
Resumen: En efecto, la naturaleza es la solución al gran problema planetario al que nos enfrentamos. Y el que esto escribe también lo ha demostrado, junto a otros con él, o antes y después que él. Así, en las líneas que siguen, se encontrarán análisis, reflexiones, experiencias, casos, sobre cómo el Diseño y la Arquitectura se relacionan con algunas de las instancias de la contemporaneidad, como la innovación, la biomimética, los materiales biodegradables, la virtualización de procesos, el concepto de transición, el agotamiento de los recursos naturales, la responsabilidad social, entre otras, junto con posibles propuestas e ideas superadoras para el debate, o vías de solución.

Palabras clave: Naturaleza - Arquitectura - Diseño - Genética - Biología - Digital - Biodigital - *Bio-learning* - Bio-Aprendizaje - Organicismo Digital.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 196]

⁽¹⁾ **Alberto T. Estévez** es Arquitecto (Universidad Politécnica de Cataluña, 1983), Doctor en Ciencias (Arquitectura, UPC, 1990), Historiador del Arte (UB, 1994), Doctor en Letras (Historia del Arte, UB, 2008). Con oficina de Arquitectura y Diseño en Barcelona (1983-hoy), realizando numerosos proyectos y obras. Más de 35 años de Docencia e Investigación entre las Universidades de TUWien HSAK Vienna, UB Elisava-UPF, UDEM y UIC Barcelona. Fundador y primer Director de la ESARQ (*School of Architecture - UIC Barcelona*), donde ejerce como Catedrático. Creador en la misma Universidad del grupo de Investigación, Máster y Doctorado *Historia, Arquitectura y Diseño* (1998-hoy), y del Grupo de Investigación, Máster y Doctorado *Arquitecturas Genéticas* (2000-hoy), llamado actualmente *Máster en Arquitectura Biodigital*. Mientras fue Director de la Escuela promovió y montó otros tres programas de Máster pioneros: de *Cooperación Internacional* (con el Prof. Schächter & Levi), de *Metafísica y Computación* (con el Prof. Karl Chu), y el de *Docencia Arquitectónica*. Con más de dos centenares de publicaciones, ha participado en decenas de exposiciones, congresos y comités, y ha sido invitado a impartir más de 100 conferencias por todo el mundo. Fundador del iBAG (*Institute for Biodigital Architecture & Genetics*) y del Doctorado en Arquitectura (Universitat Internacional de Catalunya), del que ha sido su primer Director, fue también Vicerrector-Gerente de la misma Universidad.

Introducción

Desde el gaudiniano *el árbol es mi maestro* y el entendimiento de *la naturaleza como libro abierto que nos hemos de esforzar en leer*, hasta el *descubrir los secretos del universo*: ahí está la solución. Paradójicamente, en donde reside nuestro mayor problema –la naturaleza– se encuentra su propia solución, en la *misma naturaleza*. Sólo que hay que saber escucharla, entenderla, investigarla, y proponerla como solución. Algo reservado quizás a *Visionarios del Diseño y de la Arquitectura*. Los que miran hacia adelante, hacia el futuro por venir, y van hasta la frontera del conocimiento. Los que no se apoltronan en un presente que les brinda la seguridad de lo conocido. Los valientes, pues todo lo desconocido da miedo. Pero algo que no se hará realidad ni presente sin los que tienen el poder y los medios para poner por obra sus visiones. Necesario entonces que se acerquen con la mente abierta y la suficiente ingenuidad como para fascinarse ante tales visiones. Sin prejuicios, sin celos, sin prevenciones ante la inteligencia de otros. Entendiendo que su valor, que su misión, está en ir juntos, en apoyar y dar crédito.

Tenemos la potencia que pareciera hoy infinita de la naturaleza por un lado, y de la computación por el otro, de lo biológico y lo digital: nunca como hasta ahora el ser humano ha podido trascender los límites materiales de trabajar sólo en la superficie de las cosas. Nunca como hasta ahora se puede ya trabajar a nivel intramolecular, merced al desarrollo de la genética, y a nivel de programación, merced al desarrollo de la informática. En un futuro que sólo podrá ser 50% biológico y 50% digital: *biodigital*, el punto de cruce de ambos, como llave de nuestra supervivencia.

Sin embargo, ante lo deslumbrante de nuestras posibilidades en un desarrollo futuro, el beneficio auténtico que la humanidad –y *el planeta con ella*– puede obtener del progreso tecnológico dependerá de la medida en que se utilicen éticamente tales posibilidades. Este asunto pasa por la comprensión de que la ecología debe ser integral, que medio ambiente y humanidad van de la mano. Por lo que la sostenibilidad y la pobreza *sólo podrán resolverse* si se hace a la vez, simultáneamente, como parámetros de la misma ecuación. Pues si el progreso tecnológico causara desigualdades cada vez mayores, no podríamos considerarlo un progreso real. Si se convirtiera en enemigo del bien común, el llamado progreso tecnológico de la humanidad, conduciría a una desafortunada regresión. Así, para ser auténtico, este progreso tecnológico no puede dissociarse del objetivo sincero de reducir las desigualdades económicas, educativas, tecnológicas, sociales y culturales. Sí, un mundo mejor es posible gracias al progreso tecnológico, sólo si éste va acompañado también de una ética basada en una visión del bien común, una ética de responsabilidad, una ética de libertad, igualdad y fraternidad, capaz de favorecer el pleno desarrollo de las personas en relación con los demás y con el medio ambiente.

¿Cómo y por qué se ha llegado al punto de que sea tan necesario trabajar en estos temas? En realidad, plantear esto hoy parecería retórico, porque a estas alturas del siglo XXI todos saben cómo y por qué se ha llegado a este punto. Incluso en los lugares más desfavorecidos o remotos, uno puede, de una forma u otra, tener acceso a un televisor, a un teléfono móvil, a Internet. Así, el hecho de que se siga sintiendo la necesidad y la urgencia de abordar estos problemas hace a uno darse cuenta de lo que todavía tan limitadamente se resuelven

a nivel mundial. Más cuando al final pocos son aún los que actúan al 100% para paliar tal situación, ya que se encuentran tantas contradicciones en nuestra vida diaria...

En 1973, la primera crisis del petróleo, paradójicamente motivada por cuestiones políticas y no por una conciencia medioambiental genuina, fue la que hizo empezar a llamar la atención de toda la sociedad acerca que los recursos naturales eran limitados. Entonces, tal vez fue providencial, y gracias a ello hemos llegado antes a ser conscientes del problema, pues quizá se hubiera tardado más en caer colectivamente en la cuenta. La Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo detuvo la producción de petróleo y estableció un embargo para los envíos a Occidente. Los exportadores árabes redujeron la producción en un 30% y los precios aumentaron en un 17%. Esto llegó a cuadruplicar el precio del barril, causando una crisis con muchos efectos a corto y largo plazo en la política y en la economía global.

Así, de hecho, la crisis propició que se empezara a hablar mucho más abiertamente de ecología. De manera gradual fueron apareciendo *los verdes*, los partidos políticos con programas medioambientales, y otros movimientos ecologistas. Mientras, propiciado por la mejora de la sanidad y del así llamado *estado del bienestar*, acompañados de un acelerado crecimiento demográfico-consumista, el daño a la naturaleza (limitada en recursos) comenzaba a ser notable a escala más y más grande, hasta llegar al día de hoy, que casi literalmente *nos estamos comiendo el planeta*.

Tal situación en realidad no es tan nueva en la evolución de la humanidad. No es la primera vez que la humanidad debe enfrentarse a un fenómeno tan repentino. Desde tiempos prehistóricos, las sociedades han sufrido diferentes tipos de cambios imprevistos, que se han transformado o no en catástrofes. El más similar al que nos enfrentamos hoy fue el cambio súbito en las estrategias de explotación de recursos por parte de los habitantes del Paleolítico (Estévez-Escalera, 2005), cuando contribuyeron a la extinción de la megafauna eurosiberiana, estadounidense e insular. Especialmente en la Europa actual, debido al aumento demográfico y a la mejora tecnológica de la caza, los habitantes paleolíticos se comieron –sí literalmente– a todos los grandes mamíferos que poblaban el mundo hasta entonces. Obligados a buscar soluciones, aunque les tomase unos miles de años, finalmente inventaron la agricultura y la ganadería. Este hecho crítico puede verse como un precedente del cambio global actual que, a diferencia de los anteriores, y por primera vez en la historia de la humanidad, este puede estudiarse, y anticipándose, tratar de evitar sus posibles efectos catastróficos. Aunque debe ser algo que cada individuo en el planeta debe tomar como compromiso y colaboración (pues ya no falta información) evitando las contradicciones en las que diariamente se cae, que hacen retroceder los pasos que se logran avanzar.

Contradicciones en la era de la 4ª Revolución Industrial

Ante los cambios medioambientales y tecnológicos actuales, al menos como arquitectos y diseñadores, debemos pensar en el significado de la arquitectura y el diseño en la era de la 4ª Revolución Industrial, en los tiempos que estamos viviendo, y reflexionar sobre las

contradicciones de esta época. Sabiendo que los párrafos aquí presentados se escriben no sólo desde el punto de vista de alguien dedicado exclusivamente a la crítica teórica, sino también de alguien que se dedica principalmente a la investigación, a la práctica profesional y la enseñanza de lo que está sucediendo en nuestros tiempos. Ciertamente, hoy vivimos cambios profundos y acelerados en la forma en que percibimos e interactuamos con el mundo. Pero esto obliga más a pensar realmente en lo qué está sucediendo: quiénes somos, de dónde venimos, a dónde vamos con esta 4ª Revolución Industrial, porque parece que nos estamos volviendo locos, yendo como a ninguna parte, si no pensamos también sobre el significado de todo esto en lo que estamos involucrados. Así, habría que detenerse aunque sólo fuera por un momento para ello.

La cuestión de cómo queremos que se vean nuestros futuros espacios urbanos y arquitectura no puede separarse de qué tipo de personas aspiramos a ser. Cuidando el derecho de las personas a tener acceso a los recursos necesarios para vivir con dignidad, hacia una arquitectura y diseño (y la investigación avanzada que lo respalde) que lo permita. Conociendo y reconociendo las contradicciones en que vivimos, que están en el corazón del capitalismo (Harvey, 2014): su impulso, por ejemplo, de acumular capital más allá de su inversión, para lo que le resulta imprescindible utilizar métodos de producción más y más baratos, que de hecho acaban reduciendo plantillas de trabajadores, sueldos, dignidad de vida, junto a su necesidad de explotar la naturaleza hasta el punto de su extinción. Y explotar la naturaleza *hasta el punto de su extinción* es la peor de todas las contradicciones, que al fin y al cabo, se alcanza mediante una suma de contradicciones. Contando además con que, producto del egoísmo y de la avaricia, se manipula la explicación de la realidad a placer, a veces hasta inconscientemente, mediante autojustificaciones. Porque se sabe desde hace tiempo que cada día el sol bombardea la Tierra con 10.000 veces más energía de la que se consume. Entonces, si se pudiera cubrir una décima parte del 1% de la superficie de la Tierra con células solares, y cada una lograra sólo un 10% de eficiencia energética, se podrían satisfacer todas las necesidades de energía utilizando **únicamente** tal fuente. En realidad no se necesita petróleo, ni habría dióxido de carbono culpable del efecto invernadero (Sargent, 2005).

Y cuanto más pequeñas nos parezcan nuestras contradicciones (ante la necesidad urgente de sostenibilidad planetaria que se tiene) más devastadores pueden ser sus efectos. Porque se multiplican más fácilmente por cientos de millones de personas en todo el planeta por cada uno de los días. El problema es que hasta que los políticos no fuerzan un cambio en nuestros hábitos con las leyes, parecería que las soluciones no se generalizan. Afortunadamente parece que poco a poco se filtran los casos de los países más sensibles, que por ejemplo, comienzan a prohibir algo tan simple como los sorbetes de plástico. Algo tan tonto e innecesario para la bebida, y que sin embargo se consumen cada año y sólo en Europa unos 36.500 millones. O países donde ya es una obligación pagar por cada bolsa de plástico en las tiendas, o incluso se busca eliminar su uso de manera definitiva. Pero aún queda mucho por hacer con los plásticos, que pueden tardar hasta 500 años en descomponerse en nuestro medio ambiente, causando daños muy graves a los ecosistemas marinos. Entre el 40% y el 60% de las tortugas ingieren plásticos, y en algunas especies de aves, ese porcentaje aumenta hasta el 93%, siendo que más de un millón de aves y más de 100.000 mamíferos marinos mueren cada año como resultado de los plásticos que llegan

hasta el mar. Se estima que cada año, son unas 12 millones de toneladas de plásticos las que llegan hasta los océanos, ahogando literalmente los ecosistemas, causando grandes daños a la vida silvestre, ingresando en toda la cadena alimentaria. Sin contar el problema de los microplásticos que generan cifras descomunales, casi imposible de imaginarlas y que guardan relación con el simple lavado diario de la ropa, de cada una de las poblaciones humanas del mundo que están llenando todos los mares de contaminación.

Ya se sabe que el aumento demográfico junto (paradójicamente) al desarrollo tecnológico industrial y al consumismo están llevando a una situación límite de sostenibilidad y supervivencia planetaria. No es que la miseria humana o las diferencias entre ricos y pobres sean algo nuevo, porque desafortunadamente esa realidad siempre ha existido en nuestra historia. La realidad de nuestro tiempo –y eso es con lo que tenemos que lidiar– lo cual es nuevo en poco más de medio siglo, es que si todos vivimos como vivimos actualmente en los llamados países más avanzados, necesitaríamos los recursos de dos planetas enteros, y resulta que a corto plazo solo tenemos uno “*One World!*” que si primero es un grito a favor de la solidaridad humana, ahora inevitablemente queda irremediablemente unido a la ecología. Y es algo curioso, pero cierto que para la supervivencia planetaria hemos de aprender a convivir con las posibilidades de consumo que se nos ofrecen, que han crecido tanto y tan rápido que no nos ha dado ni tiempo para saber como gestionarlas de la manera más adecuada.

Así es nuestra realidad, plagada de contradicciones, como por ejemplo se cita el caso que *en solo dos semanas después de abrirse la convocatoria*, nada menos que 78.000 personas se habían inscripto para ir a un viaje de ida a Marte bajo la misión de establecer una colonia permanente en el planeta rojo. Obviamente, este viaje pionero solo para un puñado de *privilegiados*, que deberán seleccionarse entre esos miles constituye un costo exorbitante. Y está claro que ese presupuesto podría ayudar a la vida de miles de personas, por ejemplo colonizando decentemente los desiertos de nuestro propio planeta. Sin problemas de falta de oxígeno, sin estar a 55°C bajo cero como media promedio (con mínimos de hasta -143°C), sin vientos extremadamente fuertes y tormentas de polvo que oscurecen el planeta durante semanas e incluso meses. Además, sin renunciar a la posibilidad de poder volver a ver a la familia o a los amigos, si así se deseara. Pero resulta que irse con todos los gastos pagados a cruzar el espacio interplanetario es mucho más sofisticado, más *cool* que resolver los problemas urgentes que tenemos a la vuelta de la esquina.

Casi a modo de *manifiesto* sobre este tema, es lo que llevó a concebir una casa prototipo para el desierto, el *3D Printed Sahara House Project* como ejemplo de “ecología integral” (Ver Figura 1) diseñada y fabricada digitalmente, se construiría imprimiéndolo en 3D *in situ* con robots, a escala natural 1:1, utilizando como parte del material de construcción la misma arena del desierto. Es decir, sería prácticamente el mismo tipo de edificio y con el mismo proceso de construcción que el que se realizaría en Marte, solo que sin riesgo alguno y, en comparación, con un gasto ridículo. Por otro lado, en este caso, en la concepción del proyecto se incluye también una abstracción de elementos de las tipologías de la arquitectura vernácula, en su forma, ventilación, distribución de habitaciones alrededor de espacios más grandes y patios abiertos centrales. Por supuesto, pensado con sistemas simples de acondicionamiento geotérmico, semienterrado, con control climático de sistemas pasivos, y con el aprovechamiento de la energía solar que fuera necesaria.

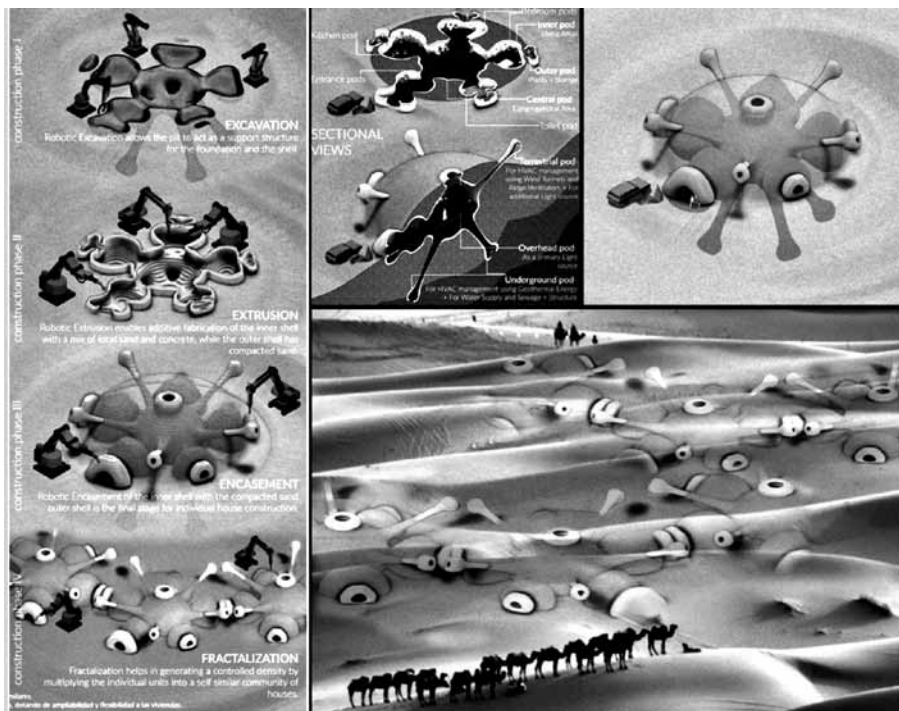


Figura 1. Alberto T. Estévez - GenArqOffice (colaborador Angad Warang, computational designer), 3D Printed Sahara House Project, 2017. Diseñado y fabricado digitalmente, se construiría imprimiéndola en 3D in situ con robots, a escala natural 1:1, utilizando como parte del material de construcción la misma arena del desierto, e incluyendo también una abstracción de elementos de las tipologías de la arquitectura vernácula.

Claro que José Pinto Duarte, Co-Director de uno de los equipos que diseñó para la NASA tales posibles *hábitats* digitales marcianos, contestó a esos comentarios que le hice en Oporto en el año 2019, es que *gracias a ello puede conseguirse dinero para lo terrestre*. En fin, esperemos que gastos como los previstos para el planeta Marte del año 2029, no nos deje el planeta Tierra como lo pinta para el año 2049 la última película de *Blade Runner 2049* (Villeneuve, 2017). ¿Será esa nuestra realidad futura? Y/o quizás peor el colapso absoluto, si no hacemos algo serio y definitivo por nuestra parte.

No hay más que ver el presente, ahora mismo que exige de manera urgente de nuestra responsabilidad. Esa es nuestra realidad en todo el mundo. Es suficiente ver las imágenes impactantes de ciudades superpobladas que se extienden hasta el horizonte. Vivimos en

el hormiguero más grande del universo conocido, en una inmensa colonia interconectada a la que todos debemos aportar nuestro granito de arena para su supervivencia. Los problemas se van volviendo planetarios, y son otros los que pagan la irresponsabilidad de algunos otros. Por ejemplo, Nueva Zelanda, que siendo uno de los países más respetuosos con el medio ambiente, es el que tiene la tasa más alta de cáncer de piel. Dado que le ha caído en suerte estar bajo el agujero de ozono en el que todos hemos participado. Así, no pueden salir de sus casas sin sombrero, ni pueden ir a la playa en traje de baño, sino sólo completamente vestidos.

No comas cerezas en Navidad fue la respuesta lacónica de Jorge Wagensberg hace años a mi pregunta sobre *qué podríamos hacer para evitar la alarmante proliferación de medusas en el Mediterráneo* ya que me gustaba bañarme en el mar. Definitivamente desde ese día dejé de tomar fruta que no era estacional y de origen cercano: toneladas de mercancías se mueven todos los días contaminando todo el planeta simplemente para satisfacer caprichos innecesarios. Cada día, al ir a comprar, todos y todas deben ya pararse a mirar de dónde proceden esas fresas, esas uvas, esos kiwis... ¿Del otro lado del océano? Pues toma manzanas, toma peras, toma naranjas... Y escribe a ese comercio y en los medios de comunicación que se dejen de importar todo lo que conlleva tanta contaminación. Ya no podemos pagarnos esos lujos, pues ya no es sólo cuestión del dinero contante y sonante que tenemos en nuestro bolsillo, sino de algo que está más allá de todo el dinero del mundo. Cada uno y cada una ya hemos de ser (micro) motores de un cambio absoluto y global en la economía mundial. Hasta que los empresarios (y el capital) se den cuenta también de ello. ¡Y ya está sucediendo! Una gran multinacional ya decidió no servir las bebidas con sorbetes y no ha pasado nada, siguen teniendo los mismos clientes, sólo que éstos beben más felices al ver que se toman medidas ecológicas; otra ya ha sustituido los cubiertos de plástico por cubiertos de metal reutilizables; y otra más ya sólo ofrece bolsas orgánicas para tomar y pesar la fruta y verdura de sus cajas.

Antes que nada ya, nuestra propia acción responsable y la enseñanza, deben estar atentas a todas esas tremendas contradicciones en nuestra vida diaria.

Presentación de la investigación

Pues bien estas páginas ofrecen (*más como método para la discusión*) una breve presentación de proyectos. Tomando como ejemplo un proyecto de cada momento en la evolución de las ideas arquitectónicas de los últimos tiempos. Así, a partir de las diferentes interpretaciones de la arquitectura de cada ejemplo, se halla excusa para discutir conceptos de arquitectura sostenible que en la actualidad cada construcción debe comprometerse a considerar. También tomando un proyecto de cada tipo de clima. Esto se extiende en hilo cronológico desde los inicios de la práctica profesional de quién esto firma, hasta sus últimas investigaciones de proyectos *biodigitales* con estrategias de diseño biológico y digital, bio-fabricación y fabricación digital. Basadas estas también en resultados conseguidos mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM), que permite lograr imágenes de muestras por el escaneo de sus superficies y secciones con un haz de electro-

nes. Incluyendo a su vez la investigación en genética aplicada a la arquitectura (Estévez, 2016), junto a la investigación en computación aplicada a la arquitectura (Estévez, 2019), iniciado todo en el año 2000.

De hecho la investigación para la aplicación arquitectónica de técnicas biológicas y digitales de vanguardia (con los beneficios que provienen de la inclusión de la genética: eficiencia, economía, renovabilidad, autorreplicación) es crucial, relevante y urgente, antes de que sea demasiado tarde para nuestro planeta, que ha alcanzado los límites de su sostenibilidad.

Los primeros pasos: la influencia de Rafael Serra

Tenemos, como humanos, una prerrogativa inalienable de responsabilidad que no podemos delegar (Sherrington, 1940), ya todos debemos participar en la mejora del mundo, es una responsabilidad que se tiene como humanos. Algo que puede ejercerse simplemente al plantar un árbol (en el caso de quien escribe ya lo hizo, y más para reemplazar a los que no lo hicieron). Por supuesto, lo que dice el poeta cubano podría suceder *Tenía un árbol pero se secó*, sin embargo como cada día nacen aproximadamente 372.960 personas en el mundo, cada 3 segundos se pueden plantar 13 árboles de lo que resultaría ¡un enorme bosque lleno todos los días! Y lo bueno de ser profesor es que además plantas árboles del conocimiento, cuya sombra y beneficios pueden llegar mucho más lejos en el espacio y en el tiempo. Esto es lo que hizo Rafael Serra (1942-2012), arquitecto y profesor en Barcelona, con un enfoque arquitectónico diferente al del *oficial* y dogmático del realismo y racional-funcionalismo de la llamada *Escuela de Barcelona*, anclada en la *Neue Sachlichkeit* de los años 20 y 30 del siglo pasado, fue el único que en los años 70 y 80 tenía una visión acerca de necesaria atención a los problemas medioambientales, el uso de energías alternativas, la arquitectura solar pasiva, etc. Decía en clase *La buena arquitectura por definición es sostenible*, siempre recordaré cómo nos mostraba un proyecto de un complejo –algo “hippie”– construido como protesta y ejemplo frente a una estación de energía nuclear, dejando en claro que no llegaba ningún cable al edificio porque toda la electricidad y el acondicionamiento climático necesario se resolvían de manera autosuficiente (*en realidad fue la reacción antinuclear, la punta de lanza de todo el posterior movimiento ecologista. Y es por ella por lo que primeramente por ejemplo surgió Greenpeace en 1970*).

Estas cuestiones hoy en día ya no sorprenden a nadie, pero en aquel momento nadie más las enseñaba, me pareció muy inspirador y lleno de sentido común, lleno de razón, lo que hizo que me inscribiera en sus cursos, y tan pronto como me gradué como arquitecto y comencé mi carrera profesional, desde mi primera casa construida (Casa G., Sigüenza, 1983-85), tuve la intención de aplicar esos principios. Así es que fui el único de mi generación que seguía sus postulados de arquitectura solar pasiva, cuando unos 15 años después las palabras ecología y sostenibilidad se pusieron en el centro de la atención, y poco a poco otros de mi generación ya se acercaron también a tales asuntos.

Desde los orígenes de la humanidad, la arquitectura ha cumplido –como una de sus primeras funciones– la de ser protección contra los elementos atmosféricos. Los edificios son

barreras contra la lluvia, el viento, refugios contra el frío, o filtros contra el calor o la luz. Entre otras cosas, Rafael Serra fue por estas tierras el más avanzado en la enseñanza de cómo construir de la mejor manera posible, sostenible y autosuficiente, de acuerdo con la variedad y complejidad de las situaciones climáticas (Serra, 1989 y 2013). En cualquier condición climática, lo que la arquitectura siempre busca es lograr un cierto grado de confort. Y el logro de un cierto nivel de bienestar resulta, en la práctica, un fenómeno complejo que involucra numerosos parámetros que no siempre son cuantificables. Sin embargo, ahora tenemos hasta el deber de no desperdiciar recursos, energía, para lograr tal comodidad ¿Y *quién no desperdicia recursos, energía?* Los seres vivos de la naturaleza, que normalmente siguen en su evolución la mayor eficiencia en el uso de los recursos, de la energía. Sin descartar que incluso tengamos que reducir nuestro nivel de confort a favor de la sostenibilidad planetaria. Ciertamente es menos *cómodo* tener que separar los residuos y tener que llevarlos al lugar de reciclaje adecuado, o tener que vestirse más abrigados en casa, en invierno, para tener que calentar menos. Es menos *cómodo* pero ahora es más *obligado* por responsabilidad.

Se pasa a continuación a ver algunos de los proyectos elegidos, para revisar brevemente los diferentes principios aplicados. Luego se verá como –el sentido y la sensibilidad– que impulsó a entrar en caminos de sostenibilidad es justamente lo que condujo hacia la arquitectura biodigital.

Tres casas, tres principios y algo más

Para comenzar, se incluyen tres ejemplos de tres casas pequeñas que explican cómo, con bajo presupuesto, también pueden crearse fácilmente edificios que brinden algunos beneficios de sostenibilidad.

Comencé a diseñar el primer edificio de mi generación con consideraciones de arquitectura solar pasiva al final de mis estudios de arquitectura, cuando aún tenía 22 años (Ver Figura 2). Muy abierto hacia el sur, con un invernadero de vidrio fino en el frente, a ras de fachada, como galería, de la profundidad óptima para un mejor *efecto invernadero*, y vidrio aislante detrás. Muy cerrado y protegido hacia el norte, recogiendo la iluminación de los distintos espacios en una sola abertura, con doble ventana aislante, para no perderse las hermosas vistas del valle. Chimenea cerrada con recuperador de calor en el centro, capaz de calentar toda la casa, con paredes de piedra también en el interior para acumular inercia térmica, en un clima frío en invierno que, afortunadamente, no necesita aire acondicionado en verano. Debido a las limitaciones tecnológicas del lugar y a lo temprano del proyecto, aún no había disponibilidad de paneles solares, ni de otros avances que serían más fáciles de obtener posteriormente. Aunque debido a las regulaciones municipales, la cubierta tuvo obligatoriamente que hacerse con tejas árabes.



Figura 2. Alberto T. Estévez, Casa G., Sigüenza, 1983-85. Vistas desde el sur y desde el norte.

Claro que viendo este trabajo, y los años de su realización, el conocedor del tema intuirá que mis primeros pasos profesionales también fueron bajo el influjo de una corriente bien concreta. Pues, huyendo del dogmatismo racional-funcionalista y realista con el que todos los estudiantes estábamos *obligados* a comulgar en la famosa Escuela de Barcelona, recalé en la deslumbrante Viena del epicentro postmoderno de entonces. Así, fascinado por sus grandes protagonistas, con encuentros personales con *Hans Hollein (HSAK)*, *Gustav Peichl (AKBILD)* y *Rob Krier (TUWIEN)*, comencé allí también mi carrera académica, estrenándome con mis primeras clases en la Universidad. Sin embargo, esta *atracción postmoderna* fue de corta duración (porque criado antes como niño –literalmente– a la sombra de los edificios de Antoni Gaudí en Barcelona) como joven arquitecto se me ocurrió enviarle algo a Bruno Zevi, quién en pocas palabras cambió radicalmente mi visión:

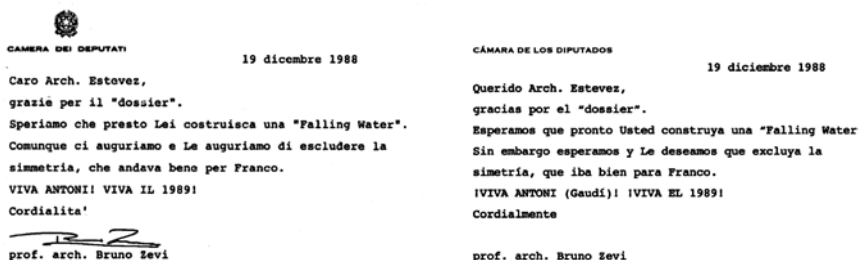


Figura 3. Nota de Bruno Zevi a Alberto T. Estévez (1988).

Mientras, poco a poco, como en paralelo, la geometría pura, simplificada y abstracta de gente como Donald Judd fue haciéndose más y más atractiva. Tal deriva queda ejemplificada en este otro proyecto (Ver Figura 4), resolviéndolo conceptualmente con el mínimo número de líneas posibles. Y sin embargo, recogiendo también principios básicos, como cerrarse a los vientos invernales del norte, con un círculo como una buena forma para repeler tales vientos, con árboles altos contra ellos, y paredes de piedra con mayor inercia térmica, creando un microclima en el patio. Mientras toda la casa se cubre con paneles solares hacia el sur, piscina en el sur para humedecer el ambiente con los vientos veraniegos del sur (necesario para el clima en el que se ubicó este proyecto), chimenea centrada y también una estrecha galería a sur para el efecto invernadero, que se abre en verano y se convierte en un porche sombreado.

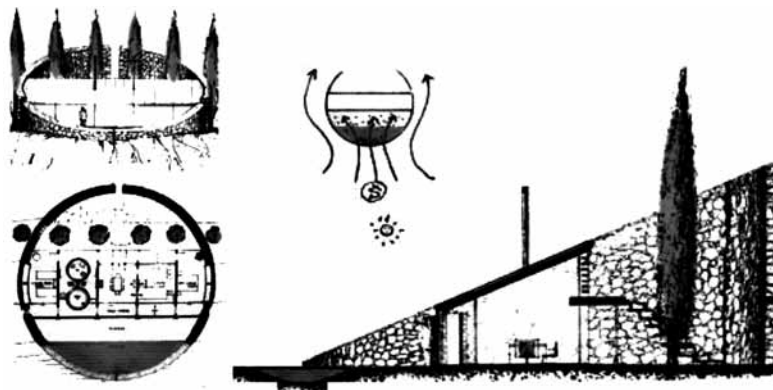


Figura 4. Alberto T. Estévez, Casa P. Cervià de les Garrigues, 1989. Invernadero al sur, agua para los vientos del sur, cerrada al norte con un microclima en el patio, con árboles altos contra los vientos del norte y con paneles solares en la cubierta.

Más tarde, una vez experimentadas las estrategias de diseño bajo la idea de máxima reducción de las apariencias, una vez agotada la aplicación del famoso lema *menos es más* de Ludwig Mies van der Rohe, llega un momento en el que aparecen otro tipo de posibilidades, que abren nuevos caminos. Así es como se podría llegar al siguiente caso de este trío de ejemplos iniciales (Ver Figura 5): una casa que se rompe, articulada, plástica y expresivamente, en líneas quebradas de ángulos agudos, una casa que se “afila”, como viva, buscando movimientos dinámicos y enfáticos.

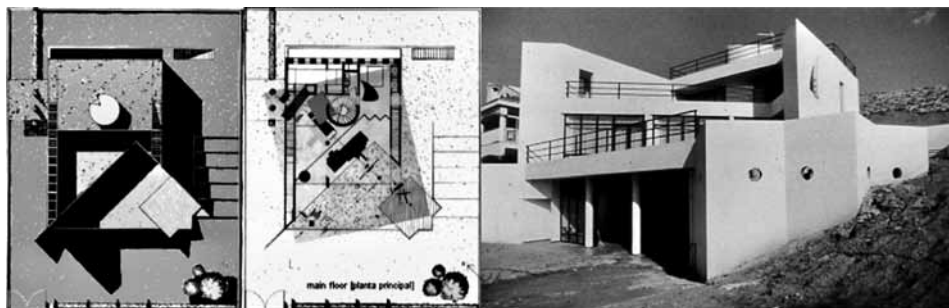


Figura 5. Alberto T. Estévez, Casa M. Almerimar, 1993-95. Cubiertas verdes, ajardinadas, con el piso principal que gira 45° para encararse hacia el sur con un invernadero, y también con la piscina al sur para que humedezca el ambiente, pero todo cerrado al máximo hacia el norte, con galerías laterales de aireación, abiertas, y el piso inferior medio enterrado y aireado.

Ajustada en la parcela correspondiente, se gira el piso principal, para orientar toda la casa hacia el sur, que está a 45° en relación con sus lindes. Esto permite instalar la galería del invernadero bien orientada, y al mismo tiempo permite proteger más la casa del sol del oeste, que en el caso del clima de esta obra es más crítico, muy caluroso en verano. A su vez, por esta razón, se construyen estrechas galerías a cada lado, abiertas por la parte superior. Esto permite una circulación constante de aire, siempre evitando el impacto directo del sol en las paredes de los espacios interiores. Y con la posibilidad de que también haya circulación de aire por debajo, a través de un piso entero medio enterrado, que se abre detrás a una zanja al aire libre. Y al sur se sitúa la piscina, para humedecer el ambiente cuando soplan vientos cálidos. Mientras, un grueso muro con tierra dentro, que es el aislamiento térmico más natural, barato y de mayor inercia, protege de la orientación norte. Pues, fue en esta obra en la que finalmente un sueño se hizo realidad: todo un edificio, realmente construido, con cubiertas verdes. Con ello se logró de nuevo el hito de ser la primera casa de mi generación construida de esa manera, y la primera de todas en esa área geográfica. Claro que actualmente las cosas son más fáciles, y hay ya muchos especialistas en estas soluciones, por lo que hoy en día casi que tendría que ser obligatorio construir cubiertas verdes siendo un aislamiento térmico *bueno, bonito y barato*, para el verano y para el invierno, ecológico, natural, simplemente de tierra y hierba. Con hojas vegetales que, como el cabello de la cabeza, no dejan que los rayos del sol golpeen la cubierta directamente, y con una mejor posibilidad de autogestión del agua de lluvia. Un techo que, en lugar de sobrecalentarse en verano, produce oxígeno, retiene la contaminación y el polvo, y ofrece una superficie más agradable para ser usada y vivida. Es la naturaleza la que nos está enseñando todo esto hace millones de años. Ante ello, a los arquitectos y diseñadores sólo nos queda bio-aprender (*bio-learning*). Y en este caso concreto, hubo una ventaja añadida,

pues, como el terreno es inclinado, las cubiertas verdes pudieron conectarse directamente con el jardín circundante.

En resumen, principios básicos, bien simples, no tan difíciles de aplicar en la realidad y, sin embargo, poco o mal aplicados. No obstante, es cierto que en comparación con hace 25 y 35 años, cuando se construyeron estas casas, poco a poco más arquitectos y diseñadores se han vuelto conscientes de todo esto (*en números absolutos, aunque no se sepa si en mayor o menor proporción total, pues el número de arquitectos y diseñadores se ha disparado en las últimas décadas*).

En definitiva, estos tres ejemplos anteriores participan de la evolución de las ideas en arquitectura, ya que puede ser considerada como una entidad viva, dinámica en conceptualizaciones y experimentos, que evoluciona y avanza. Aún y así, en esos tres proyectos, puede verse cómo los principios básicos de la arquitectura solar pasiva son aplicables en climas distintos y bajo diferentes enfoques o consideraciones arquitectónicas. Justo lo que acaba constituyendo movimientos y tendencias: postmodernismo a principios de los años 80, (neo) minimalismo a fines de los 80, y (neo) expresionismo a principios de los 90. Todos ellos fueron movimientos de vanguardia en su momento, aunque una vez trascendidos existan hasta el día de hoy tantos arquitectos y diseñadores que aún los siguen. Ya que todos esos *ismos* –como sucede con el arte contemporáneo– llegaron para quedarse indiferentes al hecho de que la vanguardia siempre esté avanzando.

Arquitectura verde (*Green architecture*)

Así es como finalmente, a finales del siglo pasado y comienzos del nuevo milenio, un objetivo de los proyectos de vanguardia empezó a ser la integración de elementos verdes, vivos, reales en la arquitectura. Cuando ya habían comenzado a prodigarse poco a poco las cubiertas ajardinadas, como su aplicación más fácil. Esto, tomado a una mayor escala, es decir urbanística, ya debería ser regla obligada, sobre todo en las áreas consolidadas para combatir las llamadas islas térmicas, zonas sobrecalentadas en que devienen las grandes ciudades, y para disminuir la contaminación, el polvo, la sobrecarga eléctrica de los dispositivos de aire acondicionado en invierno y en verano (Ver Figura 6).



Figura 6. Alberto T. Estévez, Green Barcelona Project, Barcelona, 1995-98: gran parque interconectado por las cubiertas de los edificios, cuando además Barcelona es la ciudad con menos parques y más densa de Europa.

Como ejemplo, el *Green Barcelona Project* (Barcelona, 1995-98) presenta la creación de un enorme parque urbano interconectado, que ajardina las cubiertas de toda la ciudad, cuando además en Barcelona ya suelen ser terrazas planas. Por lo tanto, el proyecto mejora la inercia térmica de los áticos, y con ello de toda la ciudad, con el consiguiente ahorro de energía, tanto en calefacción de invierno como en aire acondicionado de verano. Se añade la reducción de la temperatura de las zonas urbanas, y su contaminación, generando oxígeno, y de manera muy especial, favoreciendo la vida de la pequeña fauna y su biodiversidad. En resumen, hacer que todo sea más agradable, al entender que acercarse a la naturaleza sólo trae beneficios. Este proyecto fue presentado a dos sucesivos alcaldes de la metrópoli, y parecían muy interesados, pero al final quedó dormitando en la mesa de los burócratas. Sin embargo son sobre todo los políticos los que tienen en su mano el poder de legislar, para dirigir el planeta entero hacia su sostenibilidad. Cuando día a día, los titulares vistos en los medios de comunicación duelen más y más. Entre cientos y cientos, los siguientes son tres pequeñas muestras, tomadas al azar, en este caso de *La Vanguardia* (Barcelona, 2011-hoy):

Los bosques de nuestro planeta pierden cada año el doble del área de Portugal

Cada año 16 millones de hectáreas de árboles desaparecen debido a la gran industria.

El CO2 es un 40% más alto que en la era preindustrial, absorbido por el 30% de los océanos, causando acidificación. El aumento del nivel de los océanos y la acidificación del agua crean un escenario peligroso para los ecosistemas.

La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera ha crecido a niveles sin precedentes. Los efectos del cambio climático están cerca del punto de no retorno: parte del CO2 emitido permanecerá en la atmósfera durante al menos 1.000 años.

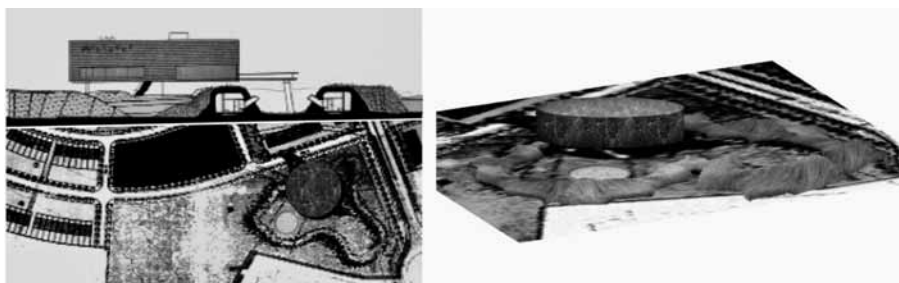


Figura 7. Alberto T. Estévez, Hotel, Salou, 1999: las habitaciones están en el interior de una “colina” verde continua, alrededor de un espacio central abierto con la piscina y el solárium.

Una arquitectura subterránea y/o verde es la alternativa para regresar de nuevo a un planeta completamente cubierto de naturaleza viva, que es el mejor sistema autorregulador de sostenibilidad: la vida. Algo que se puede resolver para cualquier tipo de edificio o uso funcional. Ya sea por ejemplo desde un hotel (Ver Figura 7) hasta una granja de vacas (Ver Figura 8 y 9). En ambos casos, se propone una solución de cubiertas verdes, de continuidad del manto vegetal, vivo, como arquitectura semienterrada, con todos los beneficios antes comentados. Además de recrear paisajes naturales, que automáticamente se perciben como ambientes más amables ¡más humanos! (humanizados), en lugar de pilas de *cajas* construidas artificialmente, que desafortunadamente es el aspecto de nuestros barrios urbanos. La tierra misma es el recurso principal. Y la integración de la vida en el concepto arquitectónico obtiene resultados más ventajosos en todos los niveles, físico y psíquico.

Cuando además la introducción de vida vegetal siempre propicia una más amplia aparición de vida animal. Es pues evidente que los edificios semienterrados y las cubiertas verdes son una mejora cierta para el clima y para el paisaje.

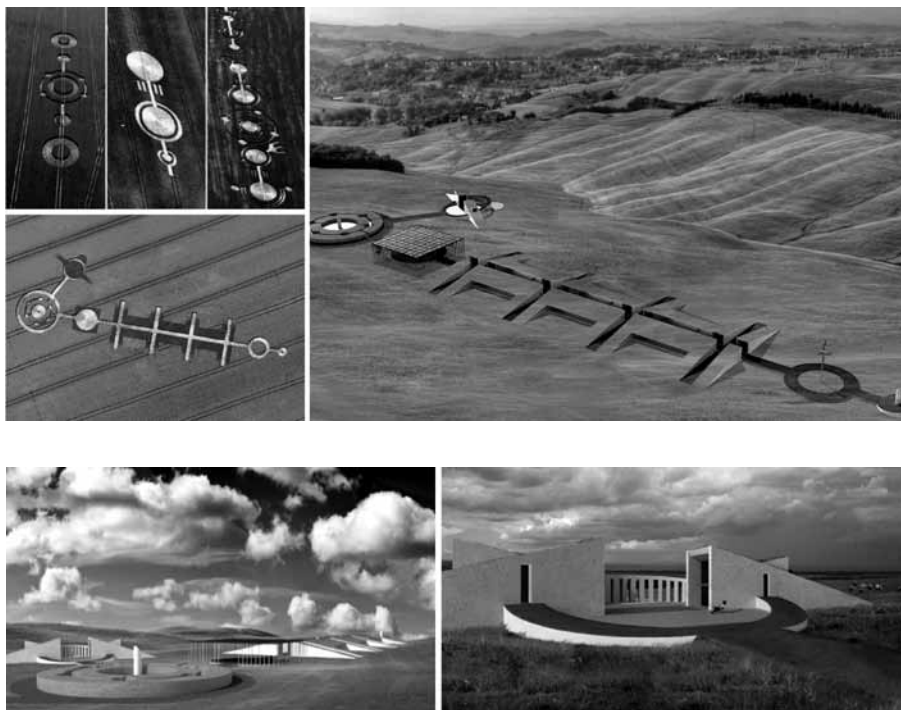


Figura 8 (arriba). Alberto T. Estévez, Granja de ganado vacuno, Paraguay, 2007. Los misteriosos “círculos en los cultivos” o agroglifos sirven de inspiración para el paisajismo geométrico del complejo, que organiza el terreno con cubiertas verdes continuas, una pérgola de paneles solares a modo de almacén al aire libre, y una turbina eólica en el otro extremo del proyecto. **Figura 9 (abajo).** Alberto T. Estévez, Granja de ganado vacuno, Paraguay, 2007. Vista general y vista de la casa requerida para el guarda.

Un paso más sería ver cómo esa integración de la vida puede aparecer de otras maneras, como sería el caso de aplicarlo también en paredes verticales. Siempre requiriendo que de partida sea realmente una solución sencilla, para que sea eficaz ante el problema planetario que es global. Es decir, que sea aplicable igualmente para ricos y pobres. Entonces es

necesario descartar las soluciones sofisticadas, de alta tecnología, solo para privilegiados, o con mantenimiento difícil. No puede ser que las “supuestas” soluciones planetarias sean más costosas para el medio ambiente que no hacer nada. Por lo tanto, deben aplicarse de tal manera que los elementos arquitectónicos no horizontales puedan cubrirse con vida sin requisitos de instalaciones de riego, que agregan complejidad. Se podría pensar, por ejemplo, en el líquen, como un ser vivo que cumpliría tales requisitos de simplicidad y autonomía. Pues, esto es lo que desarrolla el diseño presentado aquí (Ver Figura 10), involucrando además las variaciones de color que son específicas del líquen.

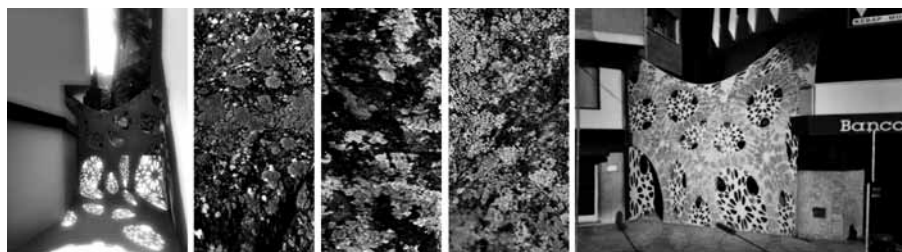


Figura 10. Alberto T. Estévez - GenArqOffice, Puerta urbana, Castellón, 2011. En el centro, vista de líquenes de diferentes colores (blanco, gris, rosa, naranja, amarillo) para ser aplicados en la superficie de esta estructura preparada para tal fin, diseñada y fabricada digitalmente.

Y entrando ya en el siglo XXI, es la investigación sobre el uso de herramientas digitales la que hay que atender, casi que como responsabilidad. En nuestro caso aplicadas al diseño y a la fabricación de arquitectura y objetos. Por lo tanto, como se muestra en los proyectos que siguen, estos tomarán procesos y formas facilitadas por tales herramientas avanzadas. Aprovechando los beneficios que ofrecen, para su concepción, desarrollo, control y ejecución. Así, la conjunción de lo biológico y lo digital alcanza la posibilidad del nacimiento de la arquitectura biodigital. Hay pues que adaptarse del todo a la velocidad de estos tiempos, o quedarse descolgado de ellos, en la cuneta del pasado. Hay que hacer el esfuerzo de salir de la comodidad de hacer las cosas *como siempre*, descubriendo entonces la nueva libertad que corresponde a esta época.

No es difícil de entender, siendo que la introducción del acero y del hormigón en la arquitectura del siglo pasado condujo a un cambio radical de los sistemas de construcción y por lo tanto de las formas, y viceversa, porque no debe pensarse que las formas llegan siempre después de la aparición de los sistemas y materiales existentes. No siempre las posibilidades técnicas permiten ciertas creaciones. Así, al revés también funciona, el anhelo de ciertas ideas, materializadas en formas diseñadas, también propicia y acelera la llegada de

los sistemas y los materiales que las permiten. Sea como fuere, el desarrollo en el presente siglo de las posibilidades de control del diseño computacional y de los sistemas constructivos digitales, auguran también un cambio radical en la arquitectura. Una arquitectura que, con tal tecnología, satisfaga la necesidad de trabajar solo ecológicamente, perfectamente adecuada para mantener los recursos del mañana, y, más allá, para generarlos ella misma.

Arquitectura Biodigital

Y una vez dentro de lo que sólo permiten las tecnologías digitales, está claro que debe mantenerse la voluntad de integrar principios básicos y simples de la arquitectura solar pasiva, junto a otras posibles ventajas extraídas de la arquitectura vernácula que sea el caso, en un emplazamiento concreto. Esto, después de todo, es tener en cuenta la evolución del *prueba-error* de cientos de años de *hábitat* humano en ese lugar en particular, tal como lo hace también la naturaleza, que durante milenios se conforma a su realidad circundante y al clima de cada región. Los seres vivos son diferentes según las regiones climáticas en las que viven. Con la arquitectura y el diseño debería suceder algo parecido, pues hasta esto es aprender de la naturaleza. Pero en cambio, vemos cómo los edificios de hoy son generalmente iguales en todos los continentes. Sin embargo ya no se puede seguir viviendo con el lujo de no tener en cuenta el clima correspondiente.

En el ejemplo que sigue, aparece primero el estudio para optimizar las posibilidades de asoleamiento que el entorno permite, condicionadas esta vez por una situación urbana (Ver Figura 11). En consecuencia, las formas arquitectónicas emergerán, como guiadas por el sol, como cualquier vegetal vivo. Los invernaderos se instalan en las áreas soleadas, y las áreas no soleadas están bien aisladas térmicamente, mientras que la ventilación y los flujos de aire están estratégicamente planificados, con aprovechamiento geotérmico, y construyendo cubiertas verdes.

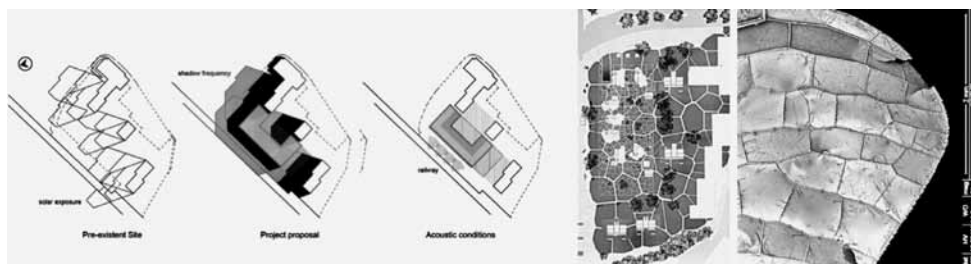


Figura 11. Alberto T. Estévez - GenArqOffice, Edificio de viviendas solar pasivo, Innsbruck, 2014. De izquierda a derecha, estudios previos de la situación de los edificios, en pos del mejor asoleamiento, la planta principal con un voronoi 2D, y un detalle de ala de libélula a la derecha (91x) con un voronoi 2D.

Mientras tanto, en la línea del bioaprendizaje (*ahora que en todas partes la discusión es la del aprendizaje automático o machine learning*), la investigación de estructuras primigenias y genesiáceas a través de un microscopio electrónico se vuelven relevantes para un arquitecto, en el momento en que las masas amorfas de células vivas y en crecimiento comienzan genéticamente a ordenarse ellas mismas. En un orden que debe ya resistir las fuerzas externas gravitacionales y el propio peso del ser vivo respectivo, de la manera más eficiente y económica, como siempre hace la naturaleza. Entonces, aparecen diferentes sistemas y geometrías complejas que deben encontrar una respuesta con la estrategia gráfica y la concepción digital correspondientes (Estévez, 2019). En este caso se trata de un edificio de viviendas en Innsbruck (Ver Figuras 11, 12 y 13) que se desarrolló en base a una estructura *voronoi*.



Figure 12. Alberto T. Estévez - GenArqOffice, Edificio de viviendas solar pasivo, Innsbruck, 2014. Arriba, vista general del edificio. Debajo, de izquierda a derecha, estructuras naturales de abejas y estructuras vernáculas de Innsbruck, agricultura urbana en terrazas, flores en balcones como es habitual en esta área, esquema del sistema solar pasivo del edificio, apicultura urbana y espacio voronoi interior con huertos colgantes.

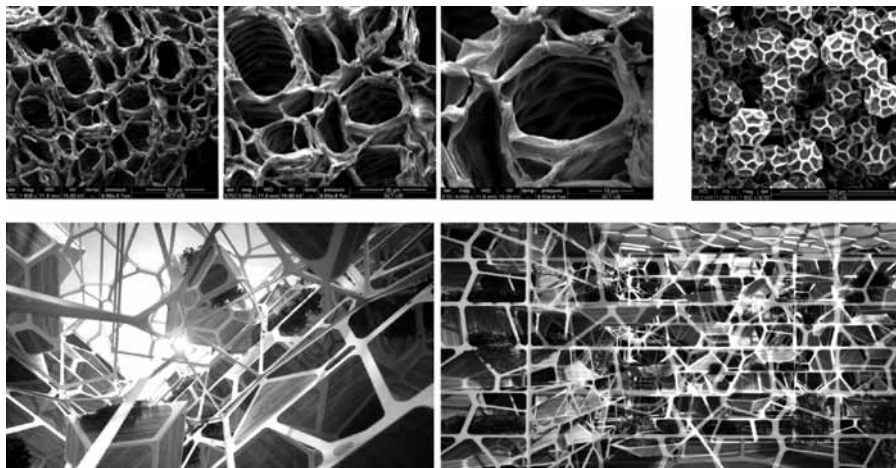


Figure 13. Alberto T. Estévez - GenArqOffice, Edificio de viviendas solar pasivo, Innsbruck, 2014. Arriba, sección de cactus (1600x, 3000x) y granos de polen (1600x), con voronoi 3D interior y exterior respectivamente (Fotos: Alberto T. Estévez). Abajo, vistas de las estructuras de voronoi 3D del edificio, que soportan huertos urbanos y jardines colgantes.

Y es que en su crecimiento máximamente eficiente, en el trinomio de una buena relación entre la cantidad de material utilizado, la energía gastada con él y la satisfacción de la función (estructural en este caso), tanto las plantas como los animales integran en sus estructuras esta geometría de *voronoi* (Ver Figura 13) que hoy, gracias a las herramientas digitales, se puede diseñar y controlar sin demasiada dificultad, y por eso se puede construir en la realidad. Con el *plus* de interés racional y emocional que tiene una estructura compleja, unitaria, armónica, orgánica y continua como esta, luego las plantas del proyecto están diseñadas en 2D con esta geometría. *Voronoi* que se escala en tres niveles, uno dentro del otro, de acuerdo con el tamaño o la función a resolver, y consecuentemente, se desarrolla la misma geometría en el espacio 3D, configurando su estructura interior y exterior, y un gran espacio central abierto para obtener un microclima. En él, y en cubiertas, balcones y terrazas, se prevé instalar agricultura y apicultura urbana, todo en pos de la autosuficiencia energética y de recursos.

Estar en la línea de una idea de autosuficiencia, de arquitectura solar pasiva, y a veces además disfrutar de cierto aprendizaje de la arquitectura vernácula, es estar alineado con una idea de baja tecnología (*low technology*), algo que, al fin y al cabo, está más cerca de una forma más *natural*, más sostenible, más económica e incluso más *democrática*. Este sería el ideal a construir, en una tendencia a buscar la autosuficiencia, donde cada casa, cada edificio, cada ciudad, tiendan a la autosuficiencia, y por lo tanto a la autogestión

de sus recursos. Obteniendo modelos de edificios que sólo necesiten el fuego del sol, el viento del aire, el agua de la lluvia (o de la humedad) y el calor de la tierra, estos serían los verdaderos *recursos de sostenibilidad para el mañana*, los cuatro elementos clásicos (Vasel y Ting, 2019). Con las mismas palabras antedichas, también aplicable a los recursos, son estos los más *naturales*, sostenibles, económicos y democráticos, renovables y ecológicos. Y por otro lado, aplicando la inteligencia para pensar módulos de vivienda que podrían actuar casi como compañías que administran sus propios recursos (*y desechos*) incluso produciendo recursos.

Entendiendo la economía que la naturaleza nos enseña (bioaprendizaje / *biolearning*), después de millones de años *probando estructuras naturales* con objetivos de supervivencia, por tanto con la máxima eficiencia y sostenibilidad, buscando formas óptimas de supervivencia en el medio ambiente que le corresponde. Pues, entonces, resulta que también llegamos al descubrimiento de la organización de las células en diferentes niveles de fractalidad, siendo que hay muestras de fractalidad que se ven a simple vista, por ejemplo en diferentes plantas. Pero es que incluso la sostenibilidad del planeta entero también debería lograrse *fractalmente* con la sostenibilidad de cada país, de cada región, de cada ciudad, de cada casa.

Definitivo es ver que existe tal fractalidad a nivel microscópico. Por esta razón continuamos el trabajo con el microscopio electrónico, descubriendo cómo a nivel microscópico las estructuras se replican en patrones fractales, hasta tres niveles sucesivos. Por ejemplo, un bambú está formado por *pequeños bambúes*, que por así decirlo, están formados por microscópicos *pequeños bambúes*. O una esponja marina está compuesta de *pequeñas esponjas marinas*, que están formadas por *pequeñas esponjas marinas* microscópicas (Ver Figura 14). Las estructuras creadas fractalmente, de esta manera, son las que se deberían considerar en arquitectura estructuras no masivas, y sin embargo el ser humano siempre ha construido, hasta hoy mismo, paredes y columnas macizas. Es de nuevo la naturaleza la que nos enseña cómo las estructuras fractales adquieren una mayor resistencia con menos material y con menos energía gastada en su construcción. Pues, con el diseño y la fabricación de tecnología digital, utilizando impresoras 3D a gran escala, que ya están comenzando a existir, ahora esa fractalidad estructural puede convertirse en una realidad y en un nuevo paradigma para la arquitectura y el diseño.

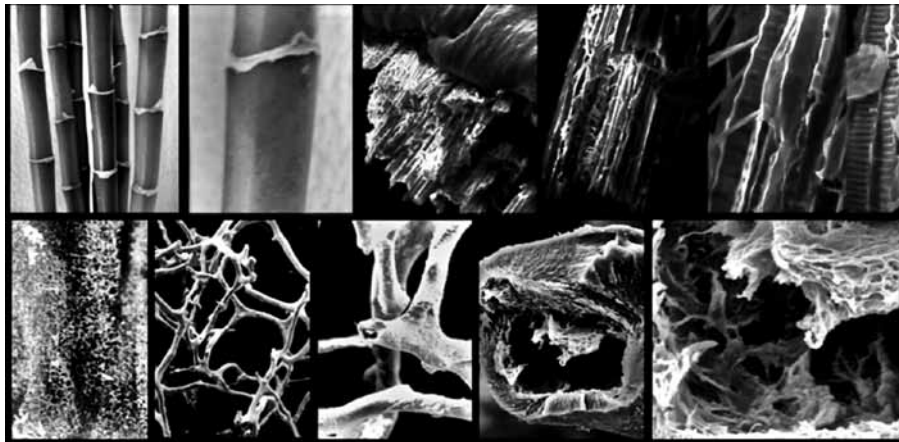


Figure 14. Alberto T. Estévez. Arriba, bambúes (x1, x1, x200, x400, x3000) y, debajo, esponjas marinas (x1, x100, x400, x3000, x7000), 2008-09. Fotos tomadas con microscopio electrónico de barrido, que permite apreciar la fractalidad.

De este modo la fractalidad abre la posibilidad de convertirse ella misma en una estrategia de diseño, tal como por ejemplo se aplica en el siguiente proyecto aquí presentado (Ver Figuras 15, 16 y 17).



Figura 15. Alberto T. Estévez - GenArqOffice, Torre de telecomunicaciones, Santiago de Chile, 2014. En lugar de aparecer en la cima de la montaña la torre de telecomunicaciones convencional, aquí se ofrece como alternativa una corona, una brillante “Stadtkrone” (Taut, 1919).

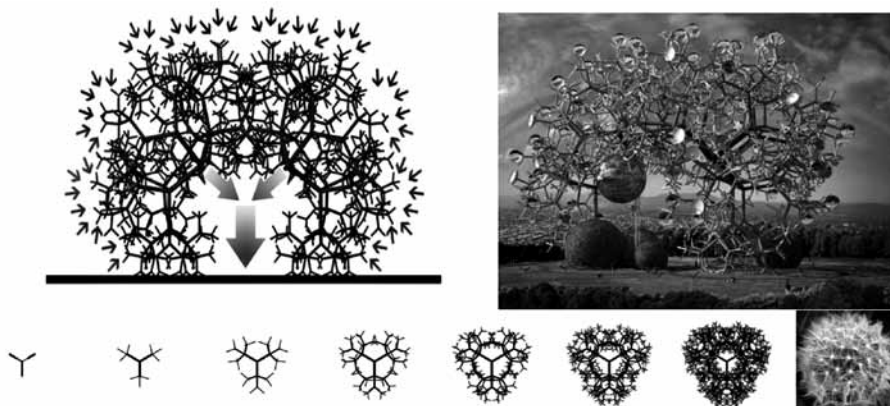


Figura 16. Alberto T. Estévez - GenArqOffice, Torre de telecomunicaciones, Santiago de Chile, 2014. Desarrollada digital y fractalmente, es al mismo tiempo una “máquina de purificar el aire”. Aunque tal singularidad es sólo un hecho simbólico, debido a la aguda contaminación que sufre Santiago de Chile, donde se ubica el proyecto (arriba a la derecha, vista general con una pradera de dientes de león alrededor).

Mediante un desarrollo fractal digital emerge toda la estructura, con valores de complejidad, unidad, armonía, organicidad y continuidad, justo los valores que definen el concepto clásico de belleza. Así, la estructura integra todo lo necesario para su función como antena de telecomunicaciones y mirador con vistas a la ciudad. Y en paralelo ofrece también la posibilidad de autosuficiencia energética, al incorporar colectores solares esféricos (*Beta Torics*) en su último nivel de desarrollo fractal. También ahí se sitúan las antenas parabólicas y lineales necesarias, además de luminarias esféricas, que por la noche crean (en la cima de la montaña donde se encuentra este edificio) la imagen de *la corona de la ciudad*, siguiendo la idea de la *Stadtkrone* de Bruno Taut (Taut, 1919). Ese mismo efecto se da durante el día con el brillo de las esferas antes mencionadas (Ver Figura 17). Queda pues como una corona, en lugar de una de esas torres de telecomunicaciones que pueblan tantas montañas y horizontes de ciudades.

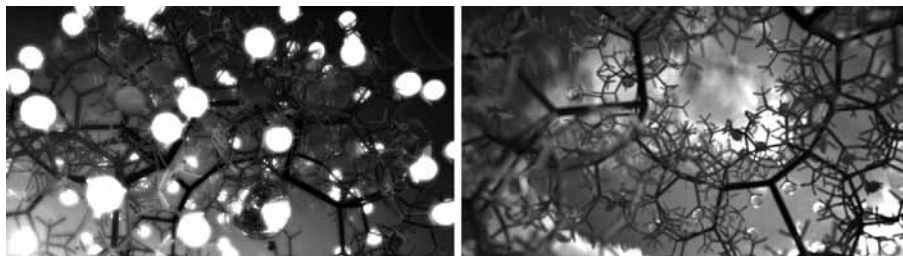


Figura 17. Alberto T. Estévez - GenArqOffice, Torre de telecomunicaciones, Santiago de Chile, 2014. Por la noche, las luminarias esféricas rodean la superficie del edificio en su último nivel fractal. De día, los colectores solares esféricos del mismo tamaño y colocados en el mismo nivel también ofrecerán su brillo como una “corona” del paisaje.

Por otro lado, toda esa estructura de tubos huecos, con ventiladores dentro, absorberá el aire contaminado circundante. De modo que, filtrado a través de ella, el aire salga purificado a la zona central, donde se encuentra el área para el entretenimiento de las personas que suben a la cima del monte. De hecho, gracias a ser *una máquina de descontaminación*, todo el proyecto se presenta simbólicamente como una *curación del medio ambiente*. Por esta razón también está rodeado por una pradera de dientes de león, una planta medicinal muy conocida, un poético participante a pequeña escala de la fractalidad del edificio.

En conclusión, todos los edificios deberían diseñarse hoy como autosuficientes, no hay ninguna excusa técnica en contra de ello, siendo que todos deberían comenzar con un buen diseño de su sostenibilidad. Ya desde la misma conceptualización de su arquitectura y diseño, aprendiendo de la naturaleza (bioaprendizaje / *biolearning*), en simbiosis biológica con ella, y con el uso de herramientas digitales, para una adecuada adaptación a nuestro tiempo es decir la arquitectura *biodigital*.

Genética

Dentro de la biología, la genética también ofrece caminos para explorar, que aplicados a la arquitectura y al diseño pueden dar beneficios inimaginables para la sostenibilidad. Beneficios tan potentes como es el potencial casi infinito intuido en la genética. El precario estado del mundo incluso obliga, por responsabilidad, a investigar en este campo sin demora, por pereza, miopía o mentalidad estrecha, de momento la genética sólo se aplica a la salud y a la nutrición. Pero los humanos tienen una necesidad básica más que es su *hábitat*, por esta razón se creó en el año 2000 el Grupo de Investigación *Arquitecturas Genéticas* y el *Máster en Arquitectura Biodigital*, así como un Programa de Doctorado. De este modo por primera vez en la historia, genetistas y arquitectos comenzaron a colaborar y a establecer

objetivos de investigación genética aplicados a la arquitectura y a la construcción, la luz y el calor serían los objetivos generales a seguir para satisfacer la necesidad humana básica de *hábitat*. Así, los primeros resultados reales se sucedieron en la investigación en torno a la bioluminiscencia aplicada al espacio doméstico y urbano (Ver Figura 18).



Figura 18. Alberto T. Estévez, Genetic Barcelona Project, 2003-2006. A la izquierda, imagen de la luz mágica de los limoneros con GFP. Centro, imagen de un mundo posible. A la derecha, comparación entre una hoja de limonero con GFP y otra sin GFP del mismo tipo de árbol: foto superior tomada con cámara réflex convencional y foto inferior tomada con cámara UV especial.

Entonces, en el 2005, 7 limoneros con el gen de la GFP (*proteína verde fluorescente*) comenzaron a iluminar el planeta. Años después otras personas en diferentes partes del mundo también tomaron esta misma idea de investigar la bioluminiscencia aplicada al espacio doméstico y urbano. Luego, en el 2008, la primera casa de la historia se iluminó con *luz viva* bacteriana, se colocaron biolámparas (*biolamps*) de diferentes diseños por toda la casa, sin necesidad de instalación previa alguna, lo que hizo innecesario el uso de luz eléctrica (Ver Figura 19). Y se continuó con otras posibles soluciones, como la introducción de los genes bacterianos responsables de la bioluminiscencia en varios tipos de plantas ornamentales, o genes similares de otras especies, cuyos resultados podrían ser más efectivos y duraderos para el uso requerido.



Figura 19: Alberto T. Estévez, Biolamps, 2007-2008. La primera casa sistemática y completamente iluminada con luz viva bacteriana (Fotos del autor, tomadas con una cámara réflex convencional, tal como lo ve el ojo humano).

Tal como se ha dicho antes sobre la computación, igualmente, con la genética se puede decir que el anhelo de ciertas ideas, materializadas en formas diseñadas, también propicia y acelera la llegada de los sistemas y los materiales que las permiten. Sea como fuere, el desarrollo en el presente siglo de las posibilidades de control del diseño genético y de los sistemas constructivos biológicos, auguran también un cambio radical en la arquitectura. Una arquitectura que, con tal tecnología, satisfaga la necesidad de trabajar solo ecológicamente, perfectamente adecuada para mantener los recursos del mañana, y, más allá, para generarlos ella misma. Teniendo hoy esa posibilidad en el horizonte científico y tecnológico, está claro que tarde o temprano la investigación genética necesaria se desarrollará lo suficiente como para satisfacer multitud de objetivos arquitectónicos y constructivos, para que una casa pueda *plantarse* y crecer sola, en la forma más *natural*, más sostenible, más económica e incluso más *democrática* (con posibilidades de libre reproductibilidad), tal como se ha dicho antes sobre el paradigma de la arquitectura biodigital. Además, la posibilidad de creación genética de nuevas especies puede paliar la desaparición dramática de la biodiversidad que hemos propiciado: Véase el “*Manifiesto de la Bioplasticidad*” (Estévez, 2015).

Entonces, trabajando en investigación genética para obtener elementos vivos, materiales de construcción y espacios útiles para la arquitectura, un ejemplo más serían las *Sporopollenin Houses* (Ver Figura 20). Objetivos arquitectónicos con la aplicación de la genética para investigar el control genético del crecimiento, para desarrollar células vivas que se conviertan en materiales de construcción y espacios habitables, que dirigidos por medio de su diseño genético, produciendo una arquitectura 100% ecológica y sostenible, con el máximo ahorro de energía durante todo el proceso de construcción y sin necesidad de mano de obra, ya que su crecimiento emerge naturalmente.



Figura 20. Alberto T. Estévez, vistas de las Sporopollenin Houses, 2009-10. Investigación genética sobre el control del crecimiento para hacer que células vivas crezcan como material arquitectónico y espacios habitables.

Pues fue a partir de la investigación sobre estructuras celulares usando el microscopio electrónico de barrido es cuando surgió este proyecto de las *Sporopollenin Houses* (Estévez, 2009), que consiste en casas unifamiliares que crecen solas, formadas por *esporopolenina*, un material impermeable que se encuentra por ejemplo en los granos de polen, y puede considerarse el material orgánico (por tanto que puede crecer solo) de mayor durabilidad, que no se pudre, no se oxida, ni se deshace aunque pasen miles de años, aquí es cuando su durabilidad se hace *relevante* para la arquitectura.

Conclusiones: Futuro *Biodigital*

Arquitectura verde, diseño verde, tecnología verde, cuando *verde no es un color* (es decir, para que se entienda, verde ya no es sólo un color)... Entonces, llegados a este punto, mirando nuestros resultados y los resultados de todos los demás colegas que están trabajando conscientes de la 4ª Revolución Industrial en la que estamos inmersos, surge una posible conclusión que consiste en pensar cuál es el significado auténtico de todos estos esfuerzos. Un momento crítico para preguntarse si realmente estamos trabajando en algo que sea absolutamente útil para la humanidad. Sabemos que la respuesta está en la naturaleza y la *naturaleza es la respuesta*. De hecho, cuánto más avanza la ciencia más sabemos de lo que llamamos naturaleza, y más entendemos que la naturaleza es la respuesta. *Pero si la respuesta es la naturaleza ¿cuál fue la pregunta?* (Wagensberg, 2008), estamos explorando e interrogando “la pregunta” a través de trabajos interdisciplinarios que involucran campos como la biología, la genética, la computación, el arte, la arquitectura, el diseño y la ingeniería civil. Estamos explorando las fronteras del conocimiento, y un punto de cruce interdisciplinario principal en esta exploración es el punto donde la genética se encuentra con la biología y lo digital, aplicada a la arquitectura y al diseño en nuestro caso. Este es el punto de cruce en el que nos encontramos y del que trata este escrito. Esta es la escena en la que

para crear arquitectura y diseño unimos fuerzas con genetistas y filósofos, centrados en objetivos arquitectónicos, que juntos investigan la fusión de técnicas biológicas y digitales. Todo comenzó con una palabra y después empezó a surgir como una sucesión imparable de palabras, así como llamada desde la oscuridad de la nada, esta palabra “biodigital” emergió hace ya más de una docena de años. Pues viendo nuestros propios resultados, sin dudas sobre el camino a seguir, cada vez más puede asegurarse hasta qué punto el futuro es biodigital: las casas, las ciudades, los paisajes, serán 50% biológicos y 50% digitales y la fusión de ambos. Es el gran potencial de las nuevas técnicas biológicas y digitales lo que puede conducir a la eficiencia sostenible y social que el planeta necesita, para que el ser humano pueda tener un futuro (Estévez, 2018).

Biodigital tiene su propio conjunto de palabras, y al mismo tiempo, cada una de ellas está relacionada (al menos, neurológicamente) con muchas otras. De esta manera, alrededor del término de biodigital aparecen por ejemplo los de biología, vida, informática, naturaleza, cibernética, genética, matemáticas, ADN, algoritmos, emergencia, morfogénesis, inteligencia artificial, surrealismo, organicismo digital, arquitectura genética, robótica, biofabricación (*biomanufacturing*), fabricación digital, bioaprendizaje (*biolearning*), programación, *scripting*, paramétrico, entre otros conceptos. Esta nube de palabras se encuentra en constante cambio dependiendo de cómo se intensifique un aspecto u otro, como si fuera un mosaico puntillista termina ilustrando qué es realmente el término de biodigital. Por lo menos biología y digital juntos si se entiende trabajar con el ADN como si fuera un *software* natural y con el *software* como si fuera un ADN artificial. Estos son los auténticos nuevos materiales del futuro, como lo fueron el hormigón y el acero para la Modernidad. ¿Cómo pueden visualizarse las ciudades y las casas del futuro? La ciudad del futuro será 100% biodigital, mejorada por tecnología biológica y digital, o tal vez no haya futuro. *Aprendiendo de los árboles* (Bassegoda, 1989), una ciudad que se parezca más a un bosque que a un paisaje de contenedores en el puerto. Después de todo ¿dónde preferimos vivir, rodeados de cajas o de árboles? Donde sea que crezcan, nuestras ciudades están destruyendo la naturaleza, así que necesitamos asegurarnos de que cada huella humana se convierta en creadora de vida, y tenemos que cambiar nuestra realidad con vida. Esto sin duda tiene un punto de vista poético, resolveremos nuestros problemas planetarios con vida, pero también tiene la descripción exacta del camino real y científico a seguir, a través de lo biodigital y genético, es decir *vida para salvar vidas*, es decir una visión del mundo que conduce naturalmente a una filosofía de reverencia por la vida (Schrödinger, 1964).

Maravillado por el misterio de la vida, el milagro de la autoformación de lo delicado, sofisticado y perfecto que es cada ser vivo, la fascinación por el problema del fenómeno llamado vida, es que Sherrington comenzó a estudiar la célula primaria y curiosamente esto le llevó como en un viaje hasta el concepto de altruismo. No en vano impresionó a los científicos y pensadores que lo siguieron como Schrödinger, Atson, Crick y Prigogine, por un lado, y Loeb, Popper por el otro (Sherrington, 1940). Vivimos con las contradicciones que tiene esta era... ¿A dónde nos lleva realmente toda esta investigación? sobre IA, pensamiento digital, diseño digital, fabricación digital, big data, BIM, CIM, GIS, CAAD, realidad virtual y aumentada... ¿A dónde vamos con esta serie de innovaciones y conceptos disruptivos? como teléfonos inteligentes, redes sociales, juegos en línea, Internet de las cosas, materiales inteligentes, entornos interactivos, impresión 3D, drones, autos sin conductor, ciudades in-

teligentes (*smart cities*)... ¿Qué es realmente este mundo radicalmente nuevo? Por supuesto, como en el pasado, si el mundo cambia, la arquitectura y el diseño no pueden permanecer indiferentes. Los arquitectos y diseñadores deben comprender y adaptarse a las nuevas circunstancias. Pero esta declaración no es del todo cierta, porque la propia evolución de la arquitectura y del diseño, y los nuevos entendimientos y posibilidades tecnológicas que se derivan de ello, también son motores de cambios. Además ¿están las tecnologías digitales orientadas a lo que este mundo realmente necesita en este momento?, cuando efectivamente las tecnologías digitales están en el centro del paradigma emergente, –sí– tenemos esta ventaja. Pero entonces también tenemos esta responsabilidad ética, debemos orientar todo a las demandas cada vez más exigentes que hay en nuestro propio planeta, y no a lo que nos separa cada vez más en dos mundos.

En la película *Elysium* (Blomkamp, 2013) y no es la única que últimamente lo ilustra, aparece cómo en el futuro la humanidad se divide radicalmente en dos, la película tiene lugar tanto en una Tierra devastada como en un lujoso *hábitat* espacial llamado *Elysium*. En la actualidad sólo algunas personas tienen acceso a avances extraordinarios en áreas como la comunicación móvil, la inteligencia artificial, el *big data*, la computación en nube (*cloud computing*), el *blockchain*, la nanotecnología, la biotecnología, el reconocimiento facial, la robótica o la fabricación aditiva, y otras personas no están en condiciones de acceder (Ver Figura 21).



Figura 21. Fotomontaje simbólico de una imagen de la película *Elysium* con una del campo de refugiados Rohingya en Kutupalong (Ukhia, Cox's Bazar, Bangladesh). Sueño y realidad: ¿realidad y futuro?

Pues ese no es el futuro *—ya es nuestro presente—* cuando la población humana ya está dividida en dos mitades cada vez más separadas, cuando una mitad puede vivir como vive porque la otra mitad no puede. Es por ello que todos deberíamos centrarnos en nuestra investigación exclusivamente para lograr esta unidad planetaria de la vida.

Ecología integral

En conclusión, dado que todo está interrelacionado y los problemas actuales requieren una visión capaz de tomar en cuenta todos los aspectos de la crisis global, debemos considerar urgentemente la idea de una ecología integral, que simultáneamente considere como entidad conjunta e indivisible las dimensiones ambientales, económicas y sociales. La ecología estudia la relación entre los organismos vivos y el medio ambiente en el que se desarrollan. Esto necesariamente implica reflexión y debate sobre las condiciones requeridas para la vida y la supervivencia de la sociedad, y la honestidad necesaria para cuestionar ciertos modelos de desarrollo, producción y consumo. Así como los diferentes aspectos (físicos, químicos y biológicos) del planeta están interrelacionados, las especies vivas también son parte de una red, que necesitamos explorar y comprender, y la genética es la herramienta más avanzada para ello. Incluso una buena parte de nuestro código genético está compartida por muchos seres vivos. De ello se deduce que fragmentar el conocimiento y aislar ciertas informaciones puede acabar convirtiéndose en una forma de ignorancia, a menos que se integre todo en una visión más amplia de la realidad.

Y cuando hablamos del *medio ambiente* lo que realmente queremos decir es una relación existente entre la naturaleza y la sociedad que vive en él. La naturaleza no puede considerarse como algo separado de nosotros mismos o como un mero escenario en el que vivimos. Somos parte de la naturaleza, en constante interacción con la naturaleza. Así, reconocer por ejemplo las razones por las cuales un área determinada está contaminada requiere un estudio de la sociedad, de su economía, y de sus patrones de comportamiento. Y ya no es posible encontrar sólo una respuesta específica única para cada parte del problema. Actualmente la clave es buscar soluciones integrales que consideren las interacciones dentro de los sistemas naturales con los sistemas sociales. Nos enfrentamos a una crisis compleja que es tanto ambiental como social. Las estrategias para una solución exigen un enfoque integrado para proteger la naturaleza y al mismo tiempo combatir la pobreza.

Nosotros como arquitectos y diseñadores tenemos la responsabilidad de lograr una visión de arquitectura y diseño que ayude a desarrollar sociedades sostenibles y seguras. Y este objetivo, en nuestra realidad actual, ya no sólo es relevante sino también urgente. Por lo tanto, tenemos el deber de crear ideas de arquitectura medioambientalmente responsables. Es decir, que al mismo tiempo debe ser arquitectura *socialmente* responsable, y la integración biodigital, biología y digital, es la herramienta más avanzada para arquitectos y diseñadores. Biodigital, como herramienta, pero antes como enfoque, como entendimiento de la arquitectura y el diseño. Y mientras estamos en este empeño, poco a poco, casi como por arte de magia, la comprensión sobre lo que demanda nuestro tiempo crecerá en una realidad integral de dos caras: ver que la arquitectura y el diseño pueden

mejorar el mundo al mejorar la vida de los menos afortunados y aprender de las leyes de la naturaleza (bioaprendizaje) encontrando en la computación la herramienta más poderosa para resolver los problemas.

Sí el camino a seguir es claro, en un mundo donde todo está conectado, con una relación íntima entre los pobres y la fragilidad del planeta, se hace necesario desarrollar un pensamiento crítico hacia la formación de un nuevo paradigma y las formas de poder resultantes de la tecnología. Cuando es necesario buscar nuevas formas de entender la economía y el progreso, el valor de cada persona y el sentido humano de la ecología. Cuando hay una necesidad urgente de debates sinceros y honestos, y existe una gran responsabilidad en términos de política tanto a escala internacional como local. En definitiva, cuando es conveniente tener un *nuevo estilo de vida* o lo que el *Zeitgeist* (*espíritu de la época*) nos llama a hacer cuando a la vista de todos están los signos de nuestro tiempo. En definitiva, este mundo es nuestro hogar común que nos sostiene y del que debemos garantizar su propia sostenibilidad que también es la nuestra. Dónde todo lo que discrimine una ecología integral no impedirá la ruina de todo el planeta. Sólo habrá un futuro real si hay uno para todos. Sólo trabajando por una ecología integral, con por supuesto, cierta generosidad proporcional y sacrificios por parte de todos y de cada uno (*lo que significa luchar contra las contradicciones de nuestra era*), encontraremos juntos una verdadera salvación de nuestro hermoso Planeta Azul.

Referencias bibliográficas

- Bassegoda, J. (1989). *El gran Gaudí*. Sabadell: Editorial AUSA.
- Blomkamp, N. (2013). *Elysium*. Culver City: TriStar Pictures.
- Cirlot, L. (1993). *Primeras Vanguardias artísticas: textos y documentos*. Barcelona: Labor.
- Estévez, A. T. (Ed.). (2009). *Genetic Architectures III: new bio & digital techniques / Arquitecturas genéticas III: nuevas técnicas biológicas y digitales*. Santa Fe (EE.UU.) / Barcelona: Sites Books / ESARQ-UIC.
- Estévez, A. T. (2015). *Biodigital Architecture & Genetics: escritos / writings*. Barcelona: ESARQ-UIC.
- Estévez, A. T. (2016). Towards genetic posthuman frontiers in architecture & design. In VV.AA., *ACADIA 2016. Posthuman Frontiers: Data, Designers, and Cognitive Machines*. Ann Arbor: ACADIA - Taubman College, University of Michigan.
- Estévez, A. T. (2018). Biodigital. In VV.AA., *Becoming - La Biennale di Venezia 2018*. Madrid: Gobierno de España - Ministerio de Fomento / Fundación Arquía.
- Estévez, A. T. (2019). Digital tools for architectural conception. In VV.AA., *Graphic Imprint: The influence of Representation and Ideation Tools in Architecture*. Cham: Springer International Publishing AG.
- Estévez-Escalera, J. (2005). *Catástrofes en la Prehistoria*. Barcelona: Editorial Bellaterra.
- Harvey, D. (2014). *Seventeen Contradictions and the End of Capitalism*. Londres: Profile Books Ltd.

- Sargent, T. (2005). *The Dance of Molecules: How Nanotechnology is Changing Our Lives*. Nueva York: Thunder's Mouth Press.
- Serra, R. (1989). *Clima, lugar y arquitectura. Manual de diseño bioclimático*. Madrid: Ministerio de Industria y Energía, Secretaría General Técnica del CIEMAT.
- Serra, R. (2013). *Arquitectura y climas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Schrödinger, E. (1961). *My View of the World*. Cambridge (G.B.): Cambridge University Press.
- Sherrington, Ch. (1940). *Man on his nature*. Cambridge (G.B.): Cambridge University Press.
- Taut, B. (1919). *Die Stadtkrone*. Jena: Eugen Diederichs.
- Vasel, A., & Ting, D. (Eds.). (2019). *Air, Water, Food, and Energy – the four life-supporting elements*. Londres: Taylor & Francis / CRC.
- Villeneuve, D. (2017). *Blade Runner 2049*. Burbank: Warner Bros. Entertainment Inc.
- Wagensberg, J. (2002). *Si la naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta?* Barcelona: Tusquets.
-

Abstract: Indeed, nature is the solution to the great planetary problem we face. And the one who writes has also shown it, along with others with him, or before and after him. Thus, in the following lines, analysis, reflections, experiences, cases will be found on how Design and Architecture relate to some of the contemporary instances, such as innovation, biomimetics, biodegradable materials, virtualization of processes, the concept of transition, the depletion of natural resources, social responsibility, among others, together with possible proposals and ideas to overcome the debate, or ways of solution.

Keywords: Nature - Architecture - Design - Genetics - Biology - Digital - Bio-digital - Bio-learning - Bio-Learning - Digital Organicism.

Resumo: De fato, a natureza é a solução para o grande problema planetário que enfrentamos. E quem escreve isso também mostrou, junto com outros com ele, ou antes e depois dele. Assim, nas linhas seguintes, serão analisadas, reflexões, experiências, casos, sobre como o Design e a Arquitetura se relacionam com algumas das instâncias contemporâneas, como inovação, biomimética, materiais biodegradáveis, virtualização de processos, o conceito de transição, o esgotamento dos recursos naturais, a responsabilidade social, entre outros, juntamente com possíveis propostas e idéias para superar o debate ou formas de solução.

Palavras chave: Natureza - Arquitetura - Design - Genética - Biología - Digital - Biodigital - Bio-aprendizagem - Bio-aprendizagem - Digital Organicism.
