

Esta es la versión revisada. Para referencias, citar como:

Alberto T. Estévez, "La naturaleza es la solución", en Daniela V. Di Bella, Terry Irwin (eds.), *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, n. 105, Universidad de Palermo - Carnegie Mellon University, Buenos Aires, 2020, pp. 165-193. ISSN: 1668-0227.

"La naturaleza es la solución"

Alberto T. Estévez

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.

1. 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, donde reside nuestro mayor problema, la naturaleza, se encuentra su propia solución, la misma naturaleza. Sólo que hay que saber escucharla, entenderla, investigarla, y proponerla como solución. Algo reservado quizá 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, llave de nuestra supervivencia.

Y 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. Y eso pasa por un entendimiento 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 de la misma. 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.

Pero, ¿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 sobre 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. Sí, 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. Y 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 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 repentinos, que se han transformado o no en catástrofes. El más similar al que nos enfrentamos hoy fue el cambio repentino 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 pensar en 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 desde el punto de vista de alguien que se dedica principalmente a la investigación, a la práctica profesional y a 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 acaba 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 uno por ciento de la superficie de la Tierra con células solares, y cada una lograra sólo un 10 por ciento 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 todos los días. El problema es que hasta que los políticos no fuerzan un cambio en nuestros hábitos con las leyes, las soluciones no se generalizan. Afortunadamente parece que poco a poco se filtran los ejemplos de los países más sensibles, que, por ejemplo, comienzan a prohibir algo tan simple como las pajitas (cañitas) de plástico para refrescos. Algo tan tonto e innecesario para la bebida, y que sin embargo se consumen cada año sólo en Europa 36.500 millones. O países donde ya se obliga a pagar cada bolsa de plástico en las tiendas, o incluso se busca prohibirlas definitivamente. 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%. 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. Son unas 12 millones de toneladas de plásticos las que llegan hasta los océanos cada año, ahogando literalmente los ecosistemas, causando grandes daños a la vida silvestre, ingresando en toda la cadena alimentaria. Sin contar el problema de los microplásticos: cifras ya descomunales, casi imposible de ni imaginárselas, cómo el simple lavado diario de la ropa de la entera población humana está llenando todos los mares de microplásticos.

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, de poco más de medio siglo, es que si todos vivimos como vivimos actualmente en los llamados países desarrollados, necesitaríamos los recursos de dos planetas enteros, y resulta que a corto plazo solo tenemos uno: "One World!", que si primero es un grito en pro de la solidaridad humana, ahora inevitablemente esto queda unido a la ecología. Y es algo curioso, pero cierto: 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, llena de contradicciones, como por ejemplo, el caso de que en solo dos semanas, después de abrirse la convocatoria, nada menos que 78,000 personas se habían inscrito 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 de un puñado de “privilegiados”, que deberían seleccionarse entre esos miles, es 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 grados Celsius bajo cero como media (con mínimos de hasta -143°C), sin los 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 desease. Pero resulta que irse con todos los gastos pagados a cruzar el espacio interplanetario es mucho más “sofisticado”, más “cool”, que no 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*, también como ejemplo de “ecología integral” (Figura 1), diseñado digitalmente y fabricado 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.

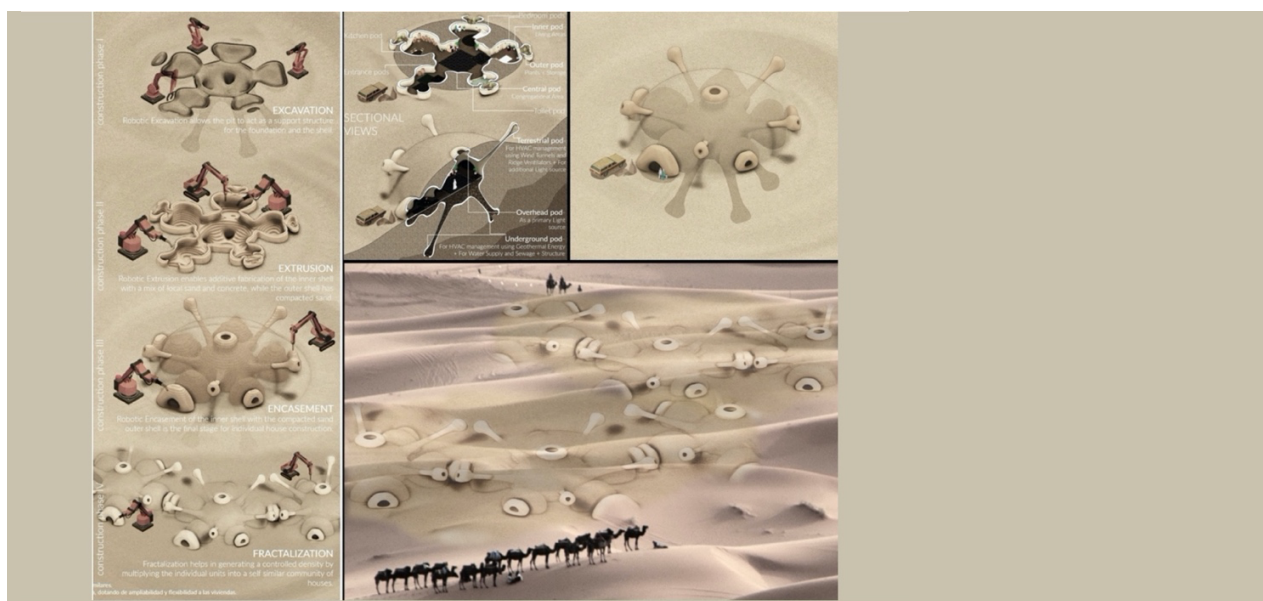


Figura 1. Alberto T. Estévez - Genetic Architectures Office (colaborador Angad Warang, *computational designer*), *3D Printed Sahara House Project*, 2017. Diseñado digitalmente y fabricado digitalmente: se construiría imprimiéndolo en 3D *in situ* con robots, a escala natural 1:1, utilizando como parte del material de construcción la misma arena del desierto, 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 el año 2019, que es gracias a ello que puede conseguirse dinero para lo terrestre. En fin, esperemos que gastos como los previstos para el planeta Marte del año 2029 no nos dejen el planeta Tierra como lo pinta para el año 2049 la última película de *Blade Runner 2049* (Villeneuve, 2017). ¿Sería esa nuestra realidad? Y quizá 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 urgentemente nuestra responsabilidad. Esa es nuestra realidad: nuestra realidad en todo el mundo. Es suficiente ver las impactantes imágenes de ciudades superpobladas que se extienden hasta el horizonte. Vivimos en el hormiguero más grande del universo conocido. Inmensa colonia interconectada a la que todos debemos aportar nuestro granito de arena para su supervivencia. Los problemas se vuelven planetarios, y son otros los que pagan la irresponsabilidad de algunos. 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 deje de importar 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 cañitas. Y no ha pasado nada, siguen teniendo los mismos clientes, sólo que estos 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. Y antes que nada, ya, nuestra propia acción responsable y la enseñanza, deben estar atentas a todas esas tremendas contradicciones en nuestra vida diaria.

2. 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 cada construcción debe considerar hoy en día, como compromiso. Y 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 electrones. 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 ello 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 deben participar en la mejora del mundo, por esa responsabilidad que se tiene como humanos. Algo que puede ejercerse con, por ejemplo, simplemente plantar un árbol. Yo ya lo hice, y más que lo hago 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, ¡un enorme bosque lleno todos los días! Y lo bueno de la docencia, 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. En 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 pasado siglo, fue el único que en los años 70 y 80 tenía una visión de lo que ya está de moda hoy en día, la atención a los problemas medioambientales, el uso de energías alternativas, la arquitectura solar pasiva, etc. “La buena arquitectura por definición es sostenible” decía en clase. Por ejemplo, siempre recordaré cómo nos mostraba un proyecto de un complejo, algo “hippie”, construido como protesta y ejemplo frente a una estación de energía nuclear: dejaba 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, y sin embargo me pareció muy inspirador, lleno de sentido común y lleno de razón, lo que me hizo inscribirme en sus cursos. Entonces, tan pronto como me gradué como arquitecto, tan pronto como comencé mi carrera profesional, desde mi primera casa construida (Casa G., Sigüenza, 1983-85), tuve la intención de aplicar esos principios. Así fui el único de mi generación que seguía sus postulados de arquitectura solar pasiva. Luego, cuando unos 15 años después las palabras ecología y sostenibilidad se pusieron de moda, poco a poco otros de mi generación ya se acercaron también a tales entendimientos.

Desde los orígenes de la humanidad, la arquitectura ha cumplido como una de sus primeras funciones la 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, en pro 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.

Pasaríamos ahora a ver algunos proyectos elegidos, para revisar brevemente los diferentes principios aplicados. Luego se verá cómo el sentido y la sensibilidad que impulsó a entrar en caminos de sostenibilidad es justo lo que llevó a la arquitectura biodigital.

Tres casas, tres principios y algo más

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

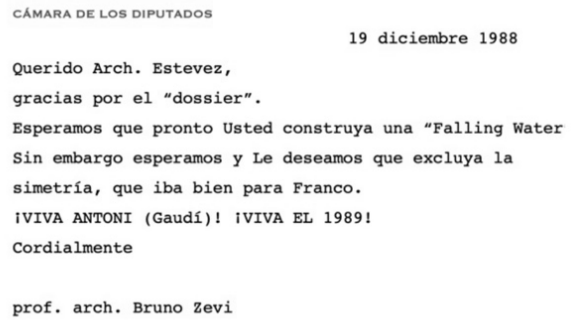
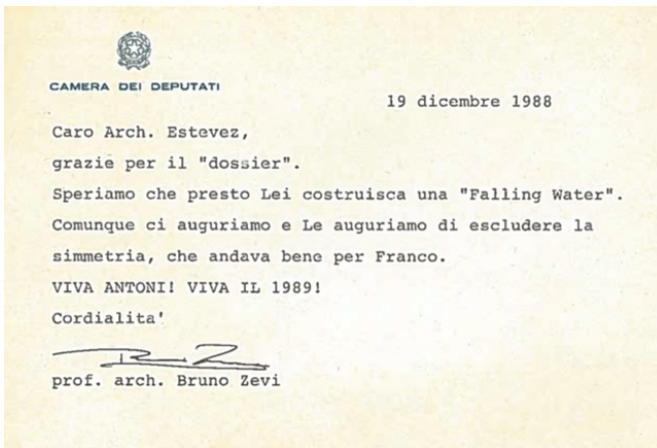


Figura 2. Alberto T. Estévez, *Casa G.*, Sigüenza, 1983-85. Vistas desde el sur y desde el norte.

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 (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.

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 que era 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, quien en pocas palabras cambió radicalmente mi visión:



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 (Figura 3), 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.

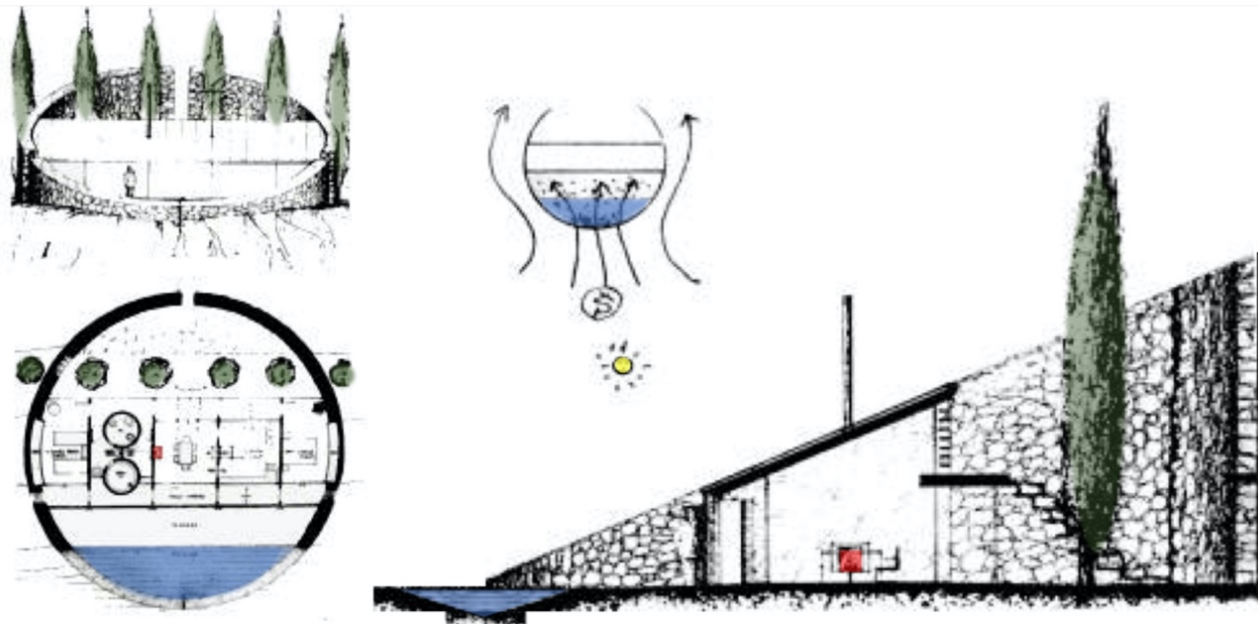


Figura 3. Alberto T. Estévez, *Casa P.*, Cervià de les Garrigues, 1989. Invernadero al sur, agua para los vientos del sur, cerrada al norte con un microclima en el patio, con árboles altos contra los vientos del norte y con paneles solares en la cubierta.

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 en este escrito (Figura 4): 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.

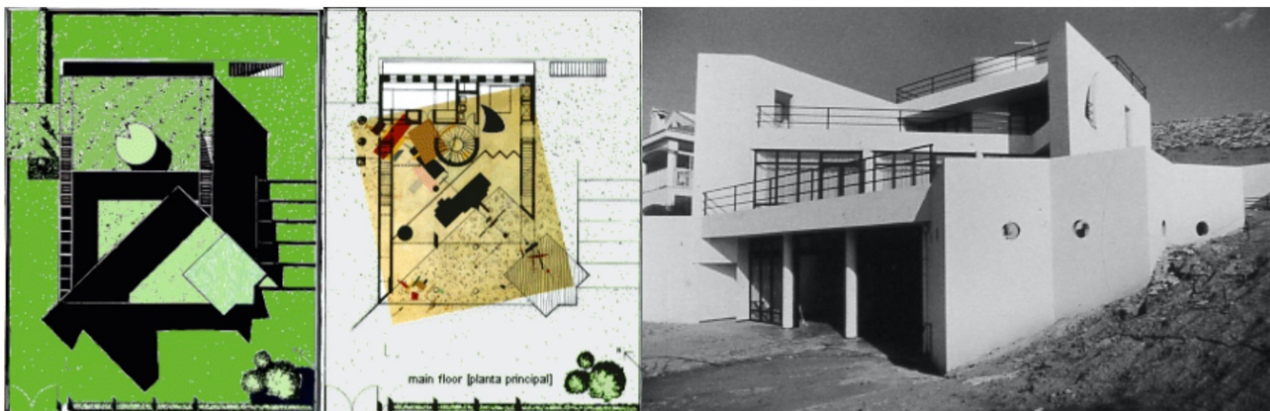


Figura 4. Alberto T. Estévez, Casa M., Almerimar, 1993-95. Cubiertas verdes, ajardinadas, con el piso principal que gira 45 grados para encararse hacia el sur con un invernadero, y también con la piscina al sur que humedezca el ambiente, pero todo cerrado al máximo hacia el norte, con galerías laterales 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 grados en relación con sus lindes. Esto permite instalar la galería del invernadero bien orientada. Y 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. Y 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: 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 hace millones de años todo esto. 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, 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 son conscientes de todo esto. Sí 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 anteriores ejemplos participan de la evolución de las ideas en arquitectura. Pues la arquitectura es 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 trascendido 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 pasado siglo 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, urbanística, ya debería ser regla obligada, sobre todo en las áreas urbanas. Ideal 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 (Figura 5).

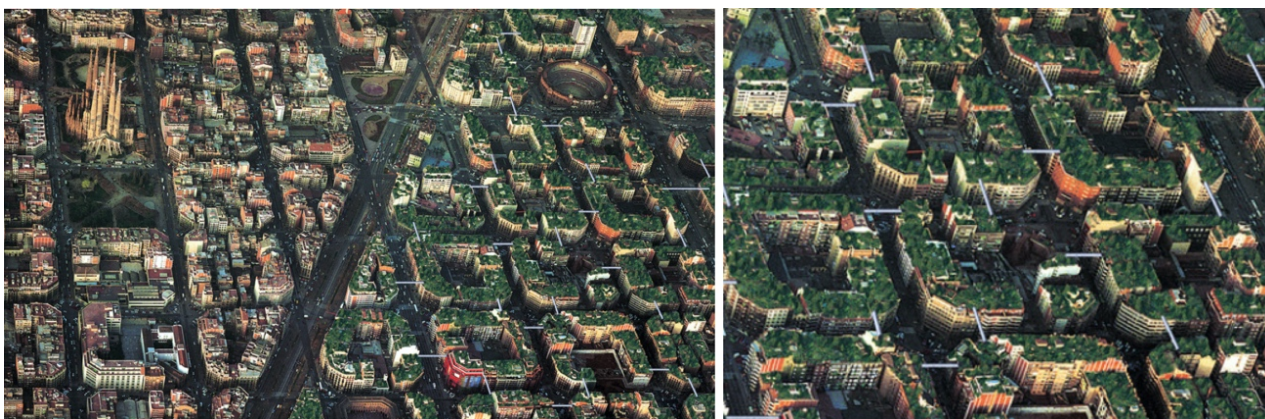


Figura 5. Alberto T. Estévez, *Green Barcelona Project*, Barcelona, 1995-98: gran parque interconectado por las cubiertas de los edificios, cuando además Barcelona es la ciudad con menos parques y más densa de Europa.

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. Añadiéndose 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 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

MEDIO AMBIENTE

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

MEDIO AMBIENTE

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

MEDIO AMBIENTE

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.

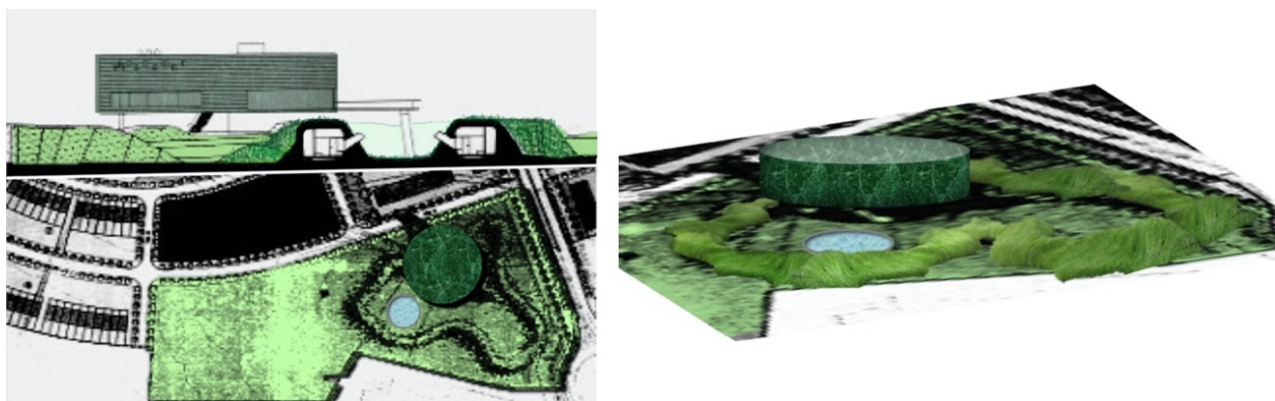


Figura 6. Alberto T. Estévez, *Hotel, Salou*, 1999: las habitaciones están en el interior de una “colina” verde continua, alrededor de un espacio central abierto con la piscina y el solárium.

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 (Figura 6) hasta una granja de vacas (Figura 7 y 8). 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.



Figura 7. 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.

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. 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 (Figura 9), involucrando además las variaciones de color que son específicas del líquen.



Figura 9. Alberto T. Estévez - Genetic Architectures Office, *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. 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, 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 (Figura 10). 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.

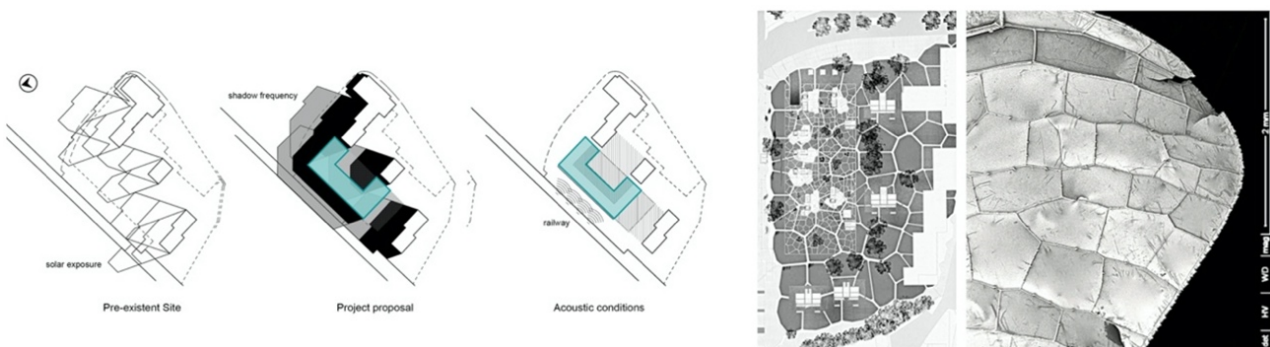


Figura 10. Alberto T. Estévez - Genetic Architectures Office, *Edificio de viviendas solar pasivo*, Innsbruck, 2014. De izquierda a derecha, estudios previos de la situación de los edificios, en pos del mejor asoleamiento, la planta principal con un voronoi 2D, y un detalle de ala de libélula a la derecha (91x) con un voronoi 2D.

Mientras tanto, en la línea del bioaprendizaje (ahora que en todas partes la discusión es la del aprendizaje automático: *machine learning*), la investigación de estructuras primigenias y genesiacas con un microscopio electrónico se vuelve relevante para un arquitecto: 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. Y 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 (Figura 10, 11 y 12), que se decidió desarrollar en base a una estructura voronoi.



Figura 11. Alberto T. Estévez - Genetic Architectures Office, *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.

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 (Figura 12). 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, en 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.

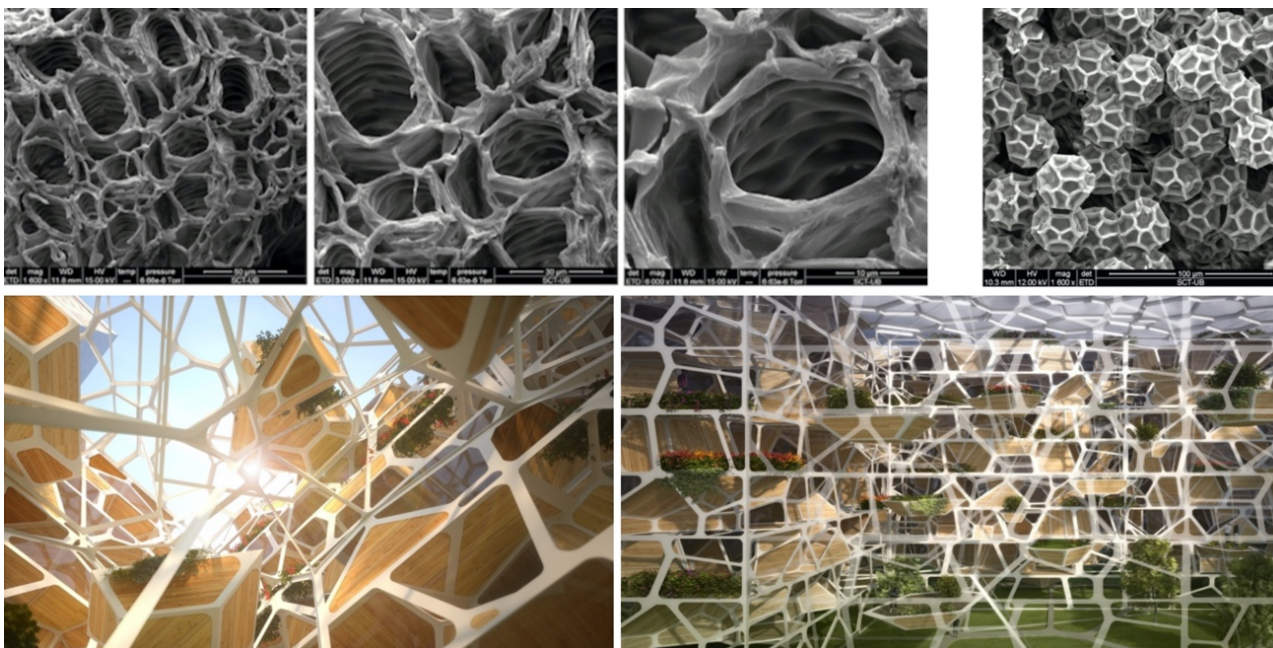


Figura 12. Alberto T. Estévez - Genetic Architectures Office, *Edificio de viviendas solar pasivo*, Innsbruck, 2014. Arriba, sección de cactus (1600x, 3000x, 6000x) y granos de polen (1600x), con voronoi 3D interior y exterior respectivamente (fotos: Alberto T. Estévez). Abajo, vistas de las estructuras de voronoi 3D del edificio, que soportan huertos urbanos y jardines colgantes.

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), los comunes. Con las mismas palabras antes dichas, también aplicable a los recursos, son estos los más “naturales”, sostenibles, económicos y democráticos, renovables y ecológicos. Y, por otro lado, aplicando 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. Hay muestras de fractalidad que se ven a simple vista, en diferentes plantas, por ejemplo. 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 (Figura 13). 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.

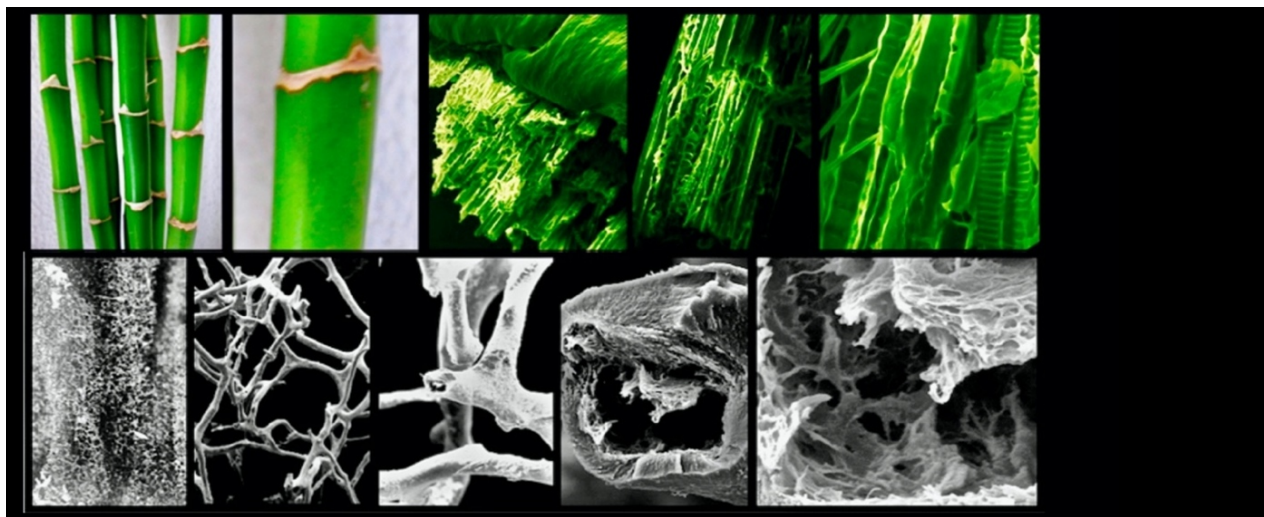


Figura 13. Alberto T. Estévez. Arriba, bambúes (x1, x1, x200, x400, x3000). Debajo, esponjas marinas (x1, x100, x400, x3000, x7000), 2008-09. Fotos con microscopio electrónico que permite apreciar la fractalidad.

Entonces, 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 (Figura 14, 15 y 16).



Figura 14. Alberto T. Estévez - Genetic Architectures Office, *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).

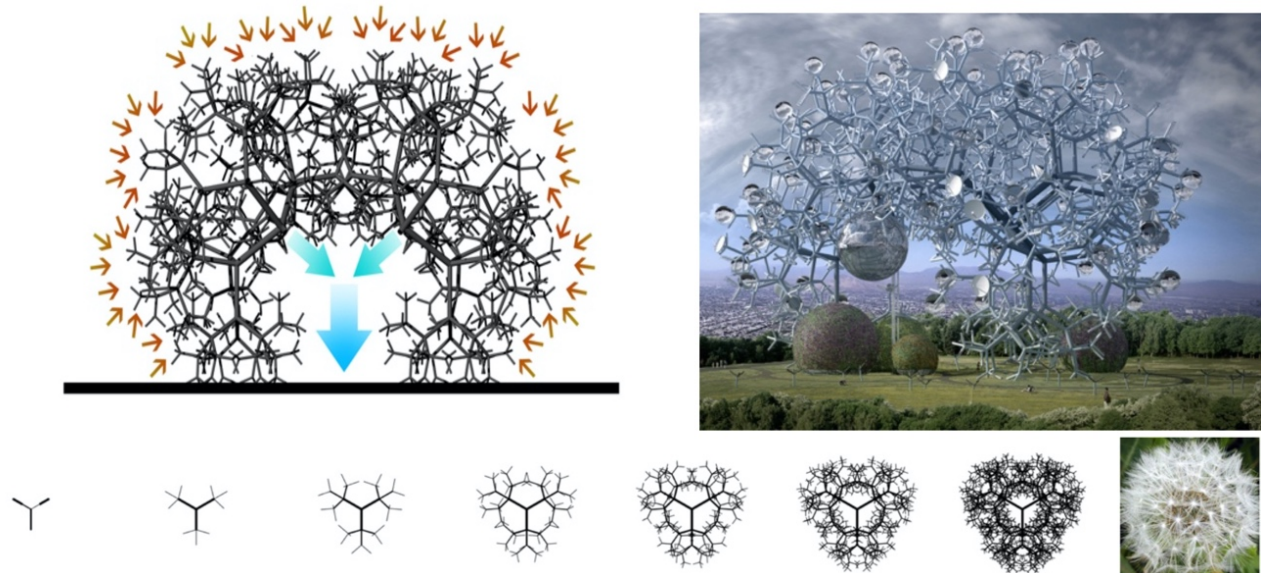


Figura 15. Alberto T. Estévez - Genetic Architectures Office, *Torre de telecomunicaciones*, Santiago de Chile, 2014. Desarrollada digital y fractalmente, es al mismo tiempo una “máquina de purificar el aire”. Aunque tal singularidad es sólo un hecho simbólico, debido a la aguda contaminación que sufre 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 (Figura 16). Queda pues como una corona, en lugar de una de esas torres de telecomunicaciones que pueblan tantas montañas y horizontes de ciudades.

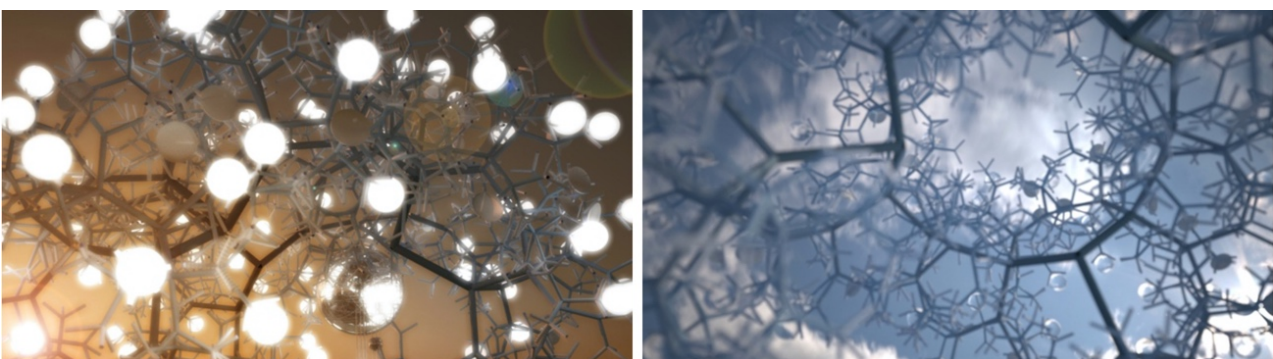


Figura 16. Alberto T. Estévez - Genetic Architectures Office, *Torre de telecomunicaciones*, Santiago de Chile, 2014. Por la noche, las luminarias esféricas rodean la superficie del edificio en su último nivel fractal. De día, los colectores solares esféricos del mismo tamaño y colocados en el mismo 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 “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 contra ello. Y 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: 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 de sostenibilidad inimaginables. 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. Y 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, su hábitat. Por esta razón se creó el año 2000 el Grupo de Investigación “Arquitecturas Genéticas” y el Máster en Arquitectura Biodigital, así como un Programa de Doctorado. Entonces, por primera vez en la historia, genetistas y arquitectos comenzaron a colaborar y a establecer objetivos de investigación genética aplicados a la arquitectura. Y 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 (Figura 17).



Figura 17. 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 (Figura 18). 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.

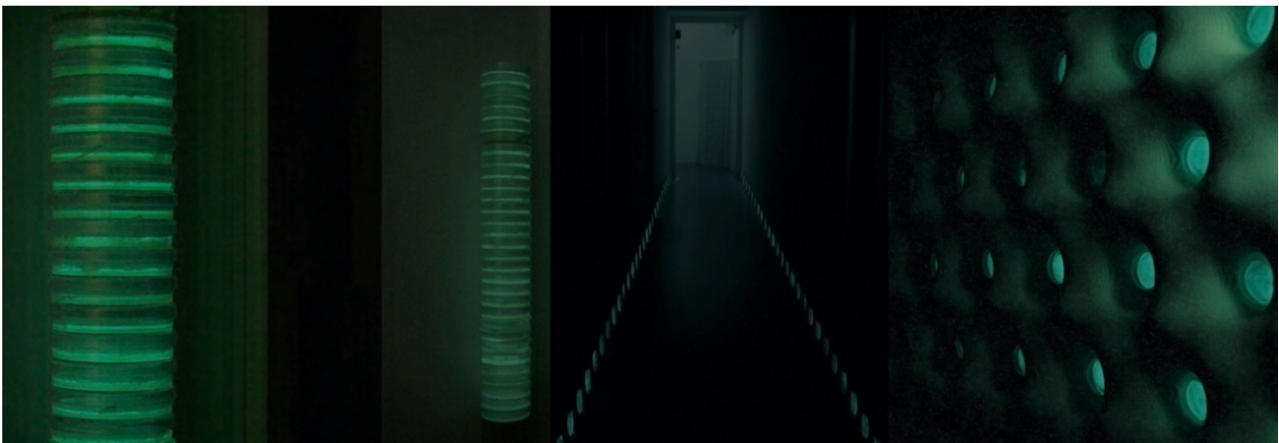


Figura 18. Alberto T. Estévez, *Biolamps*, 2007-2008. La primera casa sistemática y completamente iluminada con “luz viva” bacteriana (fotos del autor, tomadas con una cámara réflex convencional, tal cual lo ve el ojo humano).

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* (Figura 19). Objetivos arquitectónicos con la aplicación de la genética: investigar el control genético del crecimiento, para desarrollar células vivas que se conviertan en materiales de construcción y espacios habitables. “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 19. 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, cuando surgió este proyecto de las *Sporopollenin Houses* (Estévez, 2009): 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 ni se pudre, ni se oxida, ni se deshace, aunque pasen miles de años. Aquí es cuando su durabilidad se hace relevante para la arquitectura.

3. 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, una posible conclusión es 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 biología, genética, computación, arte, arquitectura, diseño, ingeniería civil. Estamos explorando las

fronteras del conocimiento. Y un punto de cruce interdisciplinar 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, juntos investigando 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. Esta nube de palabras, 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.

¿Que 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. Tenemos que cambiar nuestra realidad con vida.

Esto 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, vida para salvar vidas. 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: 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: 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 inteligentes (*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. Ya hoy 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 (Figura 20).



Figura 20. 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 y 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 responsable. 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. Cuando es necesario desarrollar un pensamiento crítico hacia el 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. Esto es lo que el *Zeitgeist* 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 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

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 Arquia.

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.