

## Del microscopio electrónico a la estrategia digital en arquitectura From the electron microscope to the digital strategy in architecture

**Alberto T. Estévez, Catedrático y Vicerrector**  
ESARQ, the School of Architecture UIC Barcelona  
Universitat Internacional de Catalunya, España  
estevez@uic.es

**Diego Navarro, Profesor Asociado**  
ESARQ, the School of Architecture UIC Barcelona  
Universitat Internacional de Catalunya, España  
navarro@uic.es

### Abstract

The knowledge of when the amorphous masses of cells organize themselves into a first structural level is relevant for the architect. The architecture must also attend structural and economic stresses, following efficiency, as living beings do: something that we can learn from nature ("biolearning"), although that level can only be reached with microscope. So this becomes a useful tool for architectural research. Examples of this are presented here, seeking first to discover, analyze and evaluate microscopic structures of plants and animals. On that knowledge we can make emerge the digital design of real architectural projects, using computational strategies, also morphogenetic.

Keywords: Bioaprendizaje; Estrategias computacionales; Arquitectura biodigital; Parametricismo; Organicismo digital.

### Introducción (y metodología)

Se presentan aquí algunas de las investigaciones interdisciplinarias y proyectos arquitectónicos llevados a cabo por el grupo de investigación Genetic Architectures de la ESARQ (la School of Architecture de la UIC Barcelona, la Universitat Internacional de Catalunya), que congrega miembros procedentes de los campos de la arquitectura y diseño, biología (genética), historia del arte y filosofía.

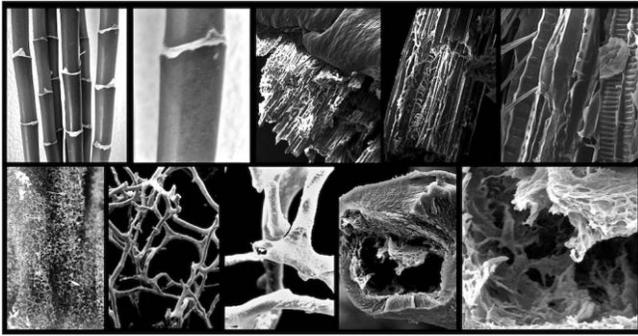
Pues bien, el conocimiento del momento en que las masas amorfas de células se autoorganizan en un primer nivel estructural es relevante para el arquitecto. La arquitectura debe igualmente atender solicitaciones estructurales, físicas, económicas y de eficiencia, como los seres vivos. Esto es algo que podemos aprender de la naturaleza (*biolearning*). Aunque en ella a ese nivel sólo puede llegarse con microscopio. Entonces, esta herramienta se convierte en valiosa para la investigación arquitectónica. Se presentan aquí ejemplos de esto: primero se busca descubrir, analizar y valorar estructuras microscópicas de animales y vegetales. Sobre ese conocimiento se puede luego hacer *emerger* el diseño digital de proyectos arquitectónicos reales, mediante estrategias computacionales también morfogenéticas.

En el tipo de investigaciones que concretamente se van a tratar en estas líneas, se parte primero de una prospección con microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM). Con él se es capaz de producir imágenes de alta resolución, con gran profundidad de campo. Algo que permite enfocar a la vez una gran zona de las muestras, que en nuestro caso son siempre biológicas, por el interés metodológico en torno al *biolearning*, debido a las ventajas que los seres vivos aportan en eficiencia y empatía (Estévez, 2015). De esta forma las muestras pueden ser examinadas y fotografiadas con gran amplificación, llegando hasta varios miles de aumentos según se necesite en cada momento, en relación al nivel de interés mencionado, ese nivel donde se verifica que lo amorfo emerge en geometría y estructura primigenia.

En concreto solemos utilizar un microscopio electrónico de barrido FEI Quanta 200 SEM. Entonces, al principio aparece la palabra *descubrir*, pues ante nuestros ojos surgen una y otra vez *paisajes* sorprendentes, nunca vistos, morfologías inéditas, incluso cargadas de emoción en su percepción humana. Luego, tales *descubrimientos* se analizan y valoran por su *bioeconomía* y su aplicabilidad real a la arquitectura. Así, del escaneado microscópico electrónico se pasa entonces al modelado 3D, que permitirá a su vez definir los algoritmos para su posterior fabricación digital. De esta manera, se trata de hacer también *emerger* el diseño digital de proyectos arquitectónicos reales. Aunque todo ello conlleve en sí mismo ya una investigación: sobre el cómo se debe dibujar y cómo se puede fabricar. Pues, para conseguir la idea proyectual deseada no hay caminos directos, ya que además entran en juego tanto su usabilidad como su constructividad, cambiante según la escala que sea. Con el paralelismo conceptual que se da, por un lado, en el medio natural, donde el ADN de las células (a modo de *software natural*) establece su morfogénesis. Y por otro lado, en el medio digital, donde las distintas posibilidades del software (a modo de ADN artificial) se convierten -como se decía- en estrategias computacionales también morfogenéticas (Hensel - Menges - Weinstock, 2004): *del microscopio electrónico a la estrategia digital en arquitectura*.

### De bambúes, esponjas y árboles

¿Qué le pasa a la forma primigenia cuando en su crecimiento celular natural se convierte genesiacamente en estructura?: fractalidad, eso le pasa, con independencia de si se trata de vegetales (en este ejemplo, bambúes) o de animales (en este ejemplo, esponjas). Merced al uso del microscopio electrónico de barrido puede verse entonces cómo los bambúes están formados de *bambúes*, que a su vez están formados de *bambúes* más pequeños todavía. O cómo las esponjas de mar están formadas de *esponjas*, que de nuevo se conforman de *esponjas* menores (Figura 1).



**Figura 1:** Arriba, Alberto T. Estévez, bambúes (x1, x1, x200, x400, x3000) y, abajo, esponjas de mar (x1, x100, x400, x3000, x7000), 2008-09, realizadas con microscopio electrónico de barrido, que permite apreciar la fractalidad estructural.

Este hecho no puede dejar indiferente al arquitecto, y si hasta ahora nuestras construcciones eran macizas en pilares y vigas, y eran masivas en muros, gracias a las nuevas tecnologías digitales de impresión 3D ya podemos también configurar nuestras estructuras con ese triple nivel de fractalidad interna, que conlleva economía de material (y ligereza) en la búsqueda de la mayor eficacia estructural.

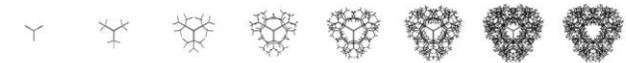
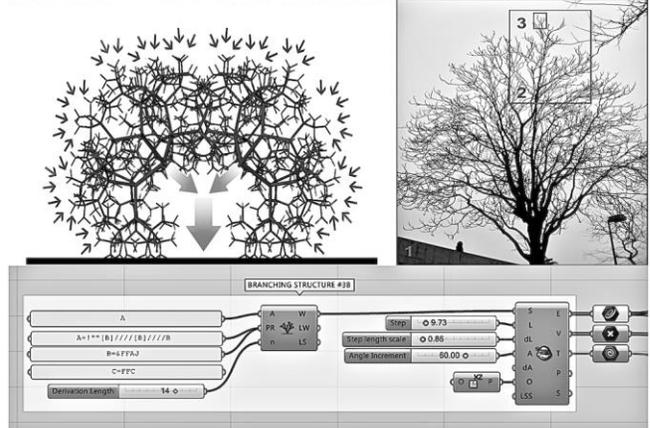
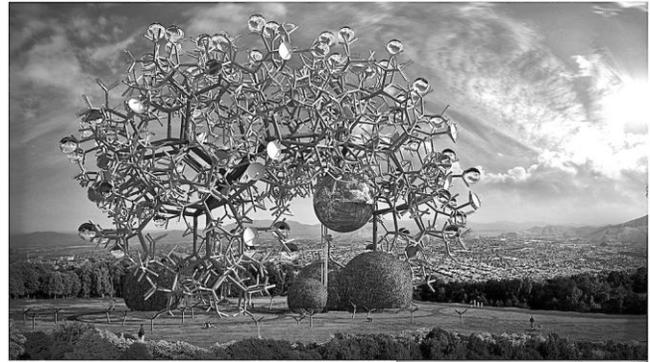
Y con esta idea de fractalidad en mente, yendo más allá aún, "capté las más puras y placenteras imágenes de la Naturaleza, esta Naturaleza que siempre es mi Maestra. (...) El gran libro, siempre abierto y que hay que esforzarse en leer, es el de la Naturaleza; los otros libros están sacados de este y tienen las equivocaciones e interpretaciones de los hombres. (...) Todo sale del gran libro de la naturaleza (...). Este árbol junto a mi taller: ¡este es mi maestro!" (Puig-Boada, 1981). Pues, en estas palabras de Antoni Gaudí radica en última instancia el *biolearning*, que hoy se convierte ya en una urgencia planetaria para la sostenibilidad global. Cuando cada vez más arquitectos entienden el cambio de referencias que esto significa, escuchado también por ejemplo en el discurso de Toyo Ito, como un desarrollo de la idea del *árbol-maestro* de Antoni Gaudí:

"Aprendiendo del Árbol

1. Los árboles generan orden en el proceso de crecer a lo largo del tiempo.
2. Los árboles generan orden por repetición de reglas simples.
3. Los árboles generan orden por medio de relaciones con los que le rodean.
4. Los árboles están abiertos al entorno.
5. Los árboles son sistemas fractales." (Ito, 2009)

Sí -árboles, fractales- nuestros edificios debieran parecerse ya más a árboles y fractales que a otra cosa. Algo bien posible hoy en día por encontrar las facilidades que el mundo digital nos ofrece. Así, de tal inquietud nació el proyecto para un edificio-antena fractal de telecomunicaciones.

Se trata de un edificio-mirador para soporte de antenas, también necesariamente a modo de "hito urbano" como suele reclamarse de tales edificios, para el cual se definiría una nueva tipología de *torre-antena*, energéticamente autosuficiente (Figura 2).



**Figura 2:** Estévez-Navarro, GenArqOffice, *Air purifying and energy self-sufficient fractal telecommunications antenna*, Santiago de Chile, 2013-14: 8 generaciones, 3.276 barras, ángulos de 60°.

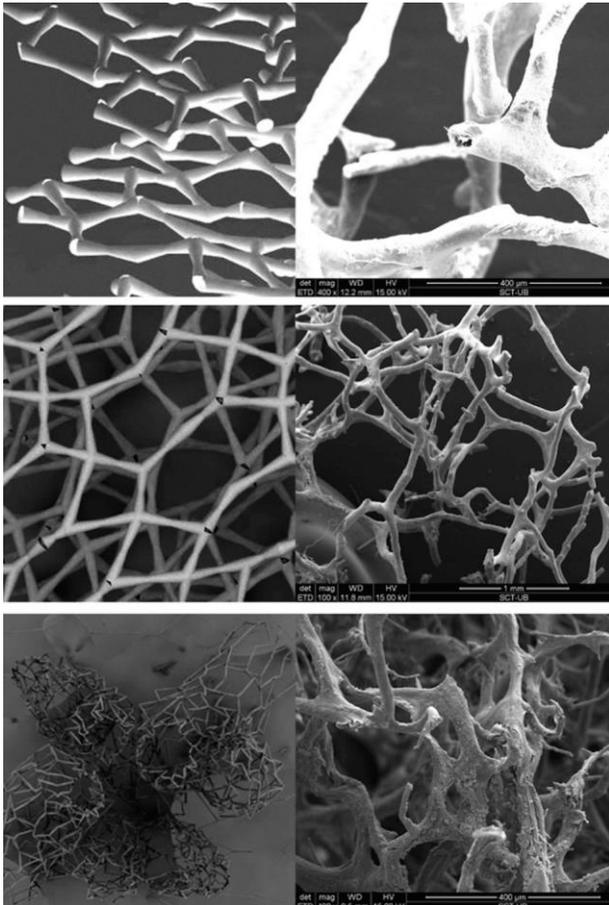
Tal autosuficiencia energética se consigue mediante captación solar estérica (*BetaTorics*). Además de disponerse de tubos huecos con ventiladores y filtros que impulsan aire limpio, como aportación contra la contaminación, planteado desde una estructura fractal, *bio-aprendida* de los árboles y del diente de león (fractal también) sembrado en el entorno, glosando las características medicinales y lúdicas que le son propias. Esta construcción se creará digitalmente mediante una geometría fractal (*L-System*) facilitando el control de sus piezas, "automáticamente" armónico, orgánico (organizado), formal y conceptualmente entendido sin solución de continuidad, generado por un sistema coherente que resuena en todas las partes del conjunto en sinfonía acordada, como las estructuras fractales naturales.

Para desarrollar el sistema fractal se usó *Rhinoceros3D*, *Grasshopper* y *Rabbit*, siendo los componentes de este los más importantes, *LSystem* y *Turtle*: el *L-System* escogido cumplía requerimientos para desarrollar el proyecto con mayor facilidad funcional y estructural. Quedó pues definido por una sucesión de barras que se multiplican por tres en cada una de sus 8 generaciones, reproducidas mediante un sistema de ángulos de 60°, que da forma casi esférica, funcionando a modo de cúpula cuando algunos de sus extremos comienzan a cruzarse. Igualmente importante es que la generación de nudos es siempre constante, pudiéndose resolver todos ellos con la misma pieza: una

barra que se divide en 3 con ángulos de 30° respecto al plano perpendicular de la barra original y con ángulos de 120° entre ellas.

Se introduce también un sistema constante de proporciones y degradado de colores: a medida que las recursiones crecen en el fractal, las barras disminuyen de longitud y grueso. Todas las generaciones producen 3.276 barras con diámetros de 0,34 m a 1,06 m. Y la última generación de barras (2.187 en total) recibe las antenas y los elementos de autosuficiencia energética.

Por otro lado se desarrolló el proyecto de un rascacielos que debía situarse en el frente marítimo. Primeramente tras el análisis de las estructuras microscópicas de las esponjas de mar (Figura 3), dando lugar luego a la investigación digital con herramientas de programación y paramétricas, extrayendo las reglas genéticas y estructurales, para finalmente conseguir que el diseño arquitectónico *emerja* solo, en la línea de poder producirse y fabricarse fractal y digitalmente.



**Figura 3:** Alberto T. Estévez-Aref Maksoud, renders de archivos de *scripting* 3D (izquierda) que muestran los resultados de las implicaciones de las reglas genéticas y estructurales de la investigación microscópica de las esponjas marinas (derecha, x100, x400), en las herramientas paramétricas, para el diseño del *Biodigital Skyscraper*, Barcelona, 2008-09.

Simultáneamente se buscó a su vez la simbiosis biológica real, de manera que pudiesen usarse las estructuras de

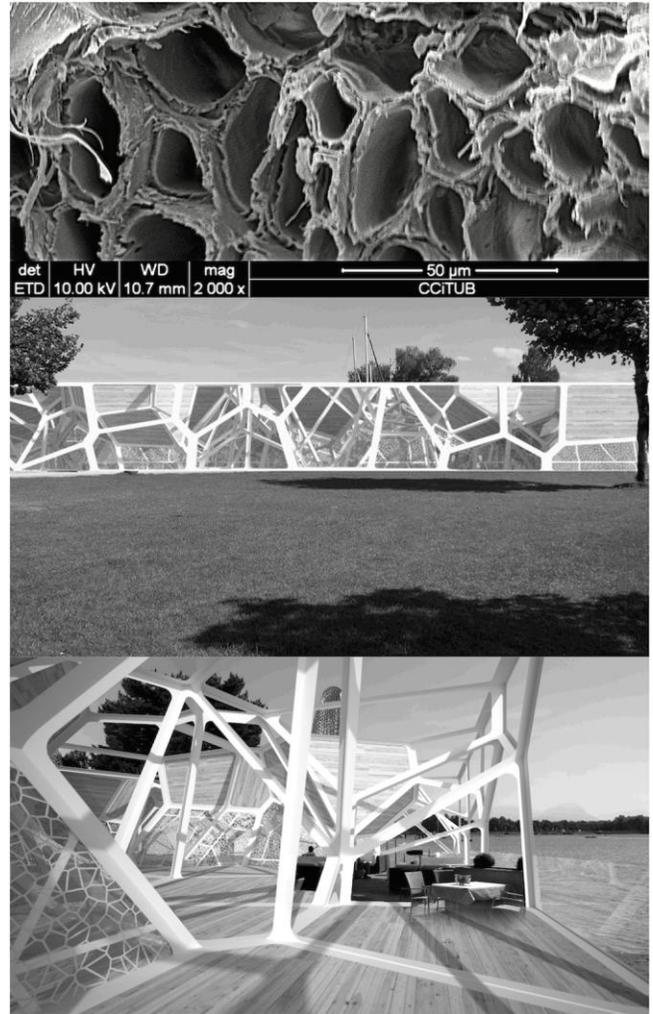
esponjas marinas naturales como cerramientos ligeros a modo de celosías en las fachadas (Figura 4).



**Figura 4:** Alberto T. Estévez – Aref Maksoud, *Biodigital Skyscraper*, Barcelona, 2008-09.

### De *datura ferox*, libélulas y otros bichos

Numerosos son los casos en la naturaleza cuya geometría estructural, en mayor o menor escala, se aproxima a los diagramas de voronói (Figura 5).

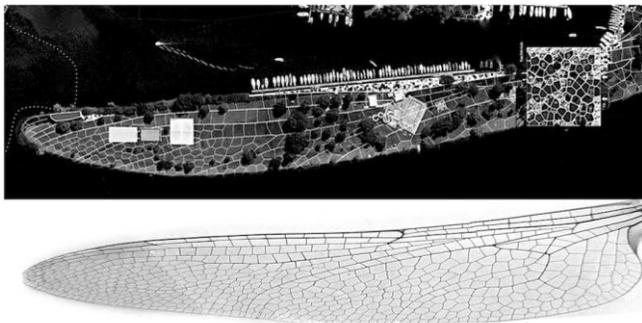


**Figura 5:** Arriba, Alberto T. Estévez, corte de pincho de *datura ferox* (x2000): foto con microscopio electrónico de barrido, que permite apreciar su aproximación estructural a diagramas de voronói. Abajo, Estévez-Navarro, GenArqOffice, *Multifunctional building*, Hard, 2014.

Este hecho de la aparición en la naturaleza de tales patrones, de nuevo existentes tanto en el mundo vegetal (en este ejemplo, *datuna ferox*) como en el animal (en este ejemplo, libélulas), junto al interés de su *volcado* digital, ha propiciado también dedicarnos a él. Uno de los casos trabajados en esa línea sería el proyecto de la reforma de toda una zona urbana, que incluía además un parque y un edificio multifuncional.

Así, por requerimientos de partida, de adecuación a las condicionantes del proyecto, y por una deseada unicidad y continuidad, se recurre al sistema celular voronói. También por su automatización para generar o solucionar situaciones y necesidades a partir de una geometría sencilla (puntos que marcan el centro de cada celda), de patrones controlables: pueden crearse despieces alargados, lineales, de gran tamaño y apariencia "ordenada", o patrones más heterogéneos y extensivos, como para una plaza o similar.

Por otro lado, el estudio de patrones voronói, por ejemplo de alas de libélula, descubre la calidad que conlleva plasmar diferencias entre condiciones de estructura, borde y otras (Figura 6). Y es este por ejemplo otro de los descubrimientos cruciales que son sólo posibles ante la observación de muestras biológicas. Entonces se dibujaron niveles de voronói subordinados unos a otros, permitiendo líneas continuas (de más anchura por definirse como pasos principales), definidas mediante una sucesión de puntos que definen curvas paralelas.



**Figura 6:** Estévez-Navarro, *planta de parte del parque con edificio multifuncional*, Hard, 2014, cuya riqueza espacial, de diversidad y de recorridos jerarquizados se debe a este estudio desde la biología.

El patrón de voronói organizó con solvencia, unidad y diversidad los recorridos del parque, parcelando áreas según usos, y creando cierta privacidad virtual. Las celdas en áreas más urbanas, de pavimento duro, se subdividieron en tres niveles fractales sucesivos hasta llegar a la escala pequeña de la baldosa. O se hicieron crecer formando kioscos en el segundo nivel de subdivisión, o bancos en el tercer nivel. La transición entre espacios más urbanos y áreas verdes se resolvió con degradados entre las celdas del segundo nivel.

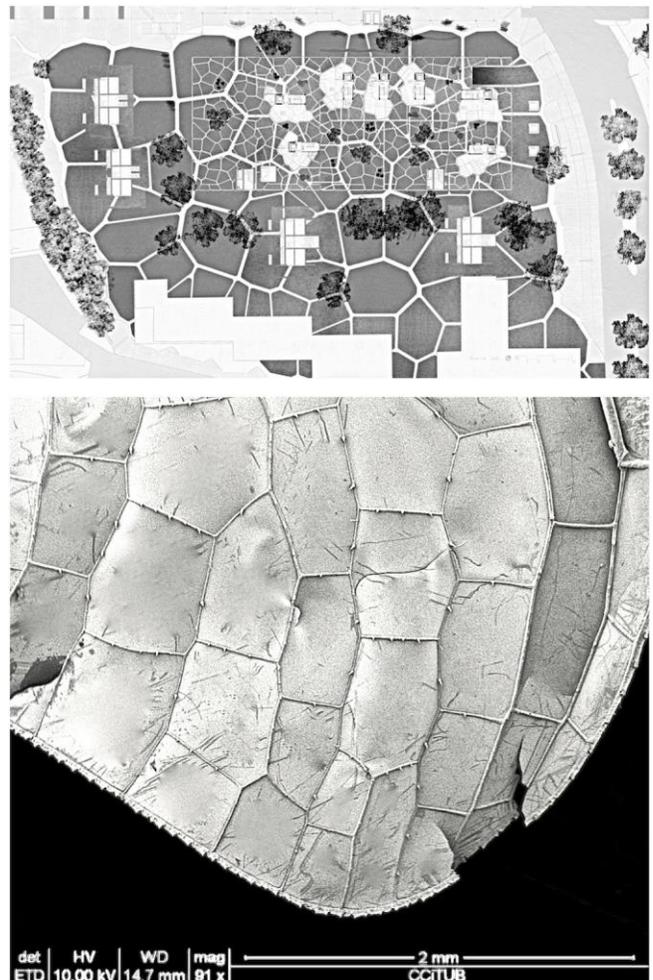
Por fin, continuando el fractal de voronói se proyectó un edificio-atrío multifuncional (restaurante, cafetería, oficinas, vestuarios, almacenes, instalaciones, etc.), entrada al parque desde el paseo marítimo, siguiendo las reglas de voronói de manera tridimensional: las aristas de las células son los elementos estructurales, mientras que las caras harán a su vez de fachada, suelo, o cubierta.

El programa a cumplir se resolverá cerrando o abriendo las caras de cada celda tridimensional. Para ello se evalúan las diferentes caras en base al valor z con el fin de organizarlas en cubierta, pavimento o fachada: unas de vidrio con celosía voronói y otras con un entablado.

El esfuerzo computacional será subordinar celdas dentro de otras (nidificar la estructura dentro suyo tres veces usando el componente *Voronoi Groups*), o adecuar celdas a perímetros irregulares. Para este último requisito, fue necesario ejecutar componentes de evaluación booleanas para delimitar las regiones coincidentes (*Region Intersection*) de dos dominios: un patrón de voronói mayor que el total, y los límites del proyecto.

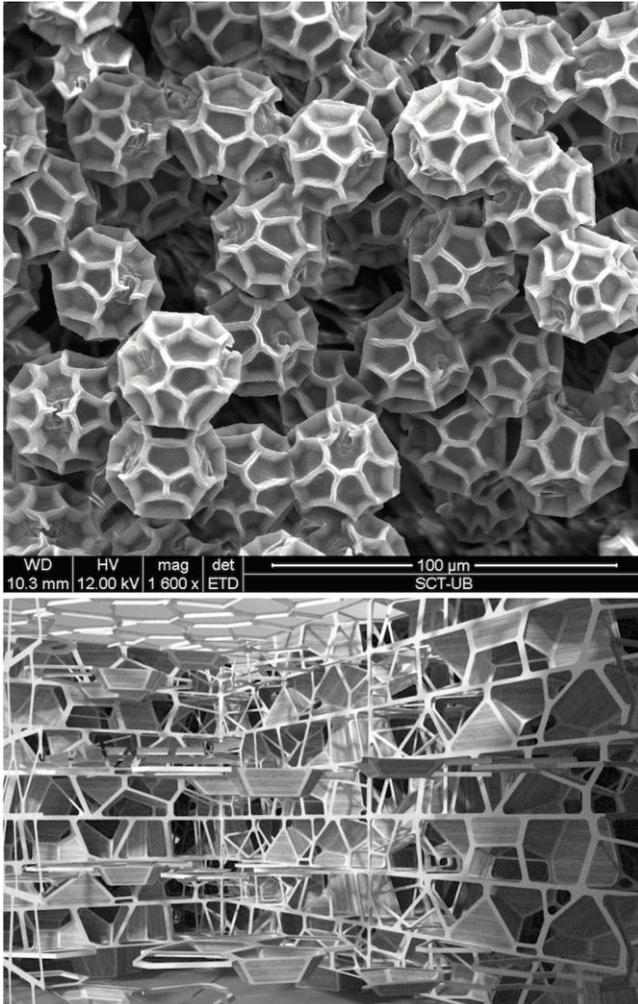
Y para reforzar la idea de células, se redondean los ángulos por dentro, cuyo radio se hace depender del tamaño de la célula. Así se enfatiza el carácter orgánico, valores de continuidad y unicidad, y de fluidez y dinamicidad.

Siguiendo la misma estrategia digital, se aplicó esta vez a un proyecto de un complejo habitacional, un edificio más compacto y de varios pisos (Figura 7).



**Figura 7:** Arriba, Estévez-GenArqOffice, *Solar passive biodigital housing*, planta baja con diferentes niveles de voronói subordinados, Innsbruck, 2014-15. Abajo, Alberto T. Estévez, ala de libélula (x91): foto con microscopio electrónico de barrido que permite apreciar su aproximación estructural a diagramas de voronói.

Este se diseñó además enteramente bajo las ideas de la arquitectura solar pasiva, incluyendo apicultura y agricultura urbana vertical en plataformas verdes "flotantes" (Figura 8).



**Figura 8:** Arriba, Estévez-GenArqOffice, granos de polen de *Aster*: foto con microscopio electrónico de barrido (x1600) que permite apreciar su aproximación estructural a diagramas de voronói. Abajo, Estévez-GenArqOffice, *Solar passive biodigital housing*, patio interior con plataformas verdes "flotantes", Innsbruck, 2014-15.

Pues bien, la manera de afrontar y adecuar las celdas voronói es opuesta al ejemplo anterior del parque y del *multifunctional building*. En el parque se buscaba adaptarse a límites preexistentes irregulares y heterogéneos, pero en este proyecto sus límites están claramente definidos por las formas regulares de fachadas y patios. Es decir, se acude al patrón voronói para llevar a cabo una subdivisión del espacio interno en lugar de propagar un crecimiento hacia bordes desconocidos. Por otro lado, en este proyecto los diagramas de voronói se desarrollan amplia y totalmente en las tres dimensiones, tal como se descubrió por ejemplo en la sección microscópica del cactus (Figura 9).

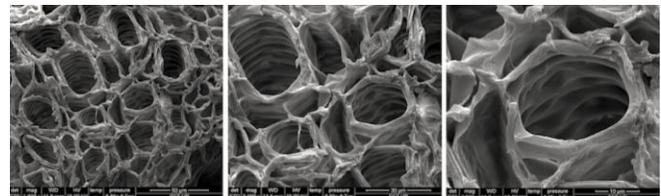
Y uno de los aspectos más especiales es la necesidad funcional de verticalidad y horizontalidad que requiere el edificio en fachada y forjados. El voronói, heterogéneo por naturaleza, contribuye al desdibujado y fragmentación de dichas necesidades pero al mismo tiempo ha de reconocerlas y adecuarse a ellas. Por tanto, a pesar de que

el cálculo de células voronói es infinito por su definición matemática, en este edificio sus límites son manifiestamente representados y controlados tanto en su vertiente vertical como horizontal a través del solapamiento de regiones.

Con el fin de dividir el espacio en células que faceten y fragmenten la fachada, se usará el componente de triangulación *Voronoi 3D*. Los puntos sobre los cuales se ejecuta este componente surgen de poblar aleatoriamente el volumen de cada una de las alturas del edificio. Obvia decir que la cantidad de puntos y su disposición tiene un impacto directo en el aspecto de la fachada, por lo que se debe controlar el número de los mismos y la semilla (seed) que genera su disposición de forma aleatoria.

El factor más importante para adecuar el formato digital de voronói a una geometría susceptible de ser fabricada es la duplicación de caras. Por su carácter de celdas colindantes, cada una de las caras interiores del patrón tridimensional está duplicada. Y para limpiar las caras sobrantes se calculó el centro de cada una de las caras y se asociaron al componente de duplicación de puntos. Esta lista de duplicados puede después aplicarse a la lista de caras.

El centro de las caras también se usó para clasificar y aplicar los materiales (madera, vidrio...) en base a su altura relativa. Las superficies cuyo centro es superior a la altura media pasan a conformar ventanas mientras que las más bajas se materializan en petos de madera laminada. Aquellas caras asociadas a un vector normal vertical pasarán a convertirse en forjados.



**Figura 9:** Arriba, Alberto T. Estévez, sección de cactus: foto con microscopio electrónico de barrido (x1600, x3000, x6000) que permite descubrir diagramas de voronói en tres dimensiones, ya que aparecen también en las paredes perpendiculares a la sección. Abajo, Estévez-GenArqOffice, *Solar passive biodigital housing*, vista exterior con voronói en tres dimensiones, Innsbruck, 2014-15.

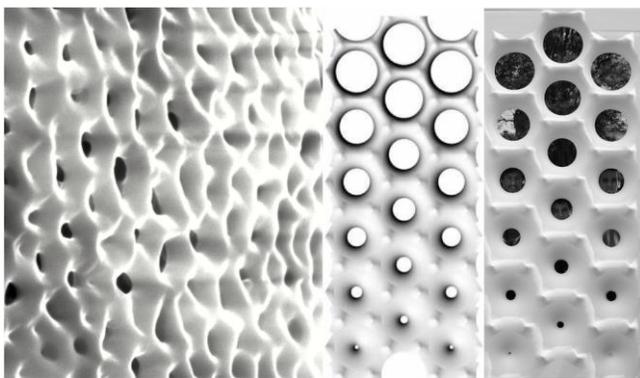
La mencionada fragmentación de la fachada -pues se buscaba crear retranqueos, lugares que permitan la entrada de luz, espacios de oportunidad para jardines en altura, o simplemente huecos de los cuales la vegetación pudiera

adueñarse- se controla mediante condicionales. La relación de los condicionales es la distancia del centro geométrico de la célula respecto al límite más exterior del edificio. Si las células cumplen dicha distancia mínima son sometidas a un coeficiente del 60% que determina finalmente su desaparición (Figura 9).

Por último, lo que requirió más ajustes fue el llenado de los patios (Figura 8), compuestos por dos jerarquías de estructuras voronói distintas a las del resto del proyecto. El propósito de este espacio abierto era controlar la densidad de las barras, su esbeltez, y el tamaño de las plataformas dedicadas a la agricultura. La primera jerarquía de voronói se encarga de la estructura y es sometida a un algoritmo evolutivo que valore entre un millar de opciones aquellas que cumplan unos mínimos de esbeltez y factibilidad constructiva. La segunda -las plataformas- por ser necesario que se sustenten en la jerarquía estructural, son el resultado de una subdivisión dentro de la trama de estructura. Por supuesto, esto genera una increíble cantidad de plataformas que deben ser eliminadas, de nuevo, gracias a un porcentaje de aleatoriedad unido a la proximidad de la fachada.

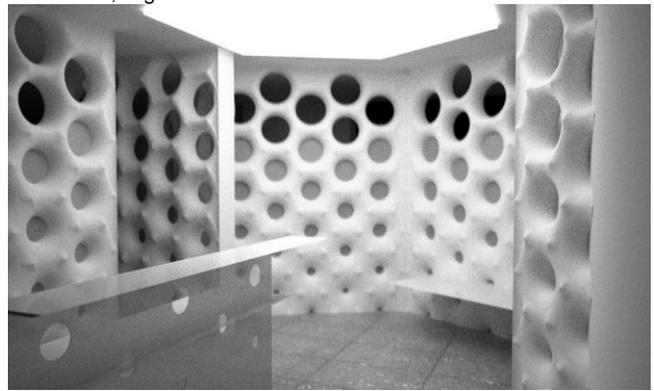
## De polen, radiolarios y otros vegetales

Se incluye finalmente esta última sección, donde, de nuevo, desde el mundo vegetal (para este caso, polen) y animal (para este caso, radiolarios) aparecen estructuras similares, cuya transformación digital es especialmente interesante por el modo en que pueden acabar resolviéndose los distintos proyectos, por las respuestas que tales estructuras naturales pueden dar en beneficio de la arquitectura resultante. Así, del estudio microscópico de su común geometría entre los distintos tipos de granos de polen y de radiolarios (vegetales y animales), se llevó a cabo una investigación gráfica (usando desde *Rhinoceros3D* y *Grasshopper* hasta *Paracloud* y *scripting*) que acabó en el diseño y fabricación digital a escala 1:1 de paneles, de un pabellón y de una serie de lámparas y mobiliario de interior y urbano.



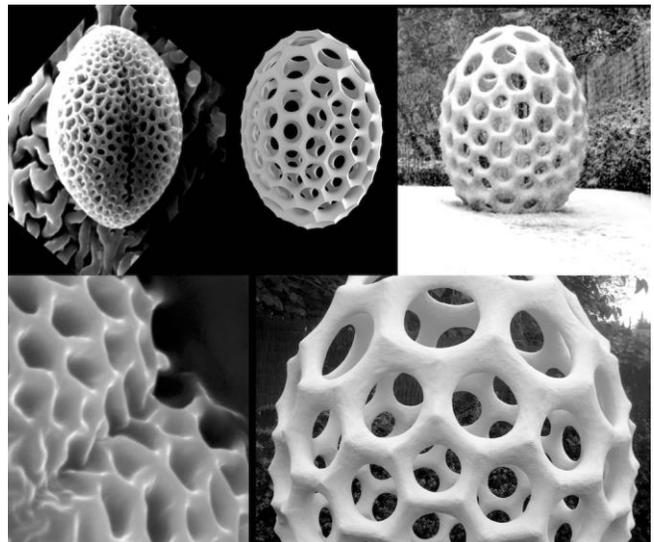
**Figura 10:** Alberto T. Estévez. Izquierda, detalle de polen con microscopio electrónico (x12000). Centro, modelado de la solución más conveniente. Derecha, pieza fabricada digitalmente, 2008.

En efecto, primero se trabajó en una serie de distintos paneles aplicables a diferentes posibilidades de creación de espacio, como es el ejemplo del consultorio médico aquí consignado (Figuras 10 y 11), donde por ejemplo las necesidades humanas de privacidad y transparencia se difuminan de abajo arriba, según se produjo luego con tecnología CAD-CAM.



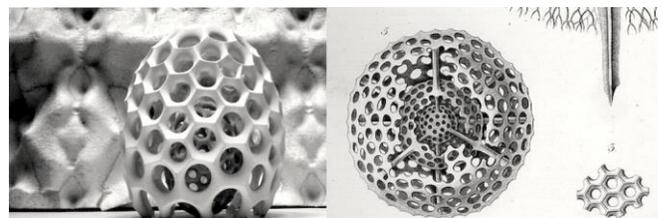
**Figura 11:** Alberto T. Estévez, *Consulting room*, Barcelona, 2008-09: paneles fabricados con CNC para esta obra.

Y en el desarrollo de tal línea se pasó a la creación de cúpulas, como es el caso del pabellón también aquí presentado (Figura 12), siguiéndose para ello igualmente con el uso de software de modelado, paramétrico y *scripting*, y de una *CNC milling machine* para su fabricación.



**Figura 12:** Alberto T. Estévez. Izquierda, arriba y abajo, detalle de un grano de polen de *Prunus dulcis*: foto con microscopio electrónico (x6000). Centro, modelado final tras la correspondiente investigación gráfica para lograr el resultado deseado. Derecha, arriba y abajo, Alberto T. Estévez, *Biodigital pavilion*, Barcelona, 2008-09.

Mientras, la facilidad en el cambio de escala propició igualmente la mencionada creación de mobiliario y lámparas (Figura 13).



**Figura 13:** Izquierda: Alberto T. Estévez, lámpara fabricada a escala natural 1:1 con una *3D printer*, 2010. Derecha: imagen extraída de *Die Radiolarien*, p. 24 (Haeckel, 1862).

Presentándose aquí, para acabar, un banco diseñado y producido digitalmente. En este proyecto se siguió el

aprendizaje con microscopio de la fluidez observada en muestras de filamentos y estambres vegetales (Figura 14). Tras su *descubrimiento* y análisis, especialmente también por su coherencia con el concepto de usabilidad que se buscaba, se hizo especialmente adecuada la aplicación de la estrategia paramétrica correspondiente.



**Figura 14:** Estévez-GenArqOffice, *Biodigital chair*, Barcelona, 2010. Arriba a la derecha, foto de estambre de *Viola* con microscopio electrónico de barrido (x400), que llevó a una investigación gráfica (centro) y que acabó en la fabricación digital de una serie de bancos con césped real (abajo), colocados en diferentes lugares.

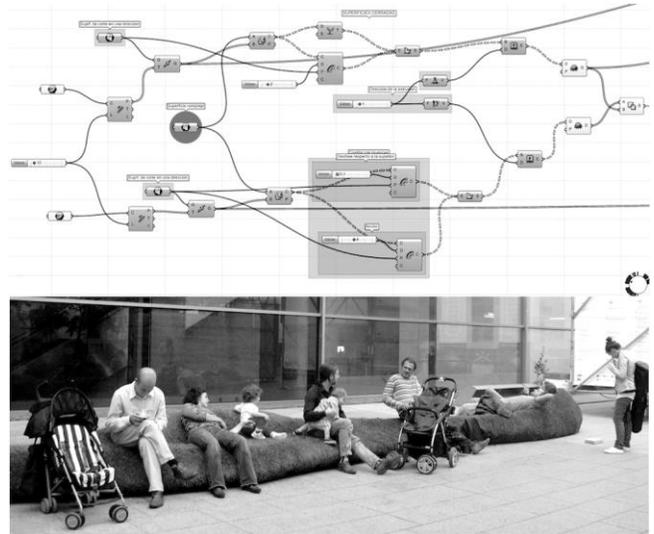
Y es que a su vez, se trataba aquí de -mediante una traslación digital- secuenciar longitudinalmente sin solución de continuidad todas las posibilidades que el ser humano tiene para sentarse (Figura 15).

Luego, un interior relleno de tierra, previendo el riego automático en su fabricación, permite su recubrimiento de césped real, con las agradables sensaciones que esto produce en los actos que van desde el sentarse hasta el tumbarse. De nuevo se cuenta con ello para conseguir la antes mencionada simbiosis biológica de seres vivos participando en el confort humano en tiempo real, integrados en la arquitectura y el diseño para una mejora de su uso.

En todos estos ejemplos, imbuidos de las imágenes estructurales microscópicas -¡nacidos de ellas!- puesto que en esos niveles biológicos *todo sólo es estructura*, se aprende de la naturaleza a apreciar como valores arquitectónicos -tanto físicos como empáticos- desde la organicidad hasta la continuidad, coherencia y unidad.

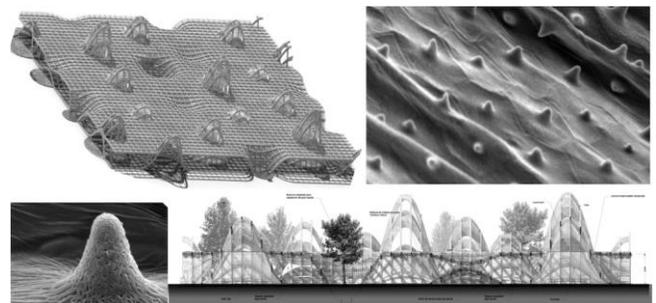
Justo estos tres últimos valores fueron definidos ya desde Platón como portadores de inteligencia, y junto a ella

condiciones para verificar el cumplimiento del valor supremo de la belleza. Algo que se hace oportuno consignar, cuando en el entorno profesional y hasta académico del arquitecto, en tantas ocasiones, se rechazan estas aproximaciones a la arquitectura aquí tratadas, por llegar a considerarlas *extravagantes*, cuando en realidad se tienen objetivos de fondo que van más allá de tales prejuicios.



**Figura 15:** Estévez-GenArqOffice, *Biodigital chair*, Barcelona, 2010, y su definición en *Grasshopper*.

Y no podía dejar de consignarse aún también aquí otro de los ejemplos en los que, desde la investigación microscópica, se llega a tipologías inéditas de difícil invención si no fuera por haberse seguido esta metodología explicada en estas páginas: se trata de un *Kindergarten topológico*, desarrollado desde el análisis de las superficies de las pequeñas hojas (sépalos) de las flores, descubriendo paisajes microscópicos que permiten la creación de un edificio que todo él se convierte en zona de juego para los párvulos. Y más allá, que todo él lo sea, por su propia esencia, por su especial *ADN arquitectónico* (Figura 16).



**Figura 16:** Estévez-Navarro, *Kindergarten*, Vilobí del Penedès, 2009, con fotos de Alberto T. Estévez de hojas vegetales (sépalos), sacadas con microscopio electrónico de barrido (x800 y x3000) (arriba a la derecha y abajo a la izquierda).

El edificio se presenta así a modo de un *mesh* paramétrico abstracto que se adapta a su entorno según las necesidades de uso, y se expande en un *all over* arquitectónico. En él, el espacio libre y común queda definido por dos mallas de madera -superior (techo-pérgola) e inferior (suelo-pavimento)- definidas y producidas digitalmente. Mientras, las clases y otros usos se suceden en protuberancias

singulares. La simbiosis biológica se da en este caso por una cubierta verde, a modo de pérgola y emparrado, que introduce también el aspecto lúdico que le corresponde inconscientemente a esa tipología tan propia de un jardín: en este caso de un *jardín de infancia*.

## Conclusiones

En la línea comentada hasta aquí, estos párrafos han presentado a modo de ejemplo -necesariamente con brevedad- distintos proyectos del equipo que trazan algunas de las posibles estrategias digitales para afrontar el desarrollo de diseños arquitectónicos reales.

Claro que alguien podría clasificarlos dentro del término de éxito llamado "parametricismo" (Schumacher, 2009). Si bien, de manera más correcta, debiera haber alcanzado mayor fortuna crítica el otro término al que también pueden referirse estos trabajos, el "organicismo digital" (Estévez, 2005): esta cuestión, sólo apuntada ahora en estas líneas, por limitaciones de espacio, deberá encontrar su desarrollo en otro marco. Dejándose dicho que las cualidades paramétricas al fin y al cabo son sólo uno de los aspectos.

Cuando los proyectos de la Genetic Architectures Office, en su quehacer con herramientas digitales y formas orgánicas, en su fusión de técnicas biológicas y digitales, entran también en vías de acceso a otros valores, de organicidad, continuidad, fluidez, dinamicidad, plasticidad, vivacidad, complejidad, diversidad, unicidad, coherencia, fractalidad, cohesión, armonía, *bioeconomía*... ¡Que son también valores arquitectónicos! Justamente aprendiendo de las lecciones que el libro de la naturaleza imparte. Cuando se trasciende la mera metáfora imitativa, con las ventajas medioambientales, empáticas y de humanización que lo biológico también aporta. Donde la sutilidad de cada una de las partes que aparecen en las soluciones de las estructuras microscópicas naturales tiene mucho que ofrecer para el enriquecimiento de las soluciones de las estructuras arquitectónicas, de sus espacios y cerramientos.

Pues no se trata de mimesis metafórica o descerebrada, sino también de adecuación empática al ser humano, que será la base de un nuevo contextualismo más auténtico, cuando es el árbol el contexto real, el más primigenio. Y finalmente, con las ventajas de control, automatización y fabricación que lo digital permite. En definitiva, en pos de la eficacia y de una sostenibilidad realmente integral (física, humana y social) que esto conlleva.

Cabe decir que se han verificado también ciertas ventajas y posible alcance en los resultados, por el hecho de que la Genetic Architectures Office trabaja en indisoluble triplete profesión-investigación-docencia con el Genetic Architectures Research Group y el Biodigital Architecture Master, dirigido a su vez desde el año 2000 por el autor de este escrito, en la ESARQ (la School of Architecture de la UIC Barcelona). Esto ha permitido entre otras cosas que lo presentado en este *paper* incluye en su trasfondo el reconocimiento de una base desde la filosofía del carácter emergente de la vida (DeLanda, 2015), desplegando cierto pensamiento transdisciplinar desde la biología hasta la arquitectura y el diseño, con las herramientas digitales como vehículo de

creación, propiciando con ello la construcción desde la multiplicidad y la diversidad. Todo temas fundamentales en el campo de la arquitectura y diseño, cuyo objetivo es siempre para nosotros una mejora del mundo actual.

Se concluye, pues, con que el interés por la comunidad y el desarrollo sostenible son los que acaban justificando e incluyendo el diseño paramétrico y la fabricación digital, tal cómo aparece en los proyectos expuestos en estas páginas, para hallar caminos que mejoren la calidad de vida. Tales proyectos, en efecto, no hubieran sido posibles sin la colaboración directa y permanente en el equipo de los biólogos, presentes en las discusiones que les atañen y en el auxilio con las herramientas propias de la biología. Al igual que la presencia en el equipo de los filósofos especializados en el carácter emergente de la vida y en bioética, que los acaban dotando de un aparataje, definiciones y argumentos de mayor profundidad y rigor. Mientras que los historiadores del arte consiguen situar con precisión el quehacer que se tiene entre manos en un contexto histórico y con unas referencias. Algo que permite su valoración y la reflexión de lo que realmente se está haciendo en relación al devenir del arte y de la arquitectura.

De hecho, cuando se percibe y entiende todo ello desde un punto de vista como surreal o de extravagancia, no deja entonces de reconocerse que se trata en realidad de la expresión de nuestro propio *Zeitgeist*, tan lleno de más y más complejidad, contradicción, interconexión, y como socavado por presuntas fuerzas siempre en acción desde la oscuridad.

En definitiva, se ejemplifica con todo ello cómo la tecnología -llevada interdisciplinariamente, con creatividad, a niveles de innovación- ofrece acceso a soluciones a través de las investigaciones para mejorar cualitativamente el proceso de proyecto (investigación proyectual), y finalmente para mejorar la misma vida.

## Referencias

- DeLanda, M. (2015). *Philosophy and simulation: the emergence of synthetic reason*. Londres: Bloomsbury Academic.
- Estévez, A. T. (2015). *Biodigital Architecture & Genetics: Writings / Escritos*. Barcelona: ESARQ (UIC).
- Estévez, A. T. (2005). *Arquitectura biomórfica / Biomorphic Architecture*. En A. T. Estévez (Ed.), *Arquitecturas genéticas II: medios digitales y formas orgánicas / Genetic Architectures II: digital tools and organic forms* (pp. 18-80). Barcelona / Santa Fe: ESARQ (UIC) / Sites Books.
- Haeckel, E. (1862). *Die Radiolarien (RHIZOPODA RADIARIA)*. Berlin: Georg Reimer.
- Hensel, M., Menges, A., Weinstock, M. (2004). *Emergence: Morphogenetic Design Strategies*. Architectural Design, Londres: Wiley.
- Ito, T. (2009). Conferencia inédita (transcripción de Alberto T. Estévez). Barcelona: ETSAB (UPC).
- Puig-Boada, I. (1981). *El pensament de Gaudí. Compilació de textos i comentaris*. Barcelona: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya / La Gaya Ciència.
- Schumacher, P. (2009). *Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design*. En N. Leach (Ed.), *Digital Cities*, Londres: Wiley.