

Nuevos métodos de definición de modelos: El diseño asociativo y generativo

Autores: Ramón Rubio-García*, Santiago Martín-González*, Santiago Martín-Laguna**, José Carlos Fernández-Morán**

* Universidad de Oviedo

** Vortica: Cognitive Engineering for Design S.L.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido una rápida evolución de las herramientas de CAD. Se ha avanzado del 2D al 3D, se crean presentaciones fotorealistas espectaculares de modelos geométricos y se han ido completando con más funciones: parametrización, herramientas de simulación, gestión de información, etc., con el fin de facilitar el proceso de diseño a arquitectos, ingenieros y diseñadores. Sin embargo, el proceso creativo permanece intacto durante toda esta evolución: creación >> generación de información (planos) >> modelo.

En estas breves líneas se presenta una nueva evolución en el proceso de afrontar el diseño en sus primeras etapas, donde están las causas del 80% de los errores finales de un proyecto. Una evolución donde el computador asiste al diseñador en el proceso de diseño y no se limita a una mera representación digital de los bocetos del ingeniero. A buen seguro modificará las etapas conceptuales de la ingeniería en los próximos años (Levenchuck, 2011).

2. MODELADO PARAMÉTRICO, ASOCIATIVO Y GENERATIVO

Los primeros sistemas CAD utilizaban geometría explícita para generar entidades. Esta geometría basada en coordenadas es estática y los fallos que se cometían al inicio del proyecto se arrastraban durante todo el proceso. La llegada de motores de modelado paramétrico solucionó entre

otras cosas parte de este problema. Se aceleró el proceso de diseño y se permitió la creación de geometrías asociativas: “*el centro de este agujero está en el punto medio de aquella arista*” o “*la longitud de este lado del rectángulo será siempre el doble que el del otro lado*”.

La evolución de la potencia de cálculo de los computadores ha permitido llevar al extremo la parametrización, permitiendo asociar una gran cantidad de geometrías a unos parámetros iniciales. Los resultados obtenidos tras una serie de operaciones pueden sorprender puesto que no son previsibles a partir de los datos iniciales. Una gran cantidad de información representada por geometrías es función de otras y por tanto una ligera variación de una propiedad es causa de grandes cambios en la geometría global. Se dice que las geometrías están, además de parametrizadas, asociadas. Este campo de conocimiento lleva explotándose muchos años en la ingeniería y ya

todos los programas CAD incorporan el modelado asociativo en mayor o menor intensidad.

Por último, el *diseño generativo* es un proceso de creación en el que los modelos obtenidos nacen de unas reglas y algoritmos a partir de las cuales se generan geometrías y/o productos. Es un concepto complejo de entender que se ha definido desde distintos puntos de vista (Krish, 2011) para facilitar su comprensión. El rol del ingeniero-diseñador en este nuevo escenario cambia. Ahora tiene que dirigir las reglas que generan el modelo de forma que satisfaga los requerimientos de diseño (Fig. 1). Este hecho sitúa al ingeniero ante un nuevo escenario en la búsqueda de soluciones, escenario en el que los profesionales deben afrontar sus retos apoyándose en nuevas herramientas y metodologías.

Los primeros campos de conocimiento que sacaron provecho de esta forma de crear fueron las artes y la arquitectura, ambas con un alto contenido creativo y donde el control de las formas complejas supone un gran avance cualitativo. Arquitectos de la talla de **Andrew Kudless, Marc Fornes, Skylar Tibbits, Stylianos Dritsas**

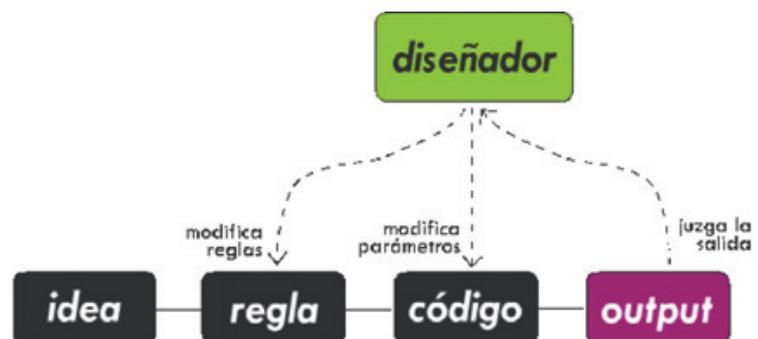


Fig. 1: Ciclo de trabajo del diseño generativo.

Fuente: "Generative Gestaltung" (www.generative-gestaltung.de)

Colaboración

utilizan ya las técnicas de *scripting* generativo. De hecho en 1995 ya se enseñaba en las universidades británicas esta forma de modelar (Coates, 1995).

Las reglas introducidas para la obtención de nuevas formas siguen reglas presentes en la Naturaleza y por esta razón es muy común observar productos y fachadas de edificios con una estética orgánica. Un ejemplo paradigmático en este sentido son los dos edificios emblemáticos de los pasados *Juegos Olímpicos de Pekín* (Fig. 2), donde la empresa británica *ArupSport* estimó un ahorro de diez millones de dólares en costes de diseño utilizando *diseño generativo* en lugar del diseño tradicional (Stocking, 2009).

En la ingeniería sin embargo, aún no se ha incorporado el *diseño generativo*

en el proceso del diseño de forma estable. El sector industrial tiene una inercia en el proceder de la realización proyectual que no está presente en otros sectores y ésta podría haber sido una de las razones por las que el diseño generativo aún no se haya instalado en la *ingeniería industrial*. Sin embargo, el éxito que está cosechando en la arquitectura, la búsqueda de nuevas formas de optimización de diseños, la propia evolución de los sistemas CAD y los casos de éxito en la ingeniería abren una puerta a su futura utilización. El *diseño generativo* se considera ya un nuevo paradigma, entendido como éste en el sentido que le da **Kuhn** como un cambio significativo en las bases científicas o tecnológicas (McCormack, 2004) y como consecuencia de ello, están

comenzando a surgir iniciativas empresariales alrededor de este sector. Las posibilidades que ofrece en el mundo del diseño industrial han permitido a los nuevos ingenieros y diseñadores aprovechar este momento. Es el caso de la empresa *Vortica*, nacida en el seno de la *Universidad de Oviedo* y premiada por el CEEI del *Principado de Asturias* como mejor empresa innovadora de base tecnológica 2011.

El gran reto para el diseñador está en el hecho de ofrecer una mayor atención a la causa de los problemas (traducir un proceso en reglas) que a la propia solución en sí (el output de la definición). De este modo es posible entrelazar parcelas de conocimiento, tales como reglas físicas, geométricas, constructivas, etc. y combinarlas para desarrollar herramientas de diseño a medida.

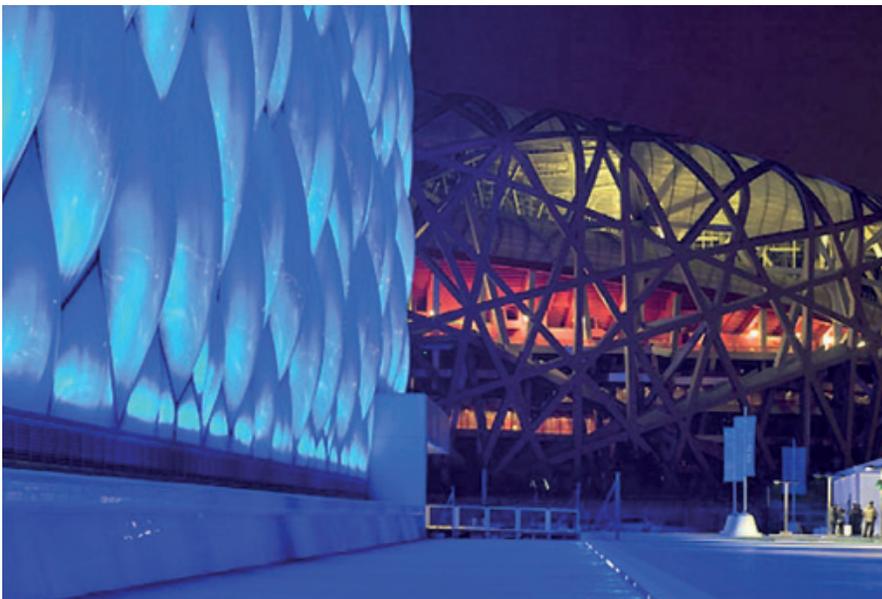


Fig. 2: *Water Cube* (izquierda) y el *Nido de Pájaro*, Estadio Nacional de Pekín (derecha)

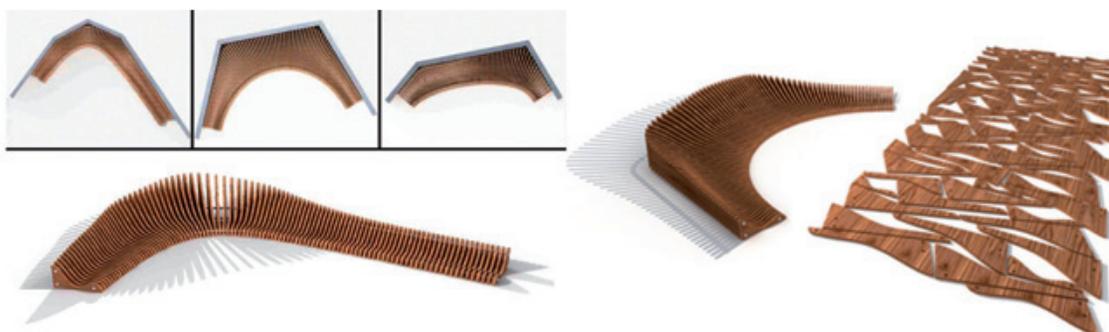


Fig. 3: Diseño de banco adaptativo que se ajusta a las condiciones de entorno (paredes). Fuente: Elaboración propia

3. SOFTWARE

La incorporación de módulos generativos a programas CAD se puede realizar de una forma específica o general. En el primer caso se trata de dar solución a un problema concreto y hasta la fecha la mejor solución es la creación de un módulo específico *ad-hoc*. Para ello se deberá utilizar el lenguaje de programación asociado a cada CAD en particular: *Python*, *Visual Basic*, *Visual C*, *Rhinoscript*, *Java*, etc.

Por otra parte, con el objetivo de dar solución a múltiples casos de diseño, las propias compañías que poseen herramientas de CAD han desarrollado sus propios *plug-ins* de programación gráfica. A continuación se listan las principales:

- **Generative Components:** es un sistema de diseño paramétrico y asociativo de la empresa *Bentley* que corre sobre *Microstation*. Combina la programación, *scripting* y la gestión gráfica. Está integrado con el BIM, la simulación y el análisis de *Bentley*.

<http://www.bentley.com/en-us/products/generativecomponents/>

- **Grasshopper:** Se trata de un *plug-in* de *Rhino* para la programación gráfica de formas complejas. Basado en la programación simbólica, no es necesario tener experiencia en programación para generar diseños asociativos o generativos. La interacción con el programa permite visualizar al instante las modificaciones en los parámetros de entrada de cada modelo.

Más información: <http://www.grasshopper3d.com/>

- **Processing:** es un lenguaje y plataforma de programación de código abierto orientado a la creación de imágenes, animaciones y sistemas interactivos. Es necesaria cierta experiencia en la programación.

Más información: <http://processing.org/>

- **Paracloud GEM:** se trata de un modelador de patrones tridimensional que no utiliza código en la generación de formas complejas.

Más información: <http://www.paracloud.com/>

- **Genoform:** se trata de un *plug-in* para *Solid Works*, que permite la creación de modelos generativos.

Más información: <http://www.genoform.com/>

3.1. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Para concluir la presentación de esta nueva metodología de diseño, se presentan tres casos de estudio que muestran diferentes aplicaciones del diseño asociativo y generativo en el campo de la ingeniería: modelización, simulación y optimización.

3.2. MODELIZADO Y PARAMETRIZACIÓN: PRÓTESIS DE CADERA

Con este primer ejemplo se aborda el modelado de una prótesis de cadera

realizada a medida a partir de un TAC de un fémur. A partir de esas imágenes se obtienen los contornos internos, que serán curvas de referencia para la

superficie principal del vástago (Fig. 4).

Una vez generada la primera piel para el vástago, se mapea sobre él una

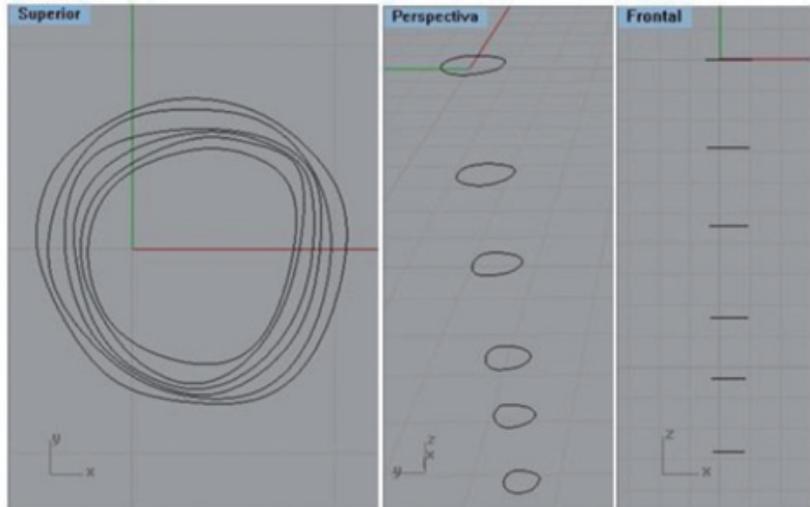


Fig. 4: Contornos de partida obtenidos a partir de un TAC de un fémur. Fuente: Marta Panizo Arce, EPI de Gijón



Fig. 5: Celda unitaria para recubrimiento del vástago. Fuente: Marta Panizo Arce, EPI de Gijón

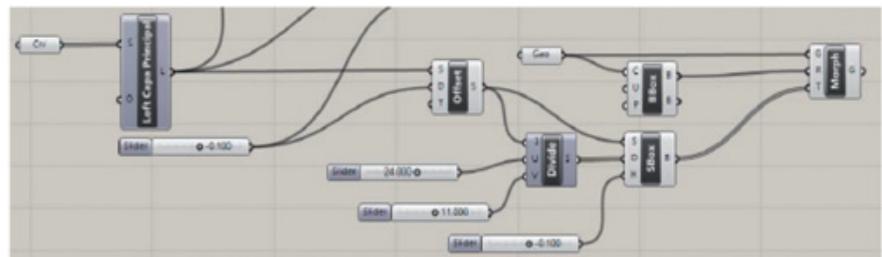
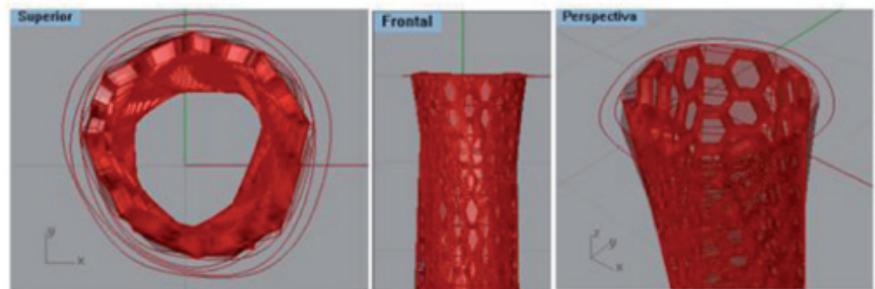


Fig. 6: Celda unitaria para recubrimiento del vástago. Fuente: Marta Panizo Arce, EPI de Gijón

celda unitaria (Fig. 5) creada con una geometría específica que permita el crecimiento del tejido vivo a través de ella.

A continuación, se crean otras dos superficies envolventes que recubran al vástago dotándole de solidez y rigidez a la vez que se mantiene la porosidad siempre controlada por el diseñador (Fig. 6). Sobre estas dos nuevas pieles se mapeará la celda de nuevo con los desfases programados para el ajuste de parámetros externos como pudiera ser el flujo de sustancia viva.

El diseño de la prótesis se ha parametrizado de forma que el diseño auxiliado por personal médico pueda adecuar la geometría a los requerimientos de cada paciente. Este primer caso es un ejemplo de modelado paramétrico asociativo.

3.3. SIMULACIÓN: CÁLCULO DE VOLÚMENES

Se pretende en este caso conocer la cantidad de agua que cae sobre un parabrisas del coche cuando llueve. Se trata de una simulación y no un modelado geométrico, aunque sí se utiliza la geometría y por tanto un sistema CAD para obtener una solución aproximada. Se analiza en primer lugar qué parámetros tienen lugar en este fenómeno:

- Geometría del parabrisas
- Velocidad del coche
- Velocidad de la lluvia
- Dirección de la lluvia
- Caudal de lluvia

Para realizar la simulación se parte de un modelo de coche y de un trazado cualquiera (Fig. 8). Se suponen unos valores constantes de las velocidades de coche y lluvia a lo largo de todo el trayecto.

Una posible solución del ejercicio pasa por evaluar cada segundo el agua recibida en el parabrisas. Conocidos los datos iniciales de partida, se podría estimar el vector de agua que recibe el parabrisas cada segundo. Basta con conocer los vectores que representan el movimiento de la lluvia y el coche. La resultante genera un volumen ocupado por una cierta cantidad de agua que también se puede calcular. En la

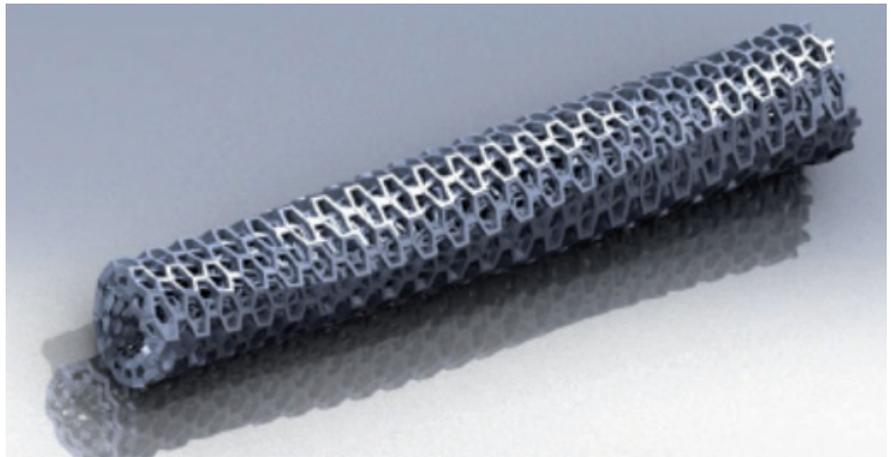


Fig. 7: Render de la parte exterior del vástago generada. Fuente: Marta Panizo Arce, EPI de Gijón

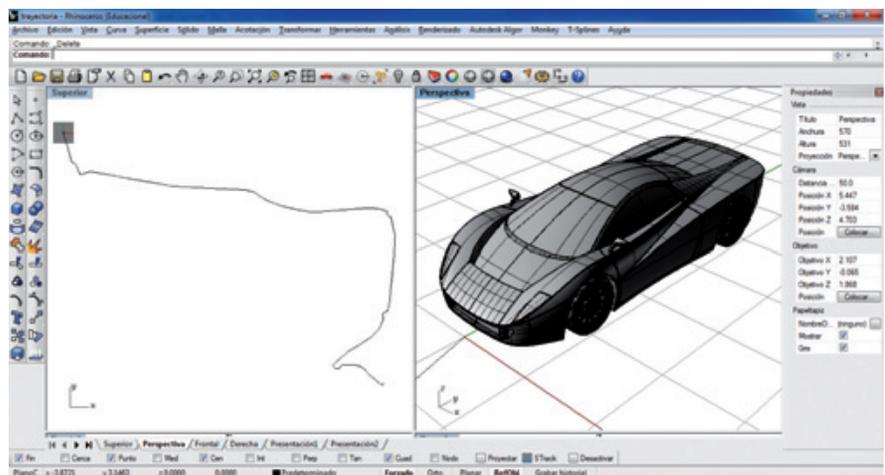


Fig. 8: Modelo de coche empleado y trayectoria seguida por él. Fuente: Elaboración propia

ilustración se observa el volumen de aire y agua recibido en un segundo por el coche (Fig. 9).

Si se extiende el razonamiento a todos los puntos de la curva se obtendrían todos los volúmenes que impactan sobre el parabrisas y de esta forma se podría calcular el volumen total. Existe como se observa en este caso una asociación entre los puntos de la curva que se tomen (mayor número, mayor exactitud) y los volúmenes que se generan.

3.4. OPTIMIZACIÓN: EL DILEMA DEL SOCORRISTA

¿Cuál es el trayecto que debe seguir un socorrista para auxiliar a un bañista en dificultades?

Richard Feynman propuso de forma ingeniosa aplicar la Ley de

Snell en estas situaciones. Esta ley nos muestra la relación entre las direcciones de propagación de la luz y los índices de refracción de la materia que atraviesa cuando un rayo de luz las atraviesa. Feynman propuso sustituir el medio con un índice de refracción más bajo por la playa y el más alto por el mar (Feynman et al., 1964). De esta forma se modeliza el comportamiento de un socorrista que tratará de recorrer el mayor espacio en el medio donde se desplace más rápido (en el mayor número de casos, la playa) según esta ecuación:

$$v_1 \cdot \sin \delta_1 = v_2 \cdot \sin \delta_2$$

Donde v_i son las velocidades y δ_i los ángulos que forman con la normal a la superficie. Sin embargo, siendo más estrictos, se pueden encontrar fronteras

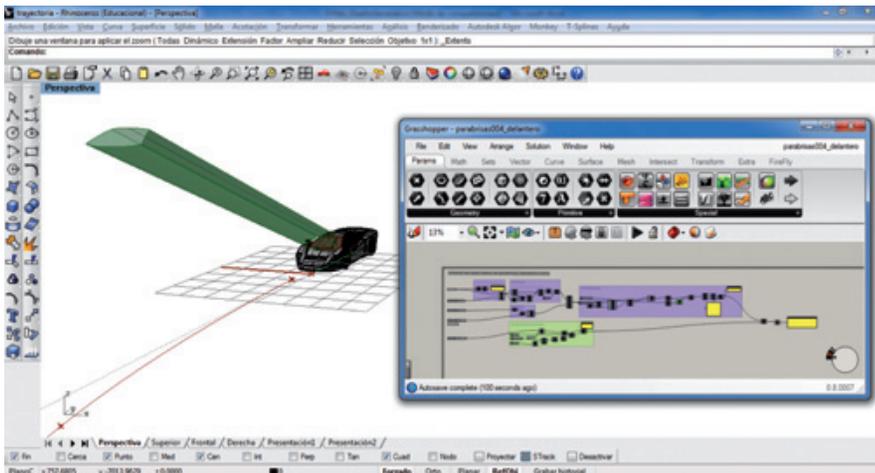


Fig. 9: Volumen de 'aire+agua' recibido en un segundo por el parabrisas y archivo final de Grasshopper. Fuente: Elaboración propia

entre las diferentes superficies que no sean rectas. Para resolver este caso se pueden utilizar algoritmos de optimización (como por ejemplo los algoritmos genéticos) en combinación con un programa de dibujo que permita la inserción y dibujo de las curvas necesarias y los parámetros de entrada (velocidades).

Hasta ahora se han mostrado ejemplos de modelizado paramétrico y asociativo. Con este pequeño ejemplo se entra en contacto con el proceso generativo, donde el computador asiste y propone soluciones al diseño, en este caso utilizando algoritmos genéticos.

El planteamiento en este caso es minimizar la suma del tiempo que el socorrista emplea nadando y corriendo (*fitness* del genético). Los parámetros serán los puntos de control de una *spline*. Una forma sencilla de obtener esos puntos es dividir la recta que une socorrista y naufrago y dividirlo en

un número determinado de segmentos (por ejemplo, siete segmentos). Esos puntos serán centros de circunferencias de radio $L/7$. A continuación, se desplaza un punto cualquiera de esas circunferencias perpendicularmente a la recta original una cierta distancia. Tanto la posición del punto sobre la circunferencia como la distancia desplazada serán los parámetros que se incluirán en el algoritmo genético para optimizar el *fitness*.

Por último, se ajustarán los valores de velocidad sobre la arena y en el agua del socorrista (por ejemplo: 7 m/s sobre tierra y 1,5 m/s sobre mar).

Una vez ejecutado el algoritmo genético, se obtiene una primera solución aproximada al dilema del socorrista (Fig. 10).

4. CONCLUSIONES

La ingeniería *generativa* se postula como una herramienta compleja y

potente para la ayuda en las primeras etapas del diseño.

La evolución natural de la tecnología, que asistió al dibujo (CAD), se encamina a una ayuda en el diseño, diferenciándose ambos en la incorporación de un proceso creativo y metodológico para encontrar respuestas. Por otro lado, el control eficiente de una gran cantidad de variables no sólo puede ayudar a evitar errores en cálculos iterativos o reducir tiempos, sino que además nos puede permitir afrontar nuevos y más complejos problemas en la ingeniería.

La herencia de la arquitectura en el diseño *generativo* puede relacionarse con formas complejas, imposibles laberintos estructurales capaces de ser controlados de un modo paramétrico. Sin embargo, el papel que puede desarrollar en la ingeniería se enfocaría más bien, al control de complejos procesos que, en general, deben satisfacer del modo más simple posible los problemas que se planteen.

5. PARA SABER MÁS

- Coates, P.; Thum, R. 1995. Generative Modelling - Student Workbook. 125f. Apostila. University of East London, Londres.
- Feynman, R.P.; Leighton, R.; Sands, M. 1964. The Feynman Lectures on Physics, Vol. 1: Mainly Mechanics, Radiation, and Heat. Library of Congress Catalog Card No. 63-20717
- Krish, S. 2011. What is generative design? Generative Design. [online]. Disponible en < <http://generativedesign.wordpress.com/2011/01/29/what-is-generative-design/#more-1314> > [Consultado 18 de Julio de 2011]
- Levenchuck, A. 2011. Future of Engineering. Anatoly Levenchuck's Runglish Blog. [online]. Disponible en < <http://levenchuck.com/2011/06/17/future-of-engineering/> >. [Consultado 11 de Agosto de 2011]
- McCormack, J., Dorin, A. Et Innocent, T. 2004. Generative Design: a paradigm for design research. Design Research Society, Australia.
- Stocking, A., 2009. Generative Design is changing the face of architecture. Cadalyst. Disponible en < <http://www.cadalyst.com/cad/building-design/generative-design-is-changing-face-architecture-12948> > [Consultado 11 de julio de 2011]

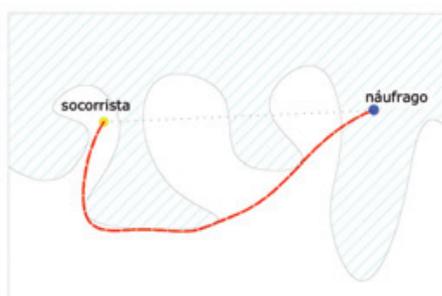
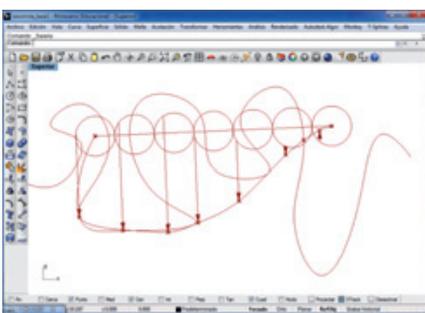


Fig. 10: Trayecto optimizado mediante algoritmos genético. Fuente: Elaboración propia