL: <https://www.intel.es/content/www/es/es/architecture-and-technology/software-guard-extensions.html>.
- [196] *International Association of Science Parks and Areas of Innovation*. URL: <https://www.iaspi.org/>.
- [197] V. Ishakian, V. Muthusamy y A. Slominski. "Serving Deep Learning Models in a Serverless Platform". En: *2018 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E)*. Abr. de 2018, págs. 257-262. DOI: [10.1109/IC2E.2018.00052](https://doi.org/10.1109/IC2E.2018.00052).
- [198] *iTunes U*. URL: <http://www.apple.com/education/itunes-u/>.
- [199] Peter Ivie y Douglas Thain. *Reproducibility in scientific computing*. ISSN: 15577341 Issue: 3 Publication Title: ACM Computing Surveys Volume: 51. Abr. de 2018. DOI: [10.1145/3186266](https://doi.org/10.1145/3186266).
- [200] Universitat Jaume I. *Máster en Ingeniería de Datos e Inteligencia Artificial por la Universitat Jaume I*. URL: <https://www.fue.uji.es/inteligenciaartificial>.
- [201] Eric Jonas, Qifan Pu, Shivaram Venkataraman, Ion Stoica y Benjamin Recht. "Occupy the cloud: distributed computing for the 99%". En: *Proceedings of the 2017 Symposium on Cloud Computing - SoCC '17*. New York, New York, USA: ACM Press, 2017, págs. 445-451. ISBN: 9781450350280. DOI: [10.1145/3127479.3128601](https://doi.org/10.1145/3127479.3128601). arXiv: [1702.04024](https://arxiv.org/abs/1702.04024). URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3127479.3128601> <http://arxiv.org/abs/1702.04024> <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3127479.3128601>.
- [202] Javier Jorge, Germán Moltó, Damian Segrelles, João Fontes y Miguel Guevara. "Deployment Service for Scalable Distributed Deep Learning Training on Multiple Clouds". En: *Proceedings of the 11th International Conference on Cloud Computing and Services Science*. SCITEPRESS - Science y Technology Publications, 2021, págs. 135-142. ISBN: 978-989-758-510-4. DOI: [10.5220/0010359601350142](https://doi.org/10.5220/0010359601350142). URL: <https://www.scitepress.org/DigitalLibrary/Link.aspx?doi=10.5220/0010359601350142>.
- [203] *Jorge Gomes's ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Gomes-8>.
- [204] *K3s*. URL: <https://k3s.io>.
- [205] Mehmet Kara. "Distance education: a systems view of online learning". En: *Educational Review* 72.6 (nov. de 2020), págs. 800-800. ISSN: 0013-1911. DOI: [10.1080/00131911.2020.1766204](https://doi.org/10.1080/00131911.2020.1766204). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00131911.2020.1766204>.
- [206] *Knative*. URL: <https://github.com/knative/>.

- [207] Knative. *Kubernetes-based platform to deploy and manage modern serverless workloads*. URL: <https://knative.dev/>.
- [208] Jakub Kolota. *A Remote Laboratory for Learning with Automatic Control Systems and Process Visualization*. eng. 2011. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3915801>.
- [209] M Köölling, B Quig, A Patterson y J Rosenberg. “The BlueJ system and its pedagogy”. En: *Journal of Computer Science Education, Special issue on Learning and Teaching Object Technology* 13.4 (2003).
- [210] KubeEdge. URL: <https://kubedge.io/en/>.
- [211] Kubeless. URL: <https://kubeless.io/>.
- [212] Kubernetes. URL: <https://kubernetes.io/>.
- [213] *Ladislav Hluchý's ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Ladislav-Hluchy>.
- [214] Lasnier F. *Réussir la formation par compétences*. 2000. URL: <http://catalogue.cdeacf.ca/record.htm?record=19106864124919240469>.
- [215] John Lewis y Joseph Chase. *Estructura de datos con Java : Diseño de estructuras y algoritmos*. Pearson Educación, 2006.
- [216] Sönke Lieberam-Schmidt. *Analyzing and Influencing Search Engine Results*. Wiesbaden: Gabler, 2010, págs. 163-203. ISBN: 978-3-8349-2453-7. DOI: [10.1007/978-3-8349-8915-4](https://doi.org/10.1007/978-3-8349-8915-4). URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-8349-8915-4>.
- [217] Linux Containers. *LXC*. URL: <https://linuxcontainers.org/lxc/introduction/>.
- [218] Alvaro Lopez Garcia, Jesus Marco De Lucas, Marica Antonacci, Wolfgang Zu Castell, Mario David, Marcus Hardt, Lara Lloret Iglesias, Germen Molto, Marcin Plociennik, Viet Tran, Andy S. Alic, Miguel Caballer, Isabel Campos Plasencia, Alessandro Costantini, Stefan Dlugolinsky, Doina Cristina Duma, Giacinto Donvito, Jorge Gomes, Ignacio Heredia Cacha, Keiichi Ito, Valentin Y. Kozlov, Giang Nguyen, Pablo Orviz Fernandez, Zdenek Sustr y Pawel Wolniewicz. “A Cloud-Based Framework for Machine Learning Workloads and Applications”. En: *IEEE Access* 8 (2020), págs. 18681-18692. ISSN: 2169-3536. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2964386](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964386). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8950411/>.
- [219] Sergio López-Huguet, Alfonso Pérez, Amanda Calatrava, Carlos de Alfonso, Miguel Caballer, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “A self-managed Mesos cluster for data analytics with QoS guarantees”. En: *Future Generation Computer Systems* 96.96 (jul. de 2019), págs. 449-461. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2019.02.047](https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.047). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X18311087>.

- [220] Maciej Malawski. “Towards serverless execution of scientific workflows - HyperFlow case study”. En: *CEUR Workshop Proceedings* 1800 (2016), págs. 25-33. ISSN: 16130073. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1800/paper4.pdf>.
- [221] Maciej Malawski, Adam Gajek, Adam Zima, Bartosz Balis y Kamil Figiela. “Serverless execution of scientific workflows: Experiments with HyperFlow, AWS Lambda and Google Cloud Functions”. En: *Future Generation Computer Systems* (2017). Publisher: Elsevier B.V. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2017.10.029](https://doi.org/10.1016/j.future.2017.10.029).
- [222] Marcin Plociennik. URL: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Marcin-Plociennik-70562465>.
- [223] Marcus Hardt's ResearchGate. URL: <https://www.researchgate.net/profile/M-Hardt>.
- [224] Marica Antonacci's ResearchGate. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Marica-Antonacci-2>.
- [225] Mario David's ResearchGate. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Mario-David-2>.
- [226] Maite García Martín. *La autorregulación académica como variable explicativa de los procesos de aprendizaje universitario*. 2012. URL: <https://www.redalyc.org/pdf/567/56724377012.pdf>.
- [227] A. Martínez, N. Castilla, D. Segrelles y G. Moltó. “Creación de Entornos Virtuales para Fomentar el Trabajo en Grupo y la Racionalización de Recursos”. En: *XXII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET 2014)*. 2014, págs. 1-13.
- [228] F. Marton y R. Säljö. “On Qualitative Differences in Learning—II Outcome as a Function of the Learner's Conception of the Task”. En: *British Journal of Educational Psychology* 46.2 (1976), págs. 115-127. URL: <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2044-8279.1976.tb02304.x>.
- [229] F. Marton y R. Säljö. “On Qualitative Differences in Learning: I—Outcome and Process”. En: *British Journal of Educational Psychology* 46.1 (1976), págs. 4-11. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2044-8279.1976.tb02980.x/abstract>.
- [230] E McCallister, Tim Grance y K Kent. “Guide to protecting the confidentiality of personally identifiable information (PII)”. En: *Special Publication 800-122 Guide* (2010). ISBN: 9781437934885, págs. 1-59. DOI: [10.5555/2206206](https://doi.org/10.5555/2206206).
- [231] Peter Mell y Tim Grance. *The NIST Definition of Cloud Computing. NIST Special Publication 800-145 (Final)*. Inf. téc. 2011. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>.

- [232] R. Melmer, E. Burmaster y TK James. “Attributes of effective formative assessment”. En: *Washington, DC: Council of Chief State School Officers*. 7 (2008), pág. 2008. URL: http://www.ccsso.org/Documents/2008/Attributes%7B%5C_%7Dof%7B%5C_%7DEffective%7B%5C_%7D2008.pdf.
- [233] *Memoria de Verificación del Máster Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones*. URL: https://www.upv.es/titulaciones/MUCPD/menu%7B%5C_%7Durlc.html?titulaciones/MUCPD/info/U0863659.pdf.
- [234] Eva M. Mestre-Mestre, Inma Fita, José F. Monserrat del Rio y Germán Moltó. “Aula Inversa en Estudios Tecnológicos”. En: *III Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2015)*. 2015, págs. 329-334.
- [235] MICINN. *Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación (PEICTI) 2021-2023*. Inf. téc. URL: <https://www.ciencia.gob.es/Estrategias-y-Planes/Planes-y-programas/PEICTI.html>.
- [236] Microsoft Azure. *Azure Functions—Develop Faster With Serverless Compute*. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/functions/>.
- [237] M De Miguel, IJ Alfaro, P Apodaca, JM Arias, E García y A Pérez. *Adaptación de los planes de estudio al proceso de convergencia europea (Proyecto EA 2004-0024)*. Inf. téc. 2005. URL: <http://www.sedem.org/cees/Min-EEES.pdf>.
- [238] Miguel Ángel Guevara. URL: https://scholar.google.es/citations?hl=es%7B%5C%7Duser=SaMjTCUAAAAJ%7B%5C%7Dview%7B%5C_%7Dop=list%7B%5C_%7Dworks%7B%5C%7Dsortby=pubdate.
- [239] Miguel Torres-Cisneros. URL: <https://www.linkedin.com/in/miguel-torres-cisneros-a037a095>.
- [240] *minicon*. URL: <https://github.com/grycap/minicon>.
- [241] *MinIO*. URL: <https://min.io>.
- [242] Asmaa Mirkhan. *BlurryFaces: A tool to blur faces or other regions in photos and videos*. URL: <https://github.com/asmaamirkhan/BlurryFaces>.
- [243] *Mohit Kumar's Profile*. URL: https://www.nitj.ac.in/index.php/nitj%7B%5C_%7Dcinfo/Faculty/212.
- [244] G Moltó, A Fita, E M Mestre, J F Monserrat, M C Poveda, C Rodríguez y J C Ruiz. “El Grupo Base como Herramienta de Formación Integral del Profesorado Universitario”. En: *Libro de Actas del V Congreso Iberoamericano de Docencia Universitaria*. 2008.

- [245] G Moltó, V Hernández y J.M. Alonso. “Automatic replication of WSRF-based Grid services via operation providers”. En: *Future Generation Computer Systems* 25.8 (sep. de 2009), págs. 876-883. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2009.03.004](https://doi.org/10.1016/j.future.2009.03.004). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X09000351>.
- [246] G. Moltó, V. Hernández y J.M. Alonso. “A service-oriented WSRF-based architecture for metascheduling on computational Grids”. En: *Future Generation Computer Systems* 24.4 (abr. de 2008), págs. 317-328. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2007.05.001](https://doi.org/10.1016/j.future.2007.05.001). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X07000891>.
- [247] Germán Moltó. *Curso Online de Cloud Computing con Amazon Web Services*. URL: <https://www.grycap.upv.es/cursocloudaws>.
- [248] Germán Moltó. *Event-Driven Execution of DEEP Open Catalog Modules for Prediction on AWS*. URL: <https://deep-hybrid-datacloud.eu/2020/03/25/event-driven-execution-of-deep-open-catalog-modules-for-prediction-on-amazon-web-services/>.
- [249] Germán Moltó. *Infraestructuras de Cloud Público*. URL: https://www.upv.es/titulaciones/MUCPD/menu%7B%5C_%7D1013444c.html.
- [250] Germán Moltó. “Producción y Uso de Vídeo-Ejercicios Didácticos en Asignaturas de Programación”. En: *XVIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2012)*. 2012, págs. 255-262. URL: https://aenui.org/actas/pdf/JENUI%7B%5C_%7D2012%7B%5C_%7D044.pdf.
- [251] Germán Moltó. “Vídeo-ejercicios didácticos para el aprendizaje de la programación”. En: *Novatica* 222 (2013), págs. 28-33. URL: <http://www2.ati.es/novatica/2013/222/Nv222-74.pdf>.
- [252] Germán Moltó. “Vídeo-Ejercicios para el Auto-Aprendizaje en Asignaturas de Programación”. En: *V Jornada de Innovación Docente ETSINF (JIDINF'12)*. 2012, pág. 1.
- [253] Germán Moltó y Miguel Caballer. “On using the cloud to support online courses”. En: *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*. IEEE, oct. de 2014, págs. 1-9. ISBN: 978-1-4799-3922-0. DOI: [10.1109/FIE.2014.7044041](https://doi.org/10.1109/FIE.2014.7044041). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7044041/>.
- [254] Germán Moltó y Miguel Caballer. “Scalable Software Practice Environments Featuring Automatic Provision and Configuration in the Cloud”. En: *The 2013 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'13)*. CSREA Press, 2013, págs. 658-664. URL: https://www.researchgate.net/publication/259357017%7B%5C_%7DScalable%7B%5C_%7DSoftware%7B%5C_%7DPractice%7B%5C_%7DEnvironment%7B%5C_%7DFeaturing%7B%5C_%7DAutomatic%7B%5C_%7DProvision%7B%5C_%7Dand%7B%5C_%7DConfiguration%7B%5C_%7Din%7B%5C_%7Dthe%7B%5C_%7DCloud.

- [255] Germán Moltó, Miguel Caballer y Carlos de Alfonso. “Automatic memory-based vertical elasticity and oversubscription on cloud platforms”. En: *Future Generation Computer Systems* 56 (mar. de 2016), págs. 1-10. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2015.10.002](https://doi.org/10.1016/j.future.2015.10.002). URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2015.10.002>.
- [256] Germán Moltó, Ana Fita, Inma Fita, Eva M. Mestre, Jose F. Monserrat, Rubén Picó, Adrián Rodríguez-Burruezo y Juan Carlos Ruiz. “Integración de las Herramientas Poli[Reunión] y Politube en la Práctica Docente en la UPV”. En: *Jornadas de Innovación Educativa de la UPV 2012*. 2012, págs. 197-201.
- [257] Germán Moltó, Ana M. Fita, José F. Monserrat, Adrián Rodríguez-Burruezo y Eva M. Mestre. “La Tutoría Virtual para la Autogestión del Aprendizaje en las Enseñanzas Técnicas”. En: *III Congreso Internacional UNIVEST*. 2011, págs. 1-13. URL: <http://hdl.handle.net/10256/3779>.
- [258] Germán Moltó, Inma Fita, Eva M. Mestre, Jose F. Monserrat, J. Carlos Ruiz y Rubén Picó. “Los Vídeo-Ejercicios Didácticos como Herramienta para el Fomento del Aprendizaje Autónomo”. En: *IV Jornada de Innovación Docente en Informática (JIDINF 2011)*. 2011.
- [259] Germán Moltó, Inmaculada C. Fita, David Gómez-Barquero, Eva M. Mestre, José F. Monserrat y Ana M. Fita. “Experiencias de Analíticas de Aprendizaje para el Seguimiento de Competencias Transversales”. En: *Libro de Actas del VII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. 2021.
- [260] Germán Moltó, Jose F. Monserrat, I.C. Fita y Ana M. Fita. “Experiencias Tecnológicas de Soporte al Blended Learning en un Contexto Multidisciplinar”. En: *Jornadas de Innovación Educativa y Docencia en Red (IN-RED 2014)*. 2014, págs. 54-68. URL: <http://riunet.upv.es/handle/10251/40404>.
- [261] Germán Moltó, Jose F. Monserrat, Inma Fita y Rubén Picó. “Las Vídeo-Lecciones como Herramienta para la Adquisición Autónoma de Competencias Específicas en la Ingeniería”. En: *Jornadas RED-U-Escuela Universitaria de Informática (EUI) UPM, 2013*. 2013.
- [262] Germán Moltó, Jose F. Monserrat, Inmaculada Fita, Ana Fita y Eva M. Mestre. “A Flipped Learning Approach to Develop Soft Skills in Multidisciplinary Higher Education”. En: *INNODOCT 2017*. 2017, págs. 295-305.
- [263] Germán Moltó y Jose Francisco Monserrat. “Leveraging Distance Learning Of Engineering Skills Through Video Exercises”. En: *3rd International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN)*. 2011, págs. 864-871. URL: <https://library.iated.org/view/MOLT02011LEV>.

- [264] Germán Moltó, Diana M. Naranjo y José Ramón Prieto. “Herramienta web para el seguimiento automatizado de actividades educativas prácticas en la nube”. En: *XXV Jornadas sobre Enseñanza Universitaria de la Informática*. 2019, págs. 175-182. URL: https://aenui.org/actas/pdf/JENUI%7B%5C_%7D2019%7B%5C_%7D031.pdf.
- [265] Germán Moltó, Diana M. Naranjo y J. Damian Segrelles. “Insights from Learning Analytics for Hands-On Cloud Computing Labs in AWS”. En: *Applied Sciences* 10.24 (dic. de 2020), pág. 9148. ISSN: 2076-3417. DOI: [10.3390/app10249148](https://doi.org/10.3390/app10249148). URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/24/9148>.
- [266] Germán Moltó y J. Damian Segrelles. “Panel web de gestión automatizada para actividades educativas no presenciales”. En: *XXII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2016)*. 2016, págs. 311-318. URL: https://www2.ual.es/jenui2016/files/actas%7B%5C_%7Djenui2016.pdf.
- [267] Germán Moltó, María Suárez, Pablo Tortosa, José M Alonso, Vicente Hernández y Alfonso Jaramillo. “Protein design based on parallel dimensional reduction”. En: *Journal of chemical information and modeling* 49.5 (mayo de 2009), págs. 1261-71. ISSN: 1549-9596. DOI: [10.1021/ci8004594](https://doi.org/10.1021/ci8004594).
- [268] Jose F. Monserrat, Ana M. Fita, Germán Moltó, Eva M. Mestre y Adrián Rodríguez-Burruezo. “Experiencias de Uso de la Herramienta de Aprendizaje Virtual Síncrono Poli[Reunión]”. En: *Jornada de Innovación Docente ICE-UPV Julio 2011*. 2011, págs. 1-4. URL: http://www.dcomg.upv.es/%7B%5C_%7Dchernan/JJ%7B%5C_%7DII%7B%5C_%7DICE%7B%5C_%7D2011/Articulos/M212.pdf.
- [269] Jose F. Monserrat, Germán Moltó y Damián Segrelles. “Experiencias de Cloud Computing en la Gestión de Entornos Virtuales Computacionales en la Enseñanza”. En: *23 Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET)*. 2015, págs. 1197-1210.
- [270] Moodle. URL: <http://moodle.org/>.
- [271] Pedro Morales. “Investigación e innovación educativa”. En: *REICE: Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación* 8.2 (2010), págs. 47-73. ISSN: 1696-4713. URL: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25201>.
- [272] Pedro Morales. “La evaluación formativa”. En: *Ser profesor: una mirada al alumno* (2009), págs. 33-90.
- [273] Rafael Moreno-Vozmediano, Eduardo Huedo, Ruben S. Montero e Ignacio M. Llorente. “A Disaggregated Cloud Architecture for Edge Computing”. En: *IEEE Internet Computing* 23.3 (2019), págs. 31-36. ISSN: 19410131. DOI: [10.1109/MIC.2019.2918079](https://doi.org/10.1109/MIC.2019.2918079).

- [274] N. Morgan y J. Saxton. *Teaching, questioning, and learning*. Taylor & Francis, 1991.
- [275] Kief Morris. *Infrastructure as code: managing servers in the cloud*. Publication Title: O'Reilly Media, Inc. 2016. 362 págs. ISBN: 978-1-4919-2435-8. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/infrastructure-as-code/9781491924334/>.
- [276] Diana M. Naranjo, José R. Prieto, Germán Moltó y Amanda Calatrava. “A Visual Dashboard to Track Learning Analytics for Educational Cloud Computing”. En: *Sensors* 19.13 (jul. de 2019), pág. 2952. ISSN: 1424-8220. DOI: [10.3390/s19132952](https://doi.org/10.3390/s19132952). URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/13/2952>.
- [277] Diana M. Naranjo, Sebastián Risco, Carlos de Alfonso, Alfonso Pérez, Ignacio Blanquer y Germán Moltó. “Accelerated serverless computing based on GPU virtualization”. En: *Journal of Parallel and Distributed Computing* 139 (mayo de 2020), págs. 32-42. ISSN: 07437315. DOI: [10.1016/j.jpdc.2020.01.004](https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2020.01.004). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0743731519303533>.
- [278] Diana María Naranjo, Sebastián Risco, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “A serverless gateway for event-driven machine learning inference in multiple clouds”. En: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* (dic. de 2021). ISSN: 1532-0626. DOI: [10.1002/cpe.6728](https://doi.org/10.1002/cpe.6728). URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpe.6728>.
- [279] Enrique Navarro Asencio, Eva Jiménez García, Soledad Rappoport Redondo y Bianca Thoiliez Ruano. *Fundamentos de la investigación y la innovación educativa*. Ed. por Universidad Internacional de La Rioja (UNIR Editorial); 2017.
- [280] David J. Nicol y Debra Macfarlane-Dick. “Formative assessment and self-regulated learning: a model and seven principles of good feedback practice”. En: *Studies in Higher Education* 31.2 (abr. de 2006), págs. 199-218. ISSN: 0307-5079. DOI: [10.1080/03075070600572090](https://doi.org/10.1080/03075070600572090). URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03075070600572090>.
- [281] *Normativa de Régimen Académico y de Evaluación del Alumnado*. Universidad Politécnica de Valencia. URL: <https://www.upv.es/entidades/SA/ciclos/528835normalc.html>.
- [282] OASIS. *TOSCA Simple Profile in YAML version 1.3*. URL: <https://docs.oasis-open.org/tosca/TOSCA-Simple-Profile-YAML/v1.3/TOSCA-Simple-Profile-YAML-v1.3.html>.
- [283] OASIS. *TOSCA Simple Profile in YAML version 1.3*. URL: <https://docs.oasis-open.org/tosca/TOSCA-Simple-Profile-YAML/v1.3/TOSCA-Simple-Profile-YAML-v1.3.html>.
- [284] Onedata. URL: <https://onedata.org>.
- [285] OpenFaaS. *Serverless Functions Made Simple*. URL: <https://www.openfaas.com/>.
- [286] OpenNebula. *OpenNebula*. URL: <https://opennebula.org>.

- [287] OpenStack. *Open Source Cloud Computing Infrastructure*. URL: <https://www.openstack.org>.
- [288] OpenStack. *OpenStack*. URL: <https://openstack.org>.
- [289] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. *Manual de Oslo: Guía para la Recogida e Interpretación de Datos sobre Innovación*. Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, 2005. URL: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/manual-de-oslo%7B%5C_%7D9789264065659-es%7B%5C#%7Dpage1.
- [290] A. Palacios Picos. “El crédito europeo como motor de cambio de la configuración del Espacio Europeo de la Educación Superior”. En: *Revista interuniversitaria de formación del profesorado* 51 (2004), págs. 197-206.
- [291] Javier Paricio Royo y Amparo Fernández March. *Marco de Desarrollo Académico Docente*. Inf. téc. 2019. URL: <https://red-u.org/marco-de-desarrollo-academico-docente-mdad/>.
- [292] Talcott Parsons y Gerald M. Platt. *The American University*. Ed. por Toby Jackson. Harvard University Press, dic. de 1973. ISBN: 9780674423619. DOI: [10.4159/harvard.9780674423626](https://doi.org/10.4159/harvard.9780674423626). URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.4159/harvard.9780674423626/html>.
- [293] Milan Pavlovic, Yoav Etsion y Alex Ramirez. “On the memory system requirements of future scientific applications: Four case-studies”. En: *Proceedings - 2011 IEEE International Symposium on Workload Characterization, IISWC - 2011*, 2011, págs. 159-170. ISBN: 978-1-4577-2064-2. DOI: [10.1109/IISWC.2011.6114176](https://doi.org/10.1109/IISWC.2011.6114176).
- [294] Alfonso Perez, Sebastian Risco, Diana Maria Naranjo, Miguel Caballer y German Molto. “On-Premises Serverless Computing for Event-Driven Data Processing Applications”. En: *2019 IEEE 12th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*. IEEE, jul. de 2019, págs. 414-421. ISBN: 978-1-7281-2705-7. DOI: [10.1109/CLOUD.2019.00073](https://doi.org/10.1109/CLOUD.2019.00073). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8814513/>.
- [295] Alfonso Pérez, Miguel Caballer, Germán Moltó y Amanda Calatrava. “A programming model and middleware for high throughput serverless computing applications”. En: *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*. Vol. Part F1477. Association for Computing Machinery, 2019, págs. 106-113. ISBN: 978-1-4503-5933-7. DOI: [10.1145/3297280.3297292](https://doi.org/10.1145/3297280.3297292).
- [296] Alfonso Pérez, Germán Moltó, Miguel Caballer y Amanda Calatrava. “Serverless computing for container-based architectures”. En: *Future Generation Computer Systems* 83 (jun. de 2018), págs. 50-59. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2018.01.022](https://doi.org/10.1016/j.future.2018.01.022). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X17316485>.

- [297] Alfonso Pérez, Germán Moltó, Miguel Caballer y Amanda Calatrava. “Serverless computing for container-based architectures”. En: *Future Generation Computer Systems* 83 (jun. de 2018), págs. 50-59. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2018.01.022](https://doi.org/10.1016/j.future.2018.01.022).
- [298] Alfonso Pérez, Sebastián Risco, Diana María Naranjo, Miguel Caballer y Germán Moltó. “On-Premises Serverless Computing for Event-Driven Data Processing Applications”. En: *2019 IEEE 12th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*. 2019 IEEE 12th International Conference on Cloud Computing (CLOUD). ISSN: 2159-6182. Jul. de 2019, págs. 414-421. DOI: [10.1109/CLOUD.2019.00073](https://doi.org/10.1109/CLOUD.2019.00073).
- [299] Ferran Pérez, Carlos Reaño y Federico Silla. “Providing CUDA acceleration to KVM virtual machines in InfiniBand clusters with rCUDA”. En: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Vol. 9687. 2016, págs. 82-95. ISBN: 9783319395760. DOI: [10.1007/978-3-319-39577-7_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39577-7_7). URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39577-7_7.
- [300] *Plant Classification with Lasagne/Theano*. URL: <https://github.com/grycap/oscar/tree/master/examples/plant-classification-theano>.
- [301] *PoliformaT*. URL: <https://poliformat.upv.es>.
- [302] *Polimedia*. URL: <https://media.upv.es/%7B%5C%7Dportal/channel/306b9f6d-fd47-b84a-a8a4-04b14644adef>.
- [303] Juan Ignacio Pozo, Nora Scheuer, María del Puy, Mar Mateos, Elena Martín y Montserrat de la Cruz. *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje: las concepciones de profesores y alumnos*. Vol. 3. Grao, 2006, pág. 459. ISBN: 8478274324. URL: <http://books.google.com/books?id=86ArvQ3MEL4C%7B%5C%7Dpgis=1>.
- [304] *PRIMAGE (Medical Imaging Artificial Intelligence Childhood cancer research)*. URL: <https://www.primageproject.eu>.
- [305] *Programas Nacionales I+D (Ministerio de Defensa)*. URL: <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Presentacion/ImasD/Paginas/ProgramasNacionales.aspx>.
- [306] Aditya Purohit. *face-mask-detector: Real-Time Face mask detection using deep learning with Alert system*. URL: <https://github.com/adityap27/face-mask-detector/>.
- [307] *Radiomics with Keras and TF*. URL: <https://github.com/grycap/oscar/tree/master/examples/radiomics>.
- [308] P. Ramsden. *Learning to teach in higher education*. Psychology Press, 1992.

- [309] Martin Reisslein, Bernhard Rinner y Amit Roy-Chowdhury. “Smart Camera Networks [Guest editors’ introduction]”. En: *Computer* 47.5 (mayo de 2014). Publisher: IEEE Computer Society, págs. 23-25. ISSN: 0018-9162. DOI: [10.1109/MC.2014.134](https://doi.org/10.1109/MC.2014.134).
- [310] *Research and innovation strategy 2020-2024*. URL: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/strategy-2020-2024%7B%5C_%7Den.
- [311] *Ricardo Rocha’s Profile*. URL: <https://ricardorocha.io/about/>.
- [312] Sebastián Risco y Germán Moltó. “GPU-Enabled Serverless Workflows for Efficient Multimedia Processing”. En: *Applied Sciences* 11.4 (feb. de 2021), pág. 1438. ISSN: 2076-3417. DOI: [10.3390/app11041438](https://doi.org/10.3390/app11041438). URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1438>.
- [313] Sebastián Risco, Germán Moltó, Diana M. Naranjo e Ignacio Blanquer. “Serverless Workflows for Containerised Applications in the Cloud Continuum”. En: *Journal of Grid Computing* 19.3 (sep. de 2021), pág. 30. ISSN: 1570-7873. DOI: [10.1007/s10723-021-09570-2](https://doi.org/10.1007/s10723-021-09570-2). URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10723-021-09570-2>.
- [314] Sasko Ristov, Stefan Pedratscher y Thomas Fahringer. “AFCL: An Abstract Function Choreography Language for serverless workflow specification”. En: *Future Generation Computer Systems* 114 (ene. de 2021). Publisher: Elsevier B.V., págs. 368-382. ISSN: 0167739X. DOI: [10.1016/j.future.2020.08.012](https://doi.org/10.1016/j.future.2020.08.012).
- [315] Vicente-Arturo Romero-Zaldivar, Abelardo Pardo, Daniel Burgos y Carlos Delgado Kloos. “Monitoring student progress using virtual appliances: A case study”. En: *Computers & Education* 58.4 (mayo de 2012), págs. 1058-1067. ISSN: 03601315. DOI: [10.1016/j.compedu.2011.12.003](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.12.003). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131511003198>.
- [316] *Rucio*. URL: <https://rucio.cern.ch>.
- [317] Héctor Ruiz. *¿Cómo aprendemos?. Una aproximación científica al aprendizaje y la enseñanza*. 2020. ISBN: 978-84-18058-07-3. URL: <https://www.grao.com/es/producto/como-aprendemos-una-aproximacion-cientifica-al-aprendizaje-y-la-ensenanza-ee001>.
- [318] Juan Carlos Ruiz, Ana María Fita, Eva María Mestre, José Francisco Monserrat, Germán Moltó, María del Carmen Poveda y Cristina Rodríguez. “Experiencias de motivación a los alumnos de enseñanza universitaria técnica y artística”. En: *Libro de Actas del XVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET)*. 2008, pág. 173.
- [319] Juan Carlos Ruiz, Germán Moltó, J.F. Monserrat, Ana Fita, A Rodriguez, Eva Mestre y M.C. Poveda. “Aprendizaje Virtual Síncrono Mediante Entornos Colaborativos en un Contexto Multidisciplinar”. En: *III Jornada de Innovación Docente en Informática (JIDINF’10)*. 2010.

- [320] Mike Ryan y Federico Lucifredi. *AWS System Administration*. O'Reilly, 2016. ISBN: 9781449342579. URL: <https://learning.oreilly.com/library/view/aws-system-administration/9781449342562/>.
- [321] *Sakai Project*. <https://sakaiproject.org>. URL: <https://sakaiproject.org>.
- [322] D. Salomoni, I. Campos, L. Gaido, G. Donvito, P. Fuhrman, J. Marco, A. Lopez-Garcia, P. Orviz, I. Blanquer, G. Molto, M. Plociennik, M. Owsiak, M. Urbaniak, M. Hardt, A. Ceccanti, B. Wegh, J. Gomes, M. David, C. Aiftimiei, L. Dutka, S. Fiore, G. Aloisio, R. Barbera, R. Bruno, M. Fargetta, E. Giorgio, S. Reynaud y L. Schwarz. *INDIGO-Datacloud: foundations and architectural description of a Platform as a Service oriented to scientific computing*. Inf. téc. INDIGO-DataCloud, mar. de 2016, pág. 30. arXiv: 1603.09536. URL: <http://arxiv.org/abs/1603.09536>.
- [323] Davide Salomoni y col. "INDIGO-DataCloud: a Platform to Facilitate Seamless Access to E-Infrastructures". En: *Journal of Grid Computing* 16.3 (sep. de 2018), págs. 381-408. ISSN: 1570-7873. DOI: 10.1007/s10723-018-9453-3. arXiv: 1711.01981. URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10723-018-9453-3>.
- [324] Corey Sanders, Bob Sedgewick y Kevin Wayne. *Growing Tree*. URL: <http://www.cs.princeton.edu/introcs/GrowingTree>.
- [325] Peter Sbarski. *Serverless architectures on AWS: with examples using AWS Lambda*. Manning, 2017. ISBN: 9781617293825. URL: <https://www.manning.com/books/serverless-architectures-on-aws>.
- [326] J. Damià Segrelles y Germán Moltó. "Recopilación Automatizada de Evidencias de la Realización de Actividades Educativas en el Cloud". En: *XXI Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2015)*. 2015, págs. 97-104.
- [327] J. Damian Segrelles, Alicia Martinez, Nuria Castilla y Germán Moltó. "Virtualized Computational Environments on the cloud to foster group skills through PBL: A case study in architecture". En: *Computers & Education* 108 (mayo de 2017), págs. 131-144. ISSN: 03601315. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.02.001. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131517300246>.
- [328] J. Damian Segrelles y German Molto. "Assessment of cloud-based Computational Environments for higher education". En: *2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. Ed. por IEEE. IEEE, oct. de 2016, págs. 1-9. ISBN: 978-1-5090-1790-4. DOI: 10.1109/FIE.2016.7757604. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7757604/>.

- [329] J. Damian Segrelles, Germán Moltó y Miguel Caballer. “Remote Computational Labs for Educational Activities via a Cloud Computing Platform”. En: *2015 Proceedings of the Information Systems Education Conference (ISECON)*. 2015, págs. 309-321. URL: https://www.researchgate.net/publication/284170671%7B%5C_%7DRemote%7B%5C_%7DComputational%7B%5C_%7DLabs%7B%5C_%7Dfor%7B%5C_%7DEducational%7B%5C_%7DActivities%7B%5C_%7Dvia%7B%5C_%7Da%7B%5C_%7DCloud%7B%5C_%7DComputing%7B%5C_%7DPlatform.
- [330] J. Damian Segrelles Quilis, Germán Moltó e Ignacio Blanquer. “A cloud framework for problem-based learning on grid computing”. En: *Journal of Parallel and Distributed Computing* 155 (sep. de 2021), págs. 24-37. ISSN: 07437315. DOI: [10.1016/j.jpdc.2021.04.012](https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2021.04.012). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0743731521000952>.
- [331] *Sello de excelencia EURO-INF*. URL: <https://www.upv.es/estudios/grado/sello-excelencia-euroinf-es.html>.
- [332] Swarvanu Sengupta. *faas-flow: Function Composition for OpenFaaS*. URL: <https://github.com/s8sg/faas-flow>.
- [333] Mohit Sewak y Sachchidan Singh. “Winning in the Era of Serverless Computing and Function as a Service”. En: *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2018*. Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., nov. de 2018. ISBN: 978-1-5386-4273-3. DOI: [10.1109/I2CT.2018.8529465](https://doi.org/10.1109/I2CT.2018.8529465).
- [334] *Shadev Zala*. URL: <https://developer.ibm.com/profiles/spzala/>.
- [335] Matthew Shields. “Control-versus data-driven workflows”. En: *Workflows for e-Science*. Springer London, 2007, págs. 167-173. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84628-757-2_11.
- [336] Simon Shillaker y Peter Pietzuch. “Faasm: Lightweight Isolation for Efficient Stateful Serverless Computing”. En: *USENIX ATC*. Feb. de 2020, págs. 419-433. ISBN: 9781939133144. arXiv: [2002.09344](https://arxiv.org/abs/2002.09344). URL: www.usenix.org/conference/atc20/presentation/shillaker%20http://arxiv.org/abs/2002.09344.
- [337] Tyler J Skluzacek, Ryan Chard, Ryan Wong, Zhuozhao Li, Yadu N Babuji, Logan Ward, Ben Blaiszik, Kyle Chard y Ian Foster. “Serverless workflows for indexing large scientific data”. En: *WOSC 2019 - Proceedings of the 2019 5th International Workshop on Serverless Computing, Part of Middleware 2019*. New York, New York, USA: ACM Press, 2019, págs. 43-48. ISBN: 9781450370387. DOI: [10.1145/3366623.3368140](https://doi.org/10.1145/3366623.3368140). URL: <https://doi.org/10.1145/3366623.3368140>.
- [338] Tito Spadini, Dimitri Leandro de Oliveira Silva y Ricardo Suyama. “Sound Event Recognition in a Smart City Surveillance Context”. En: (oct. de 2019). URL: <http://arxiv.org/abs/1910.12369>.

- [339] Pei-Chen Sun, Ray J. Tsai, Glenn Finger, Yueh-Yang Chen y Downing Yeh. “What drives a successful e-Learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction”. En: *Computers & Education* 50.4 (mayo de 2008), págs. 1183-1202. ISSN: 03601315. DOI: [10.1016/j.compedu.2006.11.007](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.11.007). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131506001874>.
- [340] *The European Research Area: Evolving concept, implementation challenges | Think Tank | European Parliament*. URL: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS%7B%5C_%7DIDA\(2016\)579097](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS%7B%5C_%7DIDA(2016)579097) (visitado 30-01-2022).
- [341] Erik Torres, Germán Moltó, Damià Segrelles, Ignacio Blanquer y Vicente Hernández. “A replicated information system to enable dynamic collaborations in the Grid”. En: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 24.14 (sep. de 2012), págs. 1668-1683. ISSN: 15320626. DOI: [10.1002/cpe.1915](https://doi.org/10.1002/cpe.1915). URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpe.1915>.
- [342] Beatriz Trenor, Lucia Romero, Jose María Ferrero (Jr.), Javier Saiz, Germán Moltó y Jose Miguel Alonso. “Vulnerability to Reentry in a Regionally Ischemic Tissue. A Simulation Study”. En: *Annals of Biomedical Engineering* 35.10 (2007), págs. 1756-1770.
- [343] Héctor Tronchoni, Conrad Izquierdo y M. Teresa Anguera. “Participatory interaction in lectures: Theoretical framework and construction of an observational instrument”. En: *Publicaciones de la Facultad de Educacion y Humanidades del Campus de Melilla* 48.1 (abr. de 2018), págs. 81-108. ISSN: 15774147. DOI: [10.30827/publicaciones.v48i1.7331](https://doi.org/10.30827/publicaciones.v48i1.7331). URL: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/publicaciones/article/view/7331>.
- [344] UPV. *Competencias Transversales - Preguntas Frecuentes*. URL: <https://www.upv.es/contenidos/COMPTRAN/info/963289normalc.html>.
- [345] UPV. *Competencias Transversales UPV*. URL: <https://www.upv.es/contenidos/COMPTRAN/>.
- [346] UPV. *Diseño de Titulaciones. Documento Marco UPV*. Inf. téc. URL: <https://www.upv.es/entidades/VECA/info/U0589842.pdf>.
- [347] UPV. *Estatutos de la Universitat Politècnica de València*. 2011. URL: <https://www.upv.es/organizacion/la-institucion/estatutos-upv-es.html>.
- [348] UPV. *Estructuras de Investigación de la Universitat Politècnica de València*. URL: <https://www.upv.es/investigacion/estructuras/index-es.html>.
- [349] UPV. *Historia de la UPV*. URL: <http://www.upv.es/organizacion/conoce-upv/historia/historia1-es.html>.

- [350] UPV. *Índice de la Actividad Investigadora*. URL: <http://www.upv.es/entidades/VINV/info/216020normalc.html>.
- [351] UPV. *Instituto de Ciencias de la Educación*. URL: <https://www.ice.upv.es>.
- [352] UPV. *Manual de Evaluación de la Actividad Docente del Profesorado (IAD) de la Universitat Politècnica de València*. URL: <http://www.upv.es/entidades/VOAP/info/IADmanual.pdf>.
- [353] UPV. *Memoria del Curso Académico 2019-2020*. UPV. Inf. téc. URL: <https://www.upv.es/entidades/SG/infoweb/sg/info/U0891086.pdf>.
- [354] UPV. *Memoria del Curso Académico 2020-2021*. URL: <https://www.upv.es/entidades/SG/infoweb/sg/info/U0908200.pdf>.
- [355] UPV. *Plan UPV Estratégico UPV 2015-2020*. Inf. téc. URL: https://www.upv.es/noticias-upv/documentos/plan%7B%5C_%7Destrategico%7B%5C_%7Ddupv2020.pdf.
- [356] UPV. *Proyecto Competencias Transversales UPV*. Inf. téc. URL: https://www.upv.es/entidades/ICE/info/Proyecto%7B%5C_%7DInstitucional%7B%5C_%7DCT.pdf.
- [357] UPV. *Reglamento para la Evaluación de la Actividad de Investigación, Desarrollo e Innovación en la Universidad Politècnica de València*. URL: <https://www.upv.es/cde/Normativas/PDI/UPV/BorradorIAI.pdf>.
- [358] UPV. *SQAaaS Web Page*. URL: <https://sqaas.eosc-synergy.eu>.
- [359] M. Valcárcel. *La preparación del profesorado universitario español para la convergencia europea en educación superior (Proyecto EA2003-0040)*. Inf. téc. 2003. URL: http://www.usal.es/web-usal/Novedades/noticias/bolonia/informe%7B%5C_%7Dfinal.pdf.
- [360] Universidad Internacional de Valencia. *Grado en Ingeniería Informática por la Universidad Internacional de Valencia*. URL: <https://www.universidadviu.com/es/grado-ingenieria-informatica>.
- [361] Universidad Internacional de Valencia. *Máster Universitario en Big Data y Data Science por la Universidad Internacional de Valencia*. URL: <https://www.universidadviu.com/es/master-universitario-big-data-data-science>.
- [362] Instituto de Ciencias de la Educación de la Universitat Politècnica de València. *Experto Universitario en Pedagogía Universitaria*. URL: https://www.upv.es/contenidos/ICEP/info/EXUPU%7B%5C_%7Dinfo.pdf.
- [363] Universitat de València. *Grado en Ciencia de Datos por la Universitat de València*.
- [364] Universitat de València. *Grado en Ingeniería Informática por la Universitat de Valencia*. URL: <https://www.uv.es/uvweb/universidad/es/estudios-grado/oferta-grados/oferta-grados/grado-ingenieria-informatica-1285846094474/Titulacio.html?id=1285847366789>.

- [365] Universitat de València. *Máster Universitario en Ciencia de Datos por la Universitat de València*. URL: <https://www.uv.es/uvweb/master-ciencia-datos/es/master-universitario-ciencia-datos-1285949661373.html>.
- [366] Universitat Politècnica de València. *Grado en Ciencia de Datos*. URL: <https://www.upv.es/titulaciones/GCD/>.
- [367] Universitat Politècnica de València. *Grado en Ingeniería Informática por la Universitat Politècnica de València*. URL: <https://www.upv.es/titulaciones/GII/>.
- [368] Universitat Politècnica de València. *Máster en Big Data Analytics*. URL: <https://bigdata.webs.upv.es>.
- [369] Universitat Politècnica de València. *Máster en Bioinformática, Biología Computacional y Medicina Personalizada*. URL: <https://biocom.webs.upv.es/index.php/profesores/>.
- [370] Universitat Politècnica de València. *Master Universitario en Ciberseguridad y Ciberinteligencia*. URL: <https://www.upv.es/titulaciones/MUCC/indexc.html>.
- [371] Universitat Politècnica de València. *Máster Universitario en Computación en la Nube y de Altas Prestaciones*. URL: <https://www.upv.es/titulaciones/MUCPD/indexc.html>.
- [372] Universitat Politècnica de València. *Máster Universitario en Gestión de la Información*. URL: <https://mugi.webs.upv.es>.
- [373] Universitat Politècnica de València. *Máster Universitario en Ingeniería Informática*. URL: <http://www.upv.es/titulaciones/MUIINF/>.
- [374] Universitat Politècnica de València. *Máster Universitario en Ingeniería y Tecnología de Sistemas Software*. URL: <https://www.upv.es/titulaciones/MUISMFSI/indexc.html>.
- [375] Universitat Politècnica de València. *Máster Universitario en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital*. URL: <https://www.upv.es/titulaciones/MUIARFID/>.
- [376] Universitat Politècnica de València. *Máster Universitario en Tecnologías Web, Computación en la Nube y Aplicaciones Móviles*. URL: <https://www.uv.es/uvweb/master-tecnologias-web-computacion-nube-aplicaciones-moviles/es/master-universitario-tecnologias-web-computacion-nube-aplicaciones-moviles-1285882930977.html>.
- [377] *Valentin Kozlov's ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Valentin-Kozlov-3>.
- [378] M. Valero Garcia y J.J. Navarro Guerrero. "Niveles de competencia de los objetivos formativos en las ingenierías". En: (2001). URL: <http://upcommons.upc.edu/e-prints/handle/2117/8787>.

- [379] Lieteke Van Vucht Tijssen y Egbert Weert. “From erudition to Academic Competence”. En: *Revista Española de Pedagogía* 63.230 (2005), págs. 123-145. ISSN: 2174-0909. URL: <https://www.jstor.org/stable/23765800>.
- [380] Luis M. Vaquero. “EduCloud: PaaS versus IaaS cloud usage for an advanced computer science course”. En: *IEEE Transactions on Education* 54.4 (nov. de 2011), págs. 590-598. ISSN: 00189359. DOI: [10.1109/TE.2010.2100097](https://doi.org/10.1109/TE.2010.2100097). URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470940105.fmatter>.
- [381] Sébastien Vaucher, Rafael Pires, Pascal Felber, Marcelo Pasin, Valerio Schiavoni y Christof Fetzer. “SGX-Aware container orchestration for heterogeneous clusters”. En: *Proceedings - International Conference on Distributed Computing Systems*. Vol. 2018-July. 2018, págs. 730-741. ISBN: 9781538668719. DOI: [10.1109/ICDCS.2018.00076](https://doi.org/10.1109/ICDCS.2018.00076). arXiv: [1805.05847](https://arxiv.org/abs/1805.05847). URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8416339/?casa%7B%5C_%7Dtoken=K9TOM8R5rVIAAAAA:5CCXHJRPfOnFVdd3Z%7B%5C_%7DfewQDdAzQ5z-fo2ymjOg7aku-txHsugdr0-S82vPUut8KJKpSS5Eg.
- [382] Christian Vecchiola, Suraj Pandey y Rajkumar Buyya. “High-performance cloud computing: A view of scientific applications”. En: *I-SPAN 2009 - The 10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks*. 2009, págs. 4-16. ISBN: 978-0-7695-3908-9. DOI: [10.1109/I-SPAN.2009.150](https://doi.org/10.1109/I-SPAN.2009.150).
- [383] *Video processing with function composition*. URL: <https://github.com/grycap/oscar/tree/master/examples/video-process>.
- [384] *Viet Tran's ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Viet-Tran-27>.
- [385] *Web of Science*. URL: <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>.
- [386] *WebAssembly*. URL: <https://webassembly.org/>.
- [387] Mark Allen Weiss. *Estructuras de datos en Java : Compatible con Java 2*. Addison-Wesley, 2000.
- [388] Richard Wiener y Lewis J Pinson. *Fundamentals of OOP and data structures in Java*. Cambridge University Press, 2000.
- [389] Bill Wilder. *Cloud Architecture Patterns*. 2012, págs. 182. ISBN: 978-1-4493-1977-9. URL: <https://learning.oreilly.com/library/view/cloud-architecture-patterns/9781449357979/>.

- [390] Chao Tung Yang, Jung Chun Liu, Hsien Yi Wang y Ching Hsien Hsu. “Implementation of GPU virtualization using PCI pass-through mechanism”. En: *Journal of Supercomputing* 68.1 (abr. de 2014), págs. 183-213. ISSN: 15730484. DOI: [10.1007/s11227-013-1034-4](https://doi.org/10.1007/s11227-013-1034-4). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11227-013-1034-4>.
- [391] Concepción Yániz y Lourdes Villardón. *Planificar desde competencias para promover el aprendizaje*. Universidad de Deusto, 2006.
- [392] *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com>.
- [393] Miguel Ángel Zabalza. *Competencias docentes del profesorado universitario. Calidad y desarrollo profesional*. Narcea Ediciones, 2003.
- [394] Miguel Ángel Zabalza Beraza. “Evaluación de los aprendizajes en la Universidad”. En: *Didáctica universitaria*. La Muralla, 2001, págs. 261-291.
- [395] Zdeněk Šustr's *ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Zdenek-Sustr-77416908>.