



Inteligencia Artificial y Experimentación en Física

Artificial Intelligence and Experimentation in Physics

José Daniel Sierra Murillo^a

^aUniversidad de La Rioja; Complejo Científico-Tecnológico; C/ Madre de Dios 53; 26006-Logroño; daniel.sierra@unirioja.es

How to cite: Sierra Murillo, J. D. (2024). Inteligencia Artificial y Experimentación en Física. En libro de actas: *X Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 11-12 de julio de 2024.

Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2024.2024.17251>

Abstract

At the intersection between the cutting edge of technology and the exploration of nature's fundamental mysteries, a fascinating field is emerging that redefines the way we understand and approach to The Physics: the convergence between artificial intelligence and physical experimentation. In this article, we will explore the exciting terrain where the power of advanced algorithms meets the rigorous methods of experimental research: Scientific Method. The synergy between artificial intelligence and Experimental Physics is not only revolutionizing the way we make measurements and analyze data, but is also opening new doors towards deep understanding of more or less complex natural phenomena. From predictive analytics to experiment optimization, this symbiosis between the human mind and computational power promises to push our understanding of Nature/Universe to unprecedented levels. Welcome to the era where Artificial Intelligence and Physics intertwine to reveal the deepest secrets of the Cosmos

Keywords: *Experimentation in Physics; Artificial intelligence; Scientific Method; Analysis of Experimental Measurements; Meaningful Understanding and Interpretation of Nature/Universe*

Resumen

En la intersección entre la vanguardia de la tecnología y la exploración de los misterios fundamentales de la naturaleza, surge un campo fascinante que redefine la forma en que comprendemos y abordamos La Física: la convergencia entre la inteligencia artificial y la experimentación física. En este artículo, exploraremos el emocionante terreno donde la potencia de los algoritmos avanzados se encuentra con los rigurosos métodos de la investigación experimental: Método Científico. La sinergia entre la inteligencia artificial y la Física Experimental no solo está revolucionando la forma en que realizamos mediciones y analizamos datos, sino que también está abriendo nuevas puertas hacia la comprensión profunda de fenómenos naturales más o menos complejos. Desde el análisis predictivo hasta la optimización de experimentos, esta simbiosis entre la mente humana y la capacidad computacional promete impulsar nuestra comprensión de la/del Naturaleza/Universo a niveles sin precedentes. Bienvenidos a la era donde la Inteligencia Artificial y la Física se entrelazan para revelar los secretos más profundos del Cosmos

Palabras clave: *Experimentación en Física; Inteligencia Artificial; Método Científico; Análisis de Medidas Experimentales; Comprensión e Interpretación Significativa de la/del Naturaleza/Universo*

Introducción

La convergencia entre la Inteligencia Artificial (IA) y la Experimentación en Física ha dado lugar a avances significativos, marcando una nueva era en la investigación científica. Este análisis del estado del arte se sumerge en las contribuciones clave de esta sinergia, respaldado por investigaciones y estudios destacados en el campo.



La automatización y optimización de procesos experimentales han sido impulsadas por la integración de la inteligencia artificial. En la detección de partículas subatómicas, algoritmos de aprendizaje profundo han demostrado una precisión excepcional. Un ejemplo relevante es el trabajo de Baldí et al. (2014) que implementa redes neuronales convolucionales para la clasificación de eventos en experimentos del Gran Colisionador de Hadrones (Large Hadron Collider – LHC). En términos de optimización experimental, el estudio de Möller et al. (2018) destaca el uso de algoritmos genéticos para encontrar configuraciones óptimas en experimentos cuánticos. Estos enfoques han llevado a una mejora significativa en la eficiencia y precisión de la recopilación de datos experimental.

La capacidad predictiva de la inteligencia artificial ha sido un avance crucial en la Física. En el modelado de fenómenos complejos, los modelos basados en aprendizaje profundo han sido aplicados con éxito. Un estudio clave es el de Carrasquilla y Melko (2017), donde se utiliza una red neuronal para prever transiciones de fase en sistemas cuánticos, demostrando la eficacia de la IA en la predicción de comportamientos físicos complejos. Además, la IA ha influido en la Física Teórica. La investigación de Cranmer et al. (2020) utiliza algoritmos de aprendizaje automático para mejorar la eficiencia en la identificación de teorías fundamentales, mostrando cómo la IA puede acelerar el proceso de formulación teórica.

El descubrimiento de patrones no evidentes en grandes conjuntos de datos experimentales ha sido una de las contribuciones más emocionantes de la IA. El trabajo de Zhang et al. (2019) destaca cómo algoritmos de aprendizaje profundo revelaron correlaciones inesperadas en datos de superconductividad, llevando al descubrimiento de nuevos materiales superconductores a temperaturas más altas. Estos descubrimientos inesperados destacan la capacidad de la IA para identificar patrones sutiles que podrían pasarse por alto mediante métodos convencionales.

A pesar de los avances, la aplicación de la inteligencia artificial en la Física Experimental no está exenta de desafíos. La interpretación de modelos de aprendizaje profundo plantea preguntas fundamentales sobre la comprensión de los fenómenos físicos, como discuten Amos et al. (2017). Además, la dependencia de grandes conjuntos de datos para el entrenamiento puede introducir sesgos, lo que subraya la importancia de abordar cuestiones éticas en la recopilación y uso de datos, como señalan Mittelstadt et al. (2016).

Las perspectivas presentes y futuras de la colaboración entre la IA y la Física son emocionantes. La investigación de Aaronson y Arkhipov (2011) destaca la posibilidad de la computación cuántica para mejorar aún más la capacidad de la IA en la simulación de sistemas físicos complejos. Además, la próxima generación de experimentos podría incorporar algoritmos de aprendizaje profundo en tiempo real, según sugiere la investigación de Silver et al. (2016), permitiendo adaptaciones dinámicas de los parámetros experimentales según evoluciona la investigación.

La convergencia entre la inteligencia artificial y la experimentación física ha marcado un cambio paradigmático en la forma en que abordamos los problemas fundamentales. Desde la automatización de procesos hasta la predicción de fenómenos y el descubrimiento de nuevos materiales, la sinergia entre la IA y la Física está transformando la investigación científica. Aunque persisten desafíos y consideraciones éticas, la promesa de un entendimiento más profundo del universo impulsa la continua exploración y colaboración entre estas dos disciplinas.

Todo ello forma parte de un novedoso proceso de mejora en la innovación docente e investigadora, así como de su aplicación científico-tecnológica y empresarial. (Mora H. et al., 2015) Además, Universidad y Profesorado poseen gran experiencia en un ámbito, la enseñanza virtual, en la que es necesario la participación proactiva de toda la comunidad universitaria. Es decir, de un compromiso institucional con la Innovación Docente (ID) (Ramírez, 2018) y de su equiparación real con la Investigación Específica (IE), en los diferentes ámbitos en los que ambas (docencia e investigación) son de suma importancia, básico-fundamental y aplicada (experimentación y empresa). En la actual universidad, se trabaja fundamentalmente por y para dicha IE, algunas veces incluso en detrimento de la docencia y su innovación. Parecería más aconsejable la ya mencionada valoración más equilibrada de una y otra, más cuando dichos procesos de ID implican habitualmente una mejora de toda actividad universitaria. Tanto en la docente (enseñanza-aprendizaje) como en la futura investigación básica y/o aplicada, así como en las mejoras metodológicas, relativas a competencias y a diversas habilidades, de interés para las empresas en las que el mencionado alumnado desarrollará todo su potencial. Como ya lo hacen en universidades de reconocido prestigio internacional, es de suma importancia valorar adecuadamente la formación básico-fundamental en los primeros cursos de los diferentes grados. Ésta forma parte de una necesaria, amplia y sólida base para un afianzado crecimiento del aprendizaje/conocimiento del alumnado del Siglo XXI. Formación básico-fundamental con competencias específicas y transversales, así como habilidades, necesarias y relacionadas con el afán de mejora profesional de los actores implicados: profesorado, alumnado, empresariado, etc.

“Los estudiantes, no solo deben ser buenos conocedores de cada una de las materias, sino también deben desplegar otras cualidades como la creatividad, el espíritu crítico y la capacidad para el aprendizaje continuo que esta sociedad en pleno Siglo XXI les solicita”: Declaración Mundial para la Educación Superior en el Siglo XXI (Granados, 2011) y Declaración de Bolonia 2020 (Bolonia, 2009).

La calidad docente e investigadora en la universidad, sean enseñanzas científicas, técnicas o mixtas, así como la mejora del proceso de su aprendizaje por parte del alumnado, puede conseguirse por medio de

una Metodología Proactiva. (Prieto, 2019) La propia naturaleza de la experimentación necesita de la proactividad del alumnado, de su implicación individual y como miembro del grupo de trabajo experimental, con el que necesita colaborar adecuadamente en todo el proceso de aprendizaje. Debe recordarse que, de esta manera, se traslada una parte de la responsabilidad de su aprendizaje desde el profesor al alumnado: Metodología “*Flipped Learning*” (MFL), (Prieto, 2019). La ya positiva experiencia del autor con la MFL desde hace tiempo, mejora más aún cuando se complementa con el uso de las TIC dentro de un Espacio Virtual 3.0 (EV-3.0).

Las *Webs* 3.0 (W3C, 2013) (Figura 1) suelen designarse como *Webs* semánticas. La información se dispone de una manera perfectamente estructurada, que permite una ágil y eficiente acceso y consulta, tanto por personas como por máquinas (Nacer y Aissani, 2014).



Figura 1. Visión esquemática de la Web 3.0. (Fuente: Google Web 3.0)

El EV-3.0 se ha utilizado y se utiliza en nuestra Sociedad del Siglo XXI, siendo como es una gran autopista dentro de *Internet*, que proporciona diversas herramientas de gran interés y utilidad para el ámbito científico-tecnológico. Por tanto, para el alumnado vinculado con este proyecto y, también, para que todo tipo de instituciones, empresas, etc. puedan colaborar de manera ágil.

Objetivos

Principal objetivo de este proyecto innovador, es perfeccionar el proceso de preparación del trabajo experimental del alumnado recién llegado a la universidad (“con muy poco bagaje experimental”), con la inestimable ayuda de una Inteligencia Artificial, debidamente utilizada e integrada en el EV-3.0.

El desarrollo del proyecto, implica la generación de diverso material relacionado con el seguimiento del trabajo de preparación previo a la experimentación en el laboratorio: información previa y metodológica, guiones adaptados a los diferentes experimentos planteados, material complementario utilizado por los miembros del grupo de trabajo experimental. Todo ello, permite al profesor realizar un adecuado seguimiento y valoración del nivel de preparación del grupo de trabajo experimental.

Dado el carácter multidisciplinar del proyecto, se pretende también, como objetivo no menos importante, conseguir adherir un significativo número de profesores afines a este tipo de metodologías. El hecho de que la Física sea una materia necesaria en todo tipo de disciplinas científico-tecnológicas, ayuda a este objetivo.

Dentro de la lista de objetivos de este proyecto, deben mencionarse también la mejora de las competencias del trabajo individual y colaborativo del alumnado, así como de estos con el profesor. Con una inestimable ayuda de la MFL y dentro del EV-3.0, metodología y espacio virtual muy utilizados

previamente por el autor del proyecto. Para su adecuado desarrollo, es fundamental que el alumnado disponga (y/o adquiera durante el desarrollo del proyecto) de algunas habilidades informáticas asociadas a dicho proyecto. Que son de gran importancia en los actuales entornos científico-tecnológicos y empresariales, dentro de una Sociedad del Siglo XXI. (Freeman et al., 2014)

Finalmente, y asociados a los anteriores, se logran otros de manera complementaria: (a) La demostración de la importancia del uso de las TIC en diversos ámbitos relacionados con la formación/aprendizaje universitario en un EV-3.0. (b) La puesta en práctica de una de las principales filosofías del proyecto Bolonia 2020, como es la mejora de los procesos docencia-aprendizaje.

Desarrollo de la innovación

Metodología

La metodología llevada a cabo se adapta al adecuado desarrollo de los objetivos pretendidos. Por esto, es esencial una adecuada colaboración en los grupos de trabajo (individual y colectiva), tanto en la preparación previa como en el desarrollo del proyecto en cada una de las experiencias físicas. Se utiliza un Aula Virtual de la universidad a la que pertenecen los profesores participantes en el proyecto para mejorar, más aún si cabe, el desarrollo de este proyecto innovador. (Figura 2) En esta zona virtual, administrada por el profesor responsable del proyecto, permite intercambiar/compartir todo tipo de información entre los miembros de los grupos de trabajo y también con el profesorado (material necesario inicialmente, además del generado por cada uno de ellos en el proceso de preparación y desarrollo del proyecto). Facilita e incrementa las posibles mejoras del proceso de preparación y desarrollo de la experimentación, ya que, al poder monitorizarlo “casi al instante” y “con todo detalle” por diferentes actores (alumnado y profesorado), sin tener que reunirse de manera presencial. Se agiliza enormemente la optimización de la preparación de los experimentos propuestos inicialmente y, sobre todo, la propuesta de nuevas experiencias alternativas: **innovación docente-investigadora**.



Figura 2. Captura de pantalla de la zona de intercambio del Aula Virtual

La estandarización del proceso es aconsejable, porque permite generalizar y extender el uso de diversas plataformas informáticas, con el objetivo de compatibilizar el trabajo, autónomo y colaborativo, del alumnado en el proceso de preparación y desarrollo de la Experimentación en Física. La MFL, sobre el EV-3.0, son metodología y espacio virtual muy utilizados por el autor del proyecto con excelentes resultados. En el presente proyecto, la Plataforma Virtual de la Universidad de La Rioja forma parte del EV-3.0, además de otros sistemas de intercambio de información virtual actual o que pueda surgir en cualquier momento: *WhatsApp* (foros, grupos, etc.), diversas redes sociales, etc. Para este tipo de

proyecto (Inteligencia Artificial y Experimentación en Física), una de las herramientas de gran utilidad que se utiliza es *chatGPT (OpenAI)*.

Planificación y cronograma del proyecto

La planificación del proyecto se realiza en tres fases. Recordar de nuevo el gran interés que tiene este proyecto por evolucionar la enseñanza tradicional hacia un modelo en el que el protagonismo se reparte entre profesorado y alumnado. Esta progresión lleva al alumnado hacia una mejor profundización en el aprendizaje de las materias objeto de estudio teórico-experimental, mediante la optimización complementaria del trabajo autónomo/colaborativo. Todo ello, con la inestimable ayuda de la MFL y en el seno del EV-3.0.

Fase 1: Introducción metodológica. Aprendizaje del uso constructivo de una herramienta OpenAI.

En esta fase, se presenta al alumnado la metodología de trabajo con la que se lleva a cabo este proyecto, así como la herramienta *OpenAI* con la que va a desarrollar. Durante el comienzo de la impartición de la asignatura de Física implicada, el/la profesor/a expone a cada grupo de trabajo experimental las experiencias objeto de estudio y preparación mediante la MFL. Mediante el EV-3.0, podrán acceder a la información relativa a la materia a tratar de manera experimental: diversa documentación, referencias, etc. Cada grupo de trabajo experimental complementa la citada información con otra obtenida por ellos mediante la mencionada herramienta *OpenAI*, realizando el correspondiente análisis crítico entre ambas informaciones. Este análisis comparativo les ayuda en el aprendizaje significativo/evolutivo sobre la experimentación pretendida inicialmente, pudiendo sugerirse crear nuevas experiencias que mejoren la propuesta inicialmente.

Fase 2: Sistematización del uso de la Inteligencia Artificial para la mejora de los procesos Experimentales en Física.

Los procesos de planificación previa, preparación del experimento y un adecuado desarrollo del trabajo experimental son fundamentales para lograr que la experimentación sea eficiente en cuanto a la obtención de buenos resultados, bien en la comprobación de hipótesis teóricas previas (p.e., Paul Dirac anticipa teóricamente la existencia del positrón y, posteriormente, se comprueba experimentalmente), bien como herramienta predictiva/constructiva de posibles mejoras que lleven a la obtención de nuevos paradigmas en la frontera del conocimiento científico-tecnológico de la/del Naturaleza/Universo.

En este proyecto, una vez adquiridos los conocimientos necesarios para el adecuado manejo de la tecnología necesaria, se pasa a su aplicación en el aprendizaje experimental significativo de las diferentes temáticas de la Física abordada previamente de manera teórica. En función de las temáticas y de la profundización de las mismas (Grado, Máster, Doctorado, etc.), se utilizan diferentes vías/niveles dentro de la herramienta *OpenAI* que vaya a utilizarse.

Cada grupo de trabajo experimental puede consultar cualquier duda (específica sobre Física, metodológica, etc.) con el profesor (y resto de compañeros) mediante consultas virtuales. De esta manera, aumenta significativamente la eficacia y la calidad en el trabajo individual y en grupo, así como el aprendizaje específico de la Física de los sistemas físicos reales que nos rodean, en los diferentes ámbitos científico-tecnológicos y empresariales.

Fase 3: Memoria descriptiva/evaluadora de los procesos de mejora de cada Experiencia en Física mediante Inteligencia Artificial.

La memoria descriptiva/evaluadora de los procesos de mejora de cada Experiencia en Física mediante Inteligencia Artificial es una parte fundamental de los resultados del presente proyecto innovador. A partir de los resultados del aprendizaje experimental específico en Física con la nueva herramienta *OpenAI* y su comparativa con la Metodología Tradicional, pueden plantearse nuevas vías de mejora en la experimentación en Física.

Las mencionadas herramientas en Inteligencia Artificial se utilizan, entre otras razones, (a) para la confirmación de los resultados experimentales desarrollados en el laboratorio de Física vs. las “estimaciones” llevadas a cabo mediante dichas herramientas IA. (b) Y, sobre todo, para utilizar éstas como técnicas de proyección/extrapolación del tipo de experimentación realizada hasta ese momento hacia unas futuras experiencias que, dentro de las mismas temáticas físicas, amplían el espectro experimental posible para estudiarlas y mejoran su comprensión teórico-experimental.

Creo sinceramente que la IA debe tratarse/emplearse “de manera adulta”, no sólo como “un juego de copia y pega”. La vía (b) me parece sumamente interesante.

En cuanto a distribución temporal (cronograma) del proyecto, se distribuye de tal manera que cada una de las etapas temáticas quede repartida homogéneamente durante el semestre de desarrollo utilizado. Los intervalos temporales ideales para este proyecto son de dos o tres semanas, justo a la finalización de cada temática específica en Física.

Resultados

Cualitativamente, la mejora de es muy significativamente. El desplazamiento de los resultados académicos hacia notas superiores así lo atestigua (Figura 3). No obstante, aunque suelen ser fundamentales este tipo de resultados, para el ámbito profesional es importante destacar otro gran resultado, como es una competencia transversal muy importante: el trabajo colaborativo de calidad. Trabajo corresponsable entre los miembros de los grupos de alumnos/as que planifican, preparan y desarrollan todo el proceso teórico-experimental y que mejora sustancialmente cuando se pone en práctica un “espíritu de grupo”, formado por personas responsables individualmente y del/con su equipo.

Todo esto, forma parte de un sustrato cuasi-perfecto, en el que se desarrolla una formación de gran calidad profesional y humana. Por supuesto que el grado de satisfacción del alumnado se pone de manifiesto, tanto por los efectos beneficiosos en su adquisición de competencias específicas (teóricas y experimentales), como transversales (responsabilidad individual y corresponsabilidad de equipo, sin olvidar e insistiendo en el aspecto humano), así como la adquisición de diversas habilidades de gran importancia en sociedades como la actual (tecnológicas e informáticas, por ejemplo), que componen un “menú formativo” sumamente interesante para el alumnado de la sociedad actual, una Sociedad en pleno Siglo XXI.

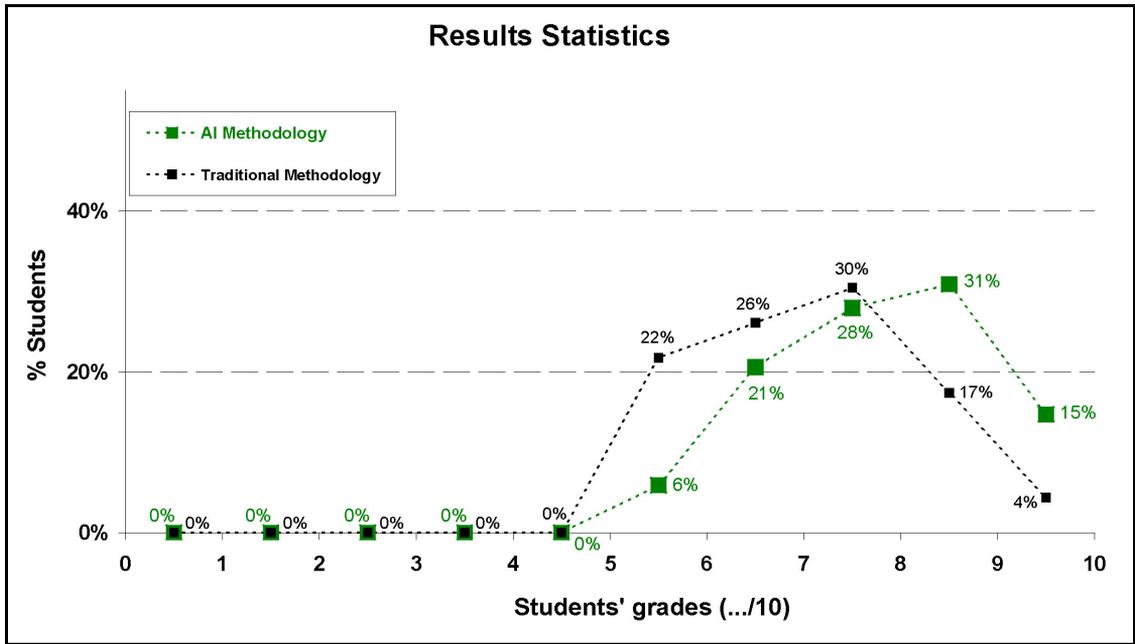


Figura 3. Estadística de Notas del alumnado

Pueden observarse la calidad de los resultados cuantitativos y cualitativos específicos del alumnado que ha trabajado mediante diferentes metodologías en la Figura 3:

- ✓ El “alumnado de referencia de cursos previos”, denominado “*Traditional Methodology*”, y el “alumnado de referencia actual” con el que se desarrolla el presente proyecto innovador, al que se denomina “*AI Methodology*”, tienen tamaños semejantes (50-60 alumnos/as).
- ✓ La mejora de los resultados cuantitativos desde una metodología tradicional a la actual es esperanzadora, dado que las actuales y futuras herramientas tecnológicas pueden suponer una ayuda sumamente interesante.
- ✓ En cuanto a los resultados cualitativos (incremento de notas elevadas), siempre ha sido fundamental para el autor del presente proyecto incrementar/mejorar el aprendizaje significativo en un ámbito esencial tal y como es el experimental (con una buena base teórica-conceptual), sobre todo, con el objetivo de una mejora de la calidad profesional en el alumnado egresado de la universidad.
- ✓ Aunque la Figura 3 no lo muestra (al menos de forma explícita), la componente humana (calidad humana) subyace como base de las mejoras observadas. Para el autor ha sido, es y será unos de sus principales objetivos.

La calidad de resultados, cualitativa- y cualitativa-mente, puede asimilarse a un detallado seguimiento de la planificación y preparación previas (general/teórica y específica/práctica) del posterior trabajo experimental. Todo ello, mejora la calidad del desarrollo del proceso experimental (ver arriba), (a) confirmativo y (b) proyectivo (o de extrapolación proyectiva).

El autor del presente proyecto recuerda siempre la importancia de la utilización de las TIC en los procesos de enseñanza/aprendizaje y, en particular, en el ámbito universitario (sin olvidar otros ámbitos formativos personales continuados a lo largo de la vida). En ese sentido, el autor recuerda aquí la ayuda

particularmente positiva, a lo largo de su trabajo en la universidad, de la MFL y de entornos tan fundamentales como, por ejemplo, los basados en el EV-3.0. Además, de que el presente proyecto innovador entronca con una parte de la filosofía del proceso Bolonia 2020.

La sociedad en la que vive el alumnado de hoy en día, facilita la incorporación y utilización del tipo de herramientas necesarias en el presente proyecto innovador. Un número elevado de estudiantes siempre dificulta la tarea formativa, no obstante, la realización del trabajo de planificación y preparación teórico-prácticos, así como del trabajo experimental en grupos reducidos de laboratorio, facilita y mejora dicha tarea. Debe recordarse que, al ser primeros cursos universitarios, el alumnado necesita más asesoramiento por parte del profesorado. La colaboración grupal en pequeños subgrupos de 2-3 personas es sumamente importante, sobre todo, para un ágil y colaborativo desempeño del trabajo entre personas desconocidas hasta el comienzo del proyecto. Recordar también que, aunque las TIC son sumamente útiles, el contacto personal (con los 5 sentidos) ya se comprobó durante la Pandemia Covid-19 que es esencial: somos seres racionales, sí, pero con sentimientos humanísticos vitales y fundamentales en nuestro “día a día”.

Conclusiones

Las conclusiones que pueden derivarse del desarrollo del presente proyecto innovador y sus resultados cuantitativos, cualitativos y humanísticos son los siguientes:

- ✓ Antes de nada, debe resaltarse la componente humana (calidad humana), que subyace como base de las mejoras observadas. Para el autor ha sido, es y será unos de sus principales objetivos.
- ✓ La importante mejora en la obtención de conocimientos significativos en Física mediante la nueva metodología en la que las herramientas *OpenAI* puede utilizarse de formas diversas. Por ejemplo, mejorando la calidad del desarrollo del proceso experimental (ver arriba), (a) confirmativo y (b) proyectivo (o de extrapolación proyectiva). La consecuencia más clara es la mejora de los resultados académicos (Figura 3), cuantitativa- y cualitativa-mente.
- ✓ El trabajo individual (responsabilidad personal) y en equipo (corresponsabilidad de grupo) entre el alumnado mejora sustancialmente. También entre alumnado y profesorado, sobre todo, con la inestimable ayuda de la MFL dentro del EV-3.0. Las TIC son de gran utilidad, pero... se ha comprobado que la componente humanística es fundamental (Pandemia Covid-19). Una trascendencia vital en cualquier tipo de proyecto de trabajo entre diferentes tipos de personas, personas de diferente sexo, cultura, nivel socio-económico, etc.
- ✓ Muy interesante crecimiento del alumnado en el “adecuado uso” de:
 - Diferentes plataformas informáticas (hardware y software) y su interconexión con otra tecnología asociada a la experimentación en Física.
 - Diversas herramientas *OpenAI* que pueden utilizarse, de momento, de manera gratuita. El autor aconseja una urgente inversión (y legislación) en (de) este tipo de herramientas desde el ámbito público y/o público-privado, dado que el presente/futuro depende “fuertemente” de este tipo de herramientas.
- ✓ Final- y fundamental-mente, un importante progreso evolutivo positivo en el ámbito cualitativo/significativo del proceso de experimentación en Física (competencias específicas). Como consecuencia, una mejor capacitación para asumir retos de emprendimiento e innovación en sus ámbitos profesionales por parte del alumnado egresado universitario: I+D+i, Empresa, etc.

Referencias

- AARONSON, S., AND ARKHIPOV, A. (2011). The computational complexity of linear optics. *XLIII Annual ACM Symposium on Theory of Computing*. Vol. 1 pp. 333–342.
<https://doi.org/10.1145/1993636.1993682>.
- AMOS, B., XU, L. and KOLTER, J.Z. (2017). Input convex neural networks. *XXXIV International Conference on Machine Learning*. Vol. 1 pp. 146–155.
- BALDI, P., SADOWSKI, P. and WHITESON, D. (2014) Searching for exotic particles in high-energy physics with deep learning. *Nature Communications*. Vol. 5, pp. 4308 (1–9).
<https://doi.org/10.1038/ncomms5308>.
- BOLONIA. (2009). The Bologna Process 2020 – The European Higher Education Area in the new decade. *Communiqué of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education*.
- CARRASQUILLA, J. and MELKO, R. (2017) Machine learning phases of matter. *Nature Phys*. Vol. 13, pp. 431–434. <https://doi.org/10.1038/nphys4035>.
- CRANMER, M., SANCHEZ-GONZALEZ A., BATTAGLIA, P., XU R., CRANMER, K., SPERGEL D. and HO, S. (2020) Discovering Symbolic Models from Deep Learning with Inductive Biases. *arXiv:2006.11287*. Vol. 1, pp. 1–25. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.11287>.
- FREEMAN, S., EDDY, S.L., MCDONOUGH, M., SMITH M. K., OKOROAFOR N., JORDT, H. and WENDEROTH, M.P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. Vol. 111 pp. 8410–8415.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>.
- GRANADOS, J. (2011). The Challenges of Higher Education in the 21st Century, *GUNi Newsletter*, 5/11. <http://www.guninetwork.org/articles/challenges-higher-education-21st-century>
- MITTELSTADT, B.D., ALLO, P., TADDEO, M., WACHTER, S., and FLORIDI, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data and Society*. Vol. 3(2) pp. 1–21.
<https://doi.org/10.1177/2053951716679679>.
- MÖLLER J.J., KÖRNER W., KRUGEL G., URBAN D.F. and ELSÄSSER C. (2018) Compositional Optimization of Hard-Magnetic Phases with Machine-Learning Models. *Acta Materialia*. Vol. 153 pp. 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.03.051>.
- MORA H., SIGNES, M. T., DE MIGUEL, G. and GILART, V. (2015). Management of social networks in the educational process. *Computers in Human Behavior*. Vol. 51(B) pp. 890–895.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.010>.
- NACER, H. and AISSANI, D. (2014). Semantic web services: Standards, applications, challenges and solutions. *Journal of Network and Computer Applications*. Vol. 44 pp. 134–151.
<https://doi.org/10.1016/j.jnca.2014.04.015>.
- OpenAI. (2023). *ChatGPT* (Sep 25 version) [Large language model]. <https://chat.openai.com/chat>.
- PRIETO MARTÍN, A. (2019-11-30) ¡La clase invertida funciona!
<https://profesor3punto0.blogspot.com/2019/11/la-clase-invertida-funciona.html>. *Blog Profesor 3.0*.
Último acceso: 01/02/2024.
- RAMÍREZ, M.S. (2018). *Modelos y estrategias de enseñanzas para ambientes innovadores*. Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey.

- SILVER, D., HUANG, A., MADDISON, C. *et al.* Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*. Vol. 529 pp. 484–489. <https://doi.org/10.1038/nature16961>.
- W3C. (2013). W3C Data Activity Building the Web of Data. URL: <https://www.w3.org/2013/data/>.
Último acceso: 01/02/2024.
- ZHANG L., CHEN Z., SU J. and LI J. (2019) Data mining new energy materials from structure databases. *Renewable Sustainable Energy Rev.* Vol. 107 pp. 554–567.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.036>.