

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Arquitectura



Biomimética y procesos contemporáneos de diseño arquitectónico

Tesis

Que para obtener el título de:

Arquitecto

Presenta:

José Enrique Villegas Chávez

México D.F. 2013

Directora de tesis:

Arq. Carmen Huesca Rodríguez

Sinodales:

M. en Arq. María de los Ángeles Vizcarra de los Reyes

M. en Arq. Luis Fernando Guillén Oliveros

Arq. José Guadalupe Nuñez Lua

Arq. Francisco Hernández Spínola



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Gracias a las personas que en el camino de esta meta estuvieron a mi lado, a mis padres que en todo momento creyeron en mi y que cada día han estado alentándome para ser una persona mejor, a mi hermano quien ha sido un excelente compañero y una gran inspiración para mi vida y a toda mi familia que siempre me ha brindado su cariño y apoyo incondicional.

Gracias también a todos aquellos maestros que me han permitido, a través de sus conocimientos y enseñanzas, emprender una carrera profesional y descubrir mi pasión por la arquitectura. Y finalmente, gracias a todos mis compañeros y amigos de quienes aprendía cada día y con quienes pude compartir grandes experiencias, noches de trabajo y logros en común.

índice

Introducción	6	117	Procesos
Antecedentes	13	121	Arquitectura; utopía y distopía
Contrastes ambientales	17	139	Diseño paramétrico
Recursos vitales	22	149	Proyecto de aplicación
Agua	33	177	Conclusiones
Aire	40	190	Fuentes de consulta
Producción de alimentos	46	196	Índice de ilustraciones
Desarrollo energético	53		
Estrategias	63		
Sustentabilidad	67		
Bioclimática	77		
Ecología	87		
Biomimética	97		

introducción

La humanidad se encuentra frente a un periodo de innovaciones tecnológicas donde las formas de vida comienzan a transformarse radicalmente, la manera de transportarse demanda nuevas estrategias y otro tipo de infraestructura; las comunicaciones se volvieron indispensables en cualquier ámbito, ya que han sido una pieza clave de la globalización y han servido para poder agilizar procesos, ¿por que suponer un periodo de transición?

Sin hacer una revisión exhausta de la historia es claro que la tecnología y las técnicas hoy disponibles marcan un nuevo rumbo en el desarrollo, sin embargo, este desarrollo significa también un deterioro del ambiente por la depredación incontrolada y desmedida, de los recursos naturales, lo cual ha provocado la alteración de los ecosistemas, poniendo incluso en riesgo a la especie humana.

Muchas veces el papel de los arquitectos ha sido la búsqueda de la funcionalidad y la espacialidad adecuada, sin considerar las edificaciones donde aquel carácter óptimo se vuelve instantáneo y efímero ¿Quién determina entonces lo óptimo y quién debería hacerlo?

Existe una inherente voluntad o intención en las edificaciones, un grupo de arquitectos del siglo pasado vinieron a enmarcar ese rasgo egocéntrico, el movimiento

moderno tenía la postura de enseñar a vivir por medio de la arquitectura, lamentablemente, esta etiqueta ha perdurado en las intenciones arquitectónicas hasta el presente. Para algunos ese planteamiento continuó en la posmodernidad y se cree que no ha sido superado, otros sólo reconocen la modernidad fallida.

El actual contexto histórico demanda, más allá de la forma, intenciones de diseño bien definidas fundamentadas en el aprovechamiento de los recursos, así como en la racionalización de la materia y la energía en los procesos arquitectónicos.

Se ha decidido fundamentar este estudio principalmente en los ámbitos de consumo, además de las formas de habitar dentro de las ciudades y el empleo de los principales recursos vitales.

Al ser la industria de la construcción una de las más contaminantes será recomendable tener en cuenta las cadenas de producción de los materiales y reconocer cómo todo esto resulta altamente contaminante en su proceso.

Las áreas urbanas por lo general resultan ser las zonas donde mayores desechos se generan, esto se ve reflejado en la calidad del aire y el agua, lo cual conlleva también al estudio de la producción de los alimentos, pues todo es parte de una compleja cadena de producción que depende de ecosistemas que han sido afectados y donde el uso de la energía remite, evidentemente, a la forma en como se produce y se utiliza.

Se han forjado grandes civilizaciones y se han tenido inmensos logros en el desarrollo de las ciudades, curiosamente, es la especie humana considerada la más avan-

zada en su evolución; sin embargo, en la mayoría de los casos, ha sido incapaz de metabolizar sus desechos para regresarlos al medio integrándolos a ciclos naturales.

Actualmente el concepto de sustentabilidad es cotidiano, y es posible que se entienda de dónde viene y hacia dónde va. El término se ha venido desarrollando como una estrategia para mejorar las condiciones ambientales, sin embargo, hoy en día se utiliza como un adjetivo para denominar a una serie de actividades o productos que poco tienen que ver con un desarrollo viable y ecológicamente responsable ¿Cómo determinar que algo es sustentable?

Se observará que grupos de arquitectos se han preocupado por dar salida al término con una postura muy clara; asimismo, en el ámbito de la construcción se busca por medio de sistemas bioclimáticos; una estrategia de diseño enfocada en la configuración según el contexto, en el aprovechamiento de los recursos y la implementación de nuevas tecnologías para brindar espacios confortables principalmente al interior de las edificaciones.

Finalmente se decidió abordar el tema de la ecología con la intención de entender con claridad las vertientes que ha tenido en los últimos años y explicar por qué el concepto de ecología profunda será fundamental para desarrollar la arquitectura de manera integral.

La mayor parte de los individuos se ha desarrollado dentro de las ciudades, algo que suponen como su hábitat —natural o no—, lo que ha significado grandes avances a lo largo de la historia, es aquí donde se ve reflejada de manera latente la evolución humana.

La arquitectura es un sistema aparentemente autó-

nomó: brinda refugio al hombre, espacios para vivir y es un contenedor de actividades específicas que se modifican a través del tiempo; sin embargo, también es la materia prima de las ciudades, pues las configura a través de su función y espacialidad, por ello es importante considerar su estudio y desarrollo a diferentes escalas.

Muchos arquitectos se han enfocado principalmente en lo figurativo y en la funcionalidad, hoy la habitabilidad demanda nuevos planteamientos que van más allá de considerar la forma y la función. La arquitectura funge como un subsistema de la ciudad y a la vez la ciudad forma parte de otros sistemas más complejos, en última instancia es parte de un ecosistema, por lo cual la arquitectura no puede ser encasillada en las categorías primarias, pues se ve obligada a responder de manera eficiente y responsable con el entorno.

En todo momento la naturaleza ha servido de inspiración para el hombre a través de las formas de la flora y la fauna, las cuales han estado presentes en el arte, en el diseño, en la arquitectura y en la cotidianidad, sin embargo, la humanidad ha inventado también conceptos que le han servido para su evolución, teorías que buscan explicaciones, convencionalismo y parámetros que han servido para construir el entorno, por una parte la línea recta ha colmado la evidente imperfección del ser humano pues no existe en la naturaleza.

Muchas de las nuevas propuestas arquitectónicas ha resultado burdas copias de lo natural, puesto que se enfoca únicamente en la forma y no en el por qué o en el entendimiento de los ecosistemas.

La biomimética surgió como una disciplina que ayuda y plantea estrategias de diseño enfocadas en la forma de cómo las especies resuelven su vida y habitan; algunas de estas estrategias estudian la forma de los organismos, pero ¿qué tan viable son los planteamientos de esta disciplina y cómo se han modificado los procesos de diseño con respecto de estas estrategias? Se observará que ya comienzan a desarrollarse proyectos con este nuevo enfoque encaminados no sólo a producir nuevas formas sino a preservar los ecosistemas a través de la implementación de los recursos y las tecnologías de maneras diferentes.

Los procesos contemporáneos para desarrollar la arquitectura se están viendo sumamente modificados, pues las herramientas se están configurando cada vez más en el uso de los sistemas digitales, si bien el imaginario va más allá de lo que se podría construir, es importante desarrollar fundamentos pues la arquitectura no es simplemente la voluntad de un individuo por producir.

En la búsqueda de un nuevo paradigma de diseño, las formas y los procesos naturales obligan también a desarrollar la arquitectura a otro nivel, donde la complejidad de las formas, las tecnologías y el mundo acelerado demandan la utilización de herramientas digitales que ayuden a materializar las propuestas tratando de adelantarse al resultado, buscando un diseño donde los recursos y la materia sean pensados en el devenir.

antecedentes

*Una sociedad se define no sólo por lo que crea,
sino por lo que se niega a destruir.*

Jhon Sawhill

Img. 1. Fotografía aérea de la ciudad de Chicago.



contrastes ambientales

En los últimos años se han generado cambios drásticos en el ambiente, modificaciones alarmantes que alteran el desarrollo de la vida en el planeta poniendo en riesgo la existencia de ecosistemas enteros, incluyendo, aquellos en los que se encuentra la especie humana.

La especie humana se ha desarrollado a lo largo del planeta en diferentes condiciones ambientales, y a pesar de que tratamos de adecuar nuestro hábitat a las características del sitio, la humanidad sigue siendo la especie más devastadora generando con su huella contrastes en el ambiente.

Los constantes cambios atmosféricos, las modificaciones en la corteza terrestre y las formas de vida contemporáneas en las zonas urbanas son más adversos para el desarrollo humano provocando desastres devastadores; si bien las metrópolis son el reflejo de la constante evolución de las formas de vida humana, son vulnerables ante ciertos fenómenos naturales poniendo a prueba la eficiencia del ingenio, la técnica y los modelos de organización social.

De cualquier manera, la historia ha demostrado que todas las formas de vida son de gran fragilidad y correrán mayores riesgos si no se adaptan eficientemente a los cambios constantes del medio.

En comparación con las demás formas de vida en la Tierra, la especie humana cuenta con un gran potencial creativo y una forma particular de contrarrestar las adversidades del medio natural; sin embargo, es esta la especie más devastadora y la que atenta en mayor medida contra cualquier otra especie que contribuye al desequilibrio de los ecosistemas. Por ello, en los próximos años será imprescindible desarrollar estrategias para un desarrollo que preserve la vida y el medio natural.

Los expertos en la materia hablan de un deterioro difícilmente reversible en la capa de ozono a causa de la excesiva producción de CO₂ afectando los niveles de temperatura y modificando la calidad atmosférica que permite el desarrollo de los ecosistemas. Asimismo, se encuentran mares contaminados por derrames de residuos tóxicos o regiones erosionadas a causa del consumo de materia orgánica de manera desmedida, además de ciclos meteorológicos inestables difícilmente predecibles, y una serie de factores que repercuten en los procesos cíclicos y en el desarrollo de cualquier forma de vida.

El planeta Tierra se encuentra sujeto a diversos factores externos que determinan su condición dentro del sistema solar, por ejemplo: las variaciones en la órbita, la influencia de campos magnéticos y el viento causado por la radiación solar. Estos factores producen cambios y alteraciones constantes que propician condiciones cambiantes

en la superficie del planeta donde se desarrolla la biosfera.

Existen diversas teorías sobre el rumbo del planeta y los ciclos que condicionan sus características. Los científicos, a través de los llamados archivos naturales,¹ han determinado que la Tierra ha tenido contrastes ambientales entre dos estados o condiciones climáticas. Al primer estado se le denomina fase glacial, la Tierra presenta un clima frío y llega a cubrir extensas regiones con hielo, especialmente en los polos; en la segunda fase, llamada interglaciar, la Tierra presenta un clima más cálido.

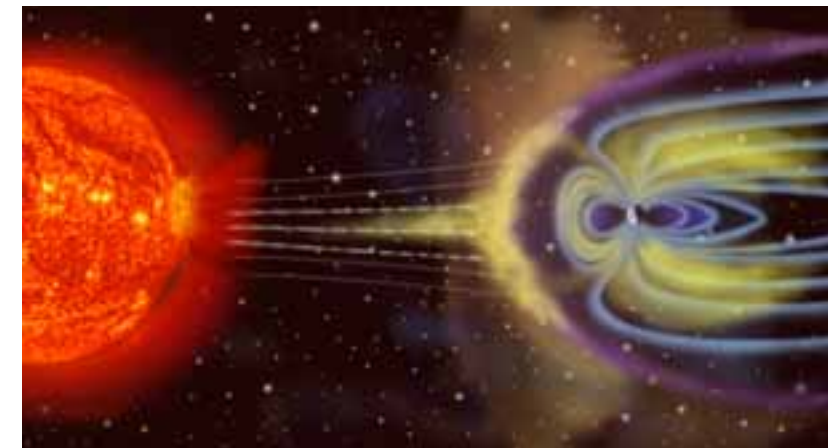
Se considera que en la actualidad el planeta se encuentra en un periodo interglaciar nombrado holoceno que inició hace 10,000 años, el registro más antiguo que se tiene de un eón geológico² es de hace 2,000 millones de años, en la época del proterozoico y corresponde a una fase glacial.

Dicho planteamiento sugiere que los cambios en la Tierra han sido notables y de gran escala, por lo cual no se puede descartar que hoy las drásticas transformaciones del planeta sean parte de un proceso natural.

Son diversos los factores exógenos y endógenos que

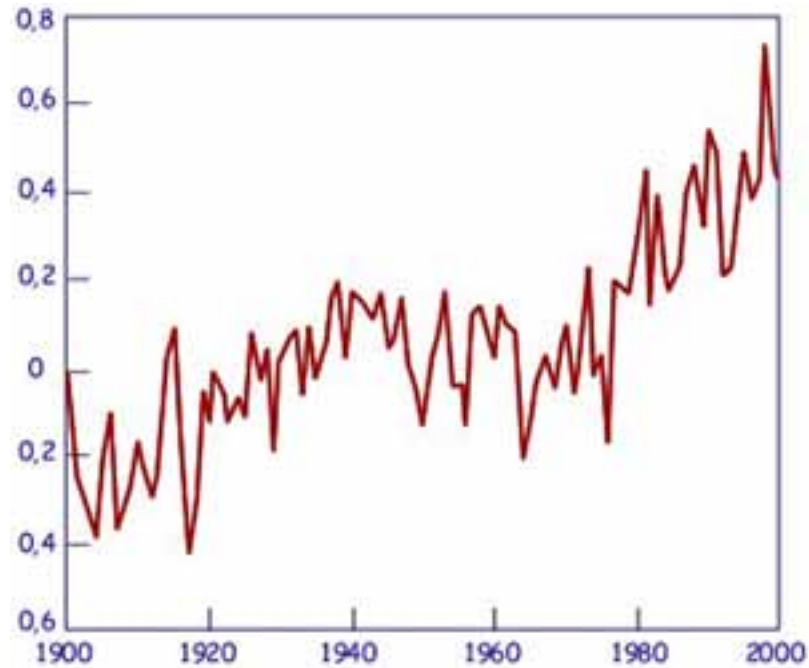
1. Se denomina archivo natural a cualquier componente donde se encuentren registros de las modificaciones que ha sufrido la Tierra a través del tiempo, por ejemplo: el hielo en los glaciares, los anillos en los árboles, los sedimentos acumulados en el fondo del océano y lagos, entre otros.

2. Un eón geológico se refiere a cada una de las divisiones mayores de tiempo de la historia de la Tierra, desde el punto de vista geológico y paleontológico. El límite tras un eón y el sucesivo debe ser un cambio fundamental en la historia de los organismos vivos.



Img. 2. Existen diversos factores exógenos que configuran las condiciones atmosféricas de la Tierra. El viento solar, por ejemplo, es un fenómeno constante que juega un papel importante en la configuración del campo magnético de nuestro planeta.

Img. 3. Evolución de la temperatura global media anual durante el siglo XX a partir de termómetros de superficie en °C. Se parte de un valor de referencia 0 en 1900. GISS, NASA.



modifican la composición de la Tierra; sin embargo, es claro que no se pueden modificar los factores exógenos y existe un periodo de transición respecto a las formas de vida, por eso es importante mencionar que dichos cambios determinan el porvenir de los ecosistemas y también el desarrollo social y económico en el que se encuentra la población mundial.

Estos sucesos reconfiguran los rasgos culturales de cada región y comienzan a dibujar un panorama difícil de comprender y con expectativas alarmantes, que obligan a reflexionar sobre las medidas de producción y consumo.

Si bien, no se sabe con certeza hasta que punto el desarrollo humano ha influido en dichos contrastes ambientales, es evidente que los cambios y malestares de los que se hace mención han sido discutido y analizados desde dife-

rentes puntos de vista, dejando claro que la civilización se encuentra en una delicada situación que debe ser afrontada de manera racional mediante la integración responsable del desarrollo humano en el planeta, por medio de estrategias sustentables, pues a partir de ello se podría garantizar la supervivencia y la calidad de vida a nivel mundial.

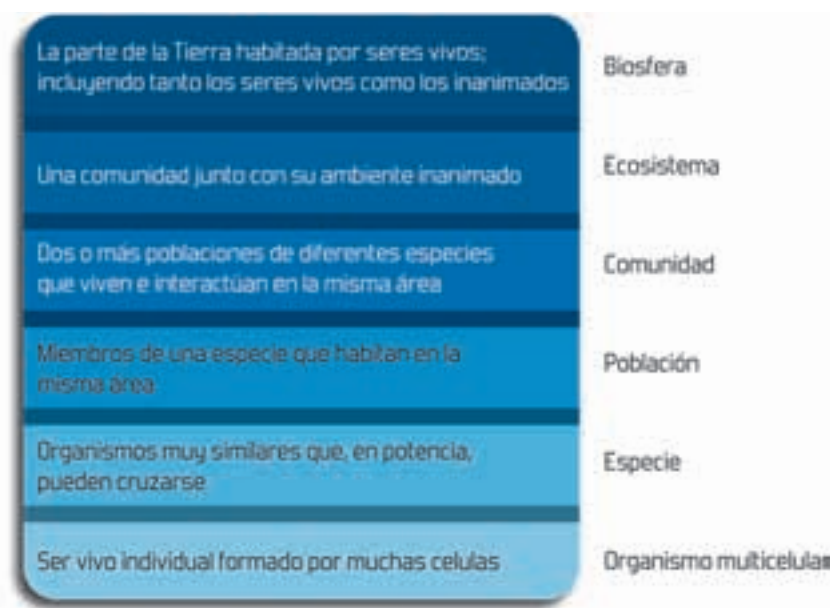
Img. 4. La Tierra parece ser un lugar cada vez más árido y desolado. Imagen satelital, enero 2012.



recursos vitales

Al referirse a la persistencia de la vida en el planeta es importante tener en cuenta cuáles son las características del medio y cuál es el papel que juega dentro de los ecosistemas, pues cada acto conlleva una modificación en menor o mayor escala.

Img. 5 . Niveles de organización de la materia. Existen niveles superiores e inferiores de organización, las interacciones entre los componentes de cada nivel y los niveles inferiores permiten el desarrollo del siguiente nivel con mayor grado de organización.



Características primordiales de los seres vivos³

- Tienen una estructura compleja organizada, que consta en buena parte de moléculas orgánicas
- Responden a los estímulos de su ambiente
- Mantienen activamente su compleja estructura y su ambiente interno; este proceso se denomina homeostasis
- Obtienen y usan materiales y energía de su ambiente y los convierten en diferentes formas
- Crecen
- Se reproducen utilizando un patrón molecular llamado ADN
- En general poseen la capacidad de evolucionar

Cuando se habla de la vida, desde el punto de vista científico, se entiende que está basada en propiedades emergentes a partir de complejas interacciones ordenadas; una de las características de ésta, es que los seres vivos obtienen y emplean la materia y la energía del ambiente a través de diferentes procesos.

En biología, a esa materia se le denomina nutrimentos, de los cuales los organismos se alimentan y adquieren los átomos y moléculas que necesitan del agua, el suelo u otros seres vivos, así dichos recursos son vitales para la existencia y el desarrollo de la vida.

Es por ello, que diferentes especies en conjunto con su medio forman lo que se denomina ecosistema, en él los organismos coexisten en un determinado ambiente y forman un entramado de ciclos en constante movimiento.

3. AUDESIRK, Teresa; AUDESIRK, Gerard E.; BYERS, Bruce. *Biología 1. Unidad en la diversidad*. México: Prentice Hall, 2003. pág. 2-6.

Sin embargo, la capacidad de adaptación y supervivencia de las especies está constantemente a prueba, ya que a lo largo de la historia de la vida en la Tierra se observa que ciertas especies han desaparecido y otras evolucionan para adaptarse a las condiciones de su medio.

Estrictamente, la evolución está relacionada con la estructura genética de los organismos y los cambios a través de las generaciones, de esta forma, la alteración o modificación inmediata de la fisonomía no es un método de adaptación o desarrollo.

En la biología evolucionista se han estudiado la forma en que las especies expanden o contraen el ambiente que ocupan, algunas especies son muy exitosas y ocupan muchos ambientes diferentes y se dispersan rápidamente, en tanto que otras están disminuyéndose camino a la extinción, estos dos procesos son esencialmente procesos evolutivos.⁴

Cuando se habla del desarrollo humano se observa que las formas de vida a nivel social y cultural se han modificado constantemente, gracias al progreso de la ciencia y la tecnología que influye en los crecientes asentamientos

4. Entrevista realizada en julio del 2005 al Dr. Máximo Pigliucci, profesor en el Departamento de Ecología y Evolución de la Universidad Estatal de Nueva York. actionbioscience.org consultado en junio del 2011.

Img. 6. Población mundial por países. Octubre 2011 (7000 millones de habitantes).



Img. 7. El crecimiento demográfico se registra en mayor medida en las ciudades y se pronostica que para el año 2030 el 80% de la población mundial estará concentrada en zonas urbanas. División de Población de la ONU.

humanos y las grandes urbes formando parte de un proceso evolutivo, y aunque cumplen con aquel planteamiento primitivo de albergar y dar protección, han transformado el medio causando daños dentro de otros ecosistemas.

Hoy en día, la mitad de la población mundial vive en ciudades. La mayor parte del desarrollo humano se encuentra concentrado en una mínima porción del planeta que ocupa entre el 3 y el 4% de las tierras emergidas, sin embargo, las zonas urbanas han alterado casi por completo la Tierra y se considera que sólo el 17% de las zonas no heladas del planeta no presentan signo de uso u ocupación humana.

Para que los seres bióticos coexistan es necesario que sean propicias las condiciones en el entorno, especialmente, que existan los recursos necesarios para que las cadenas y ciclos estén completos. La humanidad es una de las grandes especies predadoras de los recursos en la Tierra, sobre todo, de aquellos que no son renovables, ya sea para cumplir necesidades básicas como la producción de alimentos o requerimientos más complejos como la generación de energía eléctrica.

Difícilmente se han tomado en cuenta los análisis del costo-beneficio que tiene la obtención y el implemento de estos recursos, ya que a partir de la Revolución Industrial los modelos de producción y consumo (de textiles, del acero y el transporte) trajeron consigo una desmedida explotación de los recursos y problemáticas sujetas a factores económicos y políticos que han sido persistentes hasta hoy y que poco a poco se modificaron y han formando parte esencial del mundo globalizado.

Andres R. Edwards considera que el planeta se encuentra en un periodo de transición al cual denomina Revolución Sustentable, que por medio de diversas acciones y organizaciones con metas en común hacen frente a los problemas ambientales que hoy en día aquejan a la sociedad.⁵

Este periodo se encuentra en un proceso que ha modificado las comunicaciones, las finanzas, el transporte, la medicina, la construcción y primordialmente fomenta la aplicación de energías renovables y el uso eficiente de los recursos vitales.

5. EDWARDS, Andres R. *The Sustainability Revolution: Portrait of a Paradigm Shift*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2009.

Img. 8. El Parque Nacional Desierto de los Leones, con 1866 hectáreas es uno de los más importantes en la historia de la Ciudad de México.



Hablar de los recursos en la Tierra significa, en mayor medida, hablar de los servicios de la naturaleza, procesos por los cuales los ecosistemas producen recursos que a menudo son infravalorados, por ejemplo: el agua limpia, la madera, el hábitat de diversas especies y la polinización de las plantas.

De esta forma la salud y el bienestar de la población humana depende de los servicios que los ecosistemas y sus componentes proveen: los organismos, el suelo, el agua y los nutrientes.⁶

El papel de los habitantes del planeta es de suma importancia, pues las acciones en de la industria de la construcción serán claves en la producción y consumo de los recursos; por tales motivos, ahora son utilizadas las energías renovables y se ha planteado que, al final de su vida útil, los componentes de los sistemas edificados sean reintegrados al medio natural, siendo esta una medida donde los recursos anteriormente empleados se integren nuevamente a los ciclos naturales de producción y consumo.

Img. 9. La naturaleza provee de recursos para la vida en cualquier ambiente y a diferentes escalas produciendo complejidad en los ecosistemas.

6. Sociedad Americana de Ecología (*Ecological Society of America, ESA*). actionbioscience.org y esa.org consultado en junio del 2011.

La evolución de los asentamientos humanos tendrá que ser estudiada y planeada cuidadosamente, pues se observa que las zonas rurales decrecen en tanto que las megalópolis continúan expandiéndose de manera desmedida, y además, es en las ciudades donde se consume la mayor cantidad de los alimentos que se producen.

7. Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2005. En: *Edición especial National Geographic en español*. México, 2008, pág. 55.

“ Toda la humanidad depende de la naturaleza y de los servicios de los ecosistemas para poder disfrutar de una vida digna, saludable y segura ”.⁷

Es primordial planear estrategias que permitan preservar los servicios de la naturaleza, especialmente los relacionados con el agua y el aire y diseñar mecanismos para incrementar la producción de recursos, esencialmente de alimentos, dentro de las zonas urbanas.

Img. 10. *Seoul Commune 2026*, propuesta de comunidad sostenible, proyecto que plantea nuevas formas de habitabilidad y el manejo responsable de los recursos del medio. Mass Studies, 2005.



Los servicios de la naturaleza⁸

Zonas polares 23 millones de km² 1 habitante/km²

El cambio climático mundial se evidencia sobre todo en el Ártico. La extensión del hielo marino llegó a su mínimo histórico en 2007.

Servicios: Aire acondicionado mundial (el hielo y la nieve reflejan el calor a la atmósfera); hábitat de fauna (ballenas, focas, aves, renos, osos polares en el Ártico, pingüinos en la Antártida); potenciales rutas para la navegación en las aguas libres de hielo; recursos para las culturas indígenas. Bienes: Pescado (trucha, bacalao, merluza negra; alimento, techo, abrigo y utensilios de los caribúes; combustible (leña, etcétera).



8. *Edición especial National Geographic en español*. México, 2008, pág. 54 y 55.

Bosques 42 millones de km² 28 habitantes/km²

Son el hogar de más de mil millones de personas y más de la mitad de las especies terrestres

Servicios: Acumulación del carbono; regulación del clima; purificación del suelo, el agua y el aire; control de deslizamientos, inundaciones y erosión; biodiversidad; ecoturismo.

Bienes: Madera, papel, leña; alimentos; plantas medicinales; ratán, bambú, caucho, coco; productos de palma aceitera (madera, aceite de cocina, cosméticos, biodiesel); alimentos silvestres (setas).



Litorales 17 millones de km² 170 habitantes/km²

Se calcula que en 2025 el 75% de la población mundial vivirá a menos de 60 km del mar.



Servicios: Viveros de peces; filtración del agua; control de la contaminación; control de las tempestades y la erosión; áreas de etapa de aves migratorias; arrecifes coralinos; turismo.

Bienes: Peces y mariscos salvajes o de piscifactoría.



Mares y océanos 349 millones de km²

Se estima que en las próximas décadas se identificarán alrededor de dos millones de nuevas especies marinas.

Servicios: Mayor sumidero de carbono del mundo; regulación del clima; alimentos (principal fuente de proteínas para mil millones de personas); biodiversidad; corredores migratorios para especies marinas; gran valor comercial de los productos provenientes de la pesca (72000 millones de dólares; bioprospección (tecnología de fibra óptica de las esponjas marinas); comercio y transporte (90% del comercio internacional de bienes).

Bienes: Potenciales fuentes de energía renovable (olas, mareas, corrientes, viento, térmica); grandes reservas de agua desalada.



Islas 7 millones de km² 86 habitantes/km²

En estos refugios, cada vez más vulnerables a la subida del nivel del mar, viven más de 500 millones de personas.

Servicios: Puntos calientes de biodiversidad; conocimientos tradicionales ecológicos (pesca sostenible, fitoterapia); arrecifes y manglares como protección contra las tormentas (presentes en el 90% y el 75%, respectivamente, de los países insulares en desarrollo).

Bienes: Sustancias de los arrecifes útiles contra el sida; miel; madera.

Montañas 36 millones de km² 38 habitantes/km²

La mitad de los seres humanos depende del agua limpia que baja de las montañas.

Servicios: Protección de las cuencas fluviales; conservación del suelo (terrazas); energía hidroeléctrica; diversidad lingüística; ricas biotas alpinas y acuáticas; extensas áreas protegidas para animales y plantas amenazados; recreo; belleza panorámica.

Bienes: Agua potable; cultivos a distintas altitudes (café, té, arroz, frijol, papas, quinua, mandioca, mijo, sorgo).



Aguas dulces 10 millones de km² 48 habitantes/km²

Menos del 1% del total de agua dulce se halla en lagos, ríos, pantanos y otras fuentes de agua superficial.

Servicios: Regulación del ciclo del agua; transporte; energía hidroeléctrica; control de inundaciones; control de residuos y contaminación; retirada del exceso de nutrientes de la agricultura por la vegetación de las ciénagas; recuperación del agua freática; mitigación del cambio climático.

Bienes: Agua dulce para uso doméstico, industrial y agrícola; pescado salvaje y de piscifactoría; arroz; combustibles (turba, biomasa).



Suelo agrícola 35 millones de km² 116 habitantes/km²

Sólo 30 cultivos cubren casi el 90% de las necesidades alimentarias del mundo.

Servicios: Circulación de nutrientes (lombrices), polinización (abejas), formación de suelos; diversidad de cultivos y de especies ganaderas locales; biocontrol de plagas y malas hierbas.



Bienes: Alimentos básicos (trigo, arroz, maíz); frutas y verduras; cultivos transgénicos (soya, maíz, algodón).



Tierras áridas 60 millones de km² 35 habitantes/km²

Más de dos mil millones de personas viven en tierras amenazadas por la escasez de agua y la desertización.

Servicios: Gran fitodiversidad; retención de humedad del suelo; circulación de nutrientes (termitas); conocimientos tradicionales de ganadería y diversidad genética de cultivos; hábitat de fauna; turismo.

Bienes: Alimentos (cereales, carne, fruta, frutos secos); especies; lana; fibras (algodón, agave); piscifactorías; sustancias orgánicas para medicamentos.



Áreas urbanas 4 millones de km²

Casi la mitad de la humanidad vive en ciudades, "ecosistemas humanos" que ocupan menos del 3% de las tierras emergidas.

Servicios: Una alta densidad demográfica permite mayor eficacia de infraestructura y transportes, y menor extensión de suburbios residenciales; mejor calidad del aire y el agua gracias a espacios verdes y a una legislación medioambiental; recreo en parques, jardines y zoológicos; apoyo a granjas locales.

Bienes: Diversidad cultural; crecimiento económico; centros de enseñanza, cultura y arte; opciones "verdes" (vehículos compartidos).

agua

El agua es vida. Es el caldo salobre de nuestros orígenes, el aparato circulatorio del mundo que palpita con fuerza. Fundamos nuestras civilizaciones a lo largo de costas y ríos poderosos. Nuestro temor más profundo es la amenaza de tener muy poca o demasiada.

Barbara Kingsolver

El agua es el recurso esencial de la vida, sin ella ningún ser vivo podría existir y aunque es el recurso más abundante en nuestro planeta, no todos tienen acceso a él.

Se considera que cada persona necesita entre 20 y 50 litros diarios para satisfacer sus necesidades básicas (beber, cocinar, lavarse, etc.) y a pesar del increíble desarrollo de las urbes, y la infraestructura que poseen, un tercio de quienes habitan las ciudades (más de mil millones de personas) habitan en viviendas sin agua potable, drenaje u otros servicios. Asimismo existen asentamientos irregulares cerca de mares y ríos donde el agua ha devastado miles de viviendas a causa de fenómenos naturales.

La mayor parte del agua que se utiliza es empleada para la producción de alimentos, y en ocasiones, el líquido se encuentra contaminado. Dos terceras partes de este recurso se usan para cultivar alimentos, con 83 millones más de personas en el planeta cada año, la demanda de agua seguirá aumentando a menos que cambiemos nuestra forma de usarla.⁹

9. *National Geographic en español*. México, 2010, vol. 26, núm. 4, pág. 16.

El agua es un recurso que se mantiene en constante movimiento y pasa por diferentes fases, sin embargo, en algunas circunstancias su ciclo tarda mucho tiempo en completarse o en regresar a las condiciones en las que pueda ser aprovechada.

Img. 11. Litros de agua necesarios para la producción de alimentos.



El agua en cifras¹⁰

- 70% de la superficie de la corteza terrestre
- 69.7% del agua dulce está contenida en forma de hielo
- 60% de las moléculas del cuerpo humano
- 70% del consumo mundial es destinado a la ganadería y a la agricultura
- 46% de las personas en el mundo no cuentan con agua entubada en sus viviendas
- 2.5% del agua de todo el planeta es dulce
- 1% está disponible para el consumo humano

Una gran parte de su consumo está destinado a la producción de bienes de todo tipo, a esa porción se le denomina agua virtual. En México para producir un kilogramo de trigo se requieren en promedio 1,000 litros de agua, mientras que para llevar un kilogramo de carne de res a la mesa de una persona, se requieren 13,500 litros.

Se denomina huella hidráulica al volumen total de agua que se utiliza para producir los alimentos y servicios consumidos por un individuo o comunidad y para disolver sus contaminantes.

Por medio de estos dos conceptos se considera que puede ser medido el consumo real de cada persona, de acuerdo al uso de bienes. A pesar de que se podrían calcular millones de litros por personas, el agua regresará de una u otra forma a su ciclo, no obstante, existen problemas de orden sanitario.

10. agua.org.mx
consultado en julio
del 2011.

Img. 12. En abril del 2011 una tormenta inundo parte de la zona conurbada del valle de México colapsando por varias horas la movilidad en la ciudad.



De acuerdo con un informe presentado por la Conagua en 2011 "estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indican que en el mundo anualmente mueren aproximadamente 1.5 millones de niños por enfermedades diarreicas, de un total de 2 500 millones de casos infantiles anuales. Estas muertes infantiles ocurren en su mayoría en países en vías de desarrollo."¹¹

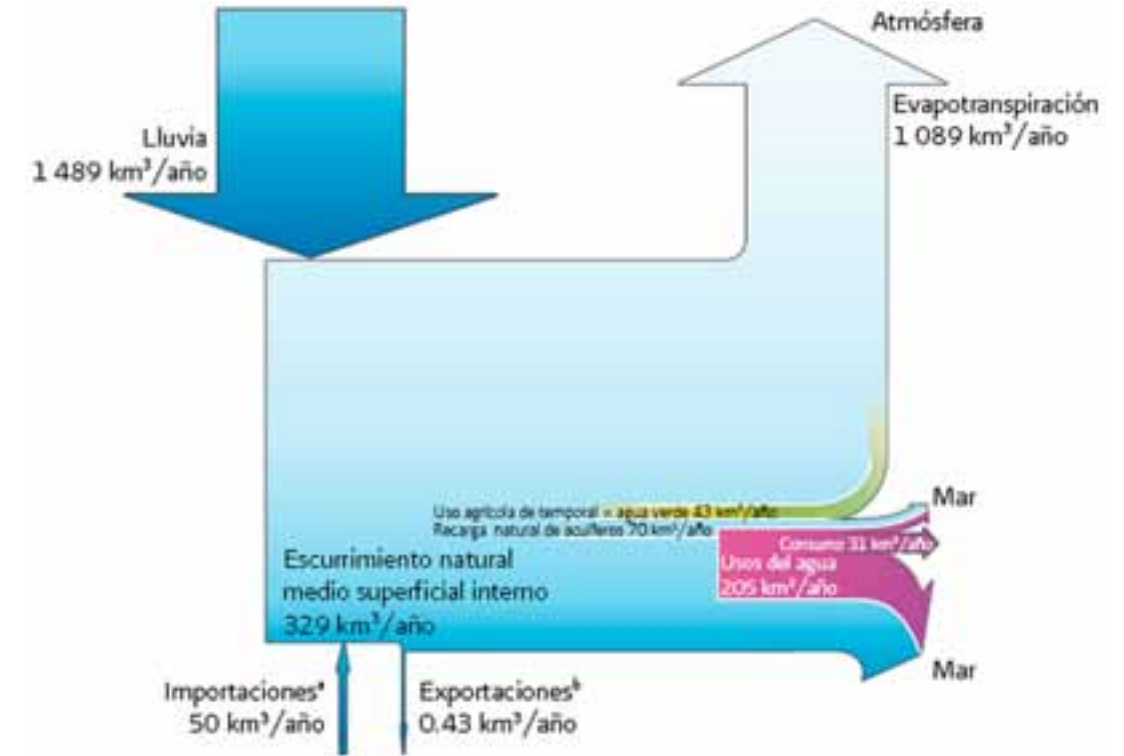
En México se ha determinado que existe una correlación entre el incremento de las coberturas de agua potable y alcantarillado y la disminución de la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en niños.

Por otro lado, uno de los grandes problemas del agua radica en los procesos de obtención y distribución del líquido, el agua dulce que no está contenida en forma de hielo —en su mayor parte se encuentra en los acuíferos que son drenados con mucha más rapidez que la velocidad de recarga natural, especialmente en la ciudad de México— esto resulta un problema de dimensiones mayores, pues es la única megalópolis del mundo asentada sobre un lecho arcilloso que se hunde un promedio de 10 centímetros por año, y se tienen documentadas 25 grandes inundaciones.¹²

11. *Estadísticas del agua en México, edición 2011*. Comisión Nacional del Agua, pág. 125 y 126.

12. National Geographic en español. México, 2010, vol. 26, núm. 4, pág. 26.

La ciudad de México tiene una precipitación media anual de 718.6mm y es importante destacar que constituye una parte fundamental del ciclo hidrológico, ya que produce el agua renovable del planeta, y varía regional y estacionalmente.



Uno de los grandes problemas del agua radica en el proceso de distribución equitativa del líquido y otro las características de los sistemas de drenaje. El valle de México cuenta con dos sistemas de distribución: el Lerma y el Cutzamala, que abastecen cerca de 20 metros cúbicos por segundo, sin embargo, estos sistemas únicamente cubren el 25% de los usos requeridos y el resto del suministro se extrae del subsuelo con 3000 pozos a 450 metros de profundidad.

Img. 13. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico de México (miles de millones de metros cúbicos, km³).

Img. 14. Distribución del Cutzamala en el Valle de México.

Sistema Lerma

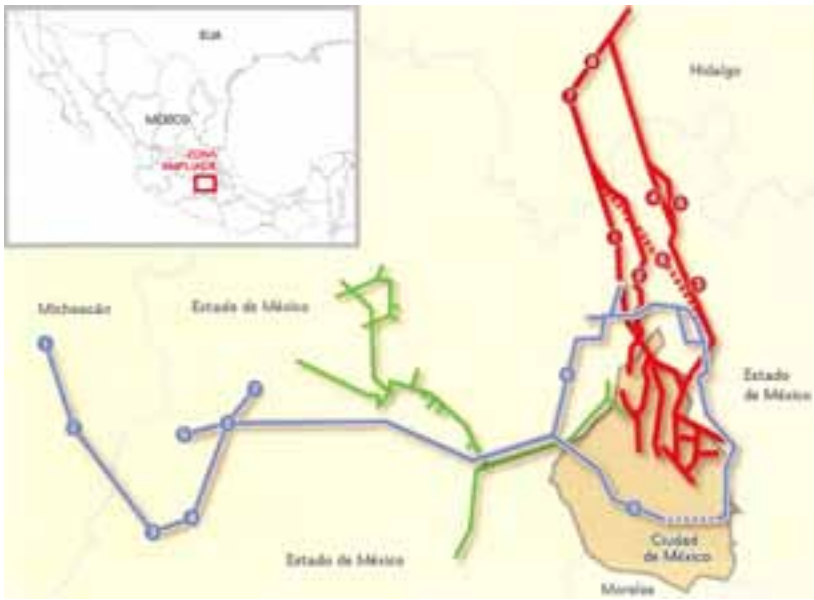
Es alimentado por más de 280 pozos

Sistema Cutzamala

1. Presa Tuxpan
2. Presa El Bosque
3. Presa Colorines
4. Presa Valle de Bravo
5. Planta potabilizadora Los Berros
6. Presa Chilesco
7. Presa Villa Victoria
8. Macrocircuito
9. Acuaferico

Sistema de drenaje metropolitano

1. Túnel Emisor Central
2. Túnel Emisor Poniente
3. Gran canal del Desagüe
4. 1er Túnel de Tequixquiac
5. 2o. Túnel de Tequixquiac (en construcción)
7. Presa Endhó
8. Río Tula



Los sistemas Lerma y Cutzamala "abastecen cerca de 20 metros cúbicos por segundo de agua, aproximadamente 25% de los usos requeridos en el valle. Es decir, contrario a lo que se cree, la mayoría del abasto de agua de la ciudad de México proviene de su subsuelo sobreexplotado y no de estos sistemas",¹³ aunado a esto, el bombeo necesario para vencer el desnivel, ocasiona un significativo consumo de electricidad.

13. *Ibidem*, pág. 29.

Img. 15. Perfil de bombeo y conducción del sistema Cutzamala.



"En 2008, la electricidad empleada fue de 1.29 TWh, lo que representó el 0.6% de la generación total de energía eléctrica del país para ese año, y su costo fue de 1,844 millones de pesos. Por comparación, el costo representó el 6.4% del presupuesto ejercido de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) para ese mismo año."¹⁴

14. *Estadísticas del agua en México, edición 2011*. Comisión Nacional del Agua, pág. 71.

Sin la intención de realizar un análisis profundo, se observa que los grandes problemas del agua radican en la inequidad de distribución, en la forma cómo se emplea y en los recursos energéticos y monetarios que conlleva su transportación. Preservar el agua limpia es uno de los grandes retos de esta era y la tecnología deberá ser capaz de generar sistemas que permitan que el agua permee cualquier ciclo biológico.

Img. 16. Una mujer arroja una ofrenda en el río Mekong, conocido por los laosianos como "la madre de las aguas", durante Boun Pi Mai Lao, la celebración del año nuevo en abril.



aire

Como se ha descrito anteriormente, la preservación del agua como recurso vital resulta de gran prioridad para salvaguardar los ecosistemas, no obstante, es evidente que cualquier cosa existe ocupando un lugar en el espacio y en el tiempo.

Cuando se habla de la biosfera en la Tierra, se refiere a diferentes medios: aéreo, terrestre y acuático. La hidrosfera, que es el sistema material constituido por el agua que se encuentra bajo, y sobre la superficie de la Tierra,

Img. 17. Contaminación ambiental en el Valle de México. 2010.



Clasificación de los contaminantes atmosféricos¹⁵

- Contaminantes primarios: aquellos que son arrojados directamente a la atmósfera como resultado de un proceso de combustión, estos son el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), vapores de combustibles y solventes, plomo (Pb) y partículas suspendidas.
- Contaminantes secundarios: formados por la reacción química de contaminantes primarios en la atmósfera como el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y algunos tipos de partículas.

permea dichos medios, y aunque se encuentran estrechamente relacionados, los dos primeros están contenidos en la atmósfera terrestre. La atmósfera está constituida por una mezcla de gases que permiten que los organismos bióticos no acuáticos existan, a esa mezcla de gases que permite la vida se le ha denominado aire.

El aire limpio está compuesto principalmente por nitrógeno y oxígeno, en pequeñas proporciones se puede encontrar vapor de agua y dióxido de carbono. La contaminación del aire, proviene de la adición de sustancias emitidas a la atmósfera que causan un desequilibrio en la composición original.

El aire contaminado contiene gases, polvos, olores y humos en grandes cantidades que dañan la salud de las personas, animales y plantas. Además, deteriora la infraestructura urbana y algunos materiales de uso cotidiano.¹⁶

15. Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales. semarnat.gob.mx consultado en julio del 2011.

16. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. sma.df.gob.mx consultado en julio del 2011.

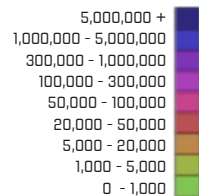
El viento, las variaciones de temperatura, la cantidad de radiación solar y la lluvia son los principales factores meteorológicos que influyen y determinan la distribución, dispersión y concentración espacial de los contaminantes. Las ciudades generan aproximadamente el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero,¹⁷ y aunque algunos consideren que la contaminación del aire no es exclusiva de las grandes ciudades, sí representa uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial.

17. Edición especial National Geographic en español. México, 2008, pág. 70.

La contaminación ambiental, en gran medida, se atribuye a los grandes cambios en el ambiente que, como ya se mencionó, se han producido de manera exponencial desde la Revolución Industrial a causa del uso excesivo de combustibles fósiles.

Hasta hoy, resulta difícil medir con precisión de donde provienen la mayoría de los contaminantes atmosféricos y de qué manera influyen en el deterioro del medio. En 2006, para el informe de la compañía *Megacity Initiative: Local and Global Observations* (MILAGRO) encabezada por el Centro Molina para la Energía y el Medio Ambiente, realizó un monitoreo durante 20 días colocando instrumentos de

Img. 18. Generación de emisiones de CO₂ a nivel internacional. Febrero 2012.



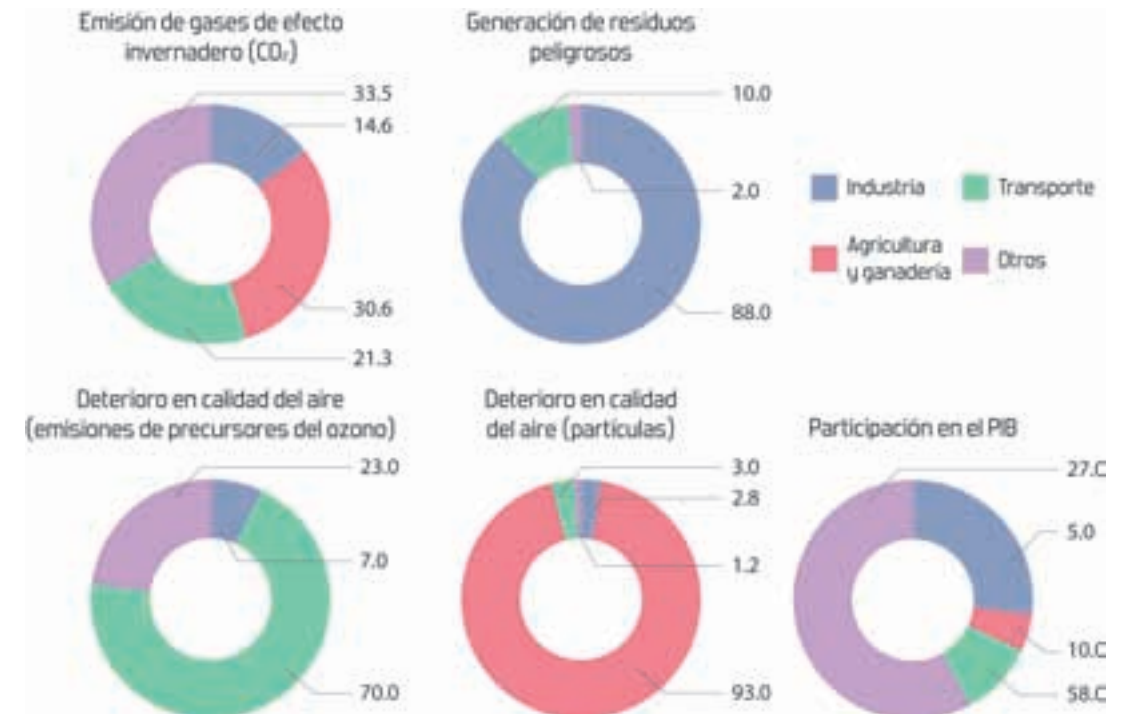
medición en el techo del edificio del Instituto Mexicano del Petróleo. Estos instrumentos determinan el tamaño y la naturaleza química de partículas individuales en momentos específicos. Dicho monitoreo reveló que "la contaminación más dañina no proviene de los escapes de los automóviles, como se pensaba, sino de la industria y la basura quemada."¹⁸

18. ¿Cómo ves? México, 2008, año 11, no. 121, pág. 6.

El estudio demuestra que los procesos de producción industrial junto con el tratamiento de desechos, son los factores que más aportan a la generación de gases de efecto invernadero.

La industria de la construcción es una de las más contaminantes, no sólo en el proceso de producción de materiales, sino también produce desechos sólidos al final de la vida útil de los edificios que difícilmente son aprovechados posteriormente.

Img. 19. Principales procesos de deterioro de la calidad del aire en México. 2008.



El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) a través de su Cuarto Informe de Evaluación, ha determinado que "hay evidencias concluyentes de un cambio climático y de que éste es causado por las actividades, principalmente debido al aumento de gases de efecto invernadero por la quema de combustibles fósiles y la deforestación",¹⁹ y así mismo se prevé para los próximos 100 años.

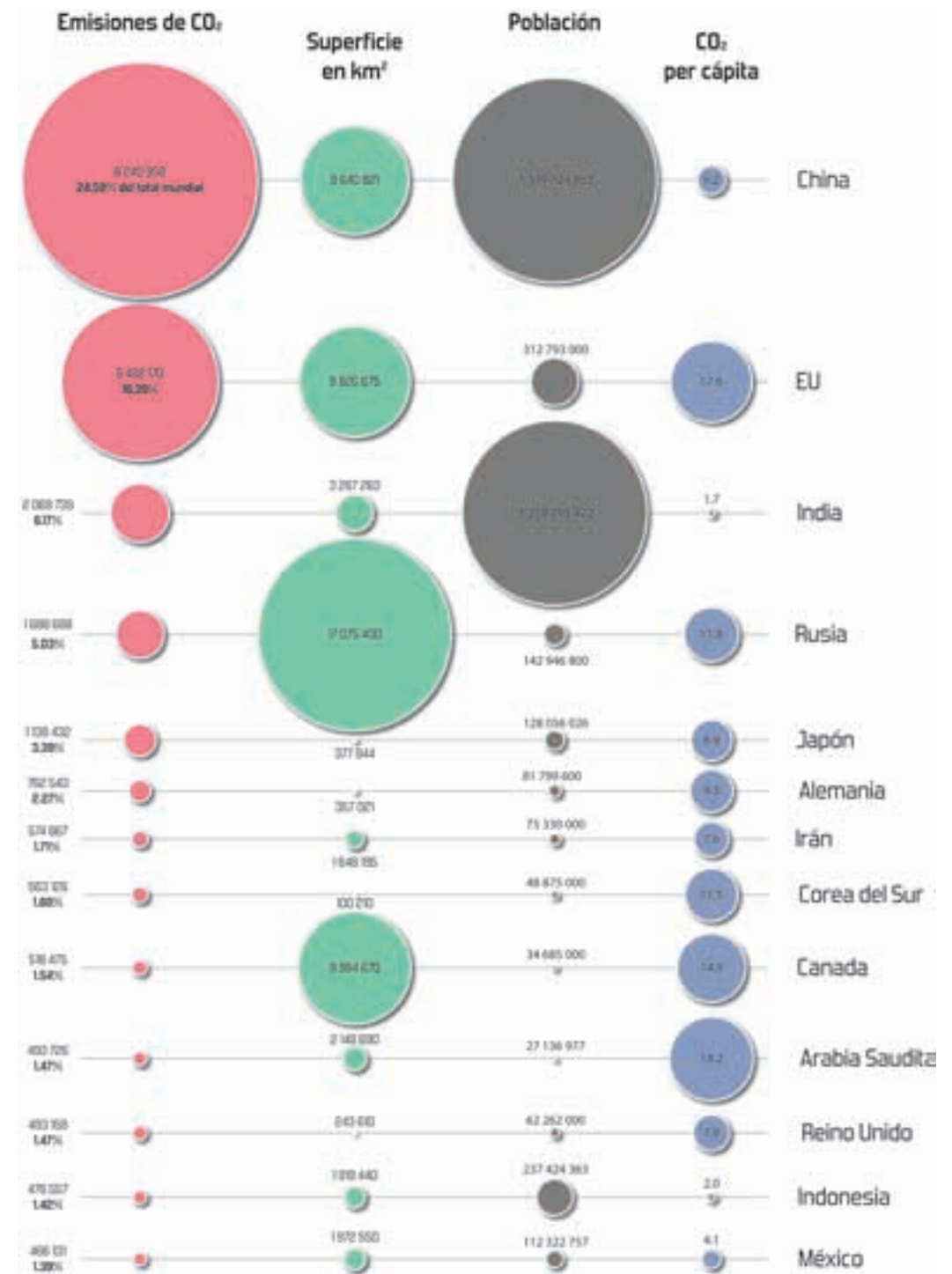
En 2008, el Centro de Análisis de Información de Dióxido de Carbono (CDIAC) determinó que China y Estados Unidos en porcentaje global, son los dos países que más aportan en la producción de emisiones de CO₂ con el 25.55% y 17.61% respectivamente. Aunque estas dos naciones presentan diferencias culturales abismales, en general, la calidad de vida es muy contrastante. En este informe, México ocupa el onceavo lugar produciendo el 1.62% del total.²⁰

El diseño y producción del hábitat, implica varios niveles de comprensión de acuerdo con la escala de planeación. Como se verá más adelante, alcanzar un desarrollo sustentable implica diversos factores, sin embargo se deben generar propuestas que sean capaces de aminorar los daños en el ambiente; desde alternativas de producción y tratamiento de materiales, hasta contribuir al desarrollo de urbes con medios de transporte limpio y una movilidad eficaz.

19. *¿Cómo ves? México*, 2007, año 10, no. 109, pág. 11 - 13.

20. *Carbon Dioxide Information Analysis Center*, cdiac.ornl.gov consultado en agosto del 2011.

Página siguiente
 Img. 20. Países que emiten la mayor cantidad de emisiones de CO₂ al año. Estimado en 2010.



producción de alimentos

El desafío de los próximos años consiste en producir suficientes alimentos para poder cubrir las necesidades de 2,000 millones de personas más, conservando y ampliando al mismo tiempo la base de recursos naturales.

Organización de las Naciones Unidas
para la Agricultura y la Alimentación

Se ha mencionado cuales son los recursos vitales que se encuentran presentes en el medio en el que nos desarrollamos dentro de la Tierra, la importancia de preservar el medio y los recursos; además de garantizar la supervivencia, radica en que son fuente esencial para la producción de los alimentos para el consumo humano a nivel mundial.

Existen zonas rurales que se han dedicado básicamente a la producción de alimentos, hoy en día se encuentran marginadas y están desapareciendo a causa del avance de la mancha urbana.



Img. 21. Aunque con una extensa problemática por la escasa inversión a la agricultura y la deshumidificación de los canales, aún existen zonas chinamperas en Xochimilco, uno de los pocos lugares dentro del Distrito Federal donde todavía se producen alimentos.

Diversos factores como el incremento demográfico, el uso del agua, el desarrollo industrial y los diversos problemas de deterioro ambiental forman una cadena con la ocupación y el uso del suelo destinado a la agricultura; se estima que cientos de millones de hectáreas de bosques se han transformado para darles un uso agrícola y pecuario desde 1850.²¹

En México en el 2000 los pastizales inducidos o cultivados cubrían siete millones de hectáreas más que en 1976, lo cual significó un aumento de 50%; hoy en día, cultivos y pastizales cubren más de una cuarta parte del territorio nacional donde 40% de la superficie agrícola está destinada al cultivo de maíz.²²

21. LAMBIN, E.F., *et al.* *The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths.* Global Environmental Change 11, 2001.

22. DYER, George A. *Uso del suelo en México: ¿Conservación o desarrollo?* En: *Los grandes problemas de México. Economía rural.* v. 11. México: El Colegio de México, pág. 98.

Actualmente, las formas de producir alimentos se están modificando, es necesaria una agricultura más limpia en los países desarrollados y una más productiva en los países en vías de desarrollo.

A mediados del siglo pasado Norman E. Borlaug, Premio Nobel de la Paz 1970, llevó a cabo en México diversos estudios sobre prácticas agronómicas desarrollando cultivos de calidad con alto rendimiento, amplia adaptación y resistentes a enfermedades. Para ese entonces, con los primeros cultivos, México alcanzó la autosuficiencia en trigo y comenzó a incrementar su producción.²³

Posteriormente, Bourlag llevó esa tecnología a otros países pobres del mundo como India, Pakistan y Turquía dando paso a la denominada revolución verde, poco tiempo después, estos métodos comenzaron a implementarse en todo el mundo.

A la par de la revolución verde se desarrolló un tipo de agricultura producida mediante alteraciones genéticas en los alimentos, estos cultivos denominados transgénicos han ayudado a que los vegetales sean más resistentes a plagas y a cambios climáticos, siendo un proceso industrial, permite disminuir los costos y acelerar los ciclos de producción.

La tecnología de Borlaug y los alimentos transgénicos han generado adversidad entre diferentes grupos a nivel mundial, pues traen consigo una serie de problemas que transgreden el medio, alteran los ecosistemas, modifican la economía y conllevan problemas en la salud causada por agua contaminada con productos agroquímicos.

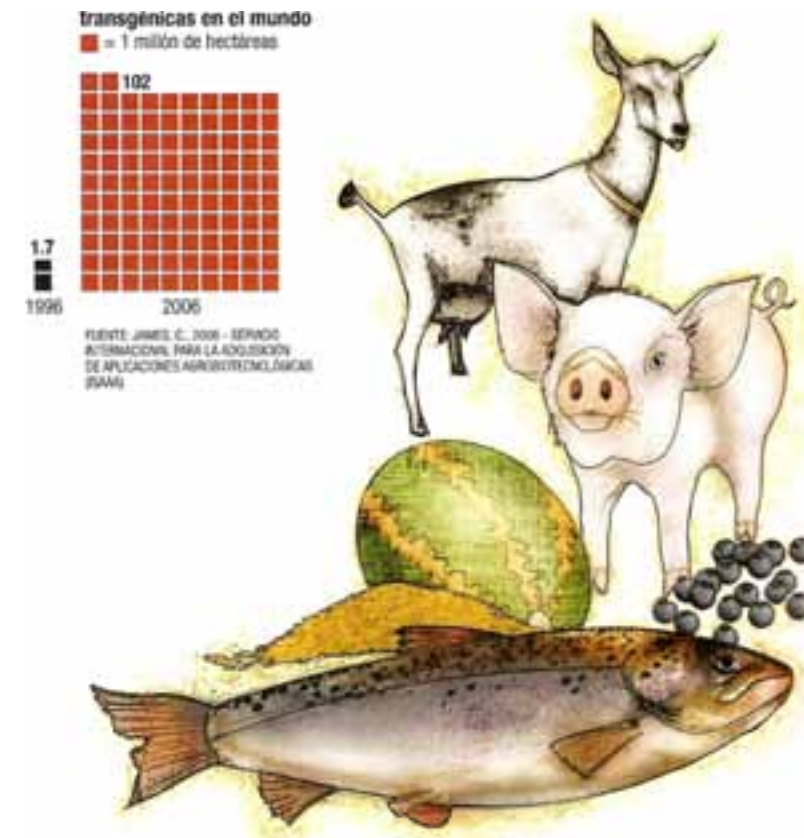
23. La Inacabada Revolución Verde agbioworld.org consultado en noviembre del 2011.

Además, de que los alimentos no conservan sus propiedades alimenticias, se cree que en el futuro habrá también animales como cabras, cerdos y pescados transgénicos criados para el consumo humano. Es así, que los expertos hacen un llamado para dejar de concentrar la atención en maximizar el rendimiento de los cereales a cualquier costo y considerar las repercusiones que tiene la producción de alimentos, tanto en el medio ambiente como en la sociedad.²⁴

En 2008 se llevó a cabo un estudio a gran escala denominado "Evaluación Internacional de la Ciencia y la Tecnología Agrícolas para el Desarrollo" (IAASTD),²⁵ este estudio

24. *National Geographic en español*. México, 2009, vol. 24, núm. 6, pág. 56.

25. agassessment.org consultado en diciembre de 2011.



Img. 22. El cultivo de plantas transgénicas en el mundo en diez años pasó de 1.7 a 102 millones de hectáreas y se cree que en un futuro habrá ganadería transgénica.

dio duró seis años y fue iniciado por el Banco Mundial y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, en el cual se hizo un llamado para desarrollar prácticas sostenibles en la agricultura, y se demostró que los inmensos aumentos en la producción generados por la ciencia y la tecnología en los últimos treinta años, no han logrado mejorar el acceso a los alimentos de la mayoría de las personas pobres del mundo.

Por otro lado vemos que "durante la última década, la producción de cereales ha tenido problemas para mantenerse al ritmo del consumo, causando una merma en las reservas",²⁶ esto representa un gran problema pues la mayoría de los países dependen de importaciones, además hay que mencionar que, la ganadería consume el 35% del grano que se produce a nivel mundial.²⁷

Hoy en día se realizan esfuerzos por saciar el hambre a través del incremento de zonas de cultivo y nuevas tecnologías con financiamientos de la iniciativa privada, con lo cual, se busca una nueva revolución verde.

En el proyecto de investigación en África *Soils, Food and Healthy Communities* (SFHC), Rachel Bezner Kerr, coordinadora del proyecto, aclara que no es una solución estimular la agricultura basándose en costosos insumos producidos lejos, y que reportan ganancias para las grandes empresas, y propone métodos agroecológicos para aprovechar los recursos las capacidades locales.²⁸

Aunado al incremento poblacional y a los problemas ya mencionados, se presenta la generación de biocombustibles, pues se cree que la producción de éstos es uno de los principales factores responsables de la escasez de alimen-

26. *National Geographic en español*. México, 2009, vol. 24, núm. 6, pág. 44.

27. *Ibidem*, pág. 37.

28. *Ibidem*, pág. 57 y 58.

tos a nivel mundial, los biocombustibles "se elaboran con materiales producidos por los seres vivos; son alcoholes, éteres, ésteres y otros compuestos químicos generados a partir de los tejidos de plantas y animales, los residuos de la agricultura y de la actividad forestal, y algunos desechos industriales, por ejemplo los de la industria de la alimentación."²⁹ Los investigadores consideran que la obtención de este tipo de combustibles "podrían convertirse en la causa del hambre de más de 850 millones de personas en regiones en vías de desarrollo."³⁰

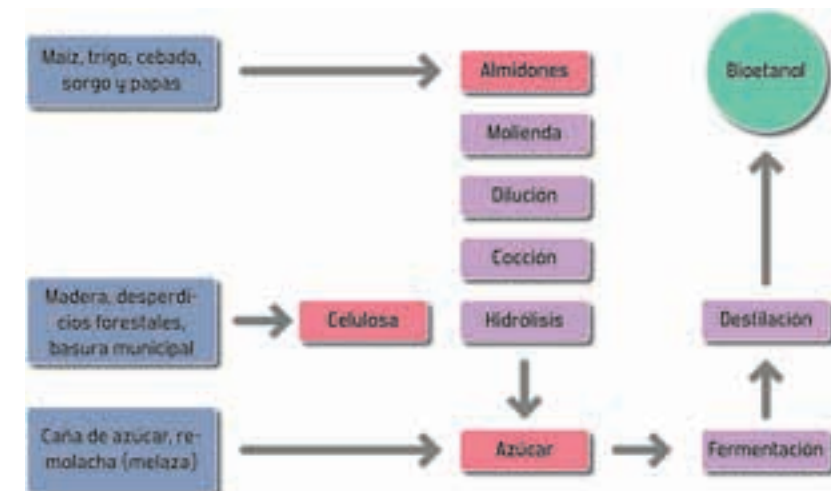
Según un estudio del Banco Mundial, Estados Unidos incrementó en un 500% la cantidad de maíz destinada a la fabricación de etanol del 2000 al 2008. La cantidad de materia prima para producir biocombustible es un gran problema, pues "se necesitan aproximadamente 240 kilogramos de maíz para producir 100 litros de etanol."³¹

Las alteraciones del ambiente juegan un papel importante en la producción de alimentos y es notable que se trata también de un problema energético. Algunas fuentes

29. *¿Cómo ves?* México, 2009, año 11, no. 123, pág. 11.

30. *¿Cómo ves?* México, 2008, año 10, no. 117, pág. 5.

31. *Ibidem*.



Img. 23. Proceso de producción del bioetanol, un biocombustible producido a partir de la fermentación de levaduras de los azúcares que se encuentran en los tejidos vegetales. Se obtiene de plantas con un alto contenido de azúcares o celulosa.

consideran que la estabilidad poblacional será clave para el desarrollo de la especie humana, de cualquier manera, proveer de alimentos a todos los habitantes de la Tierra tiene que ver con un desarrollo social equitativo que le permita a las naciones incrementar la calidad de vida de las personas, así como del uso responsable de los recursos.

Como señala Tim Dyson: "Nadie en su sano juicio duda de la noción de que las poblaciones tienen que vivir dentro de los límites de su base de recursos. Ni de que la capacidad de una sociedad para aumentar sus recursos a partir de esa base es en última instancia limitada."³²

32. *National Geographic en español*, México, 2009, vol. 24, núm. 6, pág. 59.

Img. 24. El maíz es uno de los cultivos más importantes en México, alimento prehispánico que ha permeado en los ámbitos sociales y culturales del país.



desarrollo energético

Es importante mencionar que para este trabajo se entenderá por energía la capacidad para transformar, desplazar o realizar un trabajo, sin embargo es complejo tratar de definir con exactitud el término, pues se refiere a una acción, a una causa-efecto que puede tener varias acepciones.

Hablar de energía puede ser un tema muy extenso, ya que existen diferentes formas de energía, así como diversos procesos de producción y distribución.

En la actualidad, es de interés general saber que existen fuentes de energía que por su sistema de producción u obtención, al ser consumidas no pueden ser renovadas o sustituidas, a éstas se denominan energías no renovables y son principalmente combustibles.

Las energías no renovables representan un buen porcentaje de la energía que se consume a nivel mundial y han sido explotadas de manera desmedida y en forma irresponsable llevando al límite las consecuencias negativas que implica su consumo.

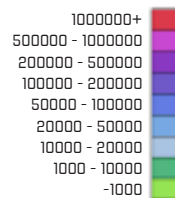
La preocupación por el desarrollo de la vida y la preservación del medio está obligando a generar procesos para mejorar la eficiencia de los recursos no renovables y a plantear un desarrollo con base en las energías renovables, es decir, energías que se obtienen de recursos considerados inagotables y de origen natural.

El agua es el recurso principal para la producción de energía mareomotriz, undimotriz e hidráulica, dichos procesos transforman la energía cinética en energía eléctrica, este tipo de energías son consideradas renovables.

Por su parte, el viento es una de las formas de producción energética más antiguas, y es hasta la actualidad que comienza a utilizarse de manera prominente en la producción de energía eléctrica, la cual es fundamental en el desarrollo de los asentamientos urbanos, pues representa un interés primordial en el progreso de las naciones y forma parte de la vida contemporánea de la sociedad.

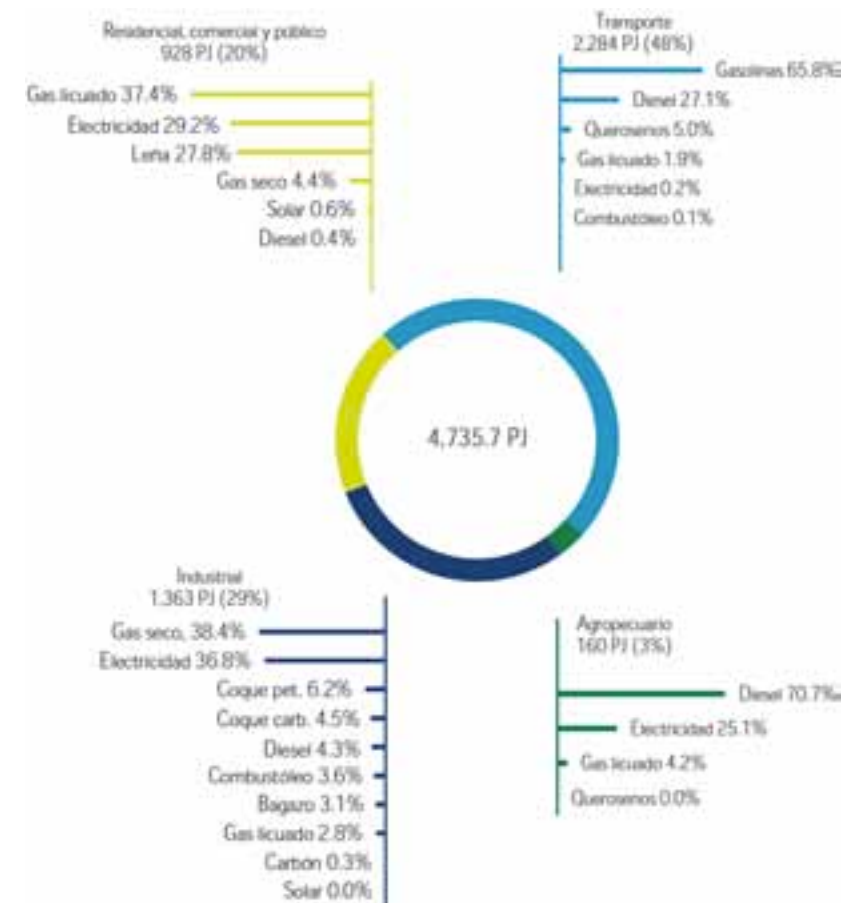
La innovación de muchos productos y servicios busca desarrollarse a través de la producción e implementación de energía eléctrica generada a partir de recursos renovables con la finalidad de aligerar el impacto ambiental.

Img. 25. Consumo eléctrico por país en millones de kw/h. 2006.



Existen diversas formas de producción energética por medio de recursos renovables. Los biocombustibles han sido una de las formas de producción a la que más se le ha invertido, pues trata de sustituir a los combustibles de origen fósil necesarios para los transportes mecánicos.

Así mismo, son la eólica y la solar las energías que en estos momentos más interesan, al menos, para la producción de energía eléctrica consumida por las ciudades, pues son sistemas que pueden ser aplicadas a mayor o menor escala cubriendo las necesidades primarias en cualquier vivienda.



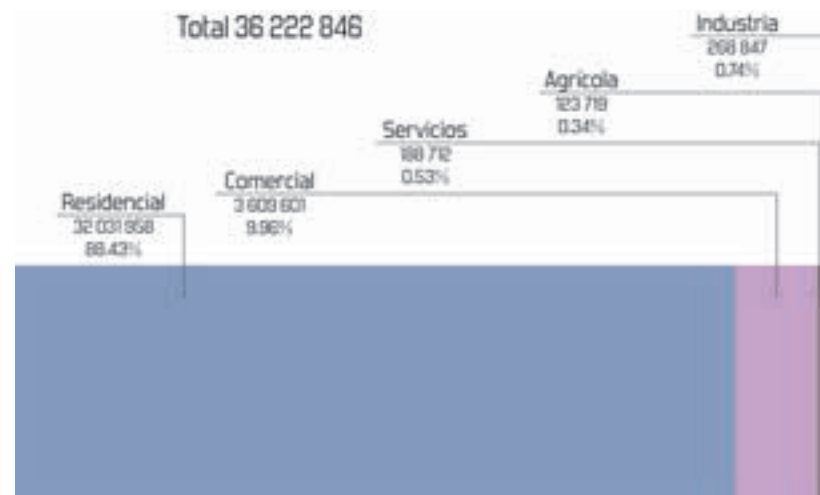
Img. 26. Balance Nacional de Energía 2011: Consumo final de energía por energético.

La instalación de sistemas de captación de energía solar también se encuentran en incremento y forman parte de los planes de desarrollo energético de varias naciones a mediano y largo plazo, de esta forma se han creado centrales termosolares y se ha impulsando el uso de paneles fotovoltaicos y sistemas de calefacción solar en zonas residenciales.

En el caso de las celdas fotovoltaicas, se observa que el costo no ha cambiado radicalmente, sin embargo, al menos en los últimos años, su eficiencia se ha multiplicado permitiendo generar la misma cantidad de energía con una menor superficie de captación.

Las formas de producción energética son una parte clave para el desarrollo sustentable, un buen referente para medir el progreso de las urbes es la producción y distribución de la energía eléctrica; el objetivo es lograr que su obtención sea por medio de recursos que puedan ser de fácil acceso, de rápida producción y que su distribución sea equitativa.

Img. 27. Número de usuarios de energía eléctrica por sector tarifario en México, Octubre 2012.



Del sol recibimos una energía de 1360 joules por metro cuadrado de superficie del planeta, y eso cada segundo (esto es, 1360 watts por metro cuadrado). Una parte de esta energía se refleja y se difunde por el espacio, y otra la absorbe la atmosfera, la tierra y los mares. Esa parte es un promedio de 250 W/m². Es una energía impresionante, por que es mucho mayor que el consumo mundial.³³

En México en 2002 se planteó una política de energía sustentable fundamentada en asegurar el suministro, el uso eficiente, en promover las energías renovables y minimizar el impacto al medio. Existen zonas que tienen las características idóneas para instalar aerogeneradores, llegando a producir tales cantidades de energía, que permitirían abastecer ciudades enteras. Repartido en varios estados y empleando tecnología actual, México cuenta con un potencial eólico de alrededor de 100 GW, aproximadamente el doble de la energía que se generó en 2008.³⁴

Recientemente, se han desarrollado modelos de uso domestico para aprovechar la energía del viento, pues el país puede producir el 35% de la energía que requiere para el año 2025 usando fuentes renovables.³⁵

Asimismo, en México el 93.02% de la energía primaria que se produce proviene de fuentes no renovables,³⁶ y se considera que hoy en día el 13.2% de la energía producida a nivel mundial proviene de recursos renovables.³⁷ Aunque el porcentaje representa una mínima parte, cada vez es mayor el numero de poblaciones que implementan nuevas métodos para la producción de energía; desafortuna-

33. ¿Cómo ves? México, 2008, año 11, no. 121, pág. 33.

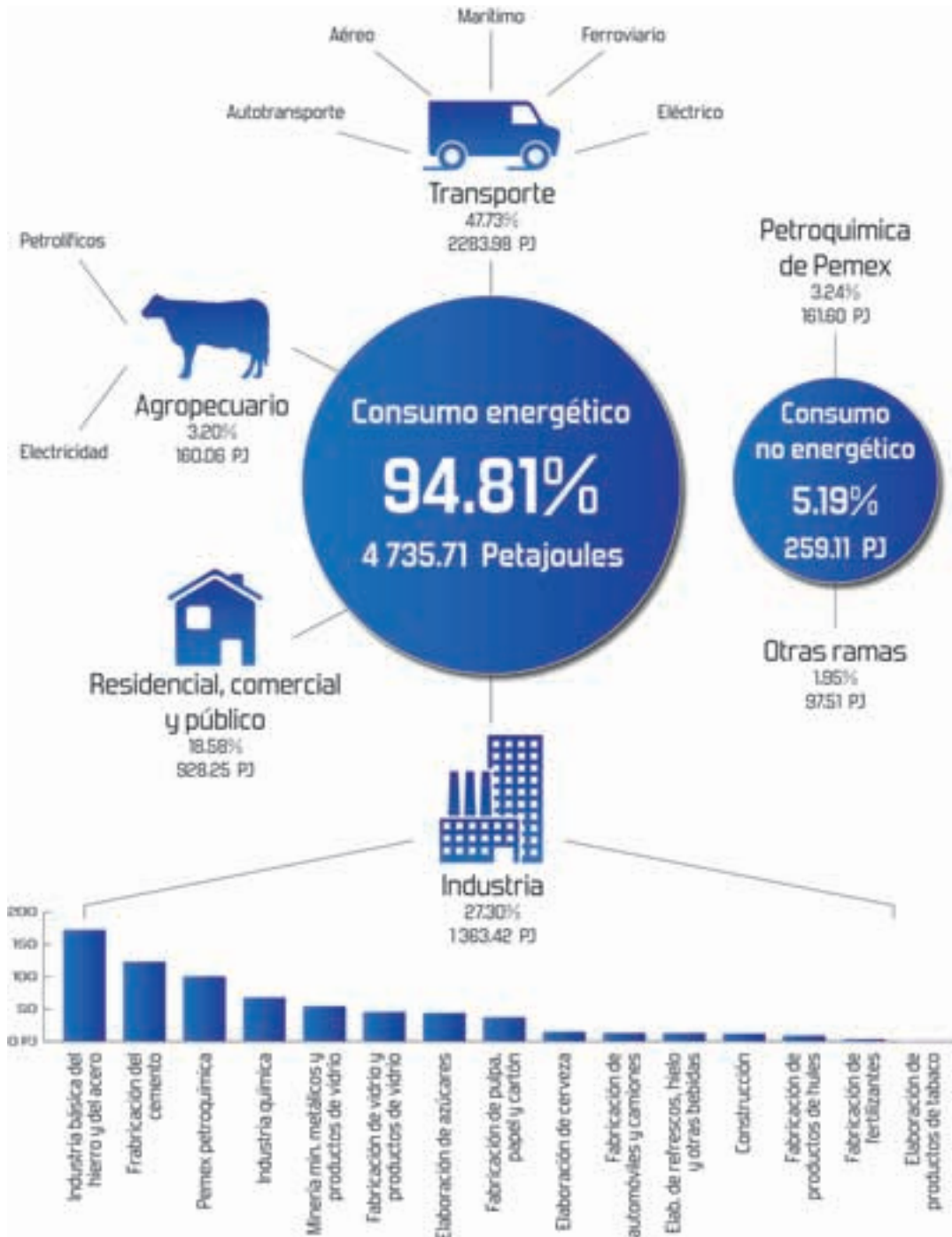
34. *Ibidem*, pág. 34.

35. *Ibidem*.

36. *Balance Nacional de Energía 2011*, SENER, pág. 29.

37. *Ibidem*, pág. 21.

Img. 28. Consumo final de energía por sector. Balance Nacional de Energía 2011.



damente el desarrollo económico es un factor que influye de manera directa y no permite que las nuevas tecnologías estén al alcance de todos, pero no sólo se trata de que los desarrolladores incrementen la eficiencia de los sistemas, sino también de crear una conciencia racional del consumo.

El diseño y la construcción de ambientes dependen de la producción de materiales provenientes de la industria, siendo éste uno de los sectores que más recursos consume y también de los más contaminantes.

Uno de los grandes problemas es la transformación de materia prima, pues conlleva procesos que requieren gran cantidad de energía y su producción emite una considerable cantidad de CO₂. Como una estrategia a esta problemática se busca generar e implementar materiales naturales o de bajo impacto ambiental que cumplan con ciertos requerimientos estructurales y que respondan a nuevos planteamientos de diseño; si bien, emplear nuevas tecnologías depende del desarrollo económico, es menester que formen parte en la concepción de nuevos edificios.

El futuro que se vislumbra en el desarrollo humano es todavía muy incierto, como se observa existen diversas conexiones en el consumo y producción de recursos y energía, la humanidad debe tomar en cuenta los errores y aciertos del pasado para evolucionar.

Las medidas y acciones que se desarrollan son muy pocas, en comparación con los estudios y planteamientos de los investigadores, sin embargo, asegurar el suministro de energía va más allá de las políticas del Estado, y garantizar la producción estará en función del implemento y la evolución de las nuevas tecnologías.

Garantizar los recursos y la energía de manera equitativa es fundamental, y así como es importante encontrar medios de autogeneración, también es importante fomentar estrategias que permitan que la materia complete los ciclos naturales.

La conservación del ambiente y la preservación de la vida en la Tierra dependerá de la forma cómo la se utilice la materia, de los procesos de generación y distribución energética, del futuro que se le dé a las cosas y de la integración adaptación de los asentamientos humanos con el medio.

Img. 29. Conjunto de viviendas de bajo impacto ambiental. Proyecto bioclimático modulable con aplicación de sistemas de captación de energía solar y aerogeneradores. Mario Cucinella Architects. 2007.



estrategias

El arquitecto del futuro se basará en la imitación de la naturaleza, porque es la forma más racional, duradera y económica de todos los métodos.

Antonio Gaudí

Img. 30. El desequilibrio en los ecosistemas a causa de los cambios atmosféricos ponen en riesgo la vida en el planeta.



sustentabilidad

Las formas de desarrollo humano han generado condiciones inestables para la supervivencia y el sustento de las condiciones de vida, así mismo, los ciclos orgánicos e inorgánicos se han vuelto vulnerables por la alteración del medio. Como una serie de medidas que hacen frente a estas alteraciones irracionales surge el denominado *Desarrollo Sustentable*.

El término fue explorado en 1972 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente llevada a cabo en Estocolmo Suecia, pero fue hasta 1987 que Las Naciones Unidas mediante el informe *Our Common Future* (Nuestro Futuro Común) denominado como informe Brundtland su objetivo fue crear una estructura de pensamiento para salvaguardar los ecosistemas tomando en cuenta la economía y la justicia social, y que finalmente define el desarrollo sustentable como "aquel que es capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de futuras generaciones".³⁸

Se ha observado durante la última década la explo-

38. EDWARDS, Brian. *Guía básica de la sostenibilidad*. 2a. edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2008. pág. 20.

tación de manera desmedida de dicho término; sin embargo, ha ido evolucionando de manera considerable creando un conjunto de pensamientos complejos que atañen a cualquier estrato de la población.

Como ya se había mencionado, la Revolución Sustentable desarrollada por el profesor y consultor ambiental norteamericano Andres R. Edwards, ha llevado el término a una dimensión de entendimiento más allá del concepto primigenio del informe Brundtland, su estudio concentra una serie de ideas y propuestas que apuntan en la misma dirección, formulando así un cambio de paradigma que busca responder al contexto histórico.

En este planteamiento, Edwards promueve una nueva filosofía de vida más acorde a la integración racional del desarrollo humano con su entorno, haciendo alusión al supuesto periodo de inestabilidad y deterioro.

Img. 31. Esquema básico de la sustentabilidad.



La Revolución Sustentable se fundamenta en cinco dimensiones: notables similitudes entre grupos sustentables en intenciones y objetivos generales, un gran y diverso número grupos, una amplia gama de temas abordados por estos grupos, liderazgo de un grupo de visionarios descentralizados en vez de sólo figura carismática, diversos modos de acción: oposición y alternativa.³⁹

A partir de la definición, el modelo de desarrollo sustentable se ha fundamentado en un diagrama básico, donde el Medio Ambiente, el Medio Económico y el Medio Social interactúan como principales articuladores del progreso, sin embargo, el diagrama resulta muy ambiguo.

Por su parte, Brian Edwards reflexiona sobre la importancia de los procesos naturales como parte de la sustentabilidad. Considera que la naturaleza puede ser una guía útil para proyectar edificios partiendo de cuatro puntos de vista: aprender de la naturaleza y utilizarla como herramienta a través de patrones y estructuras; hacer explícita la naturaleza por medio de los materiales y la vegetación entendiendo el edificio como un organismo dinámico, y finalmente, utilizar la naturaleza como medidor ecológico estableciendo indicadores para la gestión de recursos.⁴⁰

El arquitecto William McDonough y el químico Michael Braungart desarrollaron una serie de planteamientos para salvaguardar la vida de los seres humanos, apegado al desarrollo sustentable con base en los elementos clásicos: tierra, aire, fuego, agua y además, incluyen el concepto de espíritu, a esta serie de planteamientos se les denomina *Principios Hannover*⁴¹ de donde se extraen los siguientes aspectos:

39. EDWARDS, Andres R. *The Sustainability Revolution: Portrait of a Paradigm Shift*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2009. pág. 6 y 7.

40. EDWARDS, Brian. *Guía básica de la sustentabilidad*. 2a. edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2005. pág. 12 - 16.

41. mcdonough.com consultado en marzo del 2012.

- Persistencia en la coexistencia de los derechos humanos y la naturaleza en una saludable, cooperativa diversa y sustentable condición.
- Reconocer la interdependencia. Los elementos diseñados por el hombre interactúan con y dependen del mundo natural, con amplias y diversas implicaciones a diferentes niveles. Reconocer que la expansión del medio diseñado incluso puede traer consecuencias distantes.
- Respetar las relaciones entre el espíritu y la materia. Considerar todos los aspectos de los asentamientos humanos incluyendo a la comunidad, la vivienda, la industria y el comercio en términos de existencia y evolución creando conexiones entre la conciencia espiritual y material.
- Aceptar la responsabilidad de las consecuencias en el diseño, decisiones sobre el bienestar humano, la viabilidad de los sistemas naturales y su derecho a coexistir.
- Crear objetos seguros con valor a largo plazo, que no conlleven responsabilidades a las futuras generaciones de mantenimiento, administración o peligros potenciales debido al descuido de productos, procesos o estándares.
- Eliminar el concepto de desperdicio. Evaluar y optimizar de manera integral los ciclos de vida de los productos y procesos aprovechando el estado de los sistemas naturales donde no existen los desperdicios.
- Dependier de los flujos naturales de energía. Los dise-

ños humanos deberían, como los organismos biológicos, derivar sus fuerzas creativas de los constantes ingresos solares. Incorporar esta energía eficiente y segura para un uso responsable.

- Entender las limitantes del diseño. Las creaciones humanas no perduran por siempre y el diseño no resuelve todos los problemas, aquello que sea planeado y creado debe ser practicado con humildad respecto a la naturaleza. Tratar a la naturaleza como modelo y mentor, no como inconveniente a ser evadido y controlado.
- Búsqueda constante por mejorar el intercambio de conocimientos. Fomentar la comunicación directa y abierta entre colegas, clientes, manufactureras y usuarios vincular a largo plazo consideraciones sustentables con la responsabilidad ética y restablecer de forma integral la relación entre los procesos naturales y la actividad humana.



Img. 32. Plan maestro del Parque 20/20 en Holanda, conjunto multifuncional de 114,000 m², propuesta que pretende ser un sistema dinámico ambiental para mejorar la comunidad local. William McDonough + Partners. 2010.

En el ámbito del diseño es fundamental entender hacia donde se dirige el desarrollo sustentable, no sólo en la escala arquitectónica sino también en la urbana. A pesar de que muchos factores no están al alcance del hombre, es responsable por el impacto que el diseño trae consigo.

La planeación y construcción de espacios intrínsecamente es un proceso de alteración en el medio, que en cierta medida contribuye en la producción de contaminantes pero ¿cuál es la metodología que se debe seguir para desarrollar proyectos sustentables?

Aunque hay ciertos parámetros establecidos en los procesos de diseño arquitectónico, las rutas que se toman para llegar a un planteamiento que satisfaga las necesidades son diversas y particulares.

Por otro lado, en diciembre del año 2009 la Unión Internacional de Arquitectos (UIA), después de varios congresos, que ya desde 1993 se enfocaban en el desarrollo sustentable, emite una declaración enfocada en el quehacer arquitectónico.

Declaración de Copenhage⁴² Sustentabilidad a través del diseño

La arquitectura debe utilizar métodos holísticos de integración desde la escala más pequeña hasta la planificación urbana y regional, sin olvidar que los edificios, el paisaje, el medio natural y la infraestructura son todos elementos esenciales en la creación continua de un futuro sustentable. Un diseño cuidadoso con consideración en las formas, la geometría y estrategias espaciales, unido con los materiales,

equipos y una distribución funcional apropiados puede reducir el uso de recursos, emisiones de gases de efecto invernadero y todos los impactos ambientales entre un 50% y un 80%.

Sustentabilidad a través del diseño - Estrategias

- La sustentabilidad a través del diseño empieza en las primeras etapas de un proyecto y requiere el compromiso de todos los interesados: cliente, diseñadores, ingenieros, autoridades, contratistas, propietarios, usuarios y la comunidad.
- La sustentabilidad a través del diseño incorpora todos los aspectos de construcción y uso futuro basado en el análisis de ciclos de vida y de gestión.
- La sustentabilidad a través del diseño optimiza la eficiencia por medio del diseño. Las energías renovables, las tecnologías ambientales y de alta eficiencia están integradas a la más grande esfera de acción práctica en la concepción del proyecto.



Img. 33. Elemental, proyecto participativo de integración social de bajo costo e impacto ambiental. Alejandro Aravena. 2006.

42. *International Union of Architects. Copenhagen Declaration. 7 de diciembre de 2009.*
uia-architectes.org consultado en abril del 2012.

- La sustentabilidad a través del diseño reconoce que todos los proyectos de arquitectura y planificación son parte de un sistema interactivo complejo, integrado a su más amplio entorno natural y refleja la herencia, cultura y valores sociales de la vida diaria de la comunidad.
- La sustentabilidad a través del diseño busca materiales saludables para edificios saludables, respeto ecológico y social del uso de la tierra, y una sensibilidad estética que inspire, afirme y ennoblezca.
- La sustentabilidad a través del diseño tiene por objetivo reducir de manera significativa la huella de carbono, materiales y tecnologías peligrosas y otros efectos humanos adversos del medio construido sobre el medio ambiente natural.
- La sustentabilidad a través del diseño se esfuerza en mejorar la calidad de vida, promover la igualdad tanto global como local, avanzar en el bienestar económico y proveer oportunidades para lograr el compromiso y autosuficiencia de la comunidad.
- La sustentabilidad a través del diseño reconoce la interdependencia local y planetaria de toda la gente. Reconoce que los sistemas de soporte de vida urbana (agua y aire limpio, comida, protección, oportunidades de trabajo, educación, salud, etc.) dependen de un sistema rural-urbano integrado, interdependiente y sustentable.
- La sustentabilidad a través del diseño respalda la declaración de la UNESCO en cuanto a que la diversidad

cultural, como fuente de intercambio, innovación y creatividad, es tan necesaria para la humanidad como la biodiversidad lo es para la naturaleza.

Tanto los principios Hannover así como las estrategias de la Declaración de Copenhage son muy claros en cuanto al rumbo del diseño y las intenciones, sin embargo, su aplicación integral es mucho más compleja. Como se ha mencionado, hoy en día las implicaciones de la sustentabilidad se limitan a excesivos productos (pseudo)ecológicos y la palabra ha sido prostituida.

Victor Fuente Freixanet quien ha realizado estudios acerca de la sustentabilidad indica "La sustentabilidad no se obtiene pintando taxis color verde, poniendo pasto en las azoteas o mediante una certificación LEED. La sustentabilidad se logra cuando en la mente hay una genuina preocupación por el bienestar de la sociedad y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, cuando hay



Img. 34. *Integer Millennium House*, una de las primeras casas en integrar calefacción, agua caliente y producción de energía eléctrica con la ayuda de tecnologías de captación de energía solar. Cole Thompson, 2000.

una conciencia ecológica y respeto por el medio ambiente, cuando estamos convencidos de la necesidad de cambio de paradigmas y de ruptura de inercias que perpetúan intereses creados que favorecen a unos cuantos. La sustentabilidad surge de la motivación por crear un mundo mejor."

Lo importante en un nuevo paradigma de diseño sustentable es integrar estrategias, parámetros y metodologías que respondan a los actuales requerimientos de preservación y desarrollo de la vida en la Tierra.

Img. 35. Campus Biometropolis, propuesta de 71 hectáreas desarrollada en una zona de reserva ecológica en la Ciudad de México para albergar un centro urbano de uso mixto. Valdría la pena desarrollar un análisis profundo y evaluar el costo beneficio de este tipo de proyectos. Foster + Partners, 2009.



bioclimáticos

El interés por conocer y entender las características geológicas y meteorológicas de la Tierra han sido latentes a lo largo de la historia; hoy día muchos fenómenos naturales asociados a la corteza terrestre y al clima pueden ser pronosticados mas no determinados.

Para la arquitectura es imprescindible conocer las características físicas y climatológicas del sitio, pues las condiciones son determinantes en el diseño de acuerdo al género del edificio, los materiales y el sistema constructivo.



Img. 36. Edificio bioclimático para las oficinas Holcim Costa Rica. Bruno Stagno, 2003-2004.

En el primero de los diez libros de arquitectura de Marco Vitruvio, considerado el tratado más antiguo del que se tiene registro, ya se hacía referencia al conocimiento de los factores climáticos que deberían ser tomados en cuenta como parte de la higiene en los edificios.

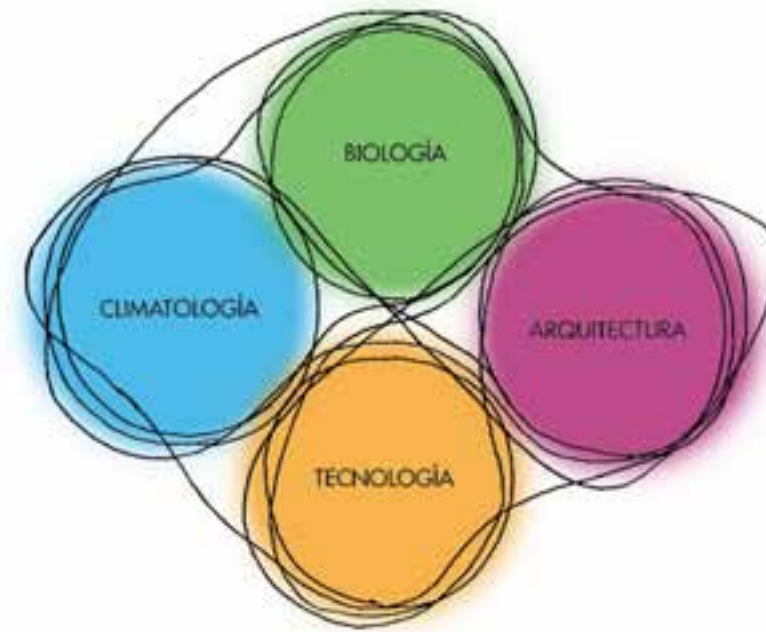
Muchas de las construcciones de la antigüedad dejaron ver el interés que había por el entorno y los fenómenos meteorológicos llegando a ser utilizados de manera metafísica o espiritual.

A mediados del siglo pasado, con la evolución en el pensamiento y el entendimiento de que el hombre es la medida de referencia fundamental de la arquitectura, comenzaron a desarrollarse una serie de estudios donde se analizaban los efectos del clima en el comportamiento y la salud del hombre.

Img. 37. Relación del hombre con el entorno. En este esquema el hombre es la medida central de la arquitectura.



Ellsworth Huntington antropogeógrafo estadounidense, establece la hipótesis de que el tipo de clima junto con la herencia racial y el desarrollo cultural constituyen uno de los tres principales factores que determinan las condiciones de la civilización.



Img. 38. Campos interrelacionados del equilibrio bioclimático.

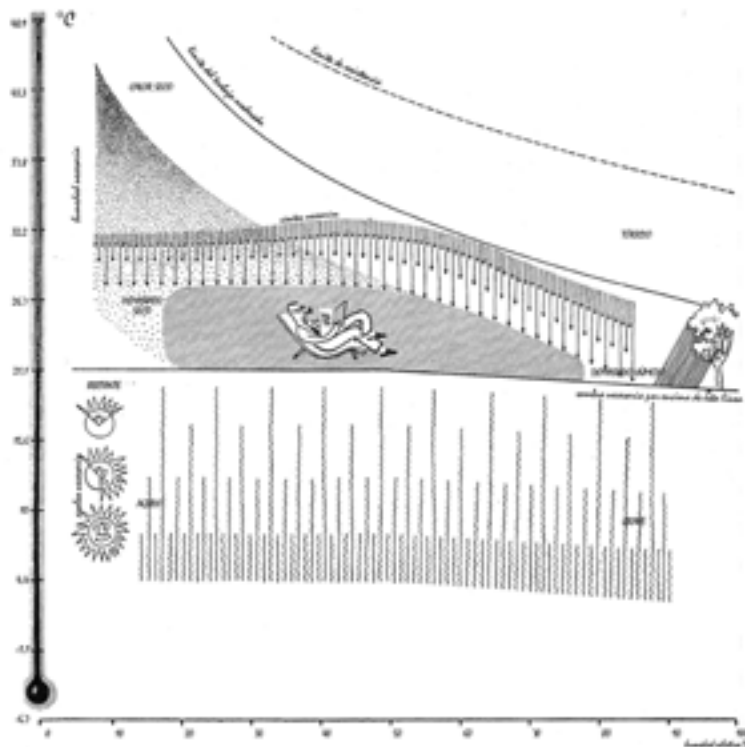
Fueron los hermanos Olgay los primeros en realizar un estudio profundo para evaluar cómo los elementos meteorológicos influyen en el hombre, planteando ciertos determinantes en la concepción arquitectónica. El método para la construcción de una casa climáticamente equilibrada establece cuatro variables interrelacionadas: clima, biología, tecnología y arquitectura. A Victor Olgay se le atribuye el término de arquitectura bioclimática, la interpretación está dada en función de la transferencia de energía que se manifiesta entre el cuerpo humano y su entorno.

43. OLGAY, Victor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. 1a. edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2006. pág 126.

El postulado de Olgyay establece que "El principal objetivo al proyectar un edificio, desde el punto de vista térmico, consiste en lograr un ambiente interior cuyas condiciones se encuentren muy próximas a las del confort, es decir, los términos arquitectónicos, la planificación y el sistema constructivo de un edificio deben utilizar al máximo las posibilidades naturales para mejorar las condiciones interiores, sin recurrir a la utilización de sistemas mecánicos."⁴³

De este modo, se puede definir la bioclimática como una disciplina que integra el conocimiento de los factores climáticos y la respuesta fisiológica de los habitantes en un espacio determinado con la finalidad de establecer un ambiente de confort, la evaluación bioclimática es el punto de

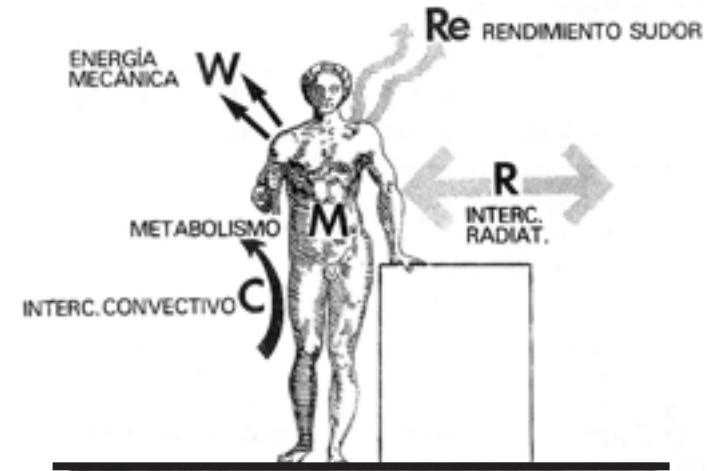
Img. 39. Índice esquemático del bioclima.



partida para cualquier proyecto arquitectónico que aspire a proporcionar un entorno climático equilibrado.

La parte determinante para los estudios bioclimáticos ha sido definir las características que debe presentar el ambiente para ser considerado confortable, en los análisis de los hermanos Olgyay se establece una grafica bioclimática que presenta humedad relativa en las abscisas y temperatura en las ordenadas y está en función de la velocidad del viento; si bien su estudio ha servido como fundamento esencial en el tema, no sólo se ve limitado por las topologías y morfologías que plantea, sino que únicamente se enfoca en realizar lo que denomina como medidas correctivas a través de medios pasivos.

Img. 40. Parámetros termofísicos.

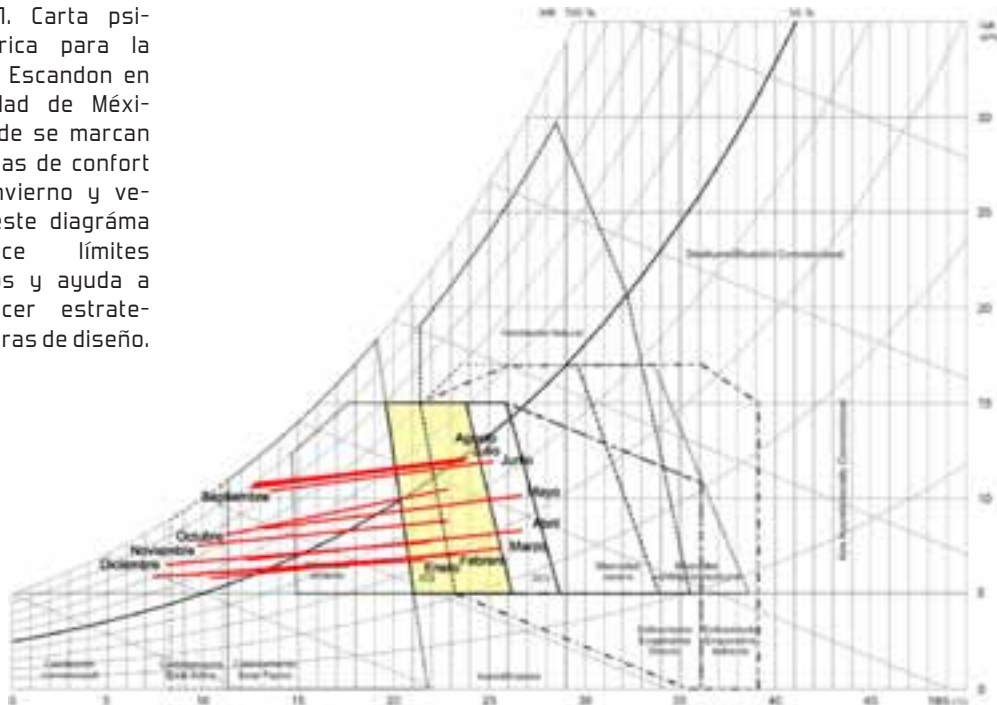


Baruch Givoni, arquitecto israelí, ha continuado estas investigaciones ampliando el espectro bioclimático esencialmente en el confort higrotérmico que está en función de los mecanismos termorreguladores del cuerpo como el metabolismo y la sudoración, permitiendo mantenerse en homeostasis.

Su estudio se sintetiza en un climograma realizado sobre un diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrotérmico para invierno y verano. Es importante mencionar que sus climogramas proponen cuáles son las zonas donde se puede alcanzar el confort únicamente por medios pasivos y cuáles requieren el uso de sistemas termomecánicos.

Las propiedades termodinámicas del aire dependen en gran medida de la presión atmosférica, por lo tanto, el diagrama debe ser ajustado a la presión o altitud de cada localidad; por otro lado, la temperatura neutra y la zona de confort dependen de las variables climáticas del sitio en estudio, por lo que también las zonas de confort y estrategias deberán ajustarse dependiendo de la temperatura neutra.

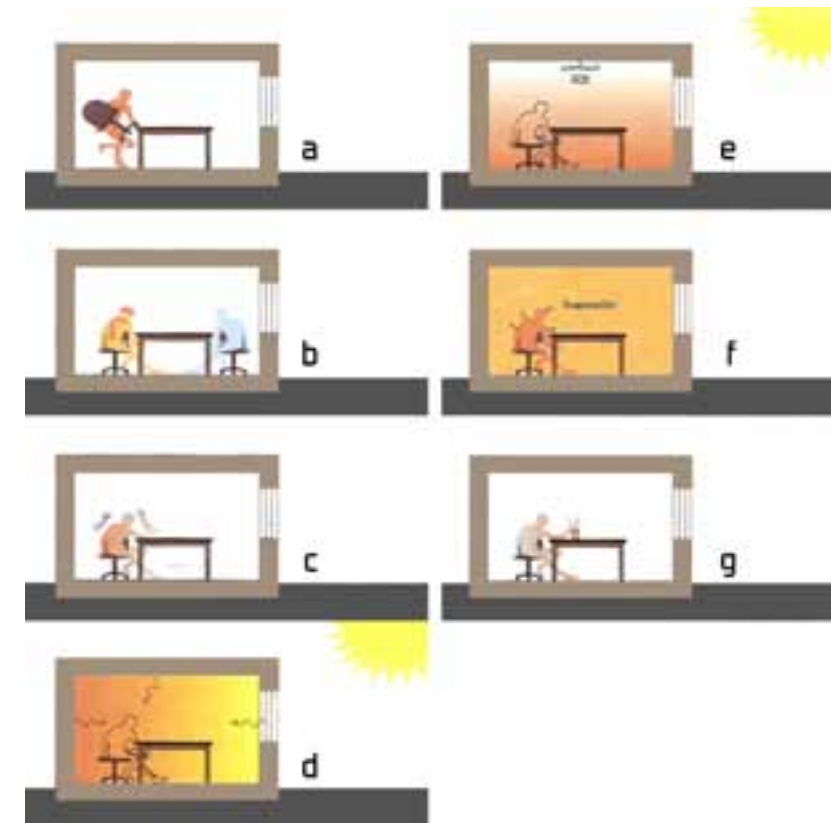
Img. 41. Carta psicrométrica para la colonia Escandon en la Ciudad de México donde se marcan las zonas de confort para invierno y verano, este diagrama establece límites precisos y ayuda a establecer estrategias claras de diseño.



Con base en el diagrama original de Givoni, Docherty y Szokolay se propone el ajuste de las zonas de estrategias en función de varios criterios climáticos y de confort; asimismo se establecen las fórmulas matemáticas para calcularlas.

Sin embargo, Szokolay diferencia dos zonas de confort: para invierno y verano; las cuales están determinadas con base en la temperatura neutra mensual del mes más frío y la del más cálido. En el diagrama se definen distintas áreas en función de estas dos zonas de confort.

La zona de confort térmica podría describirse como el punto en el que el hombre gasta la energía mínima para adaptarse a su entorno; además, es una relación de equi-



Img. 42. Factores de confort.

- a) Nivel de actividad.
- b) Ropa.
- c) Temperatura del aire.
- d) Temperatura radiante media.
- e) Movimiento del aire.
- f) Humedad.
- g) Adaptación.

44. *Un Vitrubio ecológico. Principios y prácticas del proyecto arquitectónico sostenible.* Barcelona: Gustavo Gili, 2007. pág. 38.

librio entre el calor producido por el cuerpo y su disipación en el ambiente.⁴⁴

El Grupo de Investigación Energética (Energy Research Group) de la Universidad de Dublín ha clasificado los parámetros que determinan el confort térmico. Tres que están estrechamente relacionados con el individuo: el metabolismo, la ropa y la temperatura de la piel; y cuatro que tienen que ver con el entorno: la temperatura, la velocidad del aire, la humedad relativa y la temperatura superficial de los elementos.

Es importante mencionar que la temperatura de la piel depende del metabolismo, y a diferencia de la temperatura interior del cuerpo no es constante, ya que está en función de la ropa, la temperatura del aire y la transmisión de energía que se produce por convección y evaporación.

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción y Ventilación (American Society of Heating and Ventilation Engineers) consideran que aunque el movimiento del aire no disminuye la temperatura, provoca una sensación de fresco debido a la pérdida de calor por convección y al aumento de evaporación en el cuerpo.

En ciertas regiones el incremento de la humedad relativa del 20 al 60% sólo consigue reducir la temperatura como máximo 1° C, sin embargo, este factor resulta de suma importancia en el acondicionamiento climático, donde es necesario mantener la humedad relativa en rangos específicos al interior de ciertos espacios arquitectónicos como museos, galerías, bibliotecas e invernaderos.

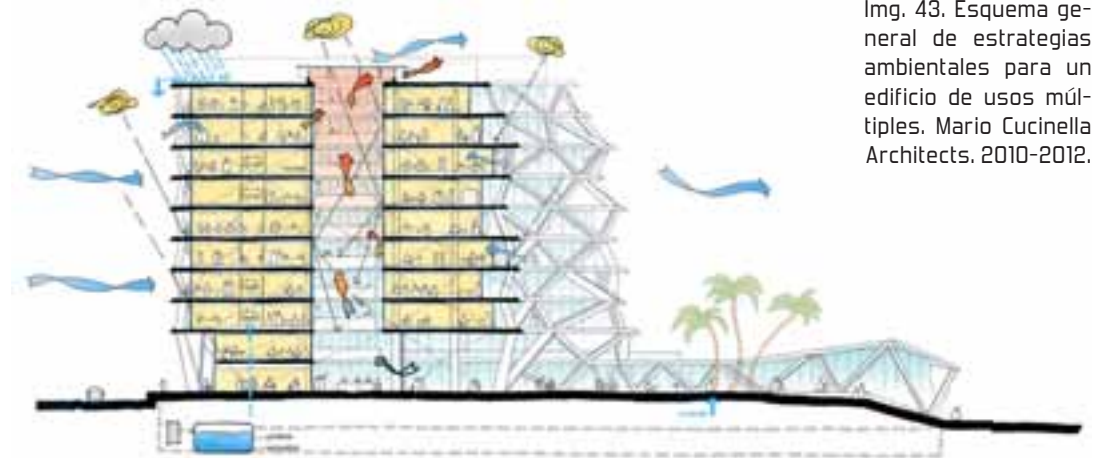
Finalmente, la temperatura radiante media es la temperatura media de la superficie de los objetos y afec-

ta tanto al calor que el cuerpo pierde por radiación como al que pierde por conducción cuando está en contacto con esas superficies.

La temperatura radiante llega a crear condiciones adversas al interior de los edificios, provocando el choque térmico que afecta a la salud, por lo anterior en conjunto con el ahorro energético son razones suficientes para recurrir al aislamiento térmico.

Asimismo se considera que existen condiciones locales específicas que se relacionan con el confort térmico como la radiación solar que incide en una ventana, los materiales, el color y la capacidad de adaptación. Muchas veces estos factores no son tomados en cuenta pues resultan difícilmente cuantificables o porque no representan cambios sustanciales.

Es importante saber que el confort es subjetivo y depende de la edad, el sexo y la cultura, pero no se puede ignorar los factores ya mencionados en el acondicionamiento ambiental; y aunque no es parte del estudio bioclimático,



Img. 43. Esquema general de estrategias ambientales para un edificio de usos múltiples. Mario Cucinella Architects. 2010-2012.

también existen factores para determinar el confort visual, la calidad del aire y el control acústico.

Existen métodos y datos precisos para el análisis bioclimático, sin embargo, es un tema en el que no se abundará pues resulta ser muy amplio.

Los estudios científicos realizados son cada vez más específicos y aunque resulta difícil integrar todas las variables necesarias para el cálculo, permiten llegar a tener un mejor control ambiental al interior de los edificios.

Existen parámetros específicos de diseño y por ello es importante que los edificios admitan modificaciones a corto y a largo plazo, y que el sistema de climatización elegido sea el más eficiente posible.

Img. 44. Fachada homeostática. Por medio de un sistema electromecánico una doble envolvente sensible a los cambios climáticos permite regular las condiciones ambientales al interior del edificio. Decker Yeadon Projects, 2010.



ecología

Las teorías y postulados sobre el desarrollo sustentable comprenden un pensamiento holístico todavía muy incierto en algunos rubros. El estudio del acondicionamiento bioclimático ha representado una evolución en el pensamiento arquitectónico pues ya introduce el entendimiento en la transformación energética, sin embargo, únicamente se limita a un estudio aislado en las condiciones del objeto arquitectónico y si no se toman en cuenta ciertos factores en el contexto podría parecer una práctica poco viable.

El conocimiento de la vida y el entorno es cada vez más extenso y las diferentes disciplinas de estudio se han vuelto muy específicas. Al revisar la evolución del pensamiento filosófico y científico a través del tiempo podría destacarse, que en su mayor parte, los diversos puntos de vista han estado encaminados a comprender el funcionamiento del entorno y la vida. Dicha comprensión se ha ido estructurando con el apoyo de las diferentes disciplinas científicas, brindando un entramado de conocimientos que ayudan en las ciencias naturales al análisis de los ciclos de vida, factor que es importante en los nuevos procesos de

diseño, pues está estrechamente relacionado con el equilibrio de los ecosistemas.

Se cree que cuando se concibe un proyecto con respecto a los problemas ecológicos de la Tierra, por ser un remitente al futuro, resulta ser tanto un pronóstico como una hipótesis y los errores o acierto planteados únicamente podrán ser demostrados en el futuro, sin embargo, es

Img. 45. Cosmovitral, el diseño plástico de este lugar ubicado en Toluca, Estado de México, estuvo a cargo de Leopoldo Flores, el tema central es la relación del hombre con el universo.



importante mencionar que proyectar de una manera responsable implica no sólo pensar de manera holística sino también ecológica. Dichos términos pueden parecer ambiguos, Fritjof Capra, físico teórico, académico e investigador, en su libro "La trama de la vida" explica:

Los términos holístico y ecológico difieren ligeramente en su significado y parecería que el primero de ellos resulta menos apropiado que el segundo para describir el nuevo paradigma. Una visión holística de, por ejemplo, una bicicleta significa verla como un todo funcional y entender consecuentemente la interdependencia de sus partes. Una visión ecológica incluiría esto, pero añadiría la percepción de cómo la bicicleta se inserta en su entorno natural y social: de donde provienen sus materias primas y cómo se construyó, cómo su utilización afecta el entorno natural y a la comunidad en que se usa, etc. Esta distinción entre holístico y ecológico es aun más importante cuando hablamos de sistemas vivos, para los que las conexiones con el entorno son mucho más vitales.⁴⁵

45. CAPRA, Fritjof, *La trama de la vida*. 2a. edición. Nueva York, Anagrama, 2010. pág. 28.

En las ciencias naturales la ecología —del griego *oikos* que significa casa— es el estudio del Hogar Tierra. Más concretamente, es el estudio de las relaciones que vinculan a todos los miembros de este Hogar Tierra, las interacciones de los organismos, colonias de los organismos y especies biológicas (incluyendo a los seres humanos) con su entorno, vivo o no; además de la distinta composición y estabilidad de grupos de especies geográficamente localizados, y el flujo de energía y materia entre tales grupos de especies.

En 1866 el término fue acuñado por el biólogo alemán Ernst Haeckel quien la definió como "la ciencia entre las relaciones entre el organismo y el mundo exterior que lo rodea."⁴⁶

46. *Ibidem*, pág. 52.

El pensamiento ecológico aporta estrategias aplicables al desarrollo sustentable y forma parte de los nuevos procesos de diseño. El Grupo de Investigación Energética de la Universidad de Dublín establece que un edificio ecológico debe tener en cuenta:

- Materiales locales siempre que sea posible.
- Proyectos que no necesiten ascensores.
- Espacios para separar los residuos sólidos y fomentar el reciclaje.
- Bermas y/o muros para proporcionar abrigo.
- Control y seguimiento a través de sistemas de control integrado (BEMS).
- Aislamiento de fuentes interiores de ruido, vapor o contaminación.

Img. 46. Escuela de Artes Visuales de Oaxaca, proyecto que responde a las características climáticas utilizando materiales locales. Mauricio Rocha. 2008.



- Prevención de filtraciones de agua contaminada al terreno.
- Entorno exterior con sombras en zonas de calor excesivo.⁴⁷

47. *Un Vitrubio ecológico. Principios y prácticas del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona: Gustavo Gili, 2007. pág. 16 y 17.

Estos planteamientos resultan muy particulares y están más enfocados al análisis y mejoramiento bioclimático sin embargo; no responden a la concepción holística en relación con los ecosistemas, es decir, al pensamiento ecológico.

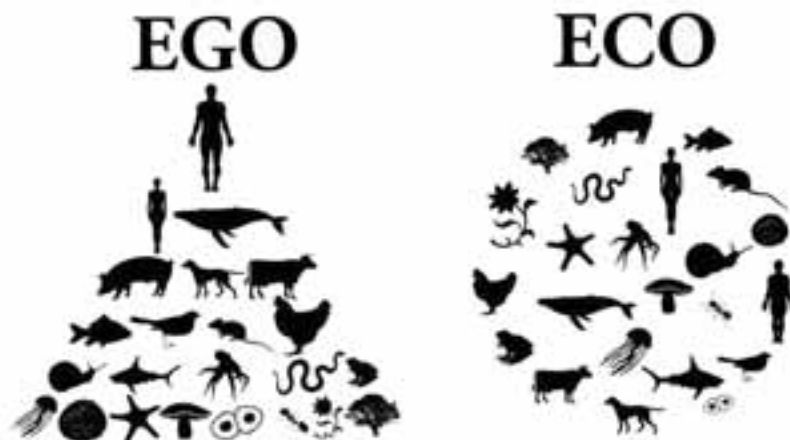
El desarrollo de la vida humana en relación con la naturaleza se vincula directamente con el pensamiento sustentable; reconocer el valor de las formas de vida no humanas llevó al filósofo y ecologista noruego Arne Naess a desarrollar el concepto de ecología profunda resaltando el derecho que tienen las especies a existir independientemente de la actividad humana.

Esta perspectiva incluye la autorrealización acorde con el concepto de estar conectados con otras formas de vida y la equidad biocéntrica, lo que significa que todas las especies tienen el mismo derecho intrínseco de existir. Los principios de la ecología profunda fueron determinados por Arne Naess y George Sessions.

- El bienestar y prosperidad de las formas de vida humanas y no humanas tienen un valor inherente. Cada valor de la utilidad del mundo no humano es independiente de los propósitos humanos.
- La riqueza y diversidad de las formas de vida contribuyen a la realización de dichos valores y también son valores en sí mismos.

- Los humanos no tienen derecho a reducir esta riqueza y diversidad excepto para satisfacer necesidades vitales.
- El progreso de la vida humana y la cultura es compatible con una sustancial disminución de la población. El progreso de las formas de vida no humanas requiere tal disminución.
- La actual interferencia humana en el mundo no humano es excesiva y la situación empeora rápidamente.
- Las políticas deben ser modificadas. Las políticas afectan las estructuras básicas de economía, tecnología e ideología. El resultado de estos asuntos será muy diferente al del presente.
- El cambio ideológico es esencial para la apreciación de la equidad de la vida en vez de aportar en el incrementar los altos estándares para vivir. Habrá un profundo entendimiento en la diferencia entre la grandeza y la importancia.

Img. 47. Ilustración que contrapone el pensamiento antropocéntrico con el ecocéntrico.



- Tomar en cuenta los puntos anteriores implica tener la obligación directa o indirecta para tratar de implementar los cambios necesarios.⁴⁸

48. EDWARDS, Andres R. *The Sustainability Revolution: Portrait of a Paradigm Shift*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2009. pág. 115 y 116.

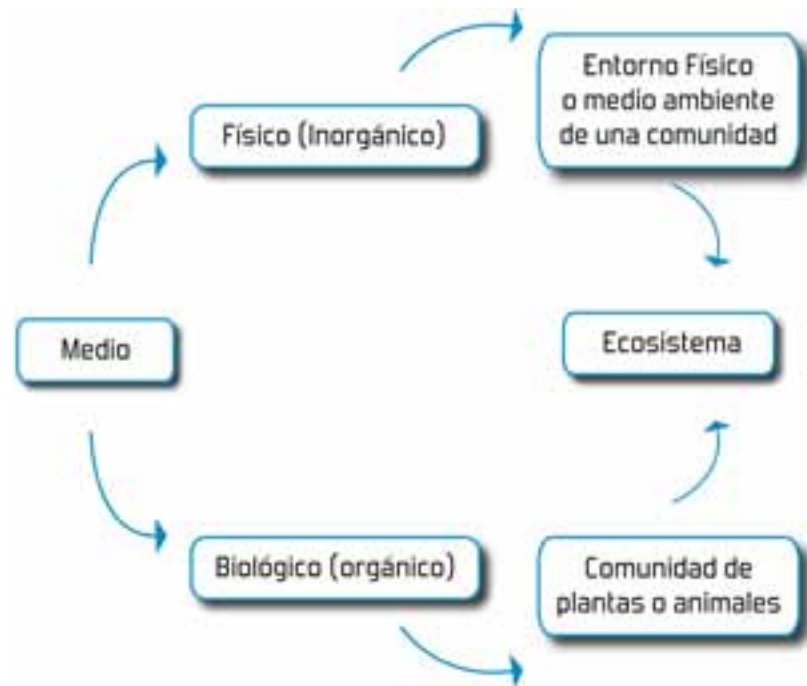
Este postulado evidentemente refleja un profundo respeto y entendimiento por las formas de vida y la diversidad que compone la biosfera, sin embargo, algunos puntos pueden resultar drásticos en el pensamiento contemporáneo, pues el hombre deja de ser la medida de todas las cosas y da paso a que otras especies se desarrollen independientemente de los intereses sociales.

No obstante el desarrollo del pensamiento ecológico ha florecido en diferentes disciplinas y ha evolucionado de acuerdo a su contexto histórico y social.

Cuando se lleva la composición arquitectónica más allá de sí misma y se introducen los factores de tiempo y energía se debe conocer de qué manera se asocia con el medio.



Img. 48. Jianshe HQ Tower, proyecto de ecológico de integración ambiental y generación energética. Ken Yeang. 2011.



Img. 49. Diagrama general de interacción de los componentes de un ecosistema.

De acuerdo a los fundamentos ecológicos desarrollados por el arquitecto malasio Ken Yeang, se denomina sistema proyectado a la concepción arquitectónica y puede inferirse que el sistema construido es la obra arquitectónica. Un ecosistema o sistema ecológico es el conjunto de interacciones entre los componentes biológicos y físicos del medio de un área determinada.

Es sabido que en la historia de la naturaleza existe una ley universal por la cuál sólo sobreviven las especies que se encuentran en armonía con su entorno, en equilibrio con los materiales que las rodean y adaptadas a todas aquellas fuerzas, internas o externas, a las que se encuentran expuestas.

El planteamiento ecológico exige estudiar y analizar holísticamente el ecosistema en el que se emplaza el proyecto, con la finalidad de comprender detalladamente

todos sus componentes y procesos, su susceptibilidad al cambio y a la intervención prevista en el proyecto; podría suponerse que es en esta parte donde el quehacer arquitectónico se vuelve completamente interdisciplinaria, pues aunque el pensamiento compositivo va más allá de los cánones arquitectónicos, la formación de los diseñadores no comprende el análisis profundo de los ecosistemas.

En conjunto con el análisis mencionado, el planteamiento ecológico requiere del estudio del sistema proyectado, no sólo por métodos bioclimáticos sino pensando en el nivel de interacción que tiene con el medio, y de qué manera se vincula.



Img. 50. Diagrama general de interacción energía y materia.

El medio edificado no puede ser considerado como un sistema estático e inmutable, pues produce cambios en los sistemas ecológicos. El proyecto necesita predecir y establecer las interacciones y consecuencias en el ecosistema, no sólo antes de su construcción, sino también durante y al final de su vida útil.

Por lo tanto, los arquitectos estarán obligados a formular el destino de la materia después que cumplió con la función arquitectónica, el sistema edificado es un sistema proyectado con un modelo de ciclo de vida, por lo cual el proyecto arquitectónico se vuelve una gestión de la materia y de los recursos energéticos.

Img. 51. El pensamiento ecológico no puede resumirse en un proceso lineal pues cada acción se encuentra condicionada.



Si se pretende asegurar la disponibilidad y continuidad de los recursos para las generaciones venideras, los proyectistas deben perfeccionar su uso. Asimismo, si se quiere asegurar el balance de los ecosistemas es imprescindible reducir al mínimo los efectos negativos del sistema edificado que produce el desplazamiento espacial de los ecosistemas.

Los ecosistemas no operan como sistemas lineales, por lo tanto, no pueden ser caracterizados por una simple relación directa de causa y efecto, cualquier cambio introducido en el ecosistema produce una multiplicidad de efectos.

Img. 52. *Bosco Verticale*. Proyecto en construcción que busca reforestación y naturación en una zona urbana. Por medio de dos torres residenciales albergará 900 árboles además de contar con sistemas de autogeneración energética. Stefano Boeri Architetti. 2007.



biomiméticos

Del cuadrado al círculo

La evolución de la arquitectura a través del tiempo ha sido sumamente contrastante, siempre tratando de renovarse y ofreciendo nuevos planteamientos de acuerdo a su contexto y a la tecnología con que se dispone.

Se ha mencionado las implicaciones que trajo consigo la revolución industrial, sin embargo, para el análisis y comprensión del desarrollo arquitectónico contemporáneo es importante revisar los cambios que se dieron a finales del siglo XIX y las consecuencias que tuvieron durante el siglo XX.

Hoy en día, los procesos de diseño y construcción planteados siguen siendo utilizados y son parte de la cotidianidad; fueron diversos y variados los adjetivos que se le dieron a la arquitectura durante estos periodos, no sólo se marcaron cambios sociales importantes a causa de las nuevas formas de habitar, sino también se contribuyó a una problemática ambiental que en la mayoría de los casos no se tenía prevista.

En este caso no es de interés hacer un estudio riguroso de las implicaciones que tuvieron los cambios archi-

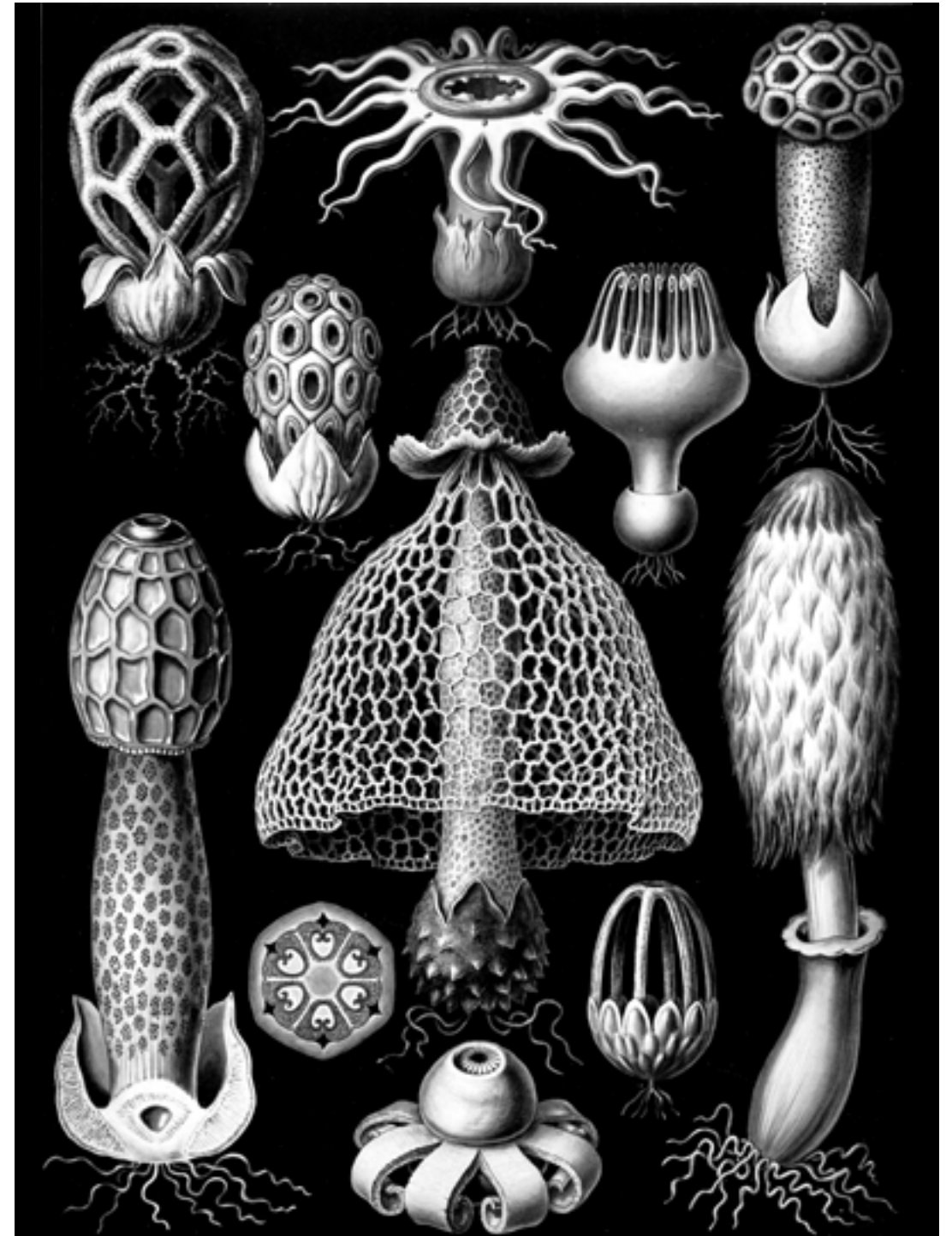
tectónicos, sin embargo, sí es importante revisar de manera sintética proyectos que han partido del estudio de la naturaleza y cuáles fueron sus causas.

A finales del siglo XIX con el movimiento Art Nouveau, el arquitecto belga Victor Horta, uno de sus principales representantes, ya dejaba atrás el historicismo ecléctico buscando una renovación en la arquitectura a través del interés por las formas naturales, desarrolló proyectos innovadores no sólo por la disposición espacial, sino por que además, aprovechando las propiedades del acero, implementó formas orgánicas en la ornamentación como en la concepción estructural.

La arquitectura desarrollada por Horta fue uno de los más puros ejemplos de las características del Art Nouveau, movimiento que también fue definido por varias disciplinas artísticas, claramente inspirado por la fascinación de los complejos y elegantes motivos naturales.

Al mismo tiempo pero en Barcelona, Antoni Gaudí proyectaba una serie de construcciones que atendían a su visión filosófica de la vida y la naturaleza, influenciado por los estudios de Ernst Haeckel de quien se dice que "luchó contra una concepción biológica del universo, en la que la materia estaba integrada, no ya en la vida, sino en el pensamiento".⁴⁹

Gaudí desarrolló particulares construcciones que formaron parte del modernismo integrando en las edificaciones las formas orgánicas de la naturaleza de manera contundente dejando muy atrás las reminiscencias renacentistas.



49. CIRLOT, Juan-Eduardo, *Gaudí. Una introducción a su arquitectura*. Barcelona: Triangle Postals, 2001. pág. 14.

Hubo una gran influencia de las formas naturales que evidentemente fueron copiadas con un fines plásticos, estilistas y estructurales. La importancia del modernismo radica en la nueva concepción de las formas y en la intensa búsqueda de renovación donde se da un desprendimiento de los patrones clásicos, Gaudí fue uno de los más brillantes e innovadores arquitectos de su época y su arquitectura continúa siendo un referente obligado en la historia de la arquitectura.

Img. 54. Gaudí encontró en la naturaleza inspiración para su reinterpretación formal.



Ya en el siglo XX surge de manera muy alterna el racionalismo, movimiento que exploraba técnicas de construcción y nuevos materiales dejando atrás cualquier forma de ornamentación, fue un periodo de radicales transformaciones arquitectónicas, se desarrollaba el funcionalismo y

con ello el movimiento moderno estableció diversas teorías que aún siguen vigentes, se construyeron edificios emblemáticos y ciudades enteras bajo los mismo principios.

Frank Lloyd Wright, uno de los arquitectos estadounidenses más importantes de todos los tiempos, tras desarrollar numerosas obras de carácter racional, buscaba una forma diferente de concebir la arquitectura. A mediados del siglo pasado, Giovanni Papini viaja a la Taliesin de Wisconsin para entrevistar a Wright quien condena las construcciones que se han hecho en el pasado incluyendo sus propias obras y finalmente se proclama en favor de la naturaleza:

Todo lo que los arquitectos han hecho hasta hoy —con muy pocas excepciones en el Medioevo y en Japón—, Ha sido un ridículo error. Es preciso renunciar y suprimir todo lo que se superpone a la naturaleza, lo que es fruto de la vanidad y de la estupidez del hombre: las fachadas, las moles, las simetrías, el gusto, el fasto, la ornamentación, la grandiosidad, las ostentación, la acumulación el edificio que tiene por objeto causar un estupor estético, la ciudad destinada a la convivencia sofocante y gregaria. Todo lo que deforma, enmascara y sobrepasa a la naturaleza, es un delito (...) La arquitectura, incluso tal cual yo la entiendo, no es más que un aditamento a la naturaleza, una violación impertinente y parasitaria del paisaje. El género humano debe cesar ya de obstaculizar y de afear los santos y libres campos con sus desmañadas construcciones de piedra, de hierro y de cemento. Y tenga presente que en esta condenación no exceptúo ni siquiera a

50. Frank Lloyd Wright en entrevista con Giovanni Papini. PAPINI, Giovanni. *El libro negro*. 7a. edición. México: Epoca, 2004, pág. 31 y 32.

mis construcciones del pasado. De ahora en adelante es preciso buscar las habitaciones del hombre en la naturaleza misma, donde existe desde antes, prontas y hospitalarias: bastarán unos pocos retoques y algunas adaptaciones.⁵⁰

Con tan contundentes declaraciones Wright trató de dar un giro a la arquitectura que desarrollaba y voltearía a ver las formas orgánicas de la naturaleza como fuente de inspiración, donde consideraba que la espiral simbolizaba el proceso orgánico. Así surge la denominada arquitectura orgánica que fue descrita por Wright de la siguiente manera:

...la arquitectura orgánica es el ideal moderno y la enseñanza tan necesaria si queremos ver el conjunto de la vida, y servir ahora al conjunto de la vida, sin anteponer ninguna "tradición" a la gran TRADICIÓN. No exaltando ninguna forma fija sobre nosotros, sea pasada, presente o futura, sino exaltando las sencillas leyes del sentido común —o del super-sentido, si ustedes lo prefieren— que determina la forma por medio de la naturaleza de los materiales, de la naturaleza del propósito (...) ¿La forma sigue a la función? Sí, pero lo que importa más ahora es que *la forma y la función son una*.⁵¹

Aunque la postura arquitectónica de Wright fue cambiante durante toda su vida, trató de ser elocuente con sus pensamientos y la obra construida. Su controversial declaración sobre la arquitectura y los principios de arquitectura orgánica fueron aplicados en la última etapa de su vida y



Img. 55. El Guggenheim de Nueva York fue una de las últimas obras de Wright, una clara evolución de su concepción arquitectónica.

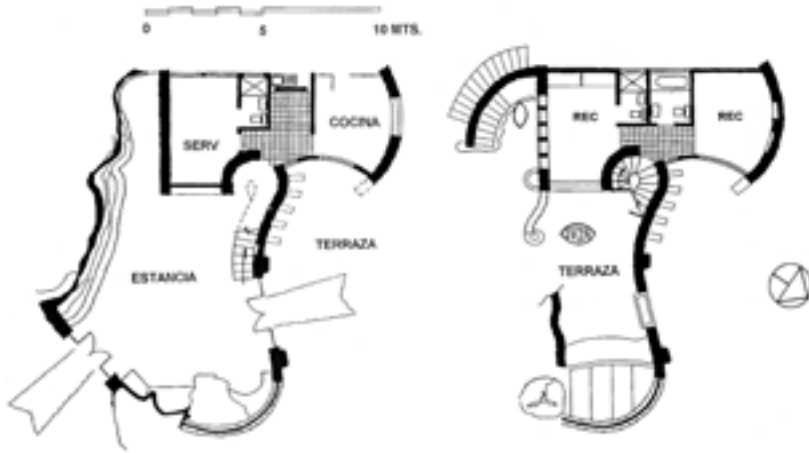
todavía alcanzó a realizar algunos proyectos donde las líneas curvas y las espirales formaron parte importante en la composición, siendo el Museo Guggenheim de Nueva York no sólo una de sus obras más representativas sino una en la que es claro el empleo de la espiral.

En México, el arquitecto y pintor Juan O'Gorman, ha sido reconocido como uno de los mayores exponentes de la arquitectura funcionalista, quien después de verse sumamente influenciado por el libro de Le Corbusier "Hacia una arquitectura" desarrolló las casas de Altavista que marcaron el inicio de una nueva época en la concepción de la arquitectura.

Sin embargo, con un legado pictórico bastante interesante y después de haber desarrollado numerosas obras, deja ver en su casa de San Jerónimo la influencia que tuvieron los principios de arquitectura orgánica de Wright.

51. WRIGHT, Frank Lloyd. *El futuro de la arquitectura*. Buenos Aires: Poseidon, 1957, pág. 176 y 177.

Img. 56. Plantas arquitectónicas de la casa de Juan O'Gorman en San Jeronimo.



(...) la arquitectura orgánica tiene como base la relación armónica con el paisaje, es decir, con la geografía de la región donde se hace, y por este motivo es regionalista. (...) procura que el edificio se convierta en el vehículo de armonía entre el hombre y la tierra, relacionada así a la geografía de la región donde se construye. (...) la arquitectura orgánica es regionalista y tradicionalista, contraria a la arquitectura del estilo internacional, que es académica, antinacional y antitradicional.⁵²

52. O'GORMAN, Juan, *Autobiografía*. 1a. edición. México: DGE Equilibrista - UNAM, 2007. pág. 163.

Tal vez la casa de O'Gorman fue mucho más radical en la aplicación de los postulados organicistas, incluso más que las obras del propio Wright, quien pudo visitarla, calificando acertadamente el proyecto; lamentablemente la casa fue destruida y aunque fue un caso único es claro que hoy en día resultaría deficiente en ciertos factores de confort.

Se observa que los postulados orgánicos ya recibían cierta influencia de la naturaleza a través de la valora-

ción de otras formas de vida y se comenzaba a hablar de la importancia del contexto.

Posteriormente, el termino fue retomado pero el concepto cambio. Hoy en día, muchos consideran que el diseño orgánico es aquel que en su composición utiliza formas curvas buscando imitar la morfología de ciertos organismos vivos, en muchos casos, de manera arbitraria y sin argumentación alguna.



Img. 57. Juan O'Gorman en su Casa de San Jeronimo.

Los postulados de la arquitectura orgánica fueron una referencia importante en una época de cambio radical en muchos países; los sistemas constructivos evolucionaron rápidamente, los prefabricados permitirán agilizar el tiempo y el costo en la industria de la construcción, las formas de concebir el hábitat cambiarán y surgirán nuevos modelos para el desarrollo de ciudades.

Al mismo tiempo, ya se vislumbraba un cambio no previsto que afectaría los factores climáticos en la Tierra y que traerían consigo problemas ambientales que atender.

Más allá de la forma

Los constantes avances tecnológicos y la búsqueda de nuevos modelos de pensamiento científico llevaron a los investigadores a trabajar en modelos complejos de pensamiento multidisciplinarios.

Img. 58. Los procesos naturales son sistemas dinámicos que se manifiestan en diferentes escalas. Esta imagen muestra una araña en su tela, el tejido sigue un diseño en zigzag llamado *stabilimentum*.



Después de que los biólogos establecieron que la ecología es una disciplina de relaciones en las que los conjuntos no pueden ser entendidos de manera aislada, surge un nuevo pensamiento que retomaría el entramado que conecta las formas de vida, la llamada teoría de los sistemas desarrollada por el biólogo y filósofo austríaco Ludwig von Bertalanffy.

Los planteamientos de esta teoría surgen en la búsqueda por la comprensión de la realidad en diferentes niveles de pensamiento, donde se determina, entre otras tantas cosas, la interconexión que existe entre las formas de vida y los modelos de pensamiento; su evolución dio paso a muchísimas propuestas con esquemas multidisciplinarios y permitió que el pensamiento sistémico fuera adoptado en múltiples campos de estudio.

Por otra parte, los psicólogos realizaron estudios sobre las influencias que tienen los espacios construidos y los ambientes en el comportamiento humano, de esta manera surge la psicología ambiental. Con la intención de unificar criterios Proshansky, Ittelson y Rivilin establecen cuatro características que definen a la psicología ambiental:

- Trata del ambiente ordenado y definido por el hombre.
- Nace de apremiantes problemas sociales.
- Es de naturaleza multidisciplinaria.
- Incluye el estudio del hombre como parte principal del problema.⁵³

De aquí se desprende la psicología ecológica planteada por el científico social Roger Barker, quien en 1968 describe el campo, los conceptos y la metodología que conjunta criterios perceptuales y conductuales del humano en relación con el ecosistema poniendo mayor énfasis en un escenario específico. Con sus investigaciones, Barker abriría una nueva brecha en el estudio de relación perceptual entre el individuo y su medio: "...para predecir el comportamiento

53. *Relaciones Hombre-Entorno: La incursión de la psicología en las ciencias ambientales y del diseño*. posgrado.unam.mx/publicaciones consultado en enero del 2012.

54. HOLAHAN, Charles J. *Psicología ambiental: un enfoque general*. México: Limusa, 2009. pág. 29.

55. *Relaciones Hombre-Entorno: La incursión de la psicología en las ciencias ambientales y del diseño*. posgrado.unam.mx/publicaciones consultado en enero del 2012.

56. *Ibidem*.

de las personas en una situación particular, se necesita saber algo sobre la naturaleza de la situación ambiental específica en la que actuarán."⁵⁴

Un grupo de investigadores mexicanos conformados por Serafin Mercado, Javier Urbina y Patricia Ortega explican: "...la psicología como una ciencia ecológica, (...) estudia la forma como los organismo se integran al entorno a través de sus capacidad de manejo de la información ambiental; y por el modo en que esta infoarmación modula los programas de acción de los sujetos."⁵⁵

De igual forma aclaran: "La visión ecológica de la psicología implica no solamente el ambiente natural, que ha sido preocupación del biólogo especializado en ecología, sino del entorno diseñado y construido, que ha sido más bien la preocupación del ingeniero y arquitecto."⁵⁶

En estas disciplinas se observa que existe un planteamiento para entender el comportamiento y las diferentes percepciones de los individuos en su interacción con otros y en relación con el medio natural y los ambientes construidos.

En el ámbito del diseño y la construcción hay mucho que aprender de estas ciencias multidisciplinarias, permitiendo ampliar el campo de conocimiento de los arquitectos proporcionándoles nuevos parámetros en la concepción de ambientes, sugiriendo que el diseño de los espacios debe responder también al bienestar psicológico.

Con la búsqueda de nuevos modelos de diseño los valores arquitectónicos dejan de ser categóricos y subjetivos buscando parámetros de bienestar que puedan cumplirse a través del diseño de ambientes.

Aprendiendo de la naturaleza

Al conjuntar el análisis psicológico con el modelo ecológico se buscó entender ciertos parámetros de bienestar donde el hombre, parte de la naturaleza, fue el modelo de estudio; sin embargo, en el área de la medicina no sólo era indispensable conocer la fisiología del hombre para mantener la homeostasis y fue necesario estudiar otras formas de vida para poder generar nuevas soluciones con criterios y alcances mucho mayores, de esta forma surgen los postulados biomiméticos.

En 1969 el Ingeniero y biofísico americano Otto H. Schmitt acuñó el termino *Biomimetics* después de desarrollarse en el campo de la biónica. Esta nueva ciencia representa el estudio y la imitación de los métodos de diseño y procesos de la naturaleza, el termino Biomimesis proviene del griego *bios*, vida y *mimesis*, imitar.⁵⁷

La biomimética no es una disciplina nueva, sin embargo con poca difusión se ha desarrollado especialmente dentro de la ingeniería y la medicina.

Con una perspectiva contemporánea, la norteamericana Janine Benyus actual presidenta del *Biomimicry Institute*, desde su visión como bióloga, consolida los planteamientos generales para el modelo biomimético de manera interdisciplinaria tratando de abarcar diferentes ámbitos de diseño y producción, buscando que la metodología ayude a preservar la vida en el planeta.

Benyus establece que la biomimesis parte de tres niveles básicos de imitación que, al menos en la búsqueda de aplicación a nivel de diseño, deben ser empleados de manera conjunta para lograr un planteamiento integral.

57. BAR-COHEN, Yoseph (ed.). *Biomimetics: biologically inspired Technologies*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006. pág 2.

58. Una conversación con Janine Benyus. biomimicryguild.com consultado en junio del 2012.

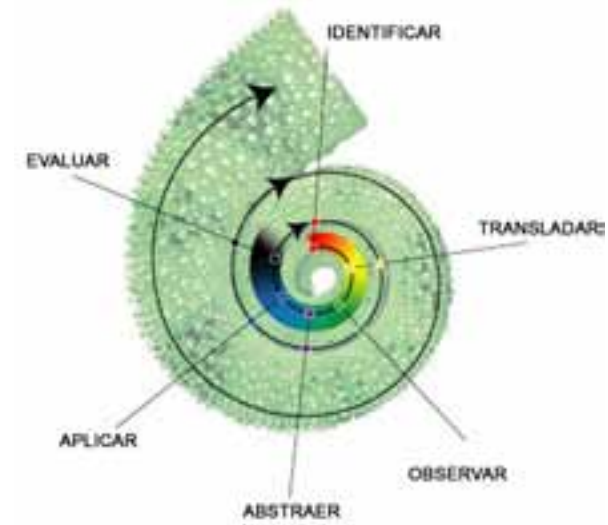
- 1er nivel Imitar la forma natural.
- 2do nivel Imitar el proceso natural.
- 3er nivel Copiar el funcionamiento de los ecosistemas.⁵⁸

A diferencia de la biónica, la biomímesis no sólo busca la inspiración de las soluciones biológicas para resolver problemas particulares o imitar modelos de diseño, sino que busca también entender los procesos metabólicos y ciclos naturales abarcando una serie de posturas ecológicas llevando el método a un nivel multidisciplinario a través de valores econcéntricos. Benyus explica la diferencia entre la biónica y biomímesis de la siguiente manera:

Biomímesis no es biotecnología, la biomímesis aprende y emula como las arañas crean la seda; la biotecnología trasplanta los genes con los que las arañas hacen la seda a las cabras, después clasifican la seda de la leche esperando que los genes no se pierdan. La biotecnología son chicos listos con cerillos en un deposito de petróleo; la biomimética son adultos sabios en una selva con linternas. La biotecnología es arrogancia pura; la biomímesis es humildad luminosa que trata a la naturaleza como modelo y mentor, apreciada no como una mina ha ser despojada de sus recursos sino como algo de lo que se puede aprender.⁵⁹

El *Biomimicry Institute* (Instituto de Biomimética) es un organismo internacional multidisciplinario que ha desarrollado toda una plataforma de investigación, consultoría, diseño y producción con nuevos modelos de pensamiento, que parten del aprendizaje de cómo los organismos subsisten

59. *TIME's Heroes of the Environment 2007*. <http://www.time.com> consultado en junio del 2012.



Img. 59. Espiral biomimética, esquema desarrollado por el Biomimicry Institute para la implementación de estrategias.

y se adaptan a las condiciones ambientales con la participación multidisciplinaria, han difundido diversos criterios de aplicación por medio de estudios científicos.

A través de una metodología basada en la Espiral de Diseño Biomimético proponen una herramienta de diseño que a grandes rasgos puede ser empleada para resolver problemas específicos a través de la innovación.

Los principios biomiméticos han sido utilizados en diferentes áreas del conocimiento, principalmente, para desarrollar nuevas tecnologías que pueden ser aplicadas en mecanismos o productos.

La investigación de las características biológicas de las diferentes especies es una labor continua, el Instituto de Biomimética a través del portal *asknature.com* ofrece un compilado de las diferentes estrategias de aplicación biomimética y propone un sistema de organización de los recursos a través de lo que denominan Taxonomía Biomimética, donde el primer nivel de clasificación está dado por ocho grupos de aplicación:

- Descomposición.
- Obtención, almacenamiento y distribución de recursos.
- Mantener la comunidad.
- Mantener la integridad física.
- Fabricación.
- Modificación.
- Moverse o permanecer.
- Procesos de información.

De aquí se desprenden 30 grupos y 162 funciones con más de 1,400 estrategias que pueden ser aplicadas en diferentes disciplinas y escalas. Grupos de arquitectos y diseñadores en conjunto con científicos ya comienzan a desarrollar proyectos fundamentados en esta serie de estrategias.

Por su parte, el arquitecto español Vicente Guallart, a través de la práctica ha desarrollado *GeoLogics*, sus propias estrategia para los procesos arquitectónicos fundamentada en el orden natural donde plantea que el conocimiento del medio es fundamental para la construcción de entornos habitables.

60. GUALLART, Vicente. *Geologics. Geografía Información Arquitectura*. Barcelona [etc.]: Actar, 2008. pág. 4.

Entendemos un orden natural como aquel que emerge de la naturaleza de las cosas, de sus principios básicos, siguiendo patrones tendentes a la generación y conservación de la vida.

La arquitectura así es un proceso que añade nuevas capas de historia a los lugares. Si sabe interpretar los valores del sitio, será capaz de producir un lugar con mayor complejidad y riqueza y dejarlo abierto a la vida, a su transformación y evolución.⁶⁰

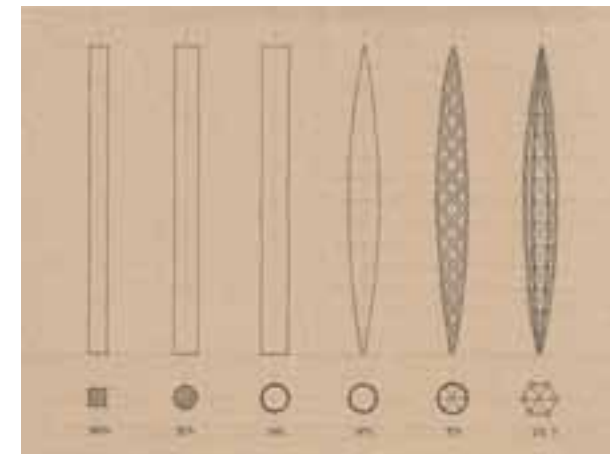
Es claro que su postura tiene un enfoque ecológico y busca en el entendimiento de las formas de vida, maneras de hacer arquitectura.

Guallart, dentro de sus "lógicas geográficas", ubica la biomimética dentro de las lógicas relacionadas con el entorno y la define como: "Creación de estructuras que siguen los procesos lógicos de funcionamiento de elementos biológicos."⁶¹

61. *Ibidem*. pág. ___.

Cabe señalar que sus planteamientos son multiescalares y considera que mediante la arquitectura se pueden reproducir los procesos lógicos funcionales de elementos biológicos.

Más allá de la gran labor que realiza el Instituto de Biomimética como grupo de investigación, fomentan una diferente forma de vivir basada en el respeto por las otras especies y en el entendimiento de otras formas, desarrollar nuevas estrategias para la resolución de problemas específicos; sin embargo, es claro que el resultado de la aplicación de las estrategias propuestas será comprobado con el paso del tiempo, pero lo más importante es entender



Img. 60. La optimización de la materia es un principio biomimético empleado en el diseño arquitectónico.

que al ser un proceso multidisciplinario, cada una de las especialidades en conjunto con otras, deberá encontrar una ruta para la aplicación de los conocimientos teniendo como eje central la preservación de la biosfera.

El trabajo de Guallart, y el de otros arquitectos que se revisarán, ya forman parte de nuevos modelos de pensamiento y acción con respecto de los procesos contemporáneos de diseño arquitectónico.

Img. 61. *HiperCatalunya*, estudio y planteamiento de configuración territorial a largo plazo utilizando los elementos potenciales del contexto. Guallart Architects. 2003.



procesos

La arquitectura, en sus orígenes, es una fuerza destructiva. Los árboles son talados, las montañas son transformadas en terrenos planos, la tierra es penetrada a través de la excavación de los agujeros para los cimientos (...) La dialéctica pareja destrucción-construcción que de este modo adquiere un nuevo parámetro de valor, hoy en día una inspiración: el deseo de crear una nueva naturaleza protectora, hermosa y comprensiva.

Josep Lluís Mateo

Img. 62. La naturaleza se desenvuelve en procesos complejos sin producir contaminantes aprovechando los recursos de su medio. El Agave victoriae-reginae es una cactácea mexicana.



arquitecturas utopía y distopía

Muchas veces la naturaleza ha servido ya como modelo de inspiración para el diseño, dentro de los tres niveles de diseño biomimético planteados se conocen varios proyectos arquitectónicos en el primer nivel: imitación de la forma.

Diversos arquitectos han tomado la fisiología y la anatomía de especies animales y vegetales como metáfora para el diseño arquitectónico, construcciones memorables que han implementado nuevos sistemas constructivos o han llevado a la industria a transformarse para brindar o aplicar nuevos materiales y tecnologías.

Las aceleradas formas de vida contemporáneas dentro de las megalópolis y el avance de la tecnología y las comunicaciones han proporcionado nuevas herramientas para el diseño; se ha obligado a la industria de la construcción a transformarse y con ello a cambiar el rumbo en los procesos; lo anterior ha servido para proyectar dentro de los siguientes niveles de diseño biomimético.

La imitación del proceso natural se ha desarrollado mediante propuestas puntuales de aplicación, principalmente para bioclimatización, sin embargo existe una constante evolución en la forma y en la manera de concebir los espacios, este tema se abordará más adelante.

Algunos proyectos fundamentados dentro de un marco ecológico han buscado la imitación del funcionamiento de los ecosistemas, en este punto se podría reconocer escasos proyectos, pues en su gran mayoría, únicamente se habla del sistema construido como un pequeño ecosistema muchas veces aislado de su contexto, pero ¿Qué pasará con el sistema construido una vez finalizado su tiempo de vida? es decir, los edificios deben buscar integrarse en los ecosistemas inmediatos y en general tomar en cuenta los materiales pensando en su ciclo natural.

L'Hemisfèric

El arquitecto, ingeniero y artista catalán Santiago Calatrava, con la evidente influencia de Gaudí, ha desarrollado proyectos con asombrosas formas, la mayoría inspiradas en el movimiento y en la articulación de los organismos vivos

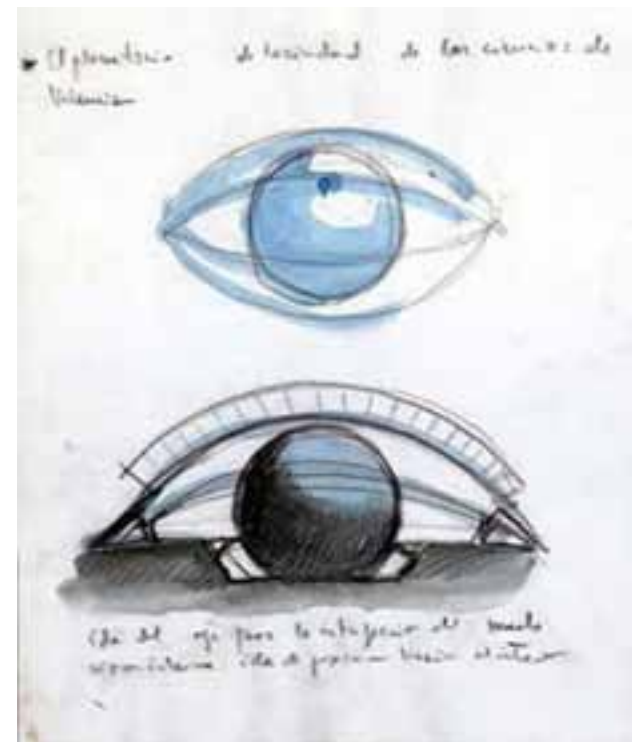
Img. 63. A través del estudio de la anatomía y el movimiento, Santiago Calatrava abstrae metáforas de diseño.



resolviendo sus propuestas a través de complejos sistemas de estructuras que remiten a una relación obvia y evidente con las formas de la naturaleza.

En el conjunto científico y cultural denominado como Ciudad de las Artes y las Ciencias en Valencia, Calatrava diseñó *L'Hemisfèric*, una construcción articulada que alberga una sala de cine imax, este proyecto es mejor conocido por evocar la forma de un ojo humano.

Los proyectos de Calatrava cuentan con un gran carácter estético indudable, sin embargo, sus obras han sido controversiales y muy criticadas por su carente propuesta funcional; cabe señalar que dentro del mencionado conjunto hay un edificio proyectado por Félix Candela, poco conocido y de gran valor arquitectónico.



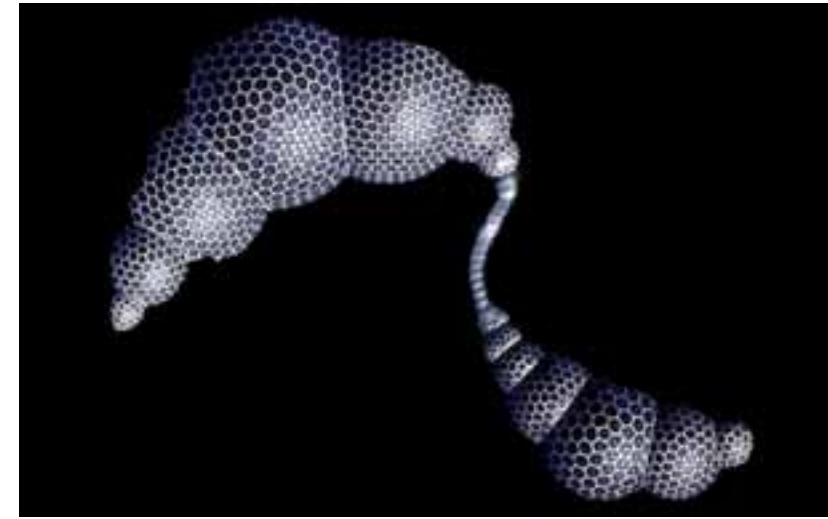
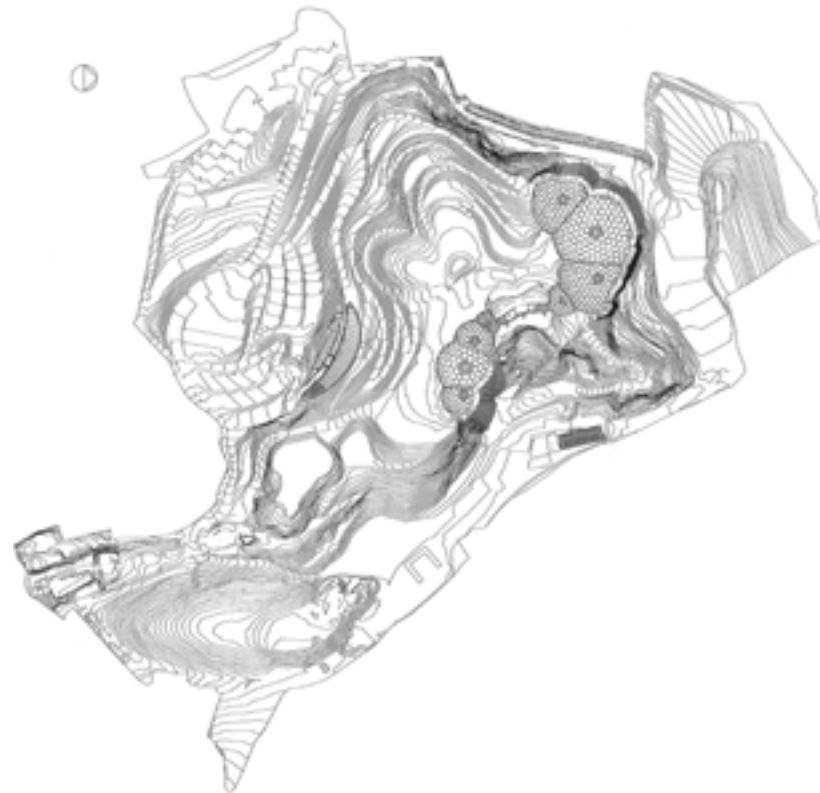
Img. 64. Esquema conceptual para el proyecto de *L'Hemisfèric*.

Existen muchos otros ejemplos de imitación de la naturaleza, varios de ellos carentes de sentido, terminan siendo una burda copia de la forma natural, y otros más acertados, abstraen y reinterpretan ciertos patrones de la naturaleza aplicándolos funcionalmente.

The Eden Project

En 2001, después de dos años de construcción, se terminó el *Eden Project*, un conjunto arquitectónico medioambiental que promueve la conservación y realiza labores de difusión cultural. Este conjunto de 50 hectáreas fue diseñado por Nicholas Grimshaw bajo ideales sustentables con un planteamiento biomimético.

Img. 65. Planta de conjunto del *Eden Project*.



Img. 66. El análisis de formas naturales como burbujas, granos de polen y radiolarios ayudaron a Grimshaw a proyectar una estructura eficiente con la menor cantidad de material posible.

El proyecto, articulado por una serie de estructuras geodésicas moduladas hexagonalmente, fue inspirado por ciertas composiciones encontradas en la naturaleza, arreglos que seguían la misma estructura de agrupamiento. Cuenta con un recubrimiento de ETFE que permiten albergar dos invernaderos con biomas⁶² diferentes.

62. Un bioma es una región que comparte clima, flora y fauna formando ecosistemas característicos de una zona biogeográfica.

El Proyecto Edén tuvo gran éxito por transformar un lugar casi inhabitable en un sitio de gran reconocimiento, un importante atractivo turístico que además de genera más de 600 empleos.



Img. 67. Vista general del *Eden Project*.

El proyecto de Grimshaw reinterpreta la forma natural convirtiéndola en una clara estrategia de diseño para desarrollar un proyecto con identidad y compromiso ambiental. No sólo utiliza las formas naturales como inspiración, sino que también, entiende el sitio y propicia las condiciones ambientales para propagar la vida.

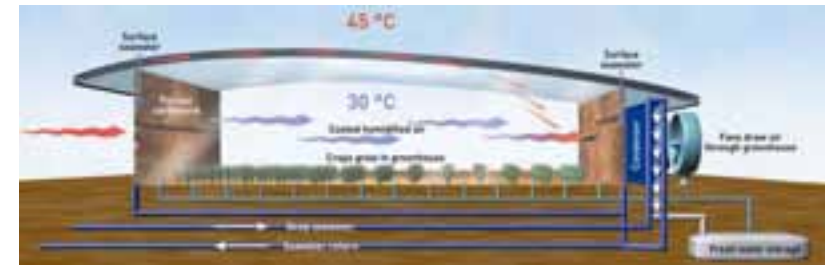
Como se ha mencionado, las estrategias biomiméticas planteadas por el Instituto de Biomimética difícilmente pueden ser aplicadas cabalmente en un proyecto arquitecto, pues el edificio, al ser un sistema complejo, no puede valerse únicamente de una determinada estrategia, pero sí pueden ser empleadas de manera puntual con respecto del concepto y la intención arquitectónica, un principio importante de la biomimética es encontrar formas de aunar tecnologías formando grupos simbióticos.⁶³

Seawater Greenhouse

Michael Pawlyn, quien ha realizado investigaciones sobre biomimética y sus aplicaciones en la arquitectura, ha lo-

63. El termino simbiosis se refiere a una asociación de individuos animales o vegetales de diferentes especies.

Img. 68. Escarabajo del desierto de Namib. Las características anatómicas de este insecto le permiten sobrevivir en condiciones extremas absorbiendo el agua contenida en el ambiente.



Img. 69. Esquema general de funcionamiento de un invernadero de agua de mar.

grado reinterpretar la función de ciertos organismos vivos y sus características de supervivencia como fuente de inspiración para desarrollar proyectos muy ambiciosos, en colaboración con Charlie Paton han desarrollado el Invernadero de Agua de Mar (The Seawater Greenhouse).

Este proyecto ha sido concebido para zonas costeras áridas con la intención de hacer fértil el suelo, o como lo denomina Pawlyn, una desertificación inversa, mediante la desalinización del agua con ayuda de sistemas pasivos.

El sistema funciona con una serie de parrillas de evaporación, el viento deja pasar la cantidad de humedad necesaria para que las plantas existan, en el interior la temperatura desciende y finalmente en la parte posterior la humedad se condensa en forma de agua dulce.



Img. 70. Invernadero de agua de mar en Tenerife. Después de un periodo se demostró que existía nueva vegetación alrededor del invernadero.

Durante este proceso se produce un ligero excedente de agua dulce, que además, ha permitido que algunas plantas crezcan en el exterior. Este proyecto se sigue desarrollando con gran éxito en otras partes del planeta como Oman, Australia o Abu Dhabi y funciona bajo el principio de cómo los escarabajos de Namib obtienen agua en zonas desérticas.

The Sahara Forest Project

Michael Pawlyn en la búsqueda de nuevos paradigmas ha trabajado bajo tres premisas importantes para el desarrollo de proyectos:

- Aumento radical en la eficiencia de los recursos.
- Pasar del uso de los recursos en forma lineal a un modelo de circuito cerrado.
- Pasar de una economía de combustibles fósiles a una economía solar.⁶⁴

El proyecto del Bosque del Sahara surge como una extensión de las posibilidades de los invernaderos de agua de mar, incrementando sus posibilidades con la aplicación de granjas de energía solar. La implementación de este tipo de

64. *Using nature's genius in architecture*, conferencia de Michael Pawlyn en febrero del 2011.

Img. 71. Vista general del proyecto del Bosque del Sahara. Michael Pawlyn y SFP Team, 2009.



tecnologías en lugares desérticos es totalmente factible, de esta manera, no sólo se produciría la energía necesaria para los invernaderos sino que además ayudaría a generar sombras para realizar nuevos cultivos.

Así mismo, es importante mencionar que durante la desalinización del agua se obtiene carbonato de calcio, mismo que puede ser aprovechado posteriormente para fabricar materiales de construcción.

La desalinización del agua es un proceso que se ha estudiado ya desde hace algún tiempo, con mayor o menor éxito el proceso representa complejidad y gran consumo energético.

En este proyecto, utilizando la inspiración de algunos organismos y la implementación de tecnologías renovables, se logra cumplir con las tres premisas de Pawlyn creando un modelo de sistema cerrado; sin embargo, es importante entender que la complejidad de los sistemas radica en la conexión que puedan tener con otros sistemas, por lo tanto, podríamos llamar a éste un sistema cerrado y al mismo tiempo abierto, pues el aprovechamiento del carbonato de calcio es introducido en otro sistema de manera no contaminante.



Img. 72. La construcción del Bosque del Sahara comenzó a finales del 2012.



Img. 73. Disposición general del Proyecto piloto del SFP en Catar. Michael Pawlyn y SFP Team, 2012.

1. Energía solar por concentración.
2. Invernaderos de agua salada.
3. Vegetación exterior y coberturas de evaporación.
4. Energía solar fotovoltaica.
5. Producción de sal.
6. Halófitas (plantas que crecen en áreas salinas).
7. Producción de algas.

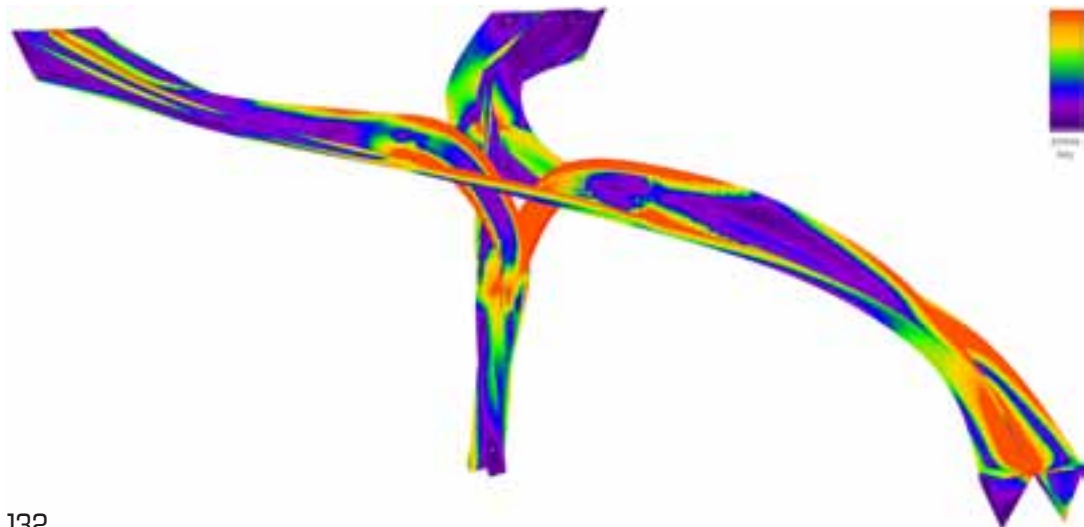
Shi Ling Bridge

El desarrollo y desenvolvimiento de las formas naturales ha servido como inspiración para muchos en la simple imitación de la forma, cuando se lleva el análisis más allá de lo formal se observa la majestuosidad de cómo los organismos de manera ordenada desarrollan complejas composiciones donde sección de la materia tiene una razón de ser que responde al entorno y a la forma de supervivencia.

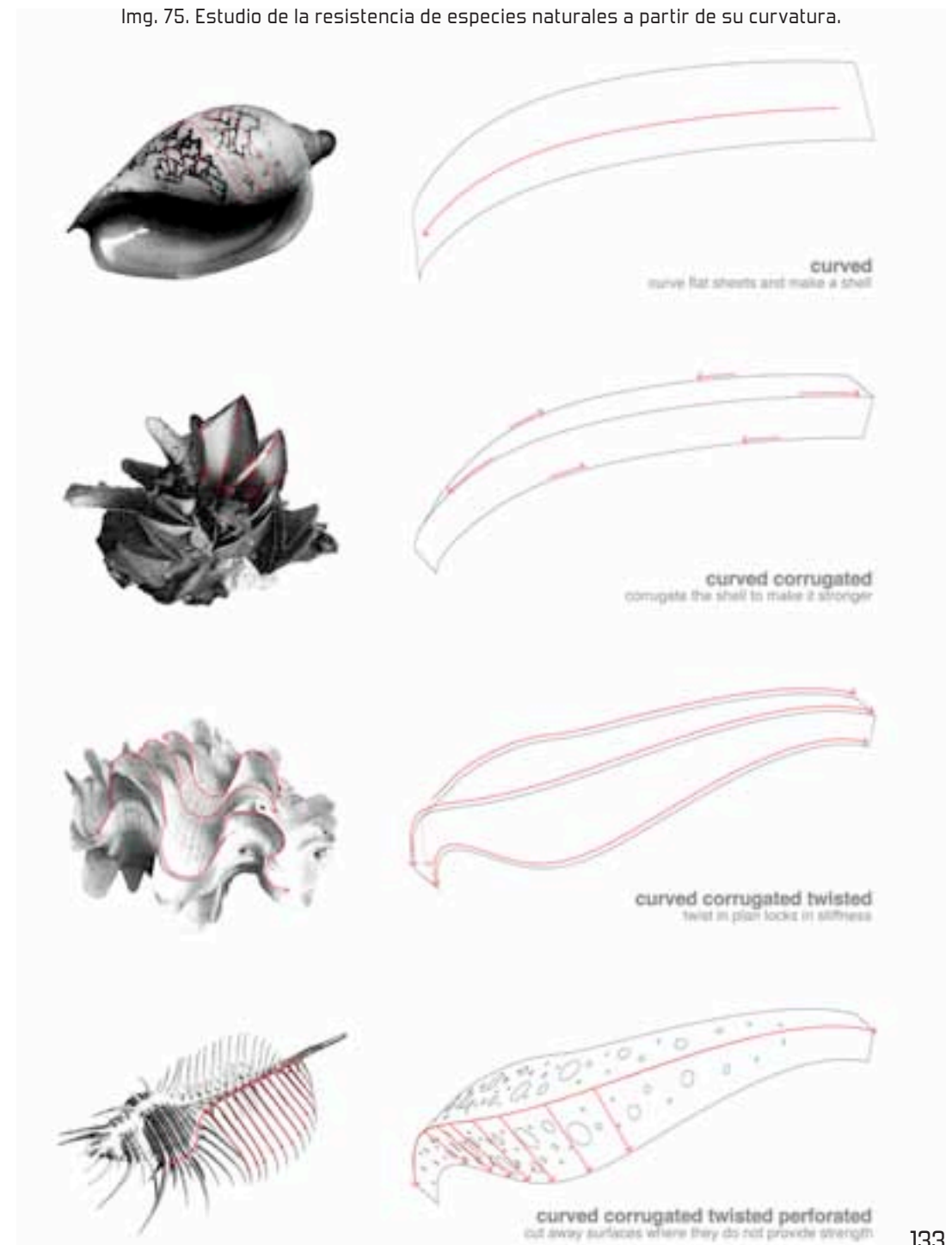
El uso de los recursos de las especies y, como su complejidad refleja, esto tiene que ver con la eficiencia de los recursos, hacer más con menos y utilizar de manera eficiente los materiales.

Desarrollado por el estudio de arquitectura Tonkin Liu el Puente Shi Ling es una propuesta donde se explora la resistencia de los materiales, no sólo por su naturaleza sino por la disposición formal que pueda adquirir para hacerlo más resistente de acuerdo al análisis mecánico reduciendo el uso de material y desperdicios.

Img. 74. Modelo digital para el análisis de curvatura y esfuerzos.



Img. 75. Estudio de la resistencia de especies naturales a partir de su curvatura.



El Proyecto ha sido planteado para librar un claro de 75 metros, mediante el análisis digital de la superficie se determinan las zonas de mayor esfuerzo y para su construcción se propone una placa de 15mm de espesor cortada con tecnología CNC.

La estructura se compone de tres arcos asimétricos que se desenvuelven de una sola columna de soporte y tres vigas triangulares de torsión que forman las rutas de la curva. Esta técnica constructiva se denomina *Shel Lace Structure* y está basada en la rigidez que adquieren los organismos por medio de los pliegues que desarrollan.

Img. 76. Modelo a escala del Puente Shi Ling.



Fab Tree Hab

Los proyectos que se han revisado hasta ahora son grandes ejemplos de imitación de los procesos naturales con grandes resultados y se observa que la tecnología es un aliado importante en el análisis y desarrollo, bueno o malo según como se emplee, este hecho ha generado ciertos ecosistemas con características artificiales y cabría pre-



Img. 77. Conjunto de viviendas desarrolladas con el modelo *Fab Tree Hab*.

guntar ¿Hasta que punto algo deja de ser natural? y ¿En que medida los desarrollos urbanos forman parte de la naturaleza?

Aunque son temas extensos y complejos no se profundizará en ellos, pero es importante tenerlos en cuenta para llegar a planteamientos más avanzados, no sólo en el aprendizaje de las otras especies, sino también en su integración.

Mitchell Joachim, uno de los más prolíficos e innovadores arquitectos de los últimos años, quien ha realizado investigaciones en estos temas, ha desarrollado proyectos con un profundo enfoque ecológico, el *Fab Tree Hab* es un proyecto que no sólo hace referencia a algunas películas

Img. 78. Esquema de crecimiento del *Fab Tree Hab*.



de ciencia ficción, sino que resulta interesante pues su argumentación y los planteamientos son viables.

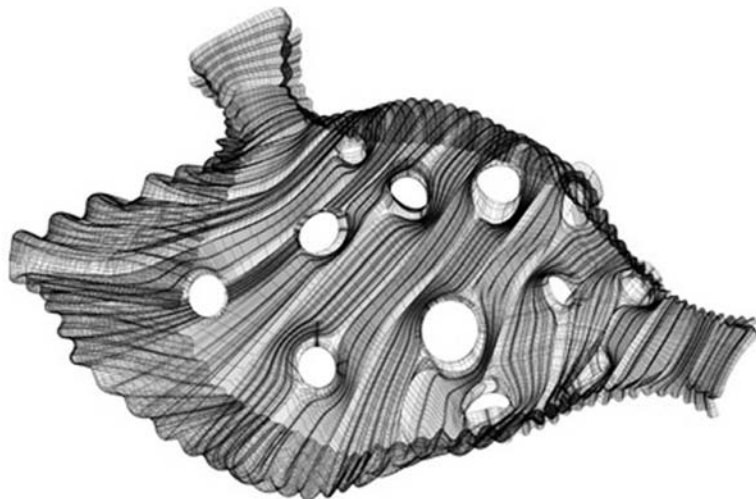
El proyecto ha sido planteado como un pequeño ecosistema donde puedan construirse viviendas a partir de especies nativas de árboles, por medio de una estructura reciclable y un sistema controlado de entretrejido de las raíces y las ramas, se logra una estructura viviente que continuará produciendo nutrientes para otras especies y alojará una vivienda.

El principio ecológico del proyecto rechaza la inmediatez agregando el valor único del proyecto a través de los años como un sistema completamente orgánico.

Meat House

Otro de los proyecto más innovadores, y tal vez incomodo, de Joachim, la *Meat House* es, literalmente, una casa de carne diseñada con tejidos de cerdo cultivados *in vitro*, un concepto de estructura creado con células de carne de cerdo cultivadas en un laboratorio.

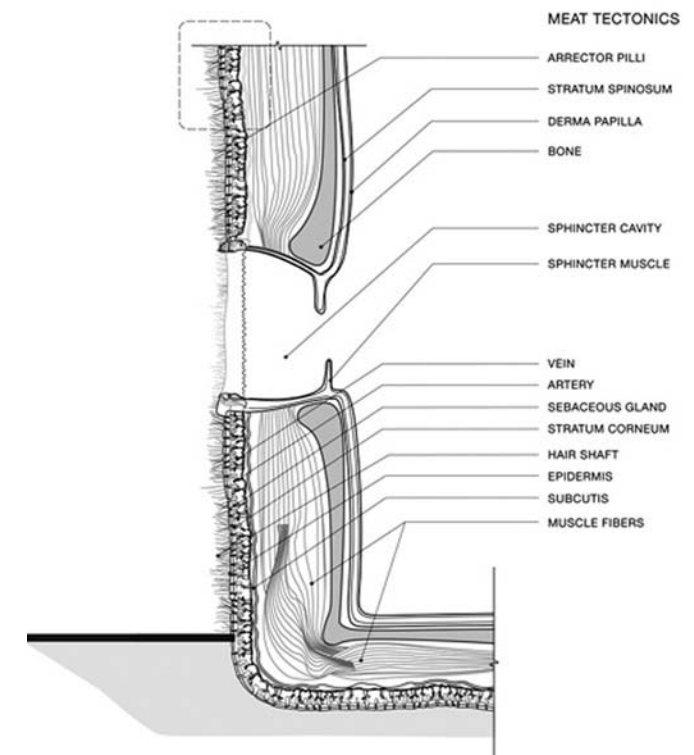
Img. 79. Los vanos de la *Meat House* responderán a los estímulos del ambiente.



En las paredes, los depósitos de grasa actúa, como aislante, la piel estaría en lugar de papel pintado y los huesos proporcionan la estructura. Las ventanas y puertas serían los músculos del esfínter que puede abrir o cerrar en respuesta a algún tipo de estímulos.

No hay un prototipo en existencia ya que está hecho de células de piel de cerdo que crecen alrededor de un andamio de plástico reciclado. Para prevenir la propagación de moho, bacterias y hongos, la carne se conserva con benzoato sódico.

Ciertamente este proyecto va más allá del aprendizaje de las formas y los procesos de la naturaleza, y más bien, utiliza los avances de la tecnología para cultivar un organismo, estos proyectos ayudan a concebir la habitabili-



Img. 80. Corte por fachada de la *Meat House*, la propuesta incluye los elementos y la función anatómica de un organismo.

dad desde una forma radicalmente diferente, sin embargo, vuelve a resaltar la pregunta de Ken Yeang: ¿Cómo reintegrar la materia del sistema construido a su ciclo natural?. Con la completa organicidad de la materia de estos proyectos el cuestionamiento no parece tan difícil de responder.

Aunque estos proyectos pueden parecer poco elocuentes, se debe mirar con buenos ojos los avances científicos e indagar hasta qué punto las técnicas pueden sernos útiles confrontándolas con la factibilidad, de cualquier forma, la realidad proviene del imaginario y las utopías brindan nuevos senderos.

Img. 81. La escala real del prototipo no perecederos es de 11 x 3 x 7 pulgadas.



diseño paramétrico

Con una visión crítica y una intención más allá de la forma por la forma, se ha buscado que los proyectos puedan ser dinámicos y adaptarse a las características del medio, tanto a la geografía como a los factores ambientales. Ya se ha mencionado parte de la influencia que ha tenido la naturaleza en las formas y los procesos de diseño arquitectónico, algunos de estos procedimientos han surgido por la creciente preocupación del entorno y una conciencia de integración y respeto a las otras formas de vida así como la preservación de los recursos naturales.

En la evolución de la arquitectura, tanto en su papel social como en la de los procesos y sistemas constructivos, podría llegar a pensarse, que evidentemente, hay elementos que siguen y posiblemente seguirán cumpliendo la misma función; sin embargo, hay una transformación de los procesos de diseño y construcción pues las formas de vida contemporáneas exigen una mayor eficiencia en un menor tiempo y se observa como la tecnolo-

gía y las comunicaciones han jugado un papel importante en el acelerado desarrollo que se ha venido gestando en las últimas décadas.

Actualmente, con el estudio de diferentes sistemas biológicos, tanto en su forma como en su comportamiento, se busca resolver problemas específicos de la habitabilidad a través de nuevos procesos, y aunque se comienzan a aplicar nuevas tecnologías con la finalidad de disminuir el impacto ambiental, siempre existirá esa constante búsqueda de innovación por medio de la complejidad y el diseño de nuevas formas.

65. GUALLART, Vicente. *Geologics. Geografía Información Arquitectura*. Barcelona [etc.]: Actar, 2008. pág. 3-7.

... a lo largo del tiempo [la arquitectura] ha definido su campo de acción en función de los retos y aspiraciones de las sociedades y culturas que la construyen.

De esta manera la arquitectura amplía sus ámbitos y sus materiales para su proyecto de habitabilidad del mundo. Por ello cabe definir nuevos códigos de actuación con los cuales desencadenar un proyecto arquitectónico que tengan como fundamento la conexión con los valores y los potenciales del lugar. Un proceso que, al terminar, permita dejar unas condiciones abiertas para que la vida opere, igual que cuando se planta un árbol.

En busca de que el proyecto arquitectónico sea más que una afirmación de personalidad sobre el paisaje, la actuación del hombre debe ser una naturaleza en sí misma capaz de poseer diversos grados de artificialidad tanto en su gestación como en su funcionamiento.⁶⁵



Img. 82. Las aves se agrupan en complejos sistema naturales, movimientos emergentes donde cada organismo interactúa con los otros en un proceso de autoorganización.

La postura de Guallart frente a la arquitectura es una visión contemporánea de la búsqueda de innovación fundamentada en lo existente, en el análisis y en la comprensión. Al hacer un llamado a la definición de nuevos códigos de actuación, se entiende un cambio de paradigma en los procesos arquitectónicos encaminados a la integración e interacción con el entorno y puntualiza en el estrecho vínculo que hay con la implementación de sistemas digitales:

Para que esto sea posible, los procesos informacionales vinculados al diseño, visualización o fabricación a partir de sistemas digitales, aparecen como herramientas claves en el desarrollo de nuevas técnicas y procesos constructivos para esta nueva realidad híbrida. De este modo, la práctica del arquitecto se transforma, de ser un actor que interpreta condiciones de partida, genera un diseño que posteriormente se desarrollará y que será construido por mecanismos más o menos vinculados a las técnicas de fabri-

66. GUALLART, Vicente. *Geologics. Geografía Información Arquitectura*. Barcelona [etc.]: Actar, 2008. pág. 3-7.

cación material y a la industria; a ser un operador que produce una información que en el estado actual de la producción permite una fabricación personalizada en todos los aspectos de la arquitectura. (...) Entendemos la práctica de la arquitectura como una actividad que desencadena procesos y no únicamente navega con las olas que coyunturalmente invaden el territorio.⁶⁶

Se observa que el papel de la arquitectura adquiere un nuevo rumbo, no sólo en la determinación de la forma y la habitabilidad, sino en la composición de información para ser decodificada de diferentes maneras a través de parámetros establecidos (natural o artificialmente) permitiendo que la arquitectura adquiriera nuevas visiones y formas de llevarse a la práctica, sin embargo, es claro que los parámetros han existido durante toda historia, algunos determinados por la fisiología y las características propias de los seres humanos, y otros, se han establecido a través de convencionalismos según las diferentes culturas, hoy se ha planteado una nueva definición enfocada en los pro-

Img. 83. *The Swarm*, pabellón de diseño paramétrico inspirado en las agrupaciones de aves.



cesos de diseño y construcción. Patrik Schumacher en su Manifiesto parametricista habla de un nuevo estilo arquitectónico:

La vanguardia arquitectónica contemporánea está asumiendo la demanda de un creciente nivel de complejidad articulada mediante la redefinición de sus métodos en base a sistemas de diseño paramétrico. El estilo arquitectónico contemporáneo que ha alcanzado la hegemonía dentro de las actuales vanguardias arquitectónicas se entiende mejor como un programa de investigación basado en el paradigma paramétrico. Proponemos llamar a este estilo Parametricismo. El Parametricismo es el nuevo gran estilo desde el Movimiento Moderno. La Postmodernidad y el Deconstructivismo han sido episodios transicionales que prepararon el camino para esta nueva gran ola de investigación e innovación.⁶⁷

67. Patrik Schumacher
*Manifiesto
Parametricista*
patrikschumacher.com
consultado en agosto
del 2012.

En el manifiesto incluye cinco principios esenciales del paradigma paramétrico que podría resumir de la siguiente manera: Inter-articulación de subsistemas; conjugación de elementos arquitectónicos para una composición homogénea con diferenciaciones reconocibles. Acentuación paramétrica: generar un sistema abierto que admita transformaciones realzando la variación y diferenciación de los componentes. Figuración paramétrica: integración de sistemas altamente sensitivos, y por lo tanto, adaptativos en los componentes de diseño, primordialmente en las instalaciones. Sensibilidad paramétrica: permitir la reconfiguración espacial de los entornos y espacios construidos para

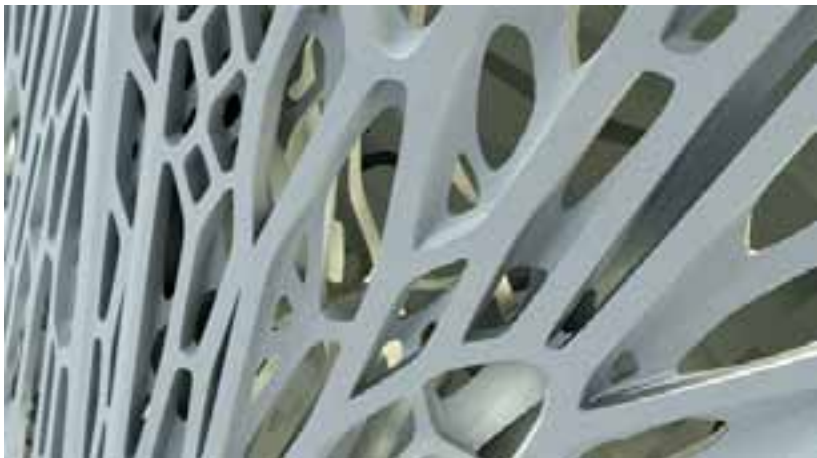
que puedan adaptarse a nuevas funciones y actividades. Urbanismo paramétrico: aplicación de principios paramétricos (acentuación, figuración y sensibilidad) en escala urbana.

Tratar de establecer un nuevo estilo puede no ser una tarea fácil y tal vez innecesaria, dejando de lado esta parte presuntuosa, el manifiesto resulta interesante por los principios mencionados y por la visión sistémica que asume con respecto de la naturaleza:

El sentido de la complejidad organizada (gobernada por leyes) hace que el parametricismo trabaje de forma similar a los sistemas naturales, donde todas las formas son el resultado de fuerzas que interactúan según leyes. Igual que en los sistemas naturales, las composiciones paramétricas están tan integradas que no pueden ser descompuestas en subsistemas independientes, una gran diferencia en comparación con el paradigma de diseño moderno de clara separación de subsistemas funcionales.⁶⁸

68. Patrik Schumacher
*Manifiesto
Parametricista*
patrikschumacher.com
consultado en agosto
del 2012.

Img. 84. El diseño paramétrico estudia la complejidad topológica de las formas naturales y su auto-organización. En la *Fibrous Tower* la exoes-structura es generada algorítmicamente con un procedimiento de división celular que responde a la geometría de la torre.



Puede destacarse que también hay una analogía con la complejidad de los sistemas naturales y podría suponerse que funciona como soporte y punto de partida para los programas de diseño e investigación fundamentados en el devenir de la complejidad y la multiplicidad, todo esto, aunado a los procesos de producción y construcción en diferentes escalas, obliga a buscar nuevas metodologías y herramientas de diseño.

Una nueva generación de diseño paramétrico establece modelos definidos por un conjunto de objetos relacionados intrínsecamente entre sí. En otras palabras, esto permite la creación de arreglos geométricos con parámetros capaces de construir anticipadamente variaciones entre objetos.⁶⁹

69. Patrik Schumacher
*Manifiesto
Parametricista*
patrikschumacher.com
consultado en agosto
del 2012.

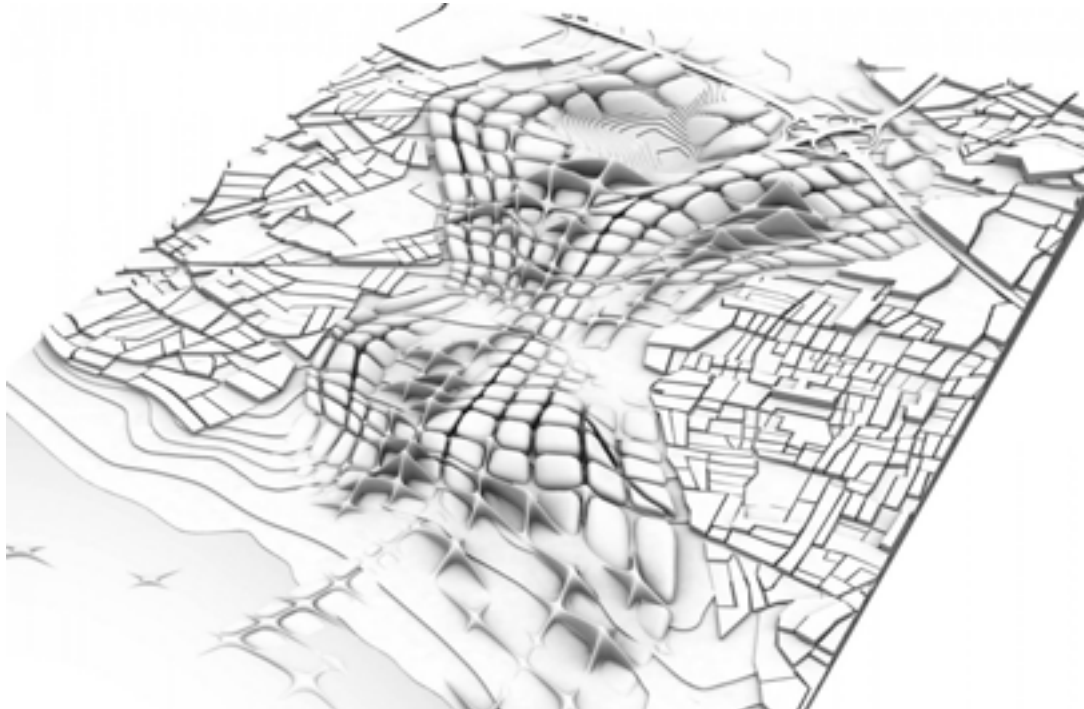
De esta forma, la arquitectura se encuentra frente a nuevos paradigmas de diseño que se han desarrollado, indudablemente, con la ayuda de nuevas herramientas digitales que permiten diseñar de manera más eficiente dando la posibilidad de crear modelos que pueden ser reconfigurados rápidamente y que son capaces de adaptarse fácilmente a otros sistemas.



Img. 86. El diseño de la cubierta es definido por la forma general respondiendo a los parámetros de la superficie, pliegues y curvaturas. *Kaohsiung Marine Gateway Terminal*, Asymptote Architecture, 2010.

La implementación de estos sistemas busca poder pasar rápidamente del modelo digital a la fabricación o construcción del objeto con la ayuda de otras herramientas de control numérico computacional como cortadoras láser o impresoras 3D. Así mismo, la industria de la construcción se ve obligada a evolucionar a la par de estas tecnologías. Finalmente hay que señalar que no es de interés definir un nuevo estilo, sino más bien, significar y argumentar las formas arquitectónicas de manera ecológica en relación con su contexto por medio de planteamientos y procesos multidisciplinarios que permitan reconfigurar la espacialidad y las actividades de un sistema específico.

Img. 85. Partiendo de la configuración geográfica, se desarrolla una propuesta de regeneración urbana que define nuevos parámetros compositivos. *Kartal Pendik Masterplan*, Zaha Hadid Architects, 2006.



**proyecto de
aplicación**

La arquitectura es el testigo insobornable de de la historia, por que no se puede hablar de un gran edificio sin reconer en él el testigo de una época, su cultura, su sociedad, sus intenciones...

Octavio Paz

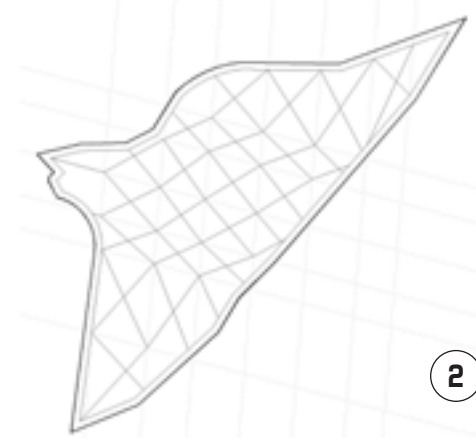
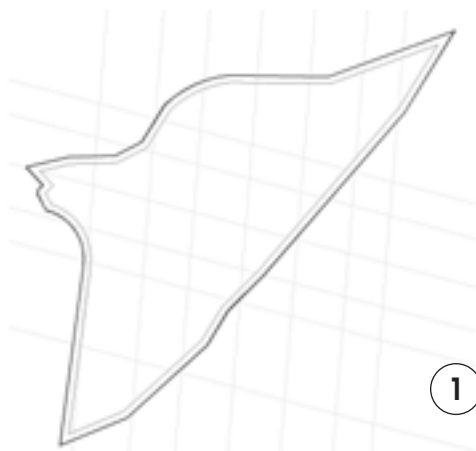


La propuesta conceptual, por medio de un complejo arquitectónico al poniente de la ciudad de México, busca reconfigurar una zona problemática y con alto nivel de contaminación ambiental. A través de estrategias biomiméticas integra tecnologías de autoproducción de energía eléctrica por medios pasivos, incluye sistemas de captación pluvial y tratamiento de aguas negras así como zonas de producción de alimentos.

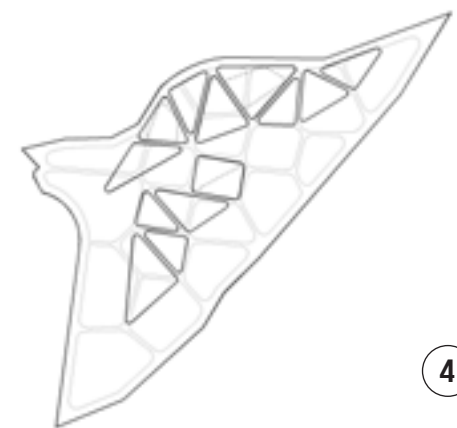
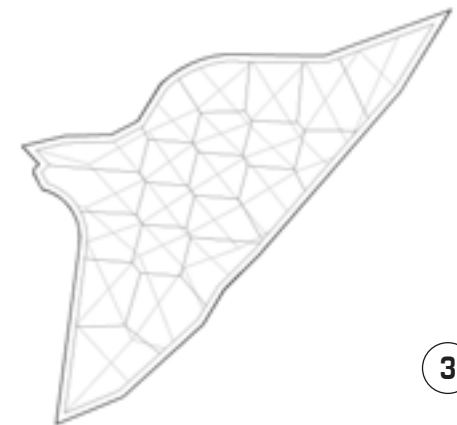
El diseño busca integrar diferentes géneros arquitectónicos y albergar múltiples actividades, la propuesta establece un soporte configurable y adaptable a diferentes requerimientos. El planteamiento incluye ciclos de producción para establecer sistemas dinámicos de autogestión y desarrollo, de esta forma permitirá establecer interacciones ecológicas en el contexto urbano y al mismo tiempo brindará diferentes posibilidades de reintegración de los residuos a los ciclos naturales, incluyendo el propio sistema construido.



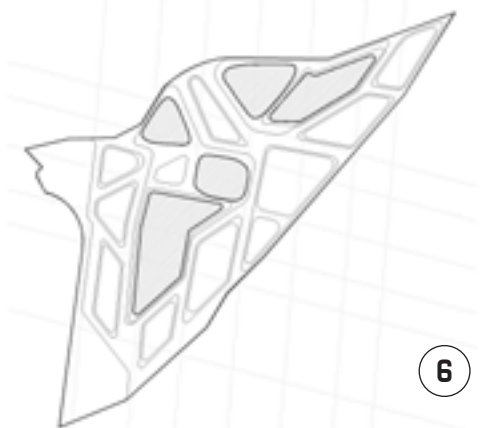
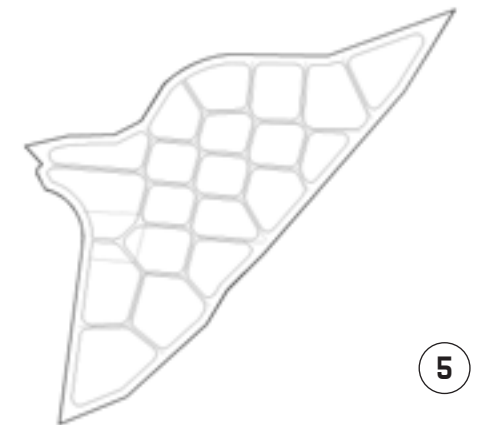
El contexto, a través de la morfología urbana y los factores ambientales, en conjunto con las intenciones de diseño configuran la traza general del plan maestro. Por medio de una geometrización básica acorde a posibles interacciones viales, se reconfigura la zona de estudio a través de la teselación de Voronoi, de esta forma se determinan superficies de desplante y radios de acción de acuerdo a zonas de flujo y condiciones climáticas.



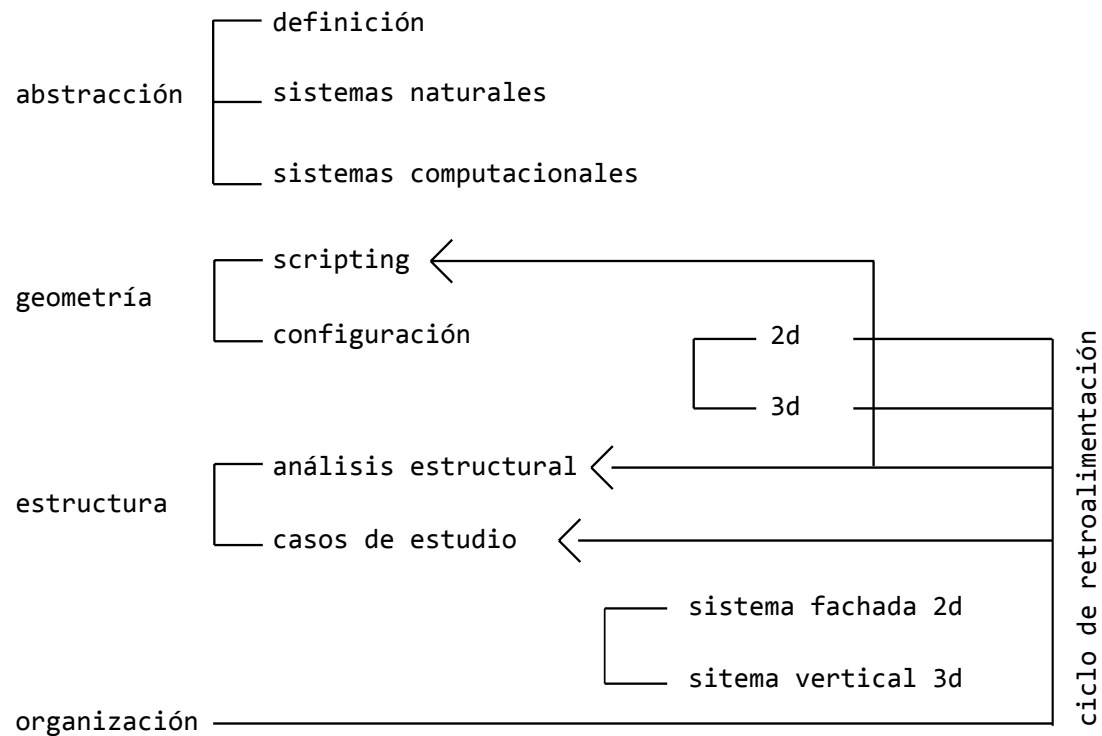
Continuación virtual de la traza urbana del contexto y geometrización simple.



Determinación de áreas y reconfiguración urbana.



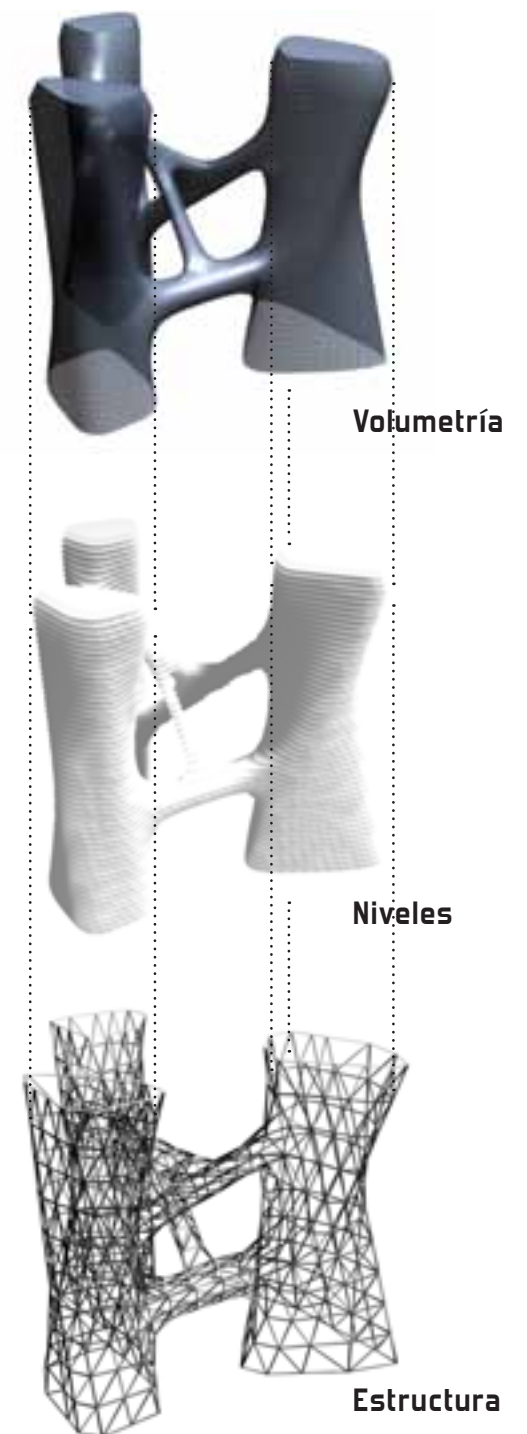
La morfología general del sistema, por medio de tres torres que albergarán las actividades principales con viviendas y zonas comerciales, está fundamentada en un diagrama de diseño que integra en la composición constantes arquitectónicas y conceptos contemporáneos, que por medio de herramientas digitales, establecen procesos basados en el análisis de sistemas naturales, útiles para agilizar el desarrollo a través de valores paramétricos.



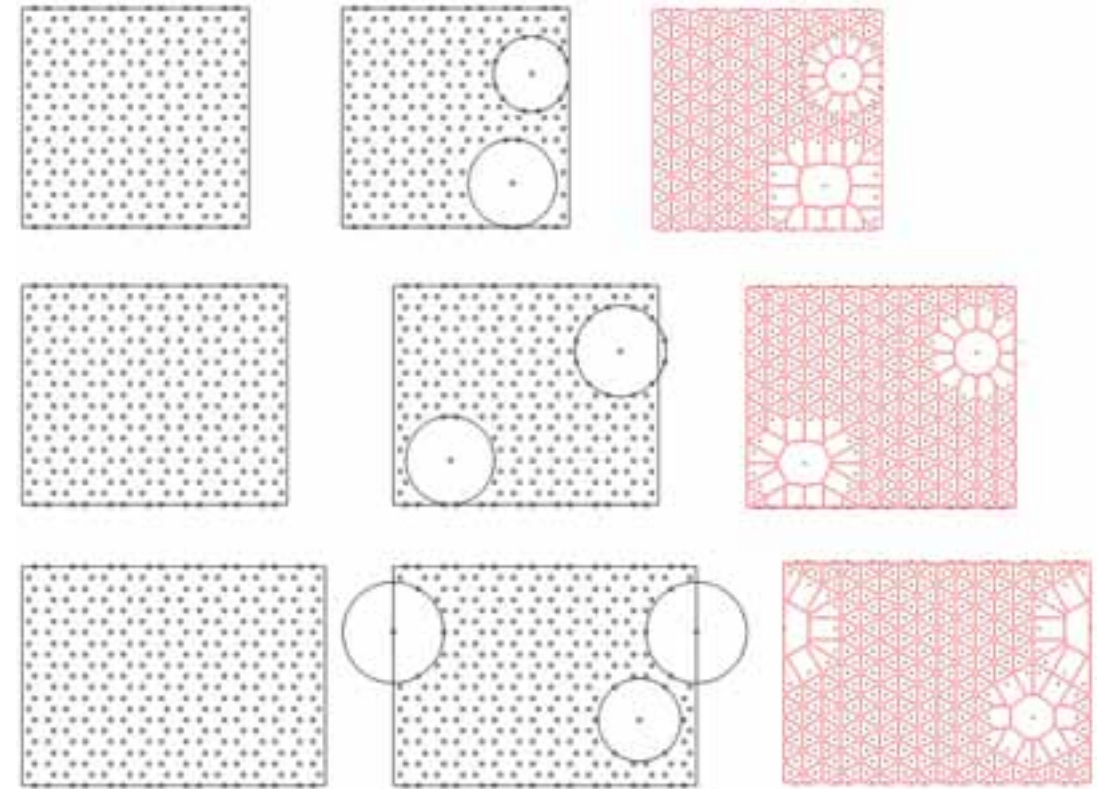
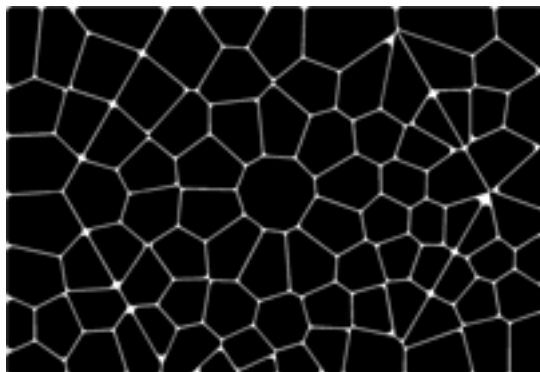
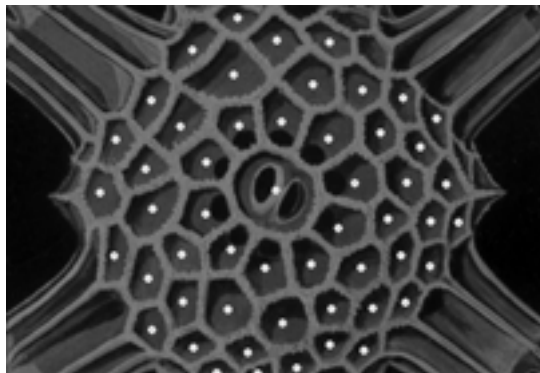
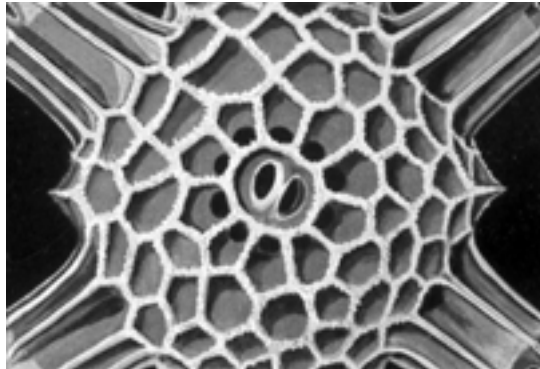
Branching System. Matriz que muestra los valores paramétricos para una propuesta geométrica. SAKAMOTO, Tomoko, et al. (ed.). *From Control to Design: Parametric / Algorithmic Architecture*. Barcelona: Actar, 280. pág. 124-126.

El diseño busca establecer conexiones sinápticas entre sistemas definiendo así una estructura más compleja que articula los espacios, las actividades y al mismo tiempo los mecanismos propios de cada estructura, así mismo se evitan los vértices con la intención de tener un control ambiental más estable al interior del edificio, incrementar la eficiencia de captación de energía solar y privilegiar la estabilidad estructural.

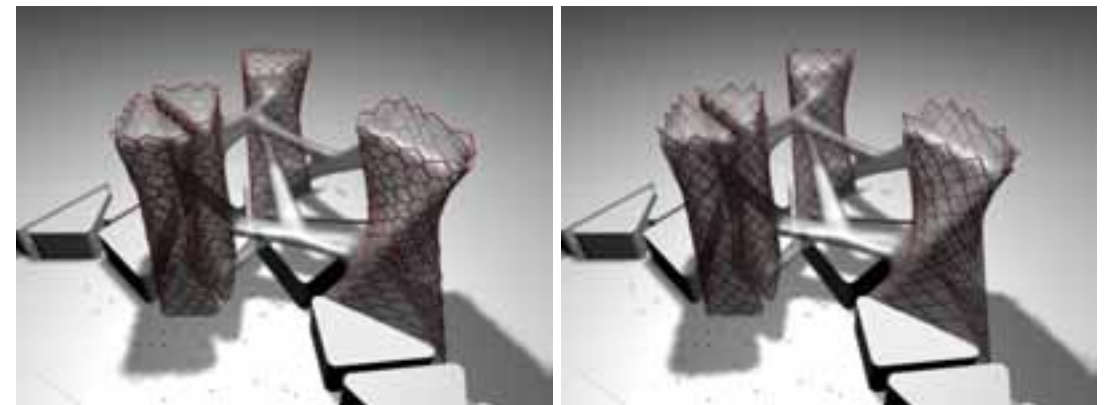
Una de las condicionantes para el desarrollo de la vida humana, que rigen hasta el día de hoy, además de las constantes físicas necesarias, es la horizontalidad, así la propuesta de 200 metros de alto se resuelve por medio de 50 niveles creando soportes habitables.



Partiendo de la observación y el análisis formal de la composición estructural de microorganismo así como de la configuración de tejidos vegetales y animales, se plantea un arreglo estructural acorde a las intenciones volumétricas del proyecto. En este caso se desarrollarán diagramas paramétricos programados que se basan en la composición de las radiolarias para determinar las zonas de conexión en cada torre de acuerdo a la volumetría y a los estudios formales. El diseño busca obtener la mayor eficiencia de la estructura con la menor cantidad de material necesio aprovechando las características geométricas.

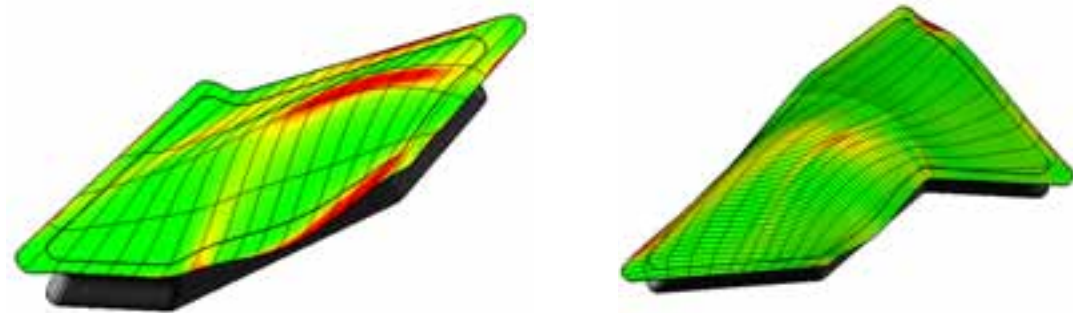
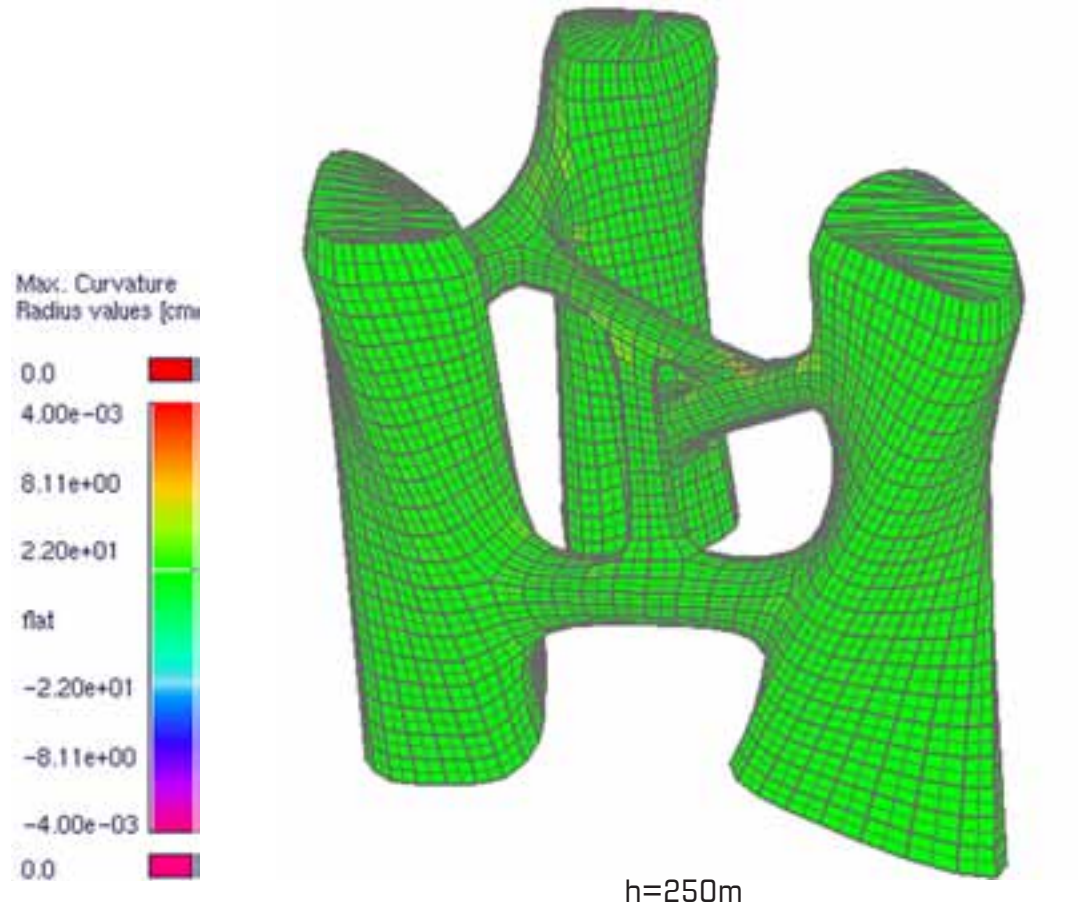


Abstracción de la morfología natural y configuración de la geometría estructural a partir de un diagrama paramétrico.



Estudios formales

Estudio de la curvatura de la superficie para determinar puntos de inflexión



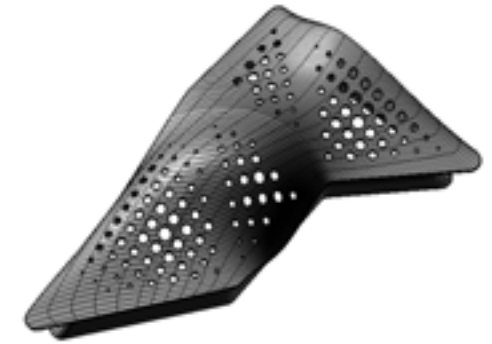
Determinación de vanos



h=15 a 30m

Área de la cubierta = 9 747.54m²

Superficie sólida = 7 877.28m²



h= 15 a 30m

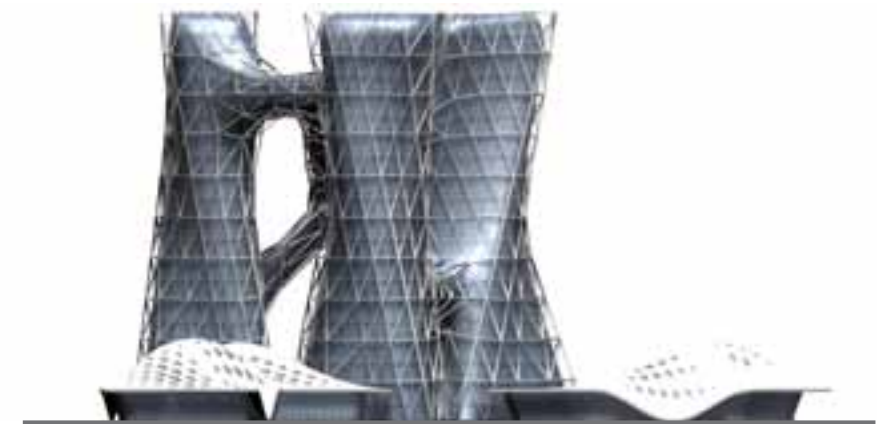
Área de cubierta = 15 581.77m²

Superficie solida = 12 950.71m²

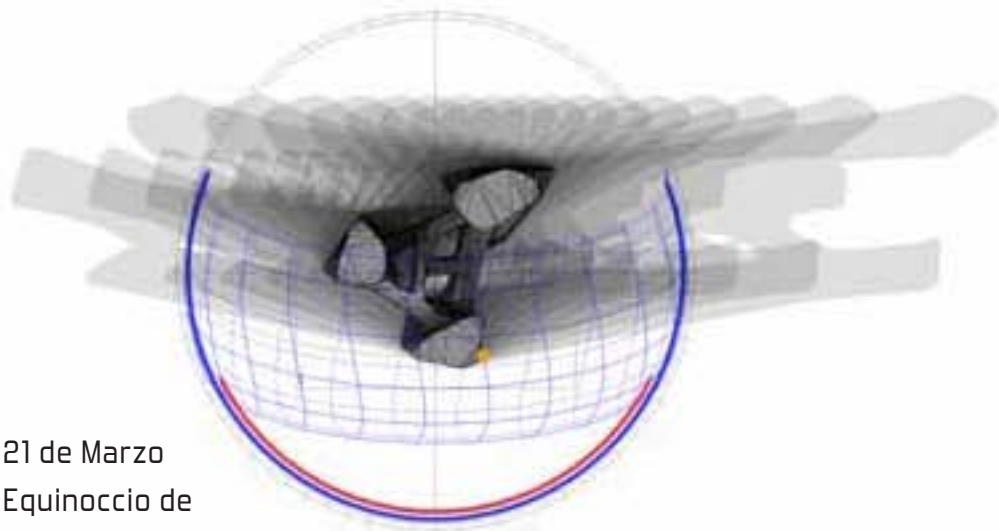
Alzado Lateral
vista oeste



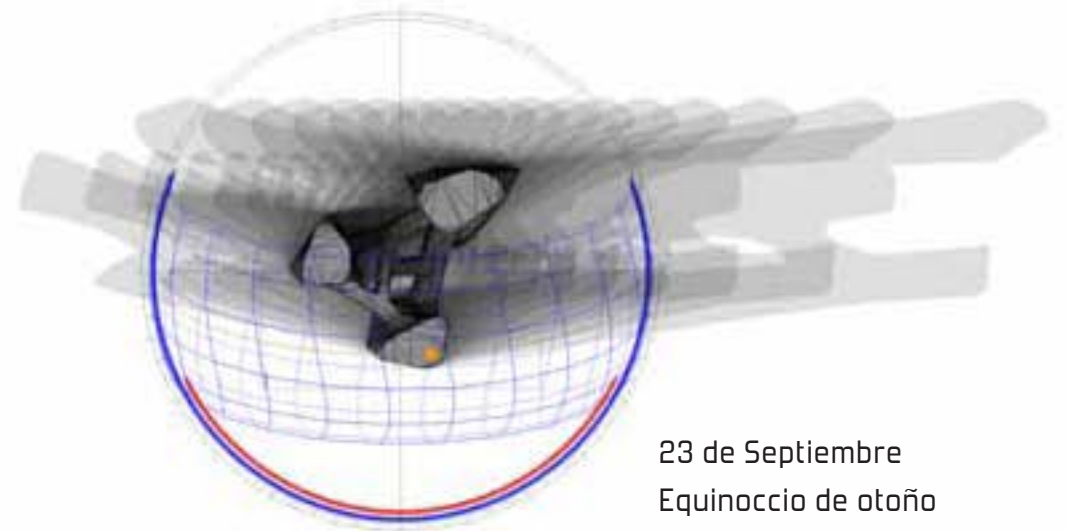
Alzado Frontal
vista sur



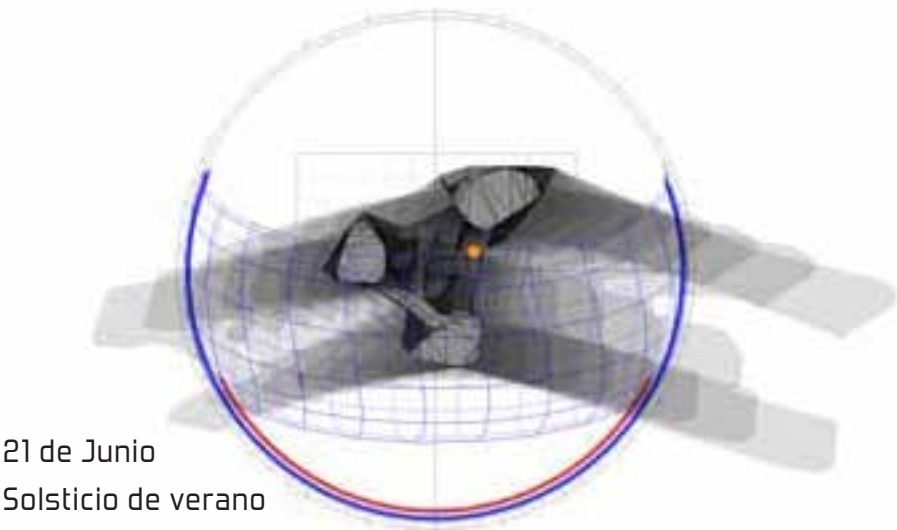
Estudio del recorrido de sombras para equinoccios y solsticios



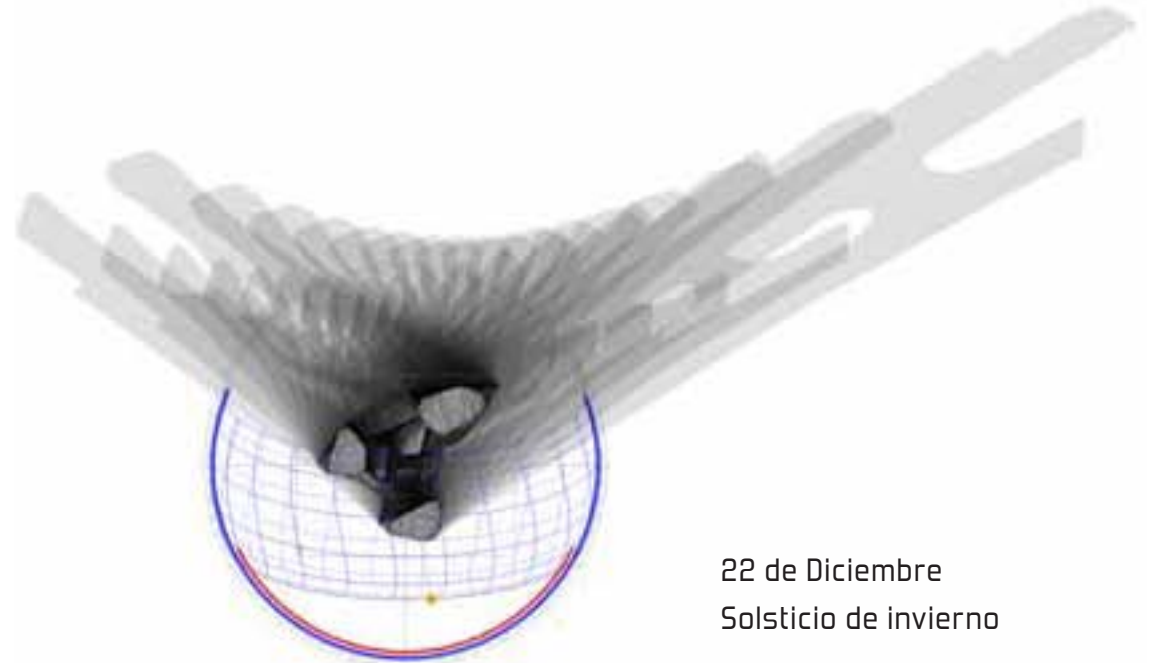
21 de Marzo
Equinoccio de
primavera



23 de Septiembre
Equinoccio de otoño

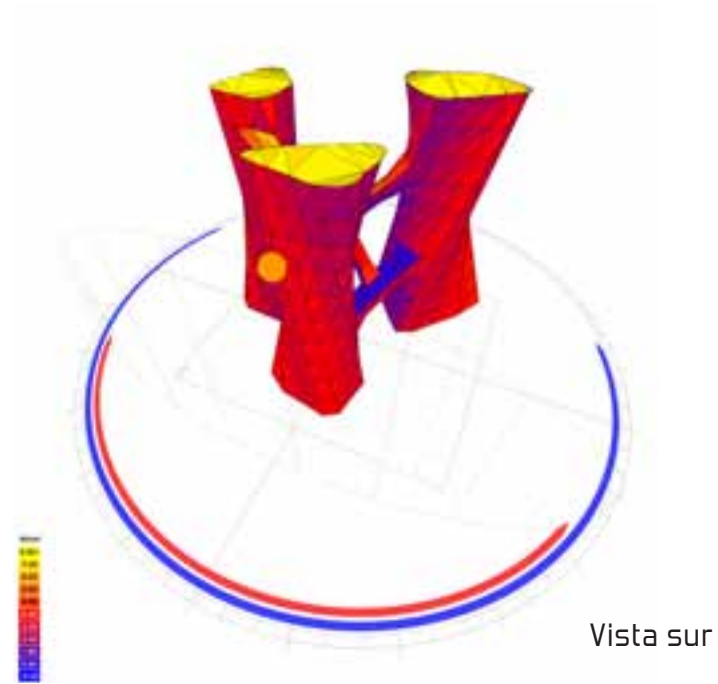


21 de Junio
Solsticio de verano

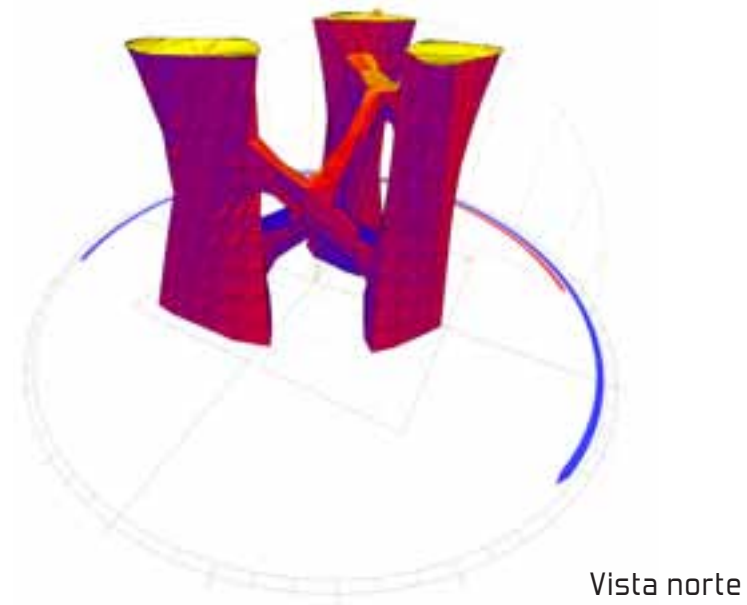


22 de Diciembre
Solsticio de invierno

Estudios para calcular el promedio anual de incidencia solar en Wh/m²



Vista sur



Vista norte

El conjunto alberga sistemas construidos complementarios que permiten alojar actividades de integración social y difusión cultural, de esta forma, el proyecto incrementará la calidad de vida de los habitantes por medio de zonas de esparcimiento y al mismo tiempo permitirá incrementar la calidad ambiental con la integración de zonas verdes y espacios públicos.



Uno de los planteamientos importantes del proyecto es la reintegración de la materia en ciclos naturales y la creación de cadenas de producción. Con fundamento en los ciclos de vida de otras especies y en los planteamientos ecológicos, se proponen zonas de trabajo e investigación que permitan asimilar parte de los residuos que se generan en el conjunto.

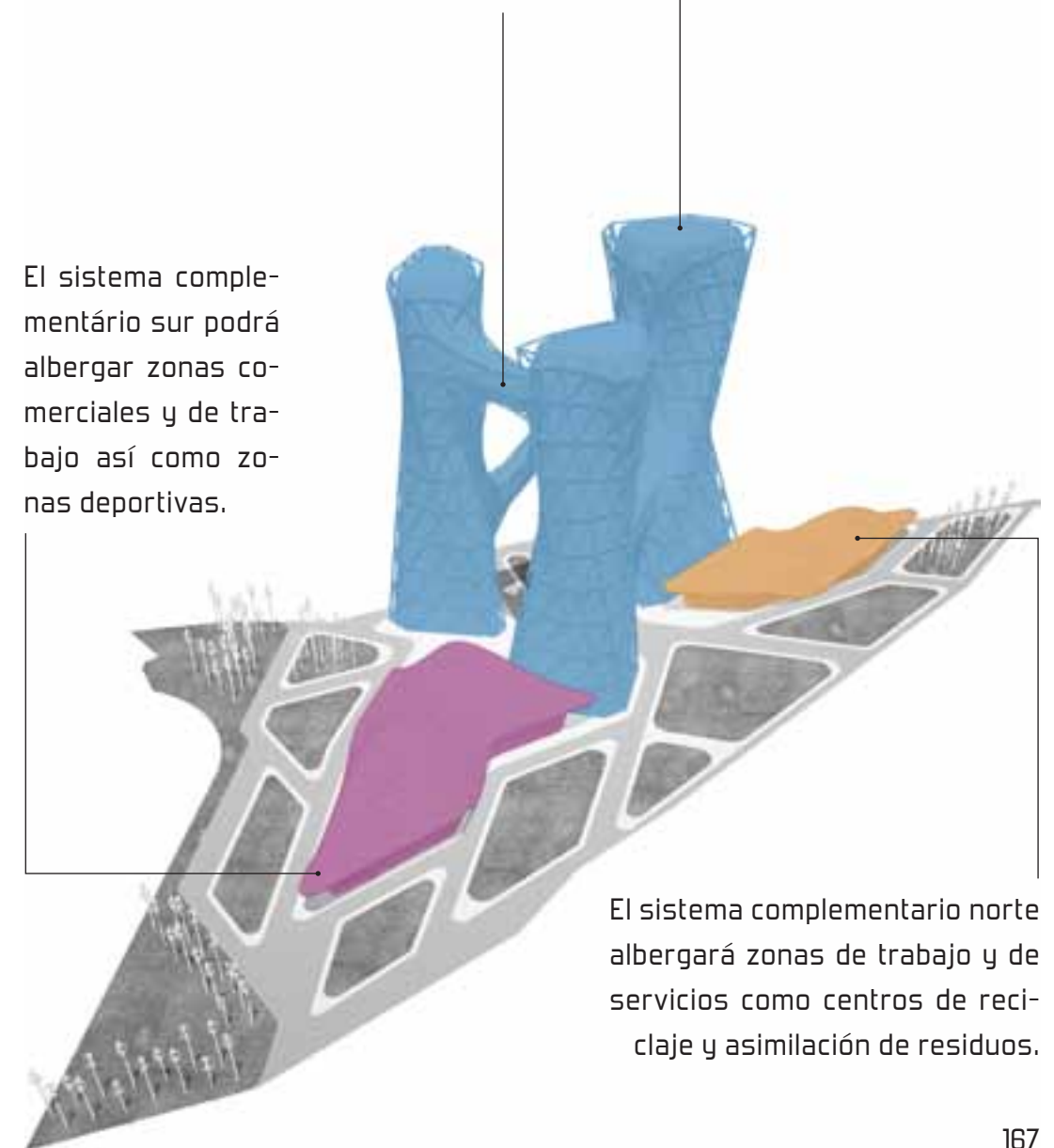
Con la finalidad de lograr un porcentaje considerable de sustentabilidad, se plantean zonas de generación de alimentos buscando crear pequeños núcleos comunitarios que posteriormente sean capaces de comercializar productos en zonas cercanas disminuyendo el impacto ambiental a causa de la transportación.



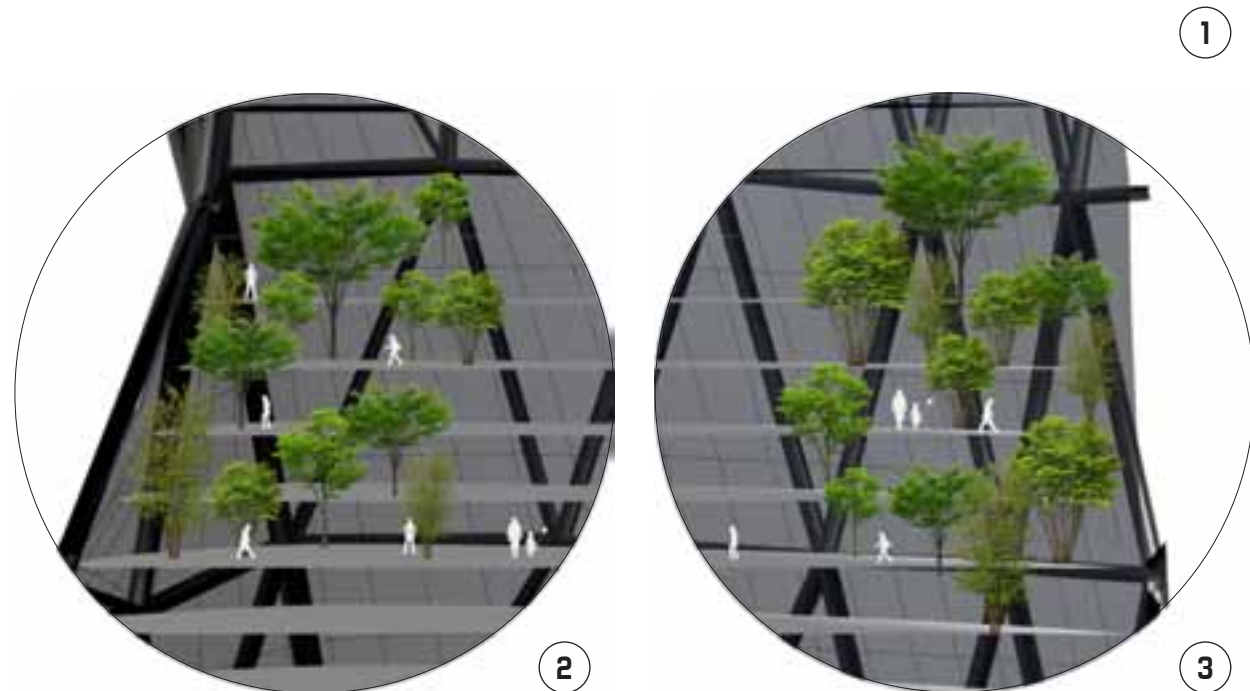
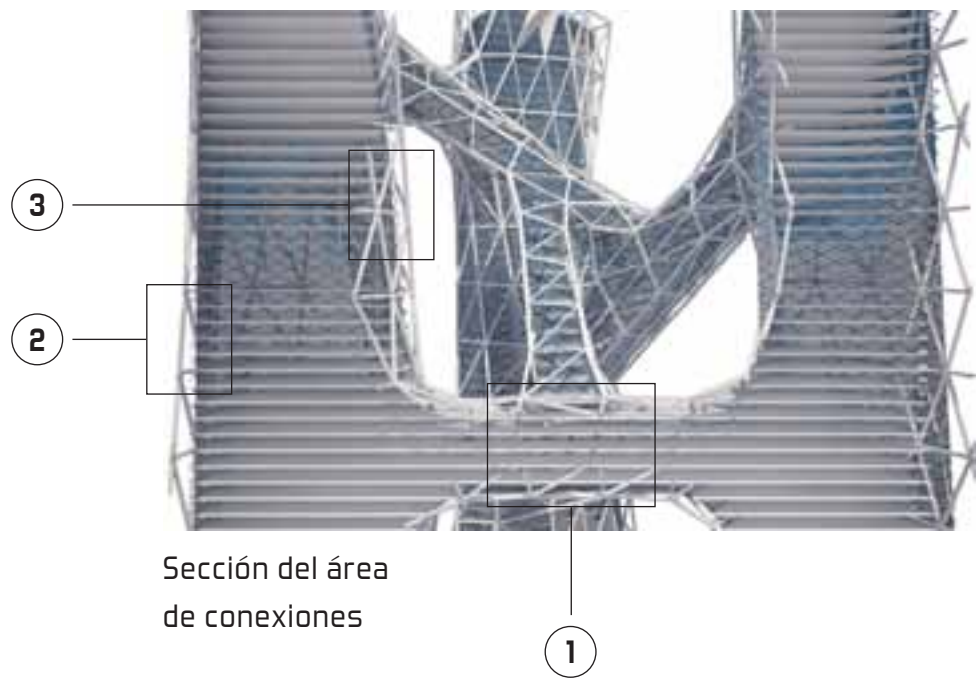
La conexión de las torres por medio de articulaciones permitirá un desplazamiento más ágil dentro del sistema articulando la comunicación y las actividades.

Las torres albergarán zonas habitacionales, comerciales, de difusión cultural y de producción de alimentos.

El sistema complementario sur podrá albergar zonas comerciales y de trabajo así como zonas deportivas.



El sistema complementario norte albergará zonas de trabajo y de servicios como centros de reciclaje y asimilación de residuos.



Buscando un ambiente saludable en el conjunto, la propuesta integra zonas verdes al interior del edificio con lo cual podrán plantearse sistemas bioclimáticos más eficientes, al mismo tiempo, con la ayuda de sistemas de autogeneración de energía eléctrica y zonas de captación de agua pluvial podrán establecerse ciclos para el abastecimiento.

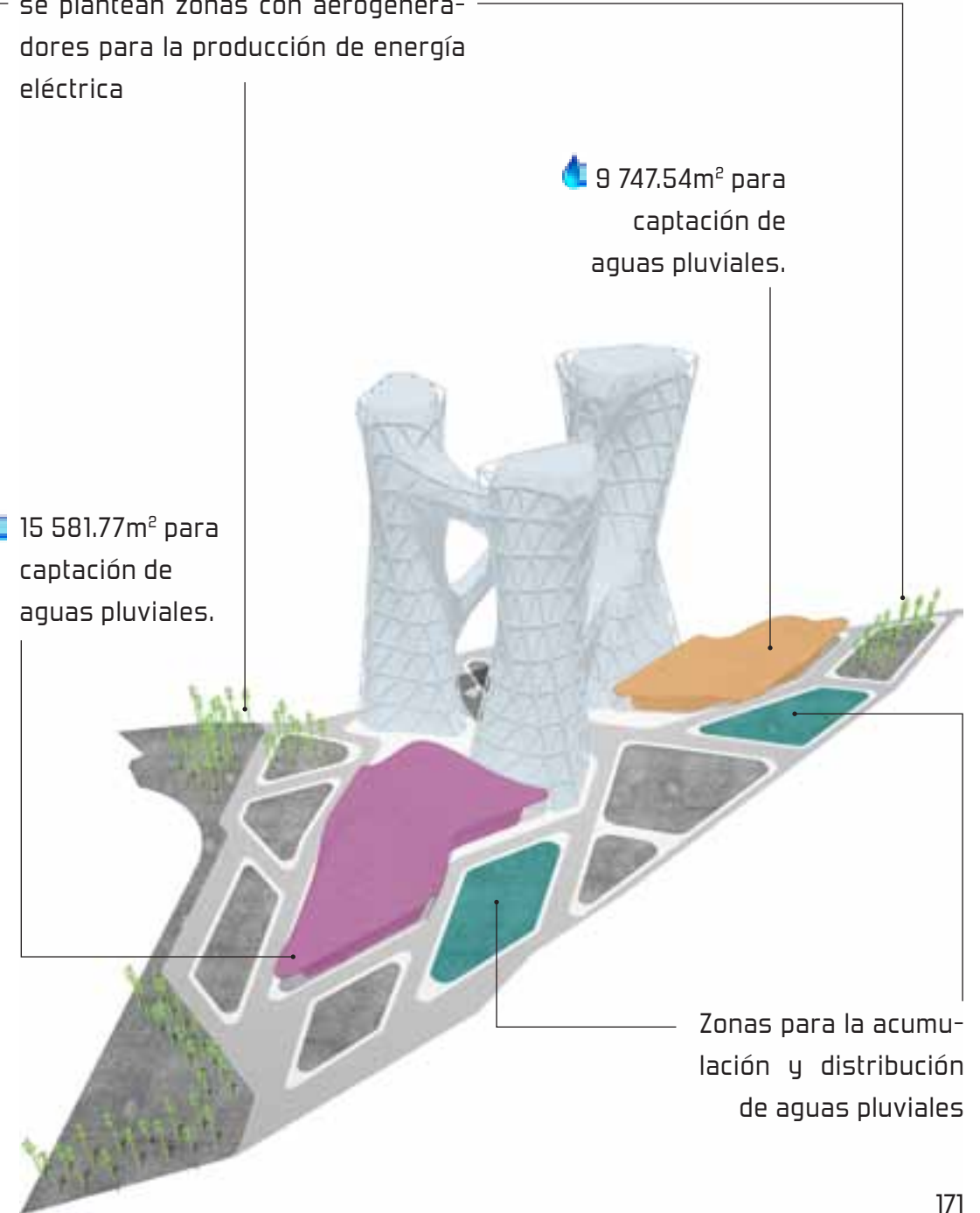


En los extremos oriente y poniente se plantean zonas con aerogeneradores para la producción de energía eléctrica

9 747.54m² para captación de aguas pluviales.

15 581.77m² para captación de aguas pluviales.

Zonas para la acumulación y distribución de aguas pluviales



La propuesta constructiva considera el uso de materiales de bajo impacto ambiental o reciclados que estén fabricados a partir de los residuos de otros procesos y que sea fácil de reintegrar a otros ciclos, en este caso podría pensarse en cemento a base de óxido de magnesio reduciendo así las emisiones de CO_2 . Es importante pensar en los materiales y en el porvenir del sistema, que planteado como un soporte, incluso podría albergar actividades no humanas, buscando así un ecosistema diferente permitiendo que los elementos constructivos sean biodegradados naturalmente por procesos no contaminantes.





conclusiones

La arquitectura es hacer feliz a la gente

Ken Yeang

Es difícil determinar si un sistema construido ha sido fundamentado con un enfoque ecológico o biomimético, como se sabe, existen tantas propuestas como arquitectos y las metodologías de diseño son diversas, pero es primordial ver el porvenir de la arquitectura entendiendo los planteamientos que la sustentan. No es de interés determinar que adjetivo deben tener los sistemas construidos o si deben ser encasillados de tal o cuál manera para formar parte de un catálogo de obras representativas de una época, sino más bien, establecer objetivos claros en cuanto al planteamiento de una propuesta tendiente a ser reconfigurada constantemente, entendiendo así la arquitectura como un proceso, una hipótesis del espacio y el tiempo.

Si bien, dicho proceso arquitectónico debe responder a los requerimientos de habitabilidad y confort según su contexto histórico y geográfico, la propuesta debe partir de fundamentos transdisciplinarios, no sólo con la intención de albergar, sino también, buscar hacer frente a problemáticas específicas de su época enfocándose, primordialmente, en el uso de los recursos, la racionalización de la materia y la aplicación de energías renovables aprovechando la geografía y las características climáticas del sitio.

El objeto arquitectónico puede funcionar en su interior como un perfecto sistema que responde a los requerimientos planteados, pero no debe ser visto como un elemento estático que se integra a un contexto urbano, sino más bien, debe aportar a su contexto inmediato; por ejemplo, a través de un sistema de captación de energía solar podría brindar iluminación en áreas comunes y espacios públicos. De esta forma, la propuesta brindará espacios incluyentes aportando en la configuración de su contexto inmediato y formando parte de un nuevo modelo de planeación urbana que permita generar nuevas estrategias de preservación y mejoramiento del ambiente.

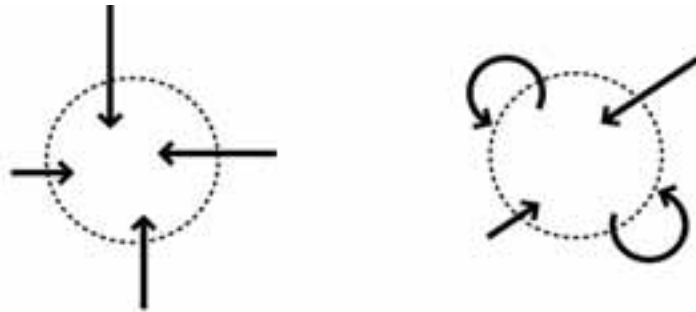
En el enfoque ecológico, el objeto arquitectónico o sistema construido, debe ser concebido a partir de estrategias biomiméticas, como un sistema abierto y cerrado al mismo tiempo que permita una reconfiguración constante, brindando así flexibilidad y adaptación espacial, y en su planeación, tanto el objeto como las posibilidades que brinde de habitar, deben ser configuradas y analizadas a través de parámetros considerando su complejidad.

• **Concepción del sistema a construir.**

Apoyados de un análisis meramente arquitectónico, la mayoría de los planteamientos tradicionales han respondido básicamente a un programa de necesidades y a las limitantes formales del contexto (tipologías). Los nuevos planteamientos buscan la integración en su contexto sustentando el diseño en las características geográficas, climáticas y culturales; estos factores no deben ser vistos como limitantes, sino como potenciales para desarrollar propuestas.

Al mismo tiempo, el objeto arquitectónico o sistema construido, al ser un proceso y formar parte de otros procesos, debe comprender los alcances y el impacto de los materiales que lo configuren, es decir, en su concepción se debe procurar emplear materiales y tecnologías locales, de esta forma se disminuye el impacto ambiental y el riesgo de alterar ecosistemas.

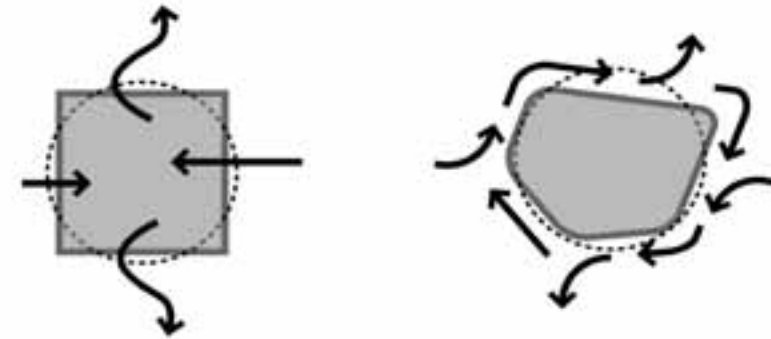
En este punto, la aplicación de estrategias biomiméticas ayuda a facilitar el entendimiento del contexto y brinda parámetros de diseño que permiten la integración de tecnologías limpias, incrementando así la eficiencia del sistema y el aprovechamiento de los recursos.



• **Procesos de la materia y la energía – Sistema cerrado.**

Dentro de las zonas urbanas los edificios se encuentran conectados a redes municipales que les suministrando servicios (agua, luz, drenaje, telecomunicaciones, etc.), estas redes forman parte de la infraestructura y han sido fundamentales en los asentamientos urbanos; sin embargo, hasta ahora la mayoría de los edificios no son capaces de metabolizar sus residuos, por lo que, los sistemas construidos deben tener un enfoque que permita crear sistemas cerrados a través de nuevos pensamientos y estrategias de consumo y producción.

Es importante aclarar que deben tomarse en cuenta dos ámbitos, el primero de ellos se refiere a la vida útil del edificio y el porvenir de los materiales que lo configuran; plantear posibles formas de reciclaje o pensar de que manera reintegrar la materia a otros ciclos. El segundo punto se refiere a los residuos orgánicos e inorgánicos generados por los propios habitantes; el sistema construido debe prever estrategias para aminorar estos residuos planteando la posibilidad de generar procesos sinérgicos que permitan aprovechar o reutilizar los residuos.



• **Relación con el contexto – Sistema abierto.**

Al buscar nuevos paradigmas en la arquitectura es primordial tener un enfoque en el desarrollo de las metrópolis y una visión holística de las problemáticas. Al establecer nuevos modelos de consumo, los edificios deben poder adaptarse rápidamente a su contexto, a los requerimientos de habitabilidad y de acuerdo a las actividades para las que será concebido el edificio, deberá procurarse integrar zonas de producción de alimentos o reciclaje a diferentes escalas.

Haciendo una analogía, los sistemas construidos serán las neuronas de la ciudad y brindarán espacios públicos de calidad dando prioridad a zonas abiertas que permitan una actividad sináptica con la intención de promover la interacción y la vida en sociedad.



• **Reconfiguración continua del sistema.**

Los soportes de los sistemas construidos deberán estar pensados para admitir funciones múltiples en cuanto a la ocupación del espacio, no obstante, será primordial permitir una reconfiguración del sistema con dos objetivos principales: la aplicación de nuevas tecnologías para autogeneración de energía y el cambio en el género del edificio, es decir, una flexibilidad del espacio que permita albergar nuevas actividades.

La evolución de la tecnología parece ser un proceso exponencial donde los equipos se vuelven obsoletos rápidamente dando paso a nuevas generaciones de productos mucho más eficientes, por tal motivo, las construcciones deben estar dispuestas a admitir cambios radicales en sus instalaciones permitiendo escalar o modificar los compo-

nentes. En cuanto al cambio en el género de los edificios, es claro que a lo largo de su vida útil se encuentran sujetos a modificaciones y alteraciones según para lo que sean planeados, ahora deben considerarse espacios y estructuras que les permita reconfigurarse y adaptarse a nuevos requerimientos.



• **Procesos en evolución.**

En los nuevos planteamientos, hablar de sistemas orgánicos implica toda la extensión de la palabra, la arquitectura debe apegarse a propuestas formales con esa búsqueda de la complejidad por las formas fundamentada en sistemas naturales buscando preservar el medio. En la actualidad los sistemas computacionales han servido como herramientas de representación, sin embargo, la evolución de la tecnología permite concebir edificios y ambientes a partir de parámetros, estas herramientas además de agilizar los procesos, también permiten que los soportes sean analizados bajo nuevos planteamientos estructurales y a través de procesos matemáticos, entender las formas y el comportamiento de organismos vivos.

Los sistemas digitales han dado la posibilidad de rigurosos análisis del proyecto, lo cual permite un uso más eficiente de los recursos y la energía. Hoy se puede construir con menor cantidad de materia teniendo mejores resultados, lo anterior representa también la implementación de nuevos materiales y nuevas formas de producción y distribución de los mismos, de esta forma, los métodos y procesos de diseño seguirán evolucionando y obligarán a establecer planteamientos más precisos, que al mismo tiempo, ofrecen un abanico más amplio de posibilidades.



Un cambio de paradigma en la arquitectura requiere grandes transformaciones en la concepción y en los procesos arquitectónicos, sin embargo, la problemática ambiental es una preocupación general y la aplicación de estrategias biomiméticas o los planteamientos de sustentabilidad seguirán siendo una utopía mientras no exista un cambio de conciencia, no sólo por parte de los arquitectos, sino una ética ambiental por parte de todos los individuos.

Si bien para muchos el arte y diseño ha sido un perfecto vehículo que le permite a los individuos parir sueños e ideas, siempre existe una función y un compromiso social y cultural. La arquitectura crea planteamientos de habitabilidad fundamentados en hipótesis que serán comprobadas con el paso del tiempo, al ser una disciplina tanto científica como artística se ve involucrada en esa continua búsqueda de innovación tanto en lo funcional como en lo formal, este complejo proceso disyuntivo tomará el mismo camino en tanto que su enfoque este dirigido a la preservación, el progreso y la prosperidad universal.

fuentes de consulta

- AUDESIRK, Teresa; AUDESIRK, Gerard E.; BYERS, Bruce. *Biología 1. Unidad en la diversidad*. México: Prentice Hall, 2003. 324 p. ISBN 970-26-0372-2
- BAR-COHEN, Yoseph (ed.). *Biomimetics: biologically inspired Technologies*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006. 537 p. ISBN 0-8493-3163-3
- BENYUS, Janine M., *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York: Harper Perennial, 2002. 308 p. ISBN 06-053322-6
- CAPRA, Fritjof, *La trama de la vida*. 2a. edición. Barcelona: Anagrama, 2010. 360 p. ISBN 978-84-339-7343-6
- CIRLOT, Juan-Eduardo. *Gaudí. Una introducción a su arquitectura*. Barcelona: Triangle Postals, 2001. 192 p. ISBN 84-89815-57-7
- EDWARDS, Andres R. *The Sustainability Revolution: Portrait of a Paradigm Shift*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2009. 207 p. ISBN 0-86571-531-9
- EDWARDS, Brian. *Guía básica de la sostenibilidad*. 2a. edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2005. 223 p. ISBN 978-84-252-2208-5
- GONZÁLEZ, Eduardo, *et al. Proyecto clima y arquitectura*. Volumen 1. México: Gustavo Gili. ISBN TOMO I 968-887-016-1
- GUALLART, Vicente. *Geologics. Geografía Información Arquitectura*. Barcelona [etc.]: Actar, 2008. 544 p. ISBN 978-84-96-954-13-7
- HOLAHAN, Charles J. *Psicología ambiental: un enfoque general*. México: Limusa, 2009. 468 p. ISBN 978-968-18-3767-9
- IZARD, Jean-Louis, *et al. Arquitectura bioclimática*. Barcelona: Gustavo Gili, 1983. ISBN 968-6085-69-6
- JIMÉNEZ, Víctor, *Juan O'Gorman. Principio y fin del camino*. 1a edición. México: Círculo de Arte CONACULTA, 2002. 63 p. ISBN 970-18-0655-7
- LAMBIN, E.F., *et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths*. Global Environmental Change 11, 2001. pág. 261-269.
- MCHARG, Ian, *Proyectar con la naturaleza*. Barcelona: Gustavo Gili, 2000. 198 p. ISBN 84-252-1783-0
- O'GORMAN, Juan, *Autobiografía*. 1a. edición. México: DGE Equilibrista - UNAM, 2007. 228 p. ISBN 968-5011-74-5

- OLGAY, Victor. **Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** 1a. edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2006. 203 p. ISBN 84-252-1488-2
- PAPINI, Giovanni. **El libro negro.** 7a. edición. México: Epoca, 2004. 317 p. ISBN 970-07-5627-0
- RODRÍGUEZ Viqueira, Manuel, (comp.). **Estudios de arquitectura bioclimática,** Anuario 2003, Vol. V. México: Limusa, 2003. ISBN 968-18-6572-3
- SAKAMOTO, Tomoko, et al. (ed.). **From Control to Design: Parametric / Algorithmic Architecture.** Barcelona: Actar, 280 p. ISBN 978-84-96540-79-8
- **Un Vitrubio ecológico. Principios y practicas del proyecto arquitectónico sostenible.** Barcelona: Gustavo Gili, 2007. 160 p. ISBN 978-84-252-2155-2
- WRIGHT, Frank Lloyd. **El futuro de la arquitectura.** Buenos Aire: Poseidon, 1957. 256 p.
- YEANG, Ken. **El rascacielos ecológico,** Barcelona: Gustavo Gili, 2001. 304 p. ISBN 8425218330
- YEANG, Ken, **Proyectar con la naturaleza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico.** 1a edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2000. 208 p. ISBN 9788425217630
- **¿Cómo ves?** México, 2007, año 10, no. 109. ISSN 1870-3186

- **¿Cómo ves?** México, 2008, año 10, no. 110. ISSN 1870-3186
- **¿Cómo ves?** México, 2008, año 10, no. 117. ISSN 1870-3186
- **¿Cómo ves?** México, 2008, año 11, no. 121. ISSN 1870-3186
- **¿Cómo ves?** México, 2009, año 11, no. 123. ISSN 1870-3186
- **National Geographic en español. Edición especial.** México, Abril 2008. ISSN 1665-7764
- **National Geographic en español.** México, 2010, Vol. 26 núm. 04. ISSN 1665-7764
- **National Geographic en español.** México, 2009, Vol. 24 núm. 06. ISSN 1665-7764
- **La Importancia de la Evolución para la Sociedad**
<http://www.actionbioscience.org/esp/evolucion/pigliucci.html>
 Abril 2011
- **Servicios de los Ecosistemas: Una Introducción**
<http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/ESA.html>
 Abril 2011
- **Alimentos transgénicos: ¿Qué tan seguro es su consumo?**
<http://www.revista.unam.mx/vol.10/num4/art24/int24-1.htm>
 Junio 2011

- Los grandes problemas de México Vol. XI Economía Rural

<http://2010.colmex.mx/16tomos/XI.pdf>

Julio 2012

- Programa para Mejorar la Calidad del Aire en León 2008-2012

http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/ProAires_Vigentes/5_ProAire%20León%202008-2012.pdf

Julio 2012

- Balance Nacional de Energía 2011

http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/BNE_2011.pdf

Agosto 2012

- Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025

http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf

Agosto 2012

- Contaminantes atmosféricos

http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/pdf/yelmedioambiente/version_2008/5_contaminacion_v08.pdf

Agosto 2012

- Sistema de Información Energética. Sector Eléctrico Nacional

<http://sie.energia.gob.mx/movil.do?action=cuadro&cvequa=IIIA3C01>

Agosto 2012

- La Inacabada Revolución Verde – El Futuro Rol de la Ciencia y la Tecnología en la Alimentación del Mundo en Desarrollo

<http://www.agbioworld.org/biotech-info/articles/spanish/desarrollo.html>

Agosto 2012

- Copenhagen Declaration

http://www.uia-architectes.org/sites/default/files/COP15_Declaration_EN.pdf

Septiembre 2012

- Leaders & Visionaries. Janine Benyus

http://www.time.com/time/specials/2007/article/0,28804,1663317_1663319_1669888,00.html

Noviembre 2011

- A conversation with Janine Benyus

<http://www.biomimicryguild.com/janineinterview.html>

Noviembre 2011

- Relaciones Hombre-Entorno: La incursión de la psicología en las ciencias ambientales y del diseño

http://www.posgrado.unam.mx/publicaciones/ant_omnia/06/02.pdf

Febrero 2012

- Manifiesto Parametricista

<http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20style.htm>

Julio 2012

índice de ilustraciones

Img. 1. Fotografía aérea de la ciudad de Chicago - Fotografía de Jim Richardson.

<http://www.jimrichardsonphotography.com/>

Img. 2. Interpretación artística de la magnetósfera – NASA.

<http://www.nasa.gov/>

Img. 3. Evolución de la temperatura global media anual durante el siglo XX a partir de termómetros de superficie en °C. Se parte de un valor de referencia 0 en 1900 - GISS, NASA.

<http://www.giss.nasa.gov/>

Img. 4. Imagen de alta definición de la Tierra, 4 de enero de 2012 – NASA.

<http://www.nasa.gov/>

Img. 5 Niveles de organización de la materia - Esquema desarrollado por el autor con información de Teresa Audesirk *et al.* en *Biología 1. Unidad en la diversidad*. México: Prentice Hall, 2003. pág 3.

Img. 6. Población mundial por países en millones – *GeoHive Estimates*.

<http://www.geohive.com/>

Img. 7. El crecimiento demográfico – *Edición especial National Geographic en español*. México, 2008, pág. 48. Información de la División de Población de la ONU.

Img. 8. Parque Nacional Desierto de los Leones, México D.F. - Fotografía del autor.

Img. 9. Gramátidos naranjas sobre coral blando - Fotografía de Tim Laman.

<http://photography.nationalgeographic.com>

Img. 10. *Seoul Commune 2026* - Mass Studies.

<http://www.massstudies.com/>

Img. 11. Litros de agua necesarios para la producción – Esquema desarrollado por el autor con información de *Edición especial National Geographic en español*. México, 2008, pág. 48 y *National Geographic en español*. México, 2010, vol. 26, núm. 4.

Img. 12. Viaducto Miguel Alemán, tormenta en la ciudad de México el 16 de abril 2008 – CNN.
<http://mexico.cnn.com/>

Img. 13. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico de México – CONAGUA Estadísticas del agua en México edición 2011.
<http://www.cna.gob.mx/>

Img. 14. Distribución del Cutzamala en el Valle de México – *National Geographic en español*. México, 2010, vol. 26, núm. 4. pág. 28.

Img. 15. Perfil de bombeo y conducción del sistema Cutzamala - *National Geographic en español*. México, 2010, vol. 26, núm. 4. pág. 28.

Img. 16. Fotografía de una mujer arrojando una ofrenda en el río Mekong en Laos – Fotografía de John Stanmeyer.
<http://stanmeyer.com/>

Img. 17. Contaminación ambiental en el Valle de México - Fotografía de David de la Paz.
<http://www.efeverde.com>

Img. 18. Generación de emisiones de CO₂ a nivel internacional – CIA *The World Factbook*.
<https://www.cia.gov/index.html>

Img. 19. Contribución del transporte al deterioro de la calidad del aire en México – Esquema desarrollado por el autor con información de *¿Cómo ves? México*, 2008, año 10, no. 110. pág. 24.

Img. 20. Países que emiten la mayor cantidad de emisiones de CO₂ al año - Esquema desarrollado por el autor con información de *Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)*.
<http://cdiac.ornl.gov/>

Img. 21. Zona chinampera en Xochimilco, México D.F. – Fotografía del autor.

Img. 22. Cultivos de plantas transgénicas en el mundo – *Edición especial National Geographic en español*. México, 2008, pág. 46. Información de James, C., Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA), 2006.

Img. 23. Proceso de producción del bioetanol - Esquema desarrollado por el autor con información de *¿Cómo ves? México*, 2009, año 11, no. 123. pág. 13.

Img. 24. El maíz, Chiquilistlán, Jalisco, 2011 - Autor no identificado.
www.flickr.com/archivodeproyectos

Img. 25. Consumo eléctrico por país en millones de kW/h – CIA *The World Factbook*.
<https://www.cia.gov/index.html>

Img. 26. Balance Nacional de Energía 2009: Consumo final de energía por energético – Sistema de información Energética SENER.
<http://www.sener.gob.mx/>

Img. 27. Usuarios de energía eléctrica por sector tarifario – Esquema desarrollado por el autor, datos obtenidos del Sistema de información Energética SENER con información de CFE y la extinta LYFC.
<http://www.sener.gob.mx/>

Img. 28. Balance Nacional de Energía 2009: Consumo final de energía por sector – Esquema desarrollado por el autor, datos obtenidos del Sistema de información Energética SENER con información de la Encuesta sobre el Consumo de Energía en el Sector Industrial.
<http://www.sener.gob.mx/>

Img. 29. 100K € Proyecto de investigación de una residencia de bajo costo – Mario Cucinella Architects.
<http://www.mcarchitects.it/>

Img. 30. Fotografía del polo norte – Autor no identificado.
<http://www.periodistadigital.com>

Img. 31. Esquema básico de sustentabilidad – Autor no identificado.
<http://www.chiledesarrollosustentable.cl>

Img 32. Plan maestro del Parque 20/20 en Holanda, conjunto multifuncional de 114,000 m². – William McDonough + Partners.
<http://www.mcdonough.com>

Img. 33. Elemental – Alejandro Aravena.
<http://alejandroaravena.com>

Img. 34. *Integer Millennium House* – Cole Thompson Anders.
<http://coletompson.co.uk>

Img. 35. Campus Biometropolis – Foster + Partners.
<http://www.fosterandpartners.com>

Img. 36. Oficinas Holcim Costa Rica – Bruno Stagno.
<http://www.brunostagno.info>

Img. 37. El hombre como medida central en arquitectura – Victor Olgyay en *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. 1a. edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2006. pág. 14.

Img. 38. Campos interrelacionados del equilibrio bioclimático – *Ibidem*. pág. 12.

Img. 39. Índice esquemático del bioclima – *Ibidem*. pág. 23.

Img. 40. Parámetros termofísicos - Jean-Louis Izard en *Arquitectura bioclimática*. Barcelona: Gustavo Gili, 1983. pág. 16.

Img. 41. Carta psicrométrica para la colonia Escandón en la Ciudad de México – Diagrama desarrollado por el autor en base al método de Szokolay.

Img. 42. Factores de confort térmico - en *Un Vitrubio ecológico. Principios y practicas del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona: Gustavo Gili, 2007. pág. 39.

Img. 43. Esquema general de estrategias ambientales para un edificio de usos múltiples - Mario Cucinella Architects. <http://www.mcarchitects.it/>

Img. 44. Fachada homeostática - Decker Yeadon Projects. <http://www.deckeryeadon.com>

Img. 45. Cosmovitral, Toluca, Estado de México – Fotografía del autor.

Img. 46. Escuela de Artes Visuales de Oaxaca - Mauricio Rocha, fotografía de Sandra Pereznieto. <http://www.archdaily.mx>

Img. 47. Ilustración Ego vs Eco – Autor no identificado. <http://www.all-creatures.org>

Img. 48. Jianshe HQ Tower - Ken Yeang. <http://www.trhamzahyeang.com>

Img. 49. Diagrama general de interacción de los componentes de un ecosistema - Esquema desarrollado por el autor con información de Ken Yeang en *Proyectar con la naturaleza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

Img. 50. Diagrama general de interacción energía y materia - Ken Yeang en *Proyectar con la naturaleza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

Img. 51. Diagrama general del proceso no lineal - Esquema desarrollado por el autor con información de Ken Yeang en *Proyectar con la naturaleza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

Img. 52. *Bosco Verticale* - Stefano Boeri Architetti. <http://www.stefanoboeriarchitetti.net>

Img. 53. Ilustración de basidiomicetos, estos organismos son una división del reino Fungi - Ernst Haeckel en *La morfología general de los organismos*.

Img. 54. Comparación formal de una piña de pino salgareño con la cubierta de la Casa Batlló diseñada por Gaudí entre 1904 y 1906 - Autor no identificado. <http://espacioguia.blogspot.mx>

Img. 55. El Museo Solomon R. Guggenheim inicia su construcción en 1956 y finaliza en 1959, mismo año en el que muere Wright poco antes de ser concluida la construcción. Guggenheim muere en 1949 - Fotografía de David Heald
<http://www.davidhealdphotographs.com>

Img. 56. Plantas arquitectónicas de la casa de Juan O´Gorman en San Jerónimo - Imágenes tomadas de *Juan O´Gorman. Principio y fin del camino*. México: Círculo de Arte CONACULTA, 2002. pág. 55.

Img. 57. Juan O´Gorman en su Casa de San Jerónimo - *Ibidem*. pág. 62. Fotografía de Juan Guzmán.

Img. 58. Telaraña tipo stabilimentum - Fotografía de James (Jim) Bake.
www.flickr.com/jim-ar

Img. 59. Espiral biomimética, metodología básica para el desarrollo de proyectos biomiméticos - *Biomimicry Institute*.
<http://www.biomimicryinstitute.org>

Img. 60. Esquema de utilización de la materia en estructuras fluidas - Ed van Hinte y Adriaan Beukers.
<http://www.wired.co.uk>

Img. 61. *HiperCatalunya*, estudio y planteamiento de configuración territorial a largo plazo utilizando los elementos potenciales del contexto - Guallart Architects.
<http://www.guallart.com>

Img. 62. *Agave victoriae-reginae* es una especie de agave considerada en peligro de extinción endémica de las zonas desérticas del norte de México - Fotografía del autor.

Img. 63. Estudio de la anatomía - Santiago Calatrava.
<http://www.51abcd.com>

Img. 64. Croquis conceptual para el proyecto de *L'Hemisfèric* - Acuarela de Santiago Calatrava.
<http://www.arqred.mx>

Img. 65. Planta de conjunto del *Eden Project* - Imágen tomada de *Guía básica de la sostenibilidad*. 2a. edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2005. pág. 37.

Img. 66. Estudio formal para el *Eden Project* inspirado en formas de burbujas, granos de polen y radiolarios - Nicholas Grimshaw y Michael Pawlyn.
<http://www.exploration-architecture.com>

Img. 67. Vista general del *Eden Project* - Nicholas Grimshaw y Michael Pawlyn.
<http://www.therisingsuninn.com>

Img. 68. Escarabajo del desierto de Namib - Fotografía de Michael y Patricia Fogden.
<http://www.nationalgeographicstock.com>

Img. 69. Esquema general de funcionamiento de un invernadero de agua de mar - Charlie Paton.
<http://www.seawatergreenhouse.com>

Img. 70. Invernadero de agua de mar en Tenerife - Charlie Paton.

<http://www.seawatergreenhouse.com>

Img. 71. Proyecto del Bosque del Sahara - Michael Pawlyn y SFP Team.

<http://saharaforestproject.com>

Img. 72. Fotografía de avances de obra del Proyecto del Bosque del Sahara - Michael Pawlyn y SFP Team.

<http://saharaforestproject.com>

Img. 73. Proyecto piloto del SFP en Catar - Michael Pawlyn y SFP Team.

<http://saharaforestproject.com>

Img. 74. Modelo digital para el análisis de curvatura y esfuerzos del *Shi Ling Bridge* - Tonkin Liu (Mike Tonkin y Anna Liu).

<http://www.tonkinliu.co.uk>

Img. 75. Estudio de la resistencia de especies naturales a partir de su curvatura - Tonkin Liu (Mike Tonkin y Anna Liu).

<http://www.tonkinliu.co.uk>

Img. 76. Modelo a escala del Puente Shi Ling - Tonkin Liu (Mike Tonkin y Anna Liu).

<http://www.tonkinliu.co.uk>

Img. 77. Conjunto de viviendas desarrolladas con el modelo *Fab Tree Hab* - Terreform ONE

<http://www.terreform.org>

Img. 78. Esquema de crecimiento del *Fab Tree Hab* - Terreform ONE.

<http://www.terreform.org>

Img. 79. Visualización digital de la *Meat House* - Terreform ONE.

<http://www.terreform.org>

Img. 80. Corte por fachada de la *Meat House* - Terreform ONE.

<http://www.terreform.org>

Img. 81. Prototipo a escala de la *Meat House* - Terreform ONE.

<http://www.terreform.org>

Img. 82. Parvada de estúrnidos - Fotografía de *Fiona in Eden*.

www.flickr.com/heandfi

Img. 83. *The Swarm*, pabellón de diseño paramétrico inspirado en las agrupaciones de aves - Magnus Möschel.

<http://www.evolo.us>

Img. 84. Vista general de la exoestructura de la *Fibrous Tower* - Kokkugia architecture + urbanism.
<http://www.kokkugia.com>

Img. 85. Vista interior de la *Kaohsiung Marine Gateway Terminal* - Asymptote Architecture.
<http://www.asymptote.n>

Img. 86. Vista general del *Kartal Pendik Masterplan* - Zaha Hadid Architects.
<http://www.zaha-hadid.com>

Las imágenes del proyecto de aplicación y las conclusiones son propiedad intelectual del autor, excepto en las páginas 158 y 172.