

# Laboratorios Híbridos de Prototipado y Simulación de Sistemas Complejos.

*RESUMEN. En la actualidad estamos inmersos en experimentos ambientales globales, incapaces de reducirse a la unidad y control del laboratorio, pues el dinamismo, la escala, y complejidad de los problemas a resolver obliga a concebir un sistema científico cuya base es la impredecibilidad, el control incompleto. Los instrumentos de análisis requieren de nuevos entornos de visualización dinámicos dónde simular la complejidad del sistema ciudad. Estos sistemas de visualización entendemos son nuevos entornos de prototipado dónde explorar nuevas dimensiones de diseño en la modelización de ciudad. Los sistemas arquitectónicos que se plantean explorarán dimensiones evolutivas, procesos dinámicos a los sistemas medioambientales en los que se insertan.*

*PALABRAS CLAVE: Visualización de Datos, Sistemas Complejos, Arquitectura Computacional, Simulación, Arquitectura Evolutiva, Entornos Sensibles.*

*ABSTRACT. At present we are immersed in global environmental experiments, unable to be reduced to the unit and control of lab, because of the dynamism, scale and complexity of problems to resolve, it forces to devise a scientific system whose base is the unpredictability, incomplete control. Analysis tools require new dynamic visualization environments where the complexity of the city system will be simulated. These visualization systems are new prototyping environments to explore new dimensions of design in city modeling. Architectural systems that arise explore evolutionary dimensions, dynamic processes in environmental systems that they are inserted.*

*KEYWORDS: Data Visualization, Complex System, Computational Architecture, Simulation, Evolutionary Architecture, Responsive Environments.*

## **Francisco Castillo Navarro**

Research Group Responsive Environments

Av. Nicolás Salmerón y Alonso, 53. Almería · [f32@francastillo.net](mailto:f32@francastillo.net)

+34 636 83 38 69

## **Biografía**

**Francisco Castillo Navarro** es Arquitecto por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla y Diseñador de Interacción por la Universidad Pompeu Fabra. Actualmente es director de investigación Responsive Environments. Destacan entre sus proyectos Ecovisualización-Ecoanalogización, desarrollado en Medialab-Prado Madrid y Augmented Ecologies, recientemente seleccionado en 2011 Subtle Technologies Festival Toronto. Es coimpulsor de Pecha Kucha Night Sevilla. Su trabajo ha sido expuesto en Visualizar08: DataBase City, Pecha Kucha Nights, La Casa Encendida, Centro Andaluz de Arte Contemporáneo.

# Laboratorios Híbridos de Prototipado y Simulación de Sistemas Complejos.

*RESUMEN. En la actualidad estamos inmersos en experimentos ambientales globales, incapaces de reducirse a la unidad y control del laboratorio, pues el dinamismo, la escala, y complejidad de los problemas a resolver obliga a concebir un sistema científico cuya base es la impredecibilidad, el control incompleto. Los instrumentos de análisis requieren de nuevos entornos de visualización dinámicos dónde simular la complejidad del sistema ciudad. Estos sistemas de visualización entendemos son nuevos entornos de prototipado dónde explorar nuevas dimensiones de diseño en la modelización de ciudad. Los sistemas arquitectónicos que se plantean explorarán dimensiones evolutivas, procesos dinámicos a los sistemas medioambientales en los que se insertan.*

*PALABRAS CLAVE: Visual Information, Complex System, Computational Architecture, Simulation, Evolutionary Architecture, Responsive Environments.*

## 01. Introducción

La investigación que presento pretende explorar los nuevos laboratorios de prototipado, estos entornos se caracterizan por su naturaleza heterogénea, híbrida, constituida por agenciamientos supradisciplinares en el que sistemas conceptuales variables, epistemologías, tecnologías, códigos, metodologías, scripts, redes, interaccionan a diferentes niveles en un mismo entorno de producción..., estos parámetros interdependientes consideramos son las nuevas estructuras que caracterizan los nuevos laboratorios híbridos.

El laboratorio de prototipado que pretendo explorar, se aleja a la percepción según citaba Latour<sup>1</sup> de la actividad de Pasteur, en la que entendía su practicas como una extensión de su laboratorio por toda la campiña francesa, apropiándose de este medio para el conocimiento científico, bajo el estudio de una porción aislada de naturaleza en un estado estable, puro y reproducible, y con la adquisición de este conocimiento, poder extenderse con éxito a la comprensión y el control de la naturaleza a una escala global", el laboratorio de prototipado que investigo es entendido como una producción conceptual sistémica, relacional, alimentado por los flujos de información y en relación con la nueva ciencia de los big data, en la que cantidades masivas de información definen los nuevos laboratorios de producción contemporánea, la capacidad de captura, almacenamiento y comprensión de grandes estructuras de datos está cambiando las formas de producción y validación tecnocientíficas<sup>2</sup>. La época presente es la de una exposición constante a experimentos ambientales globales<sup>3</sup>, incapaces de reducirse a la unidad y control del laboratorio, pues el dinamismo, la escala,

y complejidad de los problemas a resolver obliga a concebir un sistema científico cuya base es la impredecibilidad, el control incompleto. Para comprender estas nuevas tareas y métodos de estos laboratorios híbridos podemos inventir con fecundidad la metáfora de Latour, y pensar que es la naturaleza, la que ahora reinva el laboratorio, pues los riesgos a los que nos enfrentamos son globales en alcance y complejos en su estructura. Ante este panorama es necesario la revisión epistemológica, técnica, y metodológica de las prácticas de diseño de sistemas. Bajo este panorama del big data, el laboratorio de prototipado en el que intento estar inmerso requiere la formulación de nuevos escenarios y desarrollo de nuevos lenguajes de visualización que nos permitan amplificar la formas de representatividad de agentes o variables no perceptibles en la modelización de ciudad.

Ante este contexto dinámico y de experimentación ambiental global, la investigación pretende también explorar la dimensión evolutiva en el diseño de sistemas arquitectónicos a través de entornos de simulación y modelos evolutivos mediante el desarrollo de algoritmos computacionales, reactivos a contextos medioambientales. La exploración de entornos computacionales y sistemas de visualización<sup>4</sup> de datos serán nuevas estructuras de análisis y simulación de sistemas arquitectónicos.

## **02.Theoretical Framework**

La investigación formula la creación de un theoretical framework, en el que se incluyen diferentes sistemas & subsistemas de investigación, conceptos, scripts, la interacción dinámica entre sistemas teóricos formulados, en relación a variables de entrada en el sistema, genera la emergencia de diseño de sistemas arquitectónicos, uno de los objetivos de la formulación del sistema teórico pretende generar el diseño de taxonomías, ontologías entorno a dominios de arquitecturas computacionales, que nos posibiliten la construcción de un contexto de conocimiento que por su interacción dinámica entre especificaciones formales definidas genere la emergencia<sup>5</sup> de nuevos sistemas de diseño arquitectónicos evolutivos. Theoretical Framework se estructura en torno a tres dimensiones, el entorno teórico se plantea como una estructura conceptual generativa.

### **02.1. Model/Simulation & Evolutionary Architecture**

*Categories:* Visual Analytics, Visual Information, Virtual Prototype, Genetic Engine, Computational Architecture, Computational Optimizacion of Design, Visual System, Complex System, Form-Generation.

Esta dimensión en el sistema teórico plantea la relevancia de poder generar modelos de simulación sobre sistemas complejos, frente al término de modelo dentro del campo de arquitectura e ingeniería entendido como una descripción geométrica de los objetos, el modelo que proponemos es la descripción de algoritmos computacionales de un proceso de diseño

generativo, estos algoritmos son instrucciones, reglas simples que evolucionan a múltiples estados, los modelos corren como procesos, con inputs y outputs variables que determinan la conducta evolutiva de los sistemas de simulación. Estas simulaciones interactivas entendemos son soportes para el diseño y análisis de sistemas complejos, simulaciones de entornos ambientales/biológicos, así como la modelización de sistemas morfogénéticos<sup>6</sup>, form-generating<sup>7</sup> basados en genetic engines<sup>7</sup> programadas mediante entornos computacionales. La simulación de prototipado o virtual prototyping es una simulación dinámica iterativa de diferentes procesos de modelado, la simulación de sistemas dinámicos son estructuras que visualizan el potencial para establecer relación entre patrones y procesos, formas y conductas evolutivas, el diseño de estos sistemas posibilita la amplificación en las capacidades cognitivas de los usuarios de la simulación así como la modelización de conjuntos de información no perceptibles en los modelos de ciudad.

### 03. Research / **Prototyping.**

Explicitado el sistema teórico, comprendido como un entorno de interacción dinámica entre subsistemas conceptuales, objeto de estas interacciones surge otra dimensión en la investigación que es la de prototipado, en la que se simularán diseños de sistemas complejos<sup>8</sup>, artefactos que evidencien nuevos paradigmas, escenarios de acción arquitectónica.

A continuación explicitaré algunos prototipos desarrollados bajo este nuevo paradigma del laboratorio híbrido, concretamente el primer prototipo plantea un modelo de visualización dónde explorar sistemas ecológicos en un ambiente acuático.

#### 03.1. **Augmented Ecologies**

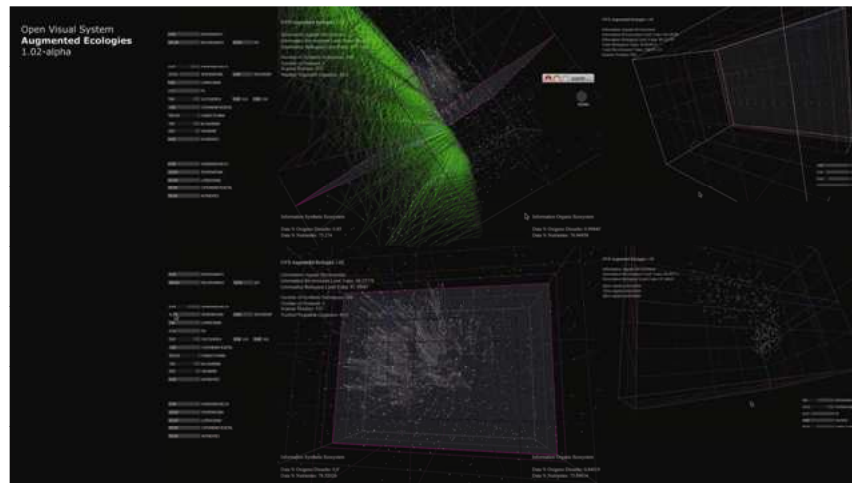


Fig.1. Augmented Ecologies Software.

Augmented Ecologies (AE) es un dispositivo híbrido, un ecosistema bioartificial<sup>9</sup> evolucionable, en el que se explorara la noción de vida a través de nuevos agenciamientos maquínicos constituidos por ensamblajes de unidades orgánicas y sintéticas. AE es un software de simulación no lineal de la dinámica de comportamiento de sustancias sintéticas y organismos en el contexto acuático de estudio. AE es un entorno de visualización analítica dónde evaluar niveles de información que integran los sistemas ecológicos. AE integra en el diseño del sistema un agente orgánico configurado por sistemas de sensorización y actuación automatizados, la captura y procesado de datos en esta unidad se transfieren como parámetros de entrada en la simulación del ecosistema digital mediante algoritmos de computer vision, siendo el ecosistema un entorno reactivo a las variables del agente orgánico, el sistema AE explora la noción de vida aumentada, las interacciones dinámicas entre sistemas inducen a la emergencia de un organismo endosimbiótico, los flujos de información de entrada y salida entre sistemas generarán múltiples formas de interacción complejas, reconociéndose un comportamiento emergente.

Augmented Ecologies es el diseño de un Sistema Multiagente, constituido por múltiples agentes bio artificiales de inteligencia distribuida, las unidades inteligentes que organizan el sistema se comunican a través de inter-procesos, la interacción dinámica entre unidades genera conductas o patrones emergentes, un sistema global de orden inteligente no reducible a la dinámica de comportamiento aislada de los diferentes sistemas bio artificiales.

#### Computación Evolutiva. Interfaz Evolucionable

Augmented Ecologies está programado mediante algoritmos evolutivos que interpretan, procesan en tiempo real conjuntos de información dinámicos sobre el contexto biológico de estudio, los patrones de visualización responden a la interacciones dinámicas entre variables ambientales explicitadas en el modelo de simulación, produciendo acoplamientos entre dinámicas entrelazadas, los diferentes estados de interacción determinarán la evolución del estado del sistema acuático.

AE plantea en su estructura intrínseca el diseño de sistemas de interacción evolucionable que reconstituyan componentes de visualización, controladores de la interfaz en relación a los datos de procesado, visualizando entornos de interacción evolutivos que permitan a los usuarios el análisis y control de los sistemas biológicos.

#### Computación Orgánica

Augmented Ecologies (AE) propone como unidad de cómputo complementaria las estructuras neuronales de los usuarios de la simulación. Frente al diseño de algoritmos deterministas, AE incorpora al diseño de algoritmos genéticos las estructuras cognitivas como computador para revelar nuevos patrones de significado, relaciones, generación de conocimiento no predecibles, sobre los conjuntos de datos crudos

procesados en el sistema biológico. La computación por lo tanto se vuelve orgánica, este nuevo estado computacional posibilitará una amplificación en la capacidad cognitiva.

#### Consciencia Evolucionable

En el contexto de crisis ambiental global AE pretende redefinir las interacciones de las comunidades de humanos con el medio natural. El dispositivo tecnocientífico que presentamos es una tecnología de aumentación sobre contextos biológicos, sustancias sintéticas y otras variables ambientales, AE genera nuevas formas de comprensión mediante acceso a estructuras de información sobre sistemas invisibles, estos dispositivos de amplificación e interacción aumentada posibilitan la emergencia de una evolución cognitiva, una consciencia evolucionable que permita nuevas formas de relación con la naturaleza.

#### Sistema Espacial Sonoro

Augmented Ecologies integra en el diseño la reparametrización de las variables del sistema bioartificial a dimensiones espaciales. La espacialización sonora se desarrolla mediante el diseño de un sistema octofónico (Max/MSP), en el que las diferentes variables del sistema orgánico/digital tendrán una traducción a patrones sonoros, AE como máquina de amplificación biológica generara un paisaje sonoro asociado a las diferentes valores de las variables biológicas, así como índices de valor límite ambiental del sistema bioartificial. Esta dimensión sonora en el sistema explorará la invención de nuevos indicadores ambientales.

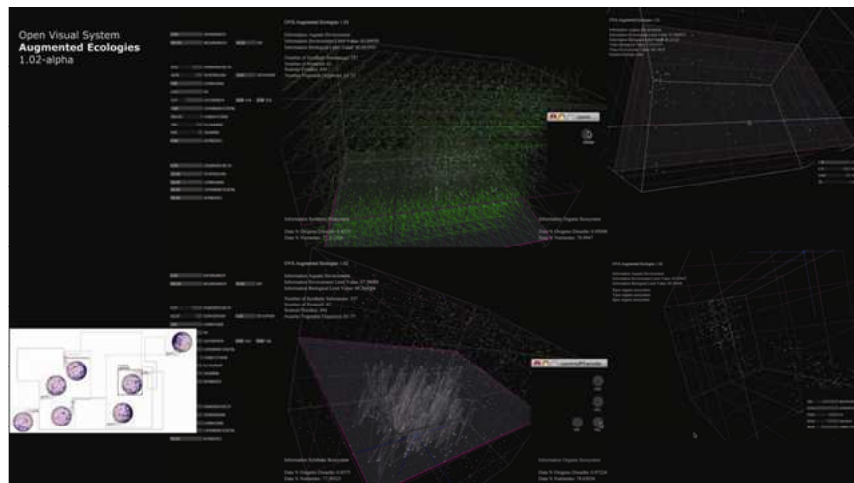


Fig.2. Augmented Ecologies Software. Simulación Ecosistema Acuático.

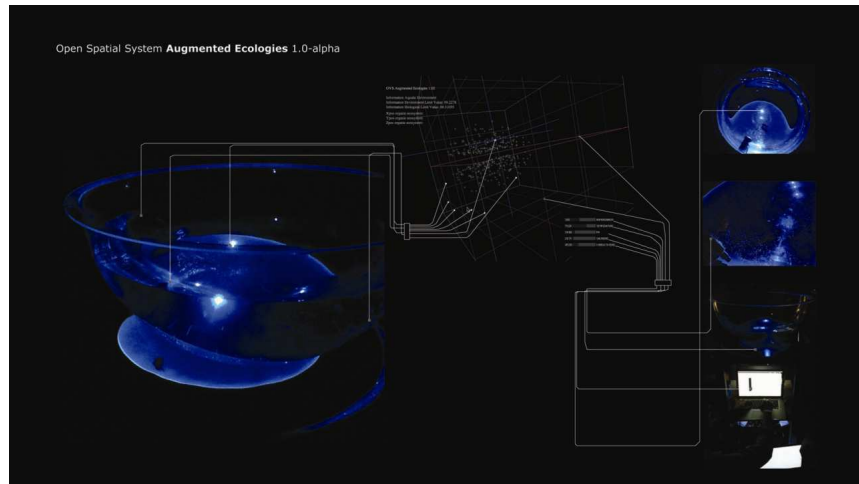


Fig.3. Augmented Ecologies. Indicadores Espaciales de Datos Ambientales.

A continuación presento un prototipo de software que pretende visualizar diferentes niveles de sustancias químicas presentes en la ciudad.

### 03.2. Ecovisualización-Ecoanalogización: Modelo de Ciudad Biocéntrico

Ecovisualización-Ecoanalogización es un proyecto de visualización dinámica de variables invisibles de información ambiental y agentes sintéticos hormonalmente activos como las sustancias químico sintéticas, neurotoxinas, disruptores endocrinos, sensibilizantes, sustancias tóxicas persistentes y bioacumulativas (TPB), contaminantes orgánicos persistentes (COP), cancerígenos y mutagénicos, iones ambientes y afecciones asociadas por su exposición en comunidades de organismos humanos y no humanos en el paisaje ciudad. El código visual será actualizado a bases de datos abiertas en red, generando un nuevo sistema compatible de visualización ambiental. Para ello, se ideará la construcción de un sistema de visualización interactivo, la información procesada en el sistema tiene una traducción a la realidad mediante la exploración de tecnologías o dispositivos de analogización de informaciones medioambientales, entendemos como ecoanalogización (EA) la corporeización o manufactura de informaciones digitales del medioambiente exteriorizadas en el espacio público.



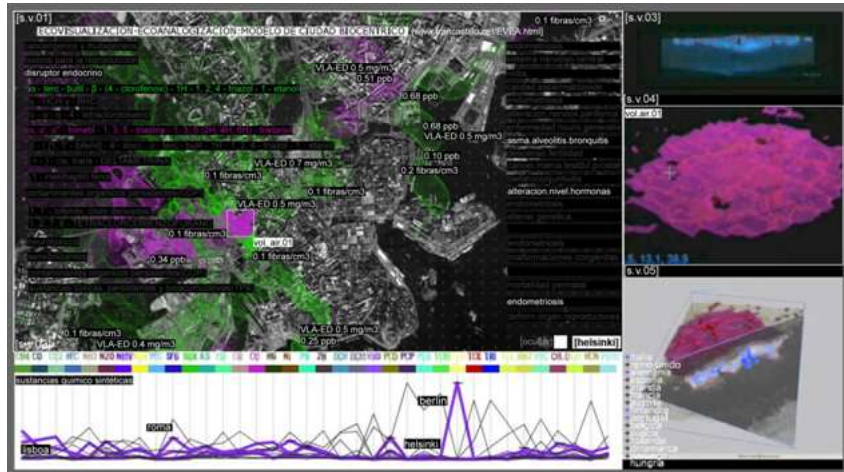


Fig.4.Ecovisualización-Ecoanalización Software.

Ecovisualización (EV) es un proyecto de visualización de estructuras de información ambiental no visible bajo un posicionamiento biocentrista, sistémico, dar voz a agentes humanos y no humanos en la modelización de ciudad.

EV pretende la construcción de un sistema interactivo autogenético, abierto, programado en processing y en equilibrio dinámico por la implementación a bases de datos en red mediante openvisual API, posibilitará la emergencia de nuevos patrones de significado y relaciones entre las variables de diseño. El sistema registrará diferentes datos ambientales, disruptores endocrinos, dioxinas, sustancias químico sintéticas, neurotoxinas, DDT,PCBs, dioxinas, bisfenol-A, dibutilftalato, octilfenol amianto, CFC, bifenilos policlorados, contaminantes orgánico persistentes, iones ambiente..., en el contexto ciudad, así como los diferentes umbrales de afección al organismo en comunidades de humanos y no humanos, en relación a los niveles de sustancias sintéticas presentes en el ambiente, visualizando una nueva geografía química diacrónica, simultánea a los comportamientos humanos.

La visualización de variables ambientales en el sistema de diseño pretende generar un nuevo lenguaje espacial interactivo de visualización de informaciones generadas por la comunidad científica, posibilitando nuevos soportes de visualización dinámica y compatible de datos científicos imbricadas en contextos urbanos, implementando la noción de educación medioambiental en las comunidades de legos. El sistema digital biocentrico constituye una interfaz de visualización de nuevos actores medioambientales y afecciones asociadas de modo sincrónico al soporte

ciudad, la explicitación visual de las diferentes variables nos permite visualizar y gestionar la complejidad en un sistema de diseño dinámico e interactivo (estableciendo un nuevo orden ambiental y sistema de referencia accesible a todos los públicos). La visualización de nuevos agentes medioambientales permite construir una nueva imagen de datos invisibles de la ciudad, creando un soporte para la visualización del procomun<sup>2</sup> que nos permita explicitar a nuevas comunidades de concernidos, pudiendo gestionar los riesgos y preevaluar los efectos.

La construcción del sistema digital biocéntrico entendemos que tiene una traducción a la realidad mediante la exploración de tecnologías o dispositivos de analogización de informaciones medioambientales procesadas en el sistema digital, entendemos como ecoanalogización (EA) la corporeización o manufactura de informaciones digitales del medioambiente, la materialidad de lo intangible siguiendo la lógica de ceros y unos. Nos interesa estos mecanismos (EA) por la capacidad de generar una nueva ecoconciencia y en definitiva poder establecer nuevos vínculos perceptivos entre la acción y el mundo natural.

## **02.2. Evolutionary Material System & Environmental Dynamic Feedback**

*Categorías:* Responsive Environments, Living Architectures, Metabolic Materials, Living Materials, Robotic Architecture, Material System, Biodynamic Architecture, Ecological Interaction, System Embedded Intelligence, Robotic Ecologies, Responsive Architectures, Biodynamic Structures.

Esta dimensión explora lo que hemos definido como sistemas materiales evolucionables, entendemos que la investigación pretende ir más allá de la especulación entorno a dimensiones constructivas o sistemas tectónicos. Lo que proponemos es un dispositivo relacional en el que se investiga la noción de materia evolucionada, la cual se caracterizara por nuevos agenciamientos matéricos constituidos por datos, sensores, microcontroladores, protocolos de comunicación, sistemas paramétricos que posibiliten la emergencia de sistemas arquitectónicos autoadaptativos, en el que las interacciones entre materialidad, forma, espacio, estructura, procesos de interacción entre sistemas de producción y ensamblaje, así como la multitud de estados performativos de las nuevas estructuras matéricas que definen las nuevas pieles arquitectónicas. Esta dimensión explorara también el diseño de materiales metabólicos<sup>10</sup>, living materials, que nos permitan investigar el diseño de sustancias sintéticas próximo a disciplinas como la ingeniería molecular, bioingeniería que permitan implementar el diseño de sistemas materiales a niveles moleculares. Estos sistemas manifiestan un carácter dinámico, evolutivo, sus características morfológicas serán derivadas de múltiples feedback loops<sup>11</sup> iterativos de los contextos ambientales en los que se insertan. La adaptabilidad a las

condiciones y cambios ambientales, mediante el diseño de sistemas inteligentes produce entornos que responden a conjuntos de informaciones dinámicas medioambientales.

### **02.3. Hybrid City System & Situated Technologies**

*Categorías:* City Data Sensing, Pervasive Media, Urban Computing, Soft City, Cross Reality, Interactive Architecture, Urban Informatics, Media City, Ambient Media/ Natural Media, Urban Biointerfaces, Spatial Information.

Investigaremos nuevos modelos de ciudad que emergen de la intersección entre redes de información, sensores, media tecnologías. El diseño de tecnologías emergentes determina nuevas formas de visualización espacial e interacción que nos permita nuevas formas de relación entre información digital, energía y naturaleza.

### **03. Research / Prototyping.**

A continuación presento un prototipo de visualización que explicita nuevas formas de relación entre energía-naturaleza-humano.

### **03.3. Open Energy Visualization**

Ante el escenario de evolución próximo de Internet of Things, Open Energy plantea el diseño de un sistema de visualización que se inserta en un nuevo modelo de distribución energética (Smart Grids, Tom Raftery) donde la invención de tecnologías posibilitarán una redistribución descentralizada en la producción de la electricidad a escala global, definiendo nuevos marcos de equilibrio sostenible.

Open Energy (OE) es un sistema de visualización en tiempo real de los consumos eléctricos (kWh) y de niveles de CO<sub>2</sub> (g) emitidos en la ciudad. OE pretende implementar el diseño del sistema Smart Grid (redes de distribución eléctrica inteligente) mediante la invención de tecnologías de visualización y de producción autónoma de energía, que permitan una mayor optimización en la distribución de la energía eléctrica global. Estas estructuras de visualización posibilitan nuevas formas de relación entre energía-humanos. La visualización en tiempo real de los patrones de consumo eléctrico, así como la simulación en la predicción de consumos, constituirán nuevos sistemas de información a través de los cuales poder visualizar el consumo energético, niveles de CO<sub>2</sub>, nodos que presenten mayor excedente en la producción de energía, valor en tiempo real de la electricidad, etc.

Este nuevo modelo de red eléctrica inteligente (Smart Grid) en oposición al modelo tradicional de red eléctrica jerárquica plantea el diseño de un sistema energético descentralizado, donde cualquier usuario puede

convertirse en un nodo generador y distribuidor de energías renovables. Open Energy como entorno de visualización genera nuevas representaciones no perceptibles de la dinámica de comportamiento eléctrico de los humanos en su entorno habitable, estos sistemas de visualización en tiempo real, nos posibilitarán adaptar los patrones de conductas de consumo en relación a los niveles de consumo registrados así como la adaptación del consumo en relación a los precios en tiempo real.

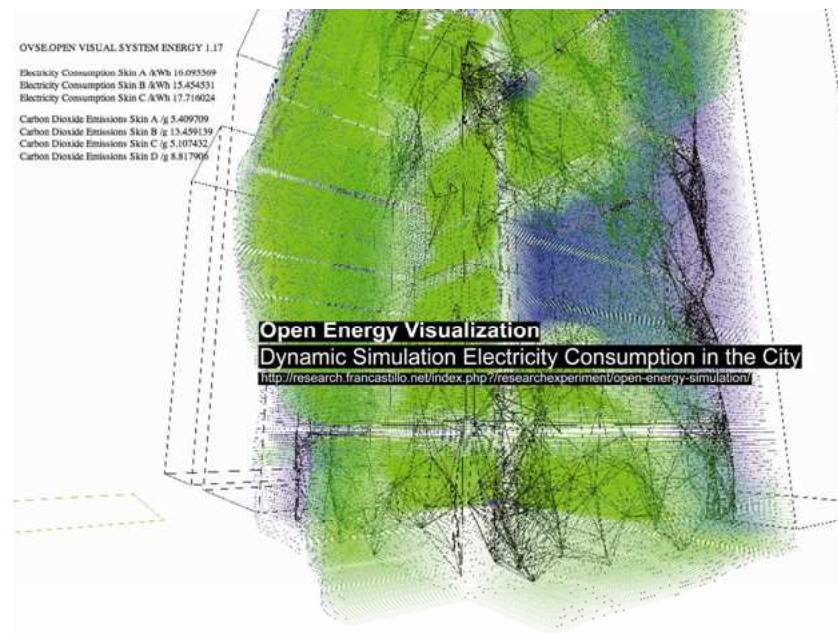


Fig.5. Open Energy Visualization Software .

#### 0.4. Conclusiones

La actual investigación que presento es un proceso en curso que pretende desplegar un conjunto de lenguajes e instrumentales que configuren un nuevo laboratorio de naturaleza híbrida como entorno de producción contemporáneo en el que poder generar modelos, sistemas que nos permitan visualizar y gestionar la complejidad ambiental global en la que estamos inmersos. La investigación explora sistemas de visualización de datos como herramientas de simulación dónde analizar, evaluar conjuntos de información sobre sistemas medioambientales, biológicos, energéticos, y otras estructuras de información que modelan el diseño de ciudades, consideramos de especial relevancia la inclusión de estas técnicas de diseño computacional a la gestión urbana y al diseño de sistemas

arquitectónicos. Las arquitecturas que se explicitan en la actual investigación proponen elucidar dimensiones evolutivas en sus parámetros de diseño, el diseño de algoritmos evolutivos revelan un nuevo campo de morfogénesis así como entornos de simulación dónde explorar la dinámica de comportamiento de sistemas complejos como la ciudad.

## 0.5. Bibliografía

<sup>4</sup>Cairo, Alberto. *Infografía 2.0. Visualización Interactiva de Información en Prensa*. Ed. Alamut

Capra, Fritjof. *Las Conexiones Ocultas. Implicaciones Sociales, Medioambientales, Económicas y Biológicas de una nueva Visión del Mundo*. Ed. Anagrama. Colección Argumentos

<sup>7</sup>Costa Couceiro, Mauro. *Analogías Biológicas en la Arquitectura*. Tesis Doctoral. ESARQ-UIC.

<sup>10</sup>Cruz, Marcos and Steve Pike. "Neoplastic Design". AD. Architectural Design. Nov/Dec 2008

Deleuze, Gilles and Félix Guattari. *Rizoma*. Ed. Pre-textos

<sup>9</sup>Emmeche, Claus. *Vida Simulada en el Ordenador. La Nueva Ciencia de la Inteligencia Artificial*. Ed. Gedisa

Johnson, Steven. *Sistemas Emergentes. O qué tienen en común Hormigas, Neuronas, Ciudades y Software*. Ed. Turner. Fondo de Cultura Económica

<sup>5</sup>Kauffman, Stuart. *Investigaciones. Complejidad, Autoorganización y Nuevas Leyes para una Biología General*. Ed. Tusquets

<sup>2</sup>Lafuente, Antonio. *El Carnaval de la Tecnociencia*. Ed. Gadir

Lovelock, James. *La Venganza de la Tierra. La Teoría de Gaia y el Futuro de la Humanidad*. Ed. Planeta

<sup>11</sup>Ludwig von Bertalanffy. *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica

Maeda, John. *Las Leyes de la Simplicidad. Diseño, Tecnología, Negocios, Vida*. Ed. Gedisa Editorial

Michael Braungart and William McDonough. *Cradle to Cradle. Rediseñando la Forma en que Hacemos las Cosas*. Ed. McGrawHill

<sup>3</sup>Michael Hensel, Achim Menges, and Michael Weinstock. *Emergent Technologies and Design*. Ed. Routledge

Morin, Edgar. *El pensamiento Complejo*. Ed. Campo de Ideas

Norman, Donald A. *El Diseño de los Objetos Del Futuro. La Interacción entre el Hombre y la Máquina*. Ed. Paidós  
Transiciones

Sargent, Ted. *La Danza de las Moléculas. Como la Nanotecnología Cambia Nuestras Vidas*. Ed. Espasa

<sup>6</sup>Sheldrake, Rupert. *Una Nueva Ciencia de la Vida. La Hipótesis de la Causación Formativa*. Ed. Kairós. Colección Nueva Ciencia

<sup>3</sup>Silvio O.Funtowicz and Jerome R.Ravetz. *La Ciencia Posnormal. Ciencia Con la Gente*. Ed. Icaria. Antrazyt 160

<sup>8</sup>Solé Ricard. *Redes Complejas. Del Genoma a Internet*. Ed. Metatemas. Tusquets

Wagensberg, Jorge. *Las Ideas sobre la Complejidad del Mundo*. Ed. Tusquets

<sup>1</sup>Woolgar, Steve. *Ciencia: Abriendo la caja Negra*. Ed. Anthropos. Editorial del Hombre