

CAPÍTULO 2

EL PROBLEMA DEL CICLO ABIERTO DE LOS MATERIALES

2.1 El problema ambiental de la arquitectura

La arquitectura, mayoritariamente y por definición, ocupa y transforma el medio natural en el cual se asienta. Se materializa a través de la construcción que, al igual que otras industrias, se basa en el modelo productivo de la revolución industrial, definido por la secuencia lineal *extracción>fabricación>residuo*.

Esta manera de producir, caracterizada por un consumo de materias primas no renovables y una generación de residuos contaminantes en crecimiento acelerado, provoca unos impactos negativos sobre el medio ambiente que deterioran el *stock* de capital natural con que cuenta el planeta, condicionando a largo plazo la continuidad de diversas formas de vida sobre la tierra, entre las que se encuentra la especie humana.

Las principales causas de esta degradación ambiental se encuentran en el consumo de recursos no renovables y en la generación de residuos contaminantes, ambos en aumento acelerado. Su principal efecto es la destrucción del stock de capital natural por degradación entrópica, algo que resulta especialmente tangible cuando observamos algunos de sus impactos más visibles o conocidos, como la destrucción de los bosques nativos, el agotamiento de los combustibles fósiles, la disminución de las reservas de agua dulce, o la contaminación de la atmósfera a través de la emisión de gases tales como el dióxido de carbono CO₂, los óxidos de nitrógeno NO_x y los óxidos de azufre SO_x que se traducen en el efecto invernadero, la lluvia ácida y la destrucción de la capa de ozono, por citar sólo algunos problemas.

El mayor grado de sofisticación alcanzado por la industria ha permitido la fabricación de bienes cada vez más complejos en tiempos cada vez más cortos. No obstante ello, desde el punto de vista de la afectación de recursos y la generación de residuos, el modelo productivo no ha cambiado al menos desde hace unos doscientos cincuenta años, cuando mediante la energía del vapor primero y de los combustibles fósiles después se puso en marcha un proceso de explotación de recursos naturales de magnitudes hasta entonces desconocidas. Puede decirse que tal modelo ha mantenido ciertas características constantes durante el período de tiempo que comprende a la primera y segunda revoluciones industriales, así como también a la llamada tercera revolución, definida como la era de las comunicaciones o la sociedad de la información contemporánea.

Algunas corrientes de opinión¹ consideran que esta última marca el comienzo de una etapa post industrial de la sociedad, ya que comporta el aumento del sector servicios en detrimento de la actividad industrial y por tanto implicaría cierta desmaterialización de la economía. La reducción de la cantidad de materiales que son necesarios para la creación de



Extracción de recursos y vertido de residuos, los extremos del ciclo productivo de la construcción. Cantera de Urdix, en Navarra y Vertedero de Orís, en Cataluña
Consulta en línea, 02/2009 www.marmolesdelbaztan.com y www.microphilox.com

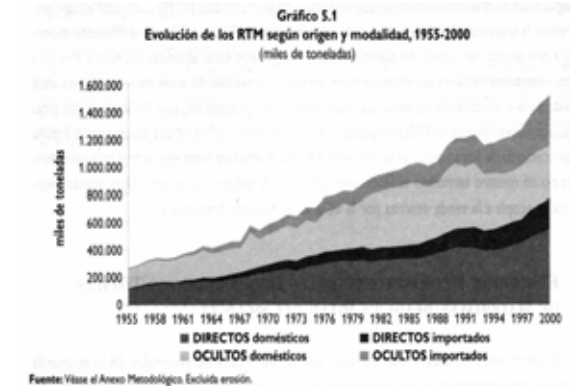
una unidad de valor de la economía, o desmaterialización, supondría una clara ventaja ambiental: a menor cantidad de materiales requeridos, menos extracciones de la corteza terrestre, menos residuos generados y por tanto menos impacto ambiental. A partir de todos estos supuestos se llega a afirmar que la evolución de la economía asociada al cambio tecnológico podría, por sí misma, contribuir a reducir el problema del creciente impacto ambiental de nuestras sociedades.

Sin embargo, tal afirmación no encuentra correlación en las mediciones que lleva adelante la Contabilidad de Flujos Materiales o CTM, que nos permite conocer el Requerimiento Total de Materiales de la sociedad o RTM. El nivel de este último indicador en los últimos 50 años de la economía española no sólo no registra una disminución ni una estabilización sino que por el contrario muestra una clara tendencia al aumento, que se acelera especialmente a partir de 1996-1997, llegando el RTM en el año 2000 a más de 1500 millones de toneladas, entre recursos domésticos (61%) e importados (39%) [Carpintero 2005]

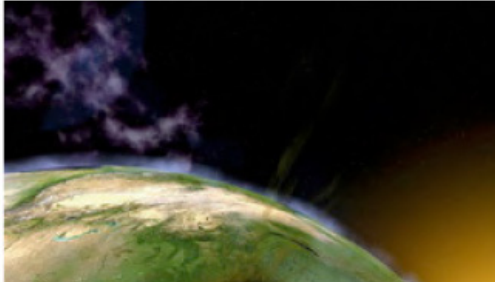
Si nos centramos ahora en el consumo directo interno español (extracciones más importaciones, menos exportaciones) la cifra se sitúa en 673 mil millones de toneladas para el año 2000, que repercutidas sobre la población representan 19 toneladas por habitante. En 1950 el promedio de consumo de recursos minerales por habitante era de 4,2 toneladas, habiéndose registrado desde entonces un aumento del 452% que, excepto durante períodos muy cortos de tiempo, ha registrado y registra una fuerte tendencia de crecimiento.

Los datos anteriormente expuestos desmienten la anunciada desmaterialización de la economía, que debería producirse a partir del aumento del sector terciario y la disminución de la actividad industrial de los últimos años. La respuesta a la demanda de bienes y servicios de la sociedad, por el contrario, continúa basándose en un consumo de recursos y en una producción de residuos que además de crecer constantemente tienen ritmos varias veces superiores a la capacidad del medio natural para producirlos y absorberlos respectivamente. Se produce así, inevitablemente si no se modifica el modelo de producción de bienes y servicios con que se da satisfacción de las demandas de la sociedad, la disminución del stock de capital natural a partir del deterioro de materiales y energía.

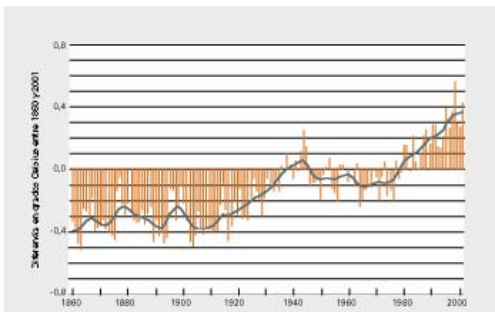
El deterioro ambiental progresivo de la corteza terrestre se produce por entropía, es decir por la dispersión de residuos que provoca la sociedad industrial en la biosfera, proceso que implica la pérdida de calidad y organización originales de los materiales en la corteza terrestre, conseguida a lo largo de miles de años de acción biológica y geológica de la tierra. La entropía, o desorden referente a la organización los materiales, está relacionada también con el aumento de la temperatura ambiente, originado por la contaminación térmica indisolublemente ligada al uso de los combustibles fósiles.



Evolución de los RMT (requerimientos totales de materiales) según origen y modalidad entre 1955 y 2000 en miles de toneladas
Óscar Carpintero, *El metabolismo de la economía española*, Fundación César Manrique, Lanzarote, España, 2005.



Recreación de las emisiones de CO₂ en la tierra



Anomalías anuales de la temperatura superficial de la tierra entre 1860 y 2001
Panel Intergubernamental Contra el Cambio Climático (IPCC), Organización para las Naciones Unidas.

Los residuos de tipo sólido, líquido y gaseoso, nuevos materiales producidos por la especie humana, no deberían generarse a un ritmo mayor que sus posibilidades de tratamiento y absorción por parte de los ecosistemas, ya que la concentración excesiva de sustancias artificiales en el medio ambiente rebasa los límites del equilibrio natural, los cuales no se conocen exactamente.

La ruptura de este estado obliga al sistema de la tierra a hacer lo que ha hecho en oportunidades anteriores frente a grandes cambios de origen natural: crear un nuevo orden o equilibrio. El problema es que las características de la litosfera, la biosfera y la atmósfera en ese nuevo estado podrían no ser adecuadas para la continuidad de las formas de vida que actualmente habitan el planeta. Factores tales como la pérdida de biodiversidad registrada durante los últimos veinte o treinta años, período que comprende la masificación del modelo de producción industrial y de la sociedad de consumo, permiten intuirlo o al menos aconsejan considerar tal posibilidad.

Para ejemplificar la situación antes descrita podemos referirnos a uno de los ajustes que trae aparejada la búsqueda del nuevo equilibrio, sobre el que ya disponemos de cierta información con consenso científico global: el cambio climático. El aumento de la temperatura en la superficie de la tierra por la proliferación de gases de efecto invernadero, previsto para este siglo² entre 1,4 y 5,8 °C implica efectos tales como una subida del nivel del mar entre que inundará territorios habitados por muchas especies, entre ellas los humanos naturalmente, así como también el aumento de la desertificación que afecta grandes extensiones del planeta, entre ellas especialmente la Península ibérica.

La consideración del cambio climático conduce el análisis de la gestión de la energía empleada por la sociedad para satisfacer sus demandas. El uso de la energía en el sector de la construcción es uno de los indicadores más difundidos y aceptados para evaluar su impacto ambiental, porque es un factor que interviene en cualquier proceso productivo. Indica potencia, trabajo, intensidad industrial empleadas para satisfacer una demanda. Implica además el consumo de recursos no renovables de regeneración muy lenta y la liberación de emisiones contaminantes, al menos mientras siga vigente el actual modelo energético, consumidor fundamentalmente de combustibles fósiles y nucleares. En España las fuentes energéticas no renovables, es decir el carbón, el petróleo y el gas natural, representan conjuntamente el 81% de la energía primaria³. La energía nuclear supone el 12% y las renovables tan sólo un 7%.

Conocer el consumo de energía de un determinado proceso permite hacer una primera valoración ambiental aunque no permite distinguir, por ejemplo, entre energías renovables y

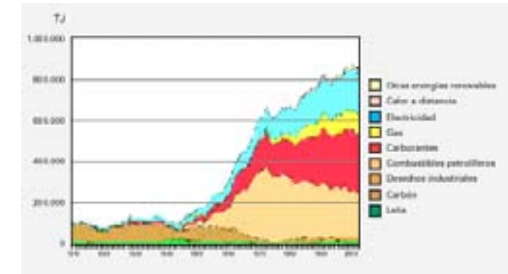
no renovables o entre tipos de energía más o menos contaminantes, aún situando la reflexión exclusivamente dentro de las no renovables.

El consumo de energía se puede traducir en emisiones de CO₂, un recurso muy útil para valorar la repercusión ambiental de las diferentes fuentes implicadas en los procesos, puesto que a efectos de poder establecer el impacto ambiental ocasionado por una actividad o por la fabricación de un material no resulta igual consumir gas natural o electricidad. La contaminación provocada para generar una unidad de energía, un MegaJoule (MJ), un KiloWatt por hora (KWh) etc., puede ser muy diferente según haya sido obtenida a partir de un panel fotovoltaico, un aerogenerador o una central térmica a combustible fósil y, en ese último caso, si el combustible empleado es fuel-oil, carbón o gas natural.

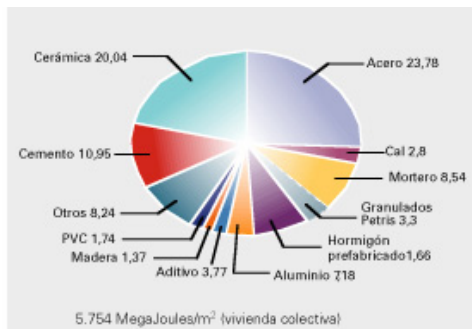
Debe utilizarse entonces un indicador capaz de representar las distintas repercusiones contaminantes que pueden tener los diferentes tipos de energía utilizados para producir un bien o un servicio, y el indicador de la emisión de gas dióxido de carbono expresado en kilogramos de CO₂ por unidad de servicio o producción es capaz de hacerlo. Por ejemplo, en España, la relación usual entre las emisiones de CO₂ de la electricidad y el gas natural, para una misma cantidad de energía, es de alrededor de 2 a 1 o más, variando según el origen de los datos que se empleen en la conversión⁴.

Como factor de conversión de energía a CO₂ puede utilizarse el que deriva del llamado *mix* energético de un país o una región⁵. En el caso de España puede emplearse el que elabora el Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, publicado en forma anual. Consultando las series históricas puede apreciarse que la composición en la generación de la energía, por efecto de la variación de la participación de las distintas fuentes que intervienen, puede cambiar significativamente según el período considerado. Varía de esta manera también la cantidad de CO₂ liberado en la generación ya que, como se ha dicho, las emisiones están directamente relacionadas con las fuentes de generación. Un año con precipitaciones intensas puede hacer aumentar la generación hidroeléctrica y con ello reducirse las emisiones. Otro en el que no ha llovido tanto, pero se han puesto en marcha nuevas centrales eléctricas, puede aumentarlas.

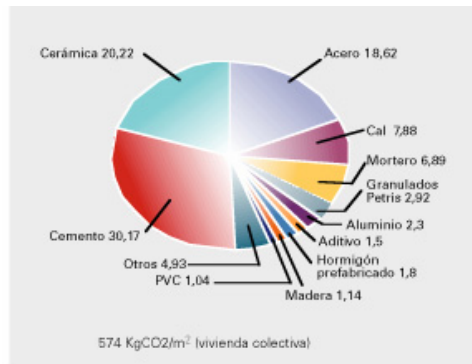
El aumento constante de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) eleva la concentración de estos compuestos en la atmósfera, causando de forma artificial un incremento del efecto invernadero natural, que es el origen del cambio climático del planeta. El aumento de la temperatura en la superficie de la tierra se produce a partir del crecimiento de la barrera de GEI instalada en la atmósfera, ya que ésta impide que parte de la radiación infrarroja que emite la superficie de la tierra, calentada previamente por el sol, sea emitida hacia el espacio.



Crecimiento del consumo de energía según tipos de fuente entre 1910 y 2000 (en Terajoules)
Confederación Suiza y Panel Intergubernamental Contra el Cambio Climático.



Energía de fabricación de materiales para un metro cuadrado de construcción estándar e incidencia relativa en el total.
 CIES, Centre d'Iniciatives per a l'Edificació Sostenible, 2000



Emisiones de CO₂ de fabricación de materiales para un metro cuadrado de construcción estándar e incidencia relativa en el total.
 CIES, Centre d'Iniciatives per a l'Edificació Sostenible, 2000

En España al menos entre un 17%⁶ y un 27%⁷ de las emisiones globales de CO₂, el gas que mayor incidencia tiene entre los GEI (no porque sea el que mayor factor de efecto invernadero tiene, sino porque es el que se emite en mayores cantidades), se deben al uso de edificios residenciales y no residenciales. Y si además de la energía consumida en la etapa de su utilización se considerara la derivada de la fabricación de los materiales de construcción empleados en ellos, que representa entre un 25-30% del total del consumo energético del total de su vida útil [SaAS et al. 2007], el porcentaje de emisiones de CO₂ debido a la actividad de edificación es de hasta un tercio del total generado por la sociedad. A partir de ello la edificación tiene una gran repercusión en el consumo de energía, el cambio climático y otros efectos de impacto ambiental.

La construcción de vivienda nueva con sistemas constructivos convencionales en edificios plurifamiliares implica actualmente, a valores estándar, unos 500KgCO₂/m² si se repercute sobre la totalidad de la superficie construida y hasta 600 KgCO₂/m² si se considera sólo el área habitable, excluyendo garajes y otras instalaciones⁸. El uso de esa misma unidad de superficie durante una vida útil de unos 50 años supone, por su parte, entre 1500 y 1700KgCO₂/m². A partir de estos datos y de auditorias energéticas realizadas en el sector doméstico puede calcularse que una vivienda estándar, de unos 90 metros cuadrados con cuatro ocupantes permanentes, representa unas emisiones de aproximadamente tres toneladas de anuales de CO₂⁹.

Naturalmente y como ya se ha comentado brevemente, además del consumo de energía y las emisiones de gas CO₂, la edificación causa otros impactos sobre el medio natural. En efecto, en la misma vivienda comentada en el párrafo precedente se generan diariamente más de 160 kilogramos (o litros) de aguas residuales por habitante [Mañá et al. 2003] que previamente ingresadas en calidad de agua potable en un 100%. Esto quiere decir que cada día son vertidas al alcantarillado casi 0,7 toneladas de aguas (700 litros) por vivienda estándar, que deberán tratarse antes de ser devueltas al ciclo hidrológico, no siempre en condiciones adecuadas para evitar la contaminación del medio natural, aunque en cualquier caso afectando recursos materiales, consumiendo energía y disminuyendo las reservas de agua dulce en muchas de las cuencas. La construcción de edificios implica, asimismo, grandes cantidades de agua empleadas en la fabricación de materiales¹⁰, aunque lamentablemente no disponemos de estudios que nos permitan estimar una repercusión aproximada. No obstante en los capítulos 7 y 8 se intentará una aproximación.

En la contaminación causada por la edificación, además de las emisiones de CO₂, cuentan otros gases nocivos directamente relacionados con el uso de la energía y los procesos físico-químicos asociados a la fabricación de materiales y el uso de los edificios.

La denominada capa de ozono es un estrato de la atmósfera que retiene parcialmente la radiación ultravioleta del sol, evitando que llegue a la superficie de la tierra, y está situada a unos 50 km por sobre el nivel del mar. Aunque con menor intensidad que hace algunos años continúa siendo atacada por los gases CFC (clorofluorocarbonos) y HCFC (hidroclorofluorocarburos) que forman parte de ciertos líquidos refrigerantes, agentes extintores, espumantes y propelentes para aerosoles, entre ellos algunos de los que se utilizan en la construcción y el mantenimiento de los edificios y sus instalaciones. El mecanismo a través del cual los CFC's y HCFC's atacan la capa de ozono es una reacción fotoquímica: al incidir la luz ultravioleta sobre la molécula se libera un átomo de cloro con un electrón libre, denominado radical cloro, fuertemente reactivo y con gran afinidad por el ozono, que rompe la molécula de éste último. A partir de ello, cierta radiación nociva para la vida arriba a la superficie del planeta. Si bien el Protocolo de Montreal relativo a sustancias agotadoras de la capa de ozono de 1987 así como sus ratificaciones posteriores establecía su eliminación completa hacia 2000, aún se producen algunas emisiones que la afectan. La dimensión del llamado agujero de la capa de ozono se ha reducido recientemente y con él la intensidad de la radiación solar que pasa a través suyo, aunque el problema no ha desaparecido del todo.

La ecotoxicidad y la toxicidad humana son dos grupos de impactos que resumen diferentes efectos ambientales y aportan una referencia general sobre cómo afecta a la naturaleza el uso de los materiales, en el primer caso, y dentro de ella específicamente a las personas en el segundo. Los residuos sólidos, líquidos y gaseosos del proceso de fabricación de materiales, así como de la construcción y derribo de edificios, tienen repercusión en los dos grupos de toxicidad mencionados, a través de la combinación de distintos efectos. El sulfuro, los óxidos del nitrógeno y el amoníaco liberados mayormente como parte de los procesos la agricultura, aunque en menores proporciones también por los de la edificación, provocan un aumento importante de la acidificación del suelo cuando se precipitan sobre él, que en determinadas concentraciones puede afectar a la flora y a las aguas superficiales y subterráneas.

La eutrofización es el desequilibrio de determinados nutrientes en un ecosistema causado por las emisiones y vertidos de compuestos industriales ricos en nitrógeno y fósforo en la tierra y el agua. Entre ellos, naturalmente, hay muchos relacionados con la industria de la edificación. Se considera un proceso contaminante debido a que acelera excesivamente el



Emisiones	Origen
CO₂ Dióxido de carbono	Reacciones de la combustión.
CO Monóxido de carbono	Combustión incompleta de la mezcla combustible-aire.
NO_x Óxidos de Nitrógeno	Reacciones a alta temperatura entre el nitrógeno y el oxígeno presentes en el aire en los procesos de combustión.
SO₂ Dióxido de azufre	Combustión de los combustibles fósiles, debido al azufre que contienen.
COV Compuestos orgánicos volátiles	Gases de escape originados por una deficiente combustión o la evaporación de un carburante.
Partículas sólidas	Mala combustión de carburantes, sobre todo en motores diésel.

Principales gases contaminantes de la atmósfera y origen de las emisiones.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE, y Panel Intergubernamental Contra el Cambio Climático, IPCC.

crecimiento de ciertas especies sobre otras que se ven forzadas a desaparecer, causando un desequilibrio en el orden de los sistemas naturales y alterando la calidad de las aguas. Es decir que, paradójicamente, mientras hay un aumento de la biomasa se produce una pérdida de biodiversidad. En los sistemas acuáticos, por ejemplo, la eutrofización produce un crecimiento desmesurado del fitoplancton, organismo que realiza la parte principal de la producción primaria en los ambientes acuáticos y es responsable de hasta el 98% del oxígeno de la atmósfera. Cuando esta especie se desarrolla demasiado a través del florecimiento (o "bloom" en inglés) agota los nutrientes y comienza a morir. A esa altura, la descomposición más o menos rápida de los organismos muertos puede llevar al agotamiento del oxígeno en el agua y, como consecuencia, a la muerte masiva de peces y otros organismos. El resultado es el agotamiento del sistema.

La eutrofización de los suelos trae aparejados cambios indeseables en la composición de algunas especies vegetales, poniendo a otras en peligro. Ecosistemas tales como praderas, bosques y pantanos caracterizados por bajos contenidos de nutrientes y cantidades de especies así como de ritmos de crecimiento lento se ven repentinamente saturados de compuestos que los descompensan. La presencia de mayores cantidades de nitrógeno en el suelo favorece el desarrollo excesivo de algunas plantas, mientras que otras pueden llegar a desaparecer por la misma causa. De esta manera los pantanos son invadidos por cañas y los bosques por arbustos, ortigas y zarzas, alteraciones que pueden causar la desaparición de estos ecosistemas a largo plazo.

La eutrofización fue reconocida como un problema ambiental a mediados del siglo XX y actualmente hasta la mitad de los lagos de Asia, Europa y Norteamérica padecen este tipo de contaminación, que en África y Sudamérica alcanza al 30% y 40% de las reservas de agua dulce.

El llamado *smog*, mezcla de los términos ingleses *smoke* (humo) y *fog* (niebla) es una forma de contaminación del aire causada originalmente por la combustión del carbón en las centrales eléctricas, las calderas de calefacción y agua caliente, y en ciertos procesos industriales, muchos de ellos relacionados directa o indirectamente con la edificación. La combustión de este mineral emite al aire un humo que contiene, además de grandes cantidades de dióxido de carbono y partículas sólidas, dióxido de sulfuro. La utilización del carbón como combustible primario fue extendiéndose desde la aparición de la tecnología del vapor hasta la difusión de los refinados del petróleo, aunque comenzó a decaer hace algunas décadas a partir de la presión legal que combate la contaminación atmosférica y favorece otras fuentes de energía con combustión más limpia, aunque igualmente fósiles y por tanto no renovables, como el fuel oil, el gasóleo y los gases metano, propano y butano. Este hecho,

entre otros como los cambios introducidos en los vehículos con motor a explosión respecto de la limitación de sus emisiones y la eliminación de los metales pesados en los combustibles, hizo que el cielo de algunas ciudades recuperara parte de su transparencia original y se liberara en parte de ciertas sustancias tóxicas como el monóxido de carbono y los óxidos de azufre, aunque no de la contaminación en su conjunto. El aumento del consumo de la energía en los usos de edificación y transporte, además del industrial que puede tener localización en el extrarradio o en zonas aún más lejanas de los centros urbanos, ha hecho crecer en forma sostenida la presencia del dióxido de carbono, de los óxidos de nitrógeno, de los compuestos orgánicos volátiles y de las partículas en suspensión en el aire hasta niveles que en las grandes ciudades de España frecuentemente sobrepasan los límites máximos admisibles varias veces año¹¹.

El declive del petróleo, a partir del agotamiento de las reservas permite suponer que el carbón, mucho más abundante en el planeta, podría incrementar su uso como combustible primario para la generación de electricidad y calor.

El dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, SO_2 y los NO_x respectivamente, son sustancias cuya nocividad ambiental se produce a partir de que algunas partículas suspendidas en el aire reaccionan con el agua o bien son arrastradas por ésta en sus precipitaciones, dando lugar a lluvias ácidas que modifican la composición de los suelos y las aguas, afectando la supervivencia de la flora y la fauna. La lluvia ácida es conocida principalmente por el daño que causa sobre bosques y lagos, aunque debe decirse también que afecta a otras reservas de agua dulce, a los sistemas naturales costeros. También colabora en la intrusión de los metales pesados en tierras y aguas subterráneas, un tipo de contaminación que se verá más adelante.

Sobre los años 50 comenzó a hablarse de *smog* fotoquímico compuesto por ozono troposférico, compuestos orgánicos volátiles (VOC's en inglés, vapores liberados por la gasolina, las pinturas, los solventes, los pesticidas y otros compuestos químicos orgánicos), nitratos peroxiácidos y formaldehídos, todos ellos altamente reactivos y oxidantes. El *smog* fotoquímico, a diferencia del inicialmente descrito, es considerado un tipo de contaminación derivado de la industrialización más reciente y aunque tiene presencia en los grandes centros urbanos, debido a que se traslada a través del viento, puede afectar también a otras áreas de menor densidad poblacional. Su efecto fotoquímico se produce a través de la reacción que provoca la radiación solar, especialmente sobre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera, producto de la cual ciertas partículas se precipitan a tierra, contaminándola.



La contaminación atmosférica en los grandes centros urbanos ha hecho que el aire esté cargado de partículas tóxicas, habiendo hecho frecuentes imágenes como ésta.
Comisión Europea

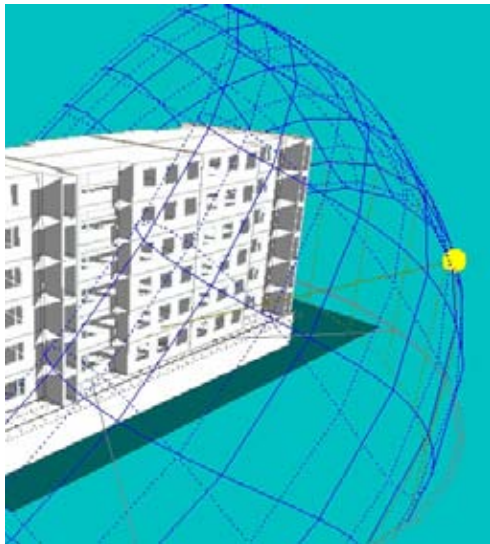


Imagen del posicionamiento respecto del sol de una simulación del energética de un edificio plurifamiliar realizada con el programa Ecotect.

Frente a este panorama, en los últimos años han ido apareciendo nuevas herramientas cada vez más útiles para conocer y reducir el impacto ambiental de la construcción, tales como bases de datos de materiales ecológicos o de menor impacto ambiental que las alternativas convencionales¹², manuales de construcción sostenible [CIRIA 1995], [AIA 1996], [Berge 1996], [Anink et al. 1996], [ITeC, COAC, UPC 1996], [Rovira, Casado 1998] y otros que se citarán más adelante, métodos globales de evaluación y certificación ambiental (como por ejemplo los sistemas VERDE del Green Building Council España, LEED del United States Green Building Council, GBTools del Green Building Challenge, BREEAM y EcoHomes del Building Research Institute, CASBEE del Japan Sustainable Building Consortium, etc.), o programas informáticos asociados a bases de datos que permiten expresar en unidades de energía, emisiones de fabricación y residuos los recursos materiales invertidos en el proyecto de un edificio como el TCQ 2000 (módulo ambiental GMA) y el BEDEC PR/PCT del Instituto de la Tecnología de la Construcción de Cataluña.

Todo ello hace posible determinar ciertos efectos del impacto ambiental de un edificio en la etapa de construcción, así como también analizarlo y a partir de ello determinar soluciones constructivas alternativas para disminuir su alcance.

También se dispone de programas informáticos que realizan la simulación energética de la etapa de uso de los edificios¹³, como por ejemplo los programas LIDER y CALENER asociados al Código Técnico de la Edificación y a la Certificación Energética de Edificios vigentes en España, mediante la representación informática de las condiciones reales del clima, sus requerimientos de habitabilidad, la materialidad del edificio y la determinación de sus instalaciones. Con ellos es posible conocer sus futuras demandas y consumos de energía (de climatización, iluminación, agua caliente sanitaria, etc.), así como analizarlas para determinar las soluciones constructivas y los sistemas de climatización alternativos, que permitirán la disminución del gasto energético. Mediante las correcciones que pueden hacerse sobre aspectos tales como la relación de llenos y vacíos de las fachadas, la ventilación y la iluminación naturales, la utilización de los principios de inercia y aislamiento térmicos si se considera la configuración física del edificio, o la selección de fuentes de calor, combustibles adecuados, tipos de sistemas, modalidades de uso y gestión si se refiere a sus instalaciones, es posible reducir drásticamente el consumo energético de uso con respecto a los valores de referencia actuales o que inicialmente tiene un edificio.

Si bien estas herramientas son una muestra del extraordinario avance técnico y de información de que se dispone actualmente para actuar sobre el problema del impacto ambiental de la edificación, no debe olvidarse que permiten obtener mejoras parciales o locales que, si bien reducen la huella ecológica de los edificios no eliminan el problema de

fondo, que continúa existiendo. Se trata de herramientas que usualmente se emplean para disminuir el impacto ambiental pero no para neutralizarlo; la disminución en sí misma no asegura la condición de sostenibilidad que como ha sido dicho antes requiere del cierre de los ciclos materiales. El impacto y por tanto el desequilibrio ambiental insostenible en el tiempo, que mediante la utilización de las herramientas anteriormente enunciadas puede y debe disminuirse notablemente, no desaparecerá por completo porque está implícito en el modelo productivo vigente. Es decir que estamos frente a estrategias, muy importantes y valiosas por cierto, pero de tipo paliativas y no definitivas.

Si no cambia el modelo productivo no desaparece el problema ambiental, ya que éste forma parte de él, está implícito en él. Tal modelo o paradigma de producción, basado en una extracción creciente de recursos de la corteza de la tierra y en una generación de residuos contaminantes que va en continuo aumento, ha ido sofisticándose con el tiempo sin modificar su esencia. Dicho de otro modo, podemos fabricar productos cada vez más complejos en menos tiempo, pero a costa de continuar aumentando la carga o la presión ambiental sobre el planeta. En esencia, a pesar de todos los cambios tecnológicos sucedidos desde el aprovechamiento de la energía del vapor como trabajo mecánico, actualmente producimos del mismo modo que en la primera y la segunda revolución industriales. En estos tiempos, denominados popularmente como de la era digital, de la información, de las comunicaciones o simplemente llamados como la tercera revolución industrial, por mucho que hayamos sofisticado nuestro sistema productivo no hemos abandonado sus rasgos esenciales: consumimos recursos a un ritmo varias veces superior al de su regeneración por parte del planeta y producimos residuos a un ritmo varias veces superior al de su absorción por parte del planeta. Y ambos son ritmos, además, crecientes. El desequilibrio del sistema natural que integramos, si no redefinimos el término producción desde una óptica ambiental, podrá retrasarse pero no evitarse.

La edificación, como todas las actividades técnico industriales de nuestra sociedad, utiliza mayoritariamente recursos minerales del planeta para satisfacer los requerimientos de habitabilidad, cuyas exigencias en aumento implican unos consumos de materiales, energía, agua, etc., cada vez más elevados. Estos recursos minerales afectados son de tipos y cantidades muy diversas y además tienen metabolismos diferentes, pero aún así todos ellos son explotados de acuerdo a un mismo modelo productivo de ciclo abierto, lo que se traduce inevitablemente en consumo de recursos no renovables y en la generación de residuos contaminantes.

De esta manera y para hablar en cifras, la construcción de obra civil y edificación consume actualmente hasta un 60% de las extracciones de materias primas que la industria minera





Déficit de la extracción de petróleo respecto de la previsión de reservas.
ASPO, Association for the Study of Peak Oil&Gas.

extrae regularmente de la litosfera¹⁴. Estos recursos, tales como el petróleo, el carbón, el agua, o el hierro, son de generación muy lenta y se están consumiendo y/o deteriorando a un ritmo mucho más acelerado que el de la tasa natural de producción o regeneración, lo que implica su agotamiento a mediano o largo plazo, según sea la disponibilidad de las reservas en el planeta de cada uno de ellos. Diversos organismos han determinado recientemente, de acuerdo a los yacimientos actualmente conocidos, que la disposición de petróleo (también la del gas natural) podría durar sólo unas décadas más.

En el otro extremo del circuito de la producción, recordemos aquel esquema lineal definido por la secuencia extracción>fabricación>residuo comentado al comienzo de este capítulo, se encuentra la larga cadena de desperdicios causada por el modo actual de producir. El de los residuos es un problema creciente y relacionado directamente con el nivel de desarrollo industrial de la sociedad y el aumento del poder adquisitivo, que disparan la demanda de bienes y servicios.

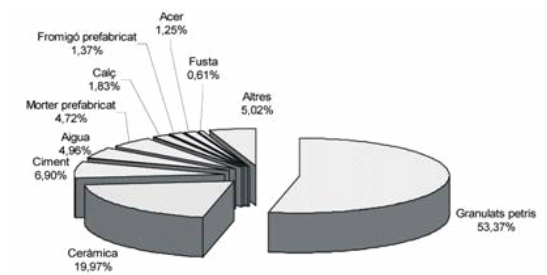
En Cataluña, actualmente, se producen hasta 1,35 toneladas de residuos de construcción *per cápita* al año¹⁵, lo que supone una media de casi 3,7 kg/habitante/día, una cantidad de materia que es más del de los residuos domésticos o RSU (residuos sólidos urbanos), situados en estos momentos en algo más de 1,5 Kg/habitante/día. La mayor parte de los residuos de construcción, muy a pesar de la gran cantidad de acciones públicas y privadas que intentan disminuir la generación y aumentar las tasas de reciclado¹⁶, que actualmente se sitúan entre 10 y un 15% (cuando se reciclan los pétreos artificiales de la demolición directamente en obra), tiene destino final en vertederos [ITeC 2000] y [ARC 2006]. Sitios de deposición final que en el mejor de los casos son controlados, aunque ello no evita la contaminación del suelo y del agua, ni el desaprovechamiento para siempre de unos materiales de muy alta calidad original, que necesitaron de grandes cantidades de materia y energía para ser fabricados.

Los recursos materiales empleados en la construcción de un edificio suponen cantidades enormes y crecientes: un metro cuadrado de edificación estándar, según datos de estudios realizados en Cataluña¹⁷, considerando como superficie computable a aquella que es habitable, afecta cerca de 2,3 toneladas de materiales de más de cien tipos diferentes y en proporciones muy diversas. Y esta cifra representa sólo a aquellos materiales que ingresan directamente en la obra, puesto que si consideramos además su mochila ecológica, es decir la cantidad de recursos bióticos, abióticos, aire, agua y erosión debidos a los procesos de extracción de materias primas, fabricación y transporte de esos mismos materiales, las cifras resultan mucho más elevadas. En efecto, aplicando las mediciones del Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy que desarrolla el concepto denominado MIPS (Material

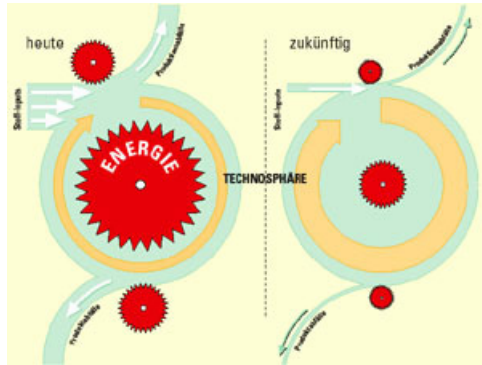
Intensity per Service Unit, es decir intensidad de material por unidad de servicio) que expresa la relación entre el peso de los recursos afectados en el proceso de fabricación sobre el del material finalmente producido en toneladas por tonelada¹⁸, el *mix* de esas 2,3t/m² de materiales directamente empleados en obra que componen la construcción estándar al menos triplica su peso. Se llega así a determinar una aproximación al nivel real del consumo de recursos de la edificación, unas 6t/m² o más, algo que resulta sorprendente al mismo tiempo que pone en crisis cierta creencia habitual según la cual actualmente se estarían construyendo edificios más ligeros que en el pasado.

Según estudios recientes del Wuppertal Institute¹⁹, hasta el 40% de los materiales que ingresan en la economía doméstica directamente relacionados con actividades productivas y de consumo, el Ingreso Directo de Materiales, y hasta el 18% del total de extracciones minerales con valuación económica requeridas por la sociedad, el Requerimiento Total de Materiales²⁰, en la Unión Europea actualmente tienen destino en la edificación. La diferencia entre el primer y el segundo indicador habla de los flujos de recursos ocultos que muchos materiales de construcción tienen, debido a que la economía convencional no les otorga valor. Ejemplo de ello son los bosques, el suelo vegetal y las capas de tierras arcillosas que se deben remover antes de poder acceder a los depósitos naturales del mineral de bauxita, la materia prima principal en la producción del aluminio, que habitualmente se extrae a cielo abierto.

La tasa de extracciones minerales valiosas económicamente que fueron destinadas a la industria de la construcción durante la década del 90 en Europa fue de 7t/habitante/año, según Eurostat & IFF 2002, cifra que casi no registra variaciones cuando se la compara con diferentes años dentro del intervalo de un decenio. Algo así como 93 veces el peso promedio de una persona contando sólo esa parte (la de la construcción) de la afectación total de recursos del stock de capital natural, cada año. Si además se consideraran las excavaciones de suelo y otros recursos minerales extraídos e inmediatamente convertidos en residuos que no intervienen directamente en la fabricación de productos ni tienen valuación económica, se llegaría a unas 12 t/habitante/año, cantidad que representa 160 veces aquel mismo peso promedio personal. Y ello sin haber tenido en cuenta la generación de residuos causados por las operaciones de derribo o demolición. De esas 12 t/habitante/año de recursos minerales directa e indirectamente utilizadas en la construcción, un 40% es destinado a la fabricación de productos para la construcción y mantenimiento de edificios, mientras que el 60% restante se emplea en infraestructuras. De tal manera, 4,8 toneladas se relacionan directamente con la edificación mientras que las 7,2 restantes tienen destino en obras de infraestructura. Para Cataluña, según una tesis doctoral realizada por C. Sendra²¹, la estimación de recursos



Participación proporcional, en peso, de los 2300 Kg/m² de distintos materiales que componen un metro cuadrado de construcción estándar. CIES (Centre d'Iniciatives de l'Edificació Sostenible)



Factor 10, concepto que representa el número de veces que la sociedad debería reducir la intensidad material del consumo de recursos para alcanzar un nivel cercano al equilibrio con la capacidad de generación de recursos y absorción de residuos.

Prof. Dr. Ernst Ulrich von Weizsäcker (*1939). Consulta en línea, 10/2007 http://www.nachhaltigkeit.de/en/2a2b1_faktorx.html

empleados en la construcción era de 3,6 y 4 t/habitante/año para 2001 y 2007 respectivamente.

Transformar todos estos flujos de materiales de tan diferente origen, funcionalidad y tiempos de permanencia en la edificación en ciclos cerrados que permitan retornar los residuos a la condición de recursos, precisa estrategias que alcancen escalas muy diferentes y que impliquen la acción coordinada de los diversos agentes del sector, desde fabricantes de materiales, promotores inmobiliarios, empresas de construcción, mantenimiento y derribo, técnicos de la edificación, administración pública, etc.

La puesta en marcha de tales estrategias supondría un cambio cultural en el sector que implicaría una redefinición de ámbitos de competencias, normativas, factores de regulación del mercado, etc., que hiciera posible que, a diferencia de cómo ha ocurrido hasta ahora, los metabolismos materiales de la edificación no deterioren el capital natural con que cuenta el planeta. Haciendo una analogía respecto del capital monetario, se trata de administrar su renta sin afectar su *stock*.

2.2 El ciclo de los materiales en la arquitectura

El concepto de desarrollo sostenible es inseparable del mantenimiento de la capacidad productiva del medio para las generaciones futuras [WCED 1987], condición que no cumple el sistema de producción dominante.

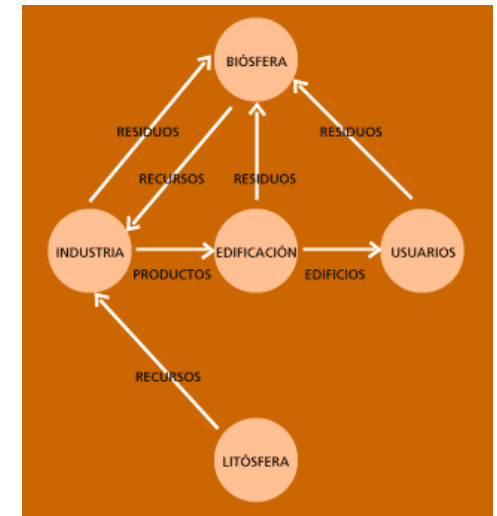
El sistema técnico de nuestro modelo productivo se basa en el bombeo constante y acelerado de recursos materiales del medio, que formarán las materias primas industriales, ocasionando la disminución del capital natural disponible en el futuro. Lo anterior, sumado a que la industria elabora productos que más tarde o más temprano acabarán convirtiéndose en residuos, genera un flujo simétrico de residuos que, debido a la base mineral de la mayoría de los materiales que usa, ocasiona el deterioro por contaminación entrópica de los sistemas biosféricos donde se vierten.

La arquitectura se materializa a través de la edificación y, como ya se ha dicho, este sector no escapa la caracterización anterior. Un edificio, ya sea prefabricado o construido *in-situ*, está hecho por la industria –la industria de la construcción- y acaba casi completamente convertido en residuos al cabo de una vida útil que en promedio podríamos estimar en unos 50-80 años aunque en ocasiones puede ser superior.

Los conceptos de recurso, producto y residuo no definen sino los mismos materiales bajo tres estados diferentes: recurso, cuando se trata de aquellos extraídos de la corteza terrestre; producto, cuando se encuentra organizado para dar respuesta a un requerimiento; y residuo, cuando han dejado de prestarla. Nótese que siempre se trata de materiales; lo que les da utilidad o no es un cierto orden en el que están dispuestos y la forma en que se gestionan. El concepto de residuos, por tanto, deberá de relacionarse siempre a la gestión, pues esta es la clave para que recursos, productos y residuos nunca dejen de ser considerados como lo que son: materiales.

Cerrar el ciclo de los materiales exige regenerar los residuos producidos por las actividades humanas, retornándolos a la calidad de recursos a un nivel y a un ritmo equivalente al empleado para su extracción del medio, haciendo posible además que el ecosistema pueda absorberlos. De esta forma se mantiene el capital natural y se evita el deterioro que le ocasionan los vertidos.

Para hacer posible el cierre del ciclo de los materiales en la edificación será necesario determinar qué flujos de materia necesita la construcción y el uso de los edificios, así como definir en qué cantidades y ritmos es ambientalmente posible producirlos. Esta nueva visión entendería a la actividad del sector como un metabolismo de materiales ordenados y



Esquema de los ciclos materiales abiertos en la industria de la construcción contemporánea. Societat Orgànica, consulta en línea, 10/2007, www.societatorganica.com



Esquema de los ciclos materiales cerrados en la industria de la construcción del futuro. Societat Orgànica, consulta en línia, 10/2007, www.societatorganica.com

gestionados para obtener la habitabilidad, que es el servicio que presta arquitectura [Cuchi 2005]. Y ello sin perder de vista que tal habitabilidad da cobijo a unas actividades que en muchos casos, desde la consideración ambiental, pueden exceder ampliamente el ámbito de análisis de los propios edificios que la proporcionan [Cuchí et al. 1999].

La determinación de tales flujos hará necesaria la definición de estrategias que, desde diversas escalas, permitan ir transformando el modelo productivo lineal actual de los materiales empleados en la edificación (extracción>fabricación>uso>residuo), hacia un ciclo que permita recuperar los residuos en forma de recursos (reciclaje-fabricación-uso-reciclaje).

La exigencia de cerrar el ciclo de los materiales en los procesos técnicos afecta directamente a los combustibles fósiles que se utilizan masivamente en ellos y, por lo tanto, contradice las bases del modelo de producción dominante. Cerrar el ciclo material de los combustibles fósiles para mantener el stock de capital natural que suponen implicaría recoger los productos de su combustión y luego reconstituir las moléculas originales. El problema que nos encontramos es que para ello se necesitaría más energía que la que su propia combustión provee y por ello los combustibles fósiles quedan inhabilitados desde el punto de vista de la sostenibilidad. Se pone así en duda la continuidad del modelo de producción dominante, porque es impracticable sin el consumo de enormes cantidades de este tipo de energía, disponible en cantidad siempre y cuando ignoremos su agotamiento y más barata que otras alternativas siempre y cuando olvidemos sus costes ambientales.

No obstante lo anterior, existe otro modelo de producción adecuado para el cierre del ciclo de los materiales. Se trata de la biosfera, la gran máquina de reciclar impulsada a energía renovable. Utilizando energía solar y valiéndose de la fuerza de gravedad y la energía geotérmica, la biosfera regula su composición y metabolismo formando un sistema productivo en el que la materia, ya sea que se encuentre organizada en forma de recurso, producto o residuo (clasificación que guarda simetría con la de nuestro sistema técnico industrial), nunca deja de ser material útil, es decir que no hay residuos sino nutrientes.

De los nutrientes se vale un árbol, por ejemplo, para producir frutos mediante la fotosíntesis, empleando la energía solar para transformar la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utilizará para su crecimiento y desarrollo. Fruto y árbol, al cabo de su vida útil y gracias a los procesos físicos y químicos de la degradación natural, volverán a ser nuevamente nutrientes, pudiéndose ver entonces reflejado aquel modelo de producción cíclico *reciclaje-fabricación-uso-reciclaje* antes comentado. En la biosfera la velocidad de producción y el ámbito específicos del ciclo de los diferentes elementos materiales aseguran su renovación en un ritmo temporal que se ajusta al de su utilización, logrando algo así como un balance de masas que tiende al equilibrio. Los materiales no se

deterioran, no pierden valor como stock de capital natural, sino que se transforman en nutrientes para la fabricación de nuevos materiales.

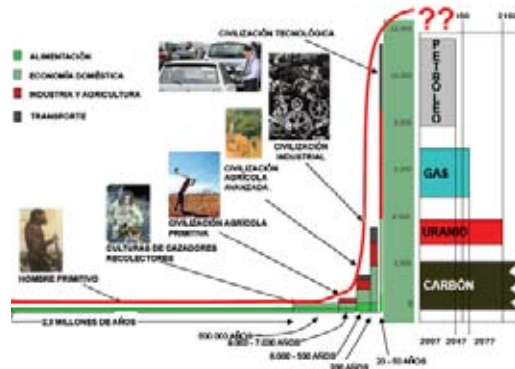
Cuando la biosfera puede digerir un residuo y transformarlo de nuevo en un recurso en un cierto tiempo de metabolización, estamos frente a materiales renovables, es decir ante aquellos cuyo ciclo es cerrado por la naturaleza. Con estos materiales, orgánicos, la sociedad preindustrial satisfizo sus necesidades desde la aparición del hombre en la tierra hasta hace unos 250 años, es decir hasta la irrupción y la masificación del uso de la energía fósil. Con estos materiales satisfacen aún hoy sus necesidades ciertas sociedades que con cierta ligereza suelen considerarse no desarrolladas, como algunos pueblos que han podido mantenerse bastante al margen de la influencia y la presión de la sociedad industrial. En tal sentido un caso de gran interés, analizado y documentado en una tesis doctoral escrita por K. Fentanes²², es la comunidad Metzabok, ubicada al norte de la Selva Lacandona, en México. En esta investigación se explica cómo gran parte de los materiales empleados en sus viviendas, así como en la satisfacción de muchas otras necesidades, provienen del medio natural local y vuelven en él al final de su vida útil, cerrando sus ciclos a través de la biosfera.

Una de las características fundamentales de la revolución industrial fue el cambio de fuente energética. El recurso vegetal (plantas, restos vegetales, madera, carbón de leña, etc., lo que hoy llamamos biomasa) empleado en forma directa o como alimento de personas y otros animales para utilizar su posteriormente su fuerza, fue la fuente tradicional de energía. No obstante, en ciertas localizaciones se empleaba también la eólica (molinos para triturar granos), la minihidráulica (ruedas para fuerza motriz), la solar térmica (en forma directa o para calentar elementos), la geotérmica (en termas, donde se disponía de agua caliente subterránea) y la gravedad (acueductos, donde se disponía de fuentes en altura) [Ponting 1992]. Posteriormente estas fuentes fueron sustituyéndose paulatinamente por energías de origen mineral o fósil, empleándose primero el carbón y luego el petróleo y el gas natural.

El acceso a nuevas fuentes de energía que permitieron disponer de grandes potencias concentradas, fácilmente almacenables y transportables, inició la carrera de los ritmos de producción hasta superar en mucho a la capacidad de generación de recursos y de absorción de residuos por parte de la corteza terrestre. La multiplicación del transporte horizontal y la explosión demográfica acaecidas a partir del cambio energético no hicieron más que disparar el consumo de recursos y la generación de residuos, hasta llegar a sobrepasar en la actualidad en más de un 30% la capacidad del planeta medida en términos de huella ecológica [Rees, Wackernagel 1996] o cantidad de suelo ecológicamente productivo necesaria para producir los recursos y absorber los residuos que implica la demanda de bienes y servicios de la sociedad manteniendo el equilibrio ecológico²³. Esto nos habla



Viviendas de la comunidad Naha, ubicada al norte de la Selva Lacandona, en México, con predominio en ellas de materiales naturales renovables y locales.
Imagen: gloCaltravel



Gráfica de la intensidad energética de la sociedad en la historia. El período de la revolución industrial marca la transformación de la pendiente de casi horizontal a casi vertical.

Crisis energética, Daniel Gómez Cañete y Pedro Prieto Pérez (eds.). Consulta en línea 02/2009 www.crisisenenergetica.org

claramente sobre cuál es el nivel de deterioro del capital natural y qué es lo que puede esperarse de continuar basándose la sociedad en el modelo productivo de la revolución industrial. Volviendo al cambio de los recursos energéticos, no se debe perder de vista que ello permitió desvincularse de las restricciones cuantitativas de materias primas disponibles que existían hasta entonces y acceder a depósitos enormes de recursos que satisficieron las crecientes necesidades materiales de la sociedad, ahora industrial. La moneda de cambio, aún hoy no suficientemente asumida, es generar tantos residuos como recursos se extraen.

Las limitaciones que antes de la revolución industrial imponía la energía basada en la biomasa y la fuerza animal (además de los usos ocasionales del viento, la gravedad, etc.), los materiales de origen próximo y mayormente biosféricos (con la excepción de las grandes construcciones en piedra) y una población relativamente reducida mantenían a la sociedades orgánicas de cazadores-recolectores y agricultores respecto de la naturaleza, en un estado bastante próximo al del equilibrio.

Este estado próximo al equilibrio, por cierto, no implicaba la ausencia de algunos impactos ambientales muy importantes a nivel local, como por ejemplo la contaminación del río Tiber más de 300 años a.C. a causa de los vertidos de materiales y residuos provenientes del tráfico de mercancías desde todas las colonias hacia la capital del Imperio Romano o, probablemente, la desaparición de la cultura de la Isla de Pascua por sobreexplotación de un sistema ecológico confinado entre los siglos XIII y XIV d.C. [Ponting 1992]. El comienzo del desequilibrio entre sociedad y naturaleza es mucho más antiguo, se remonta a unos 10.000 años atrás²⁴, por lo que la revolución industrial no marca el inicio sino un punto de muy fuerte inflexión en la curva del deterioro ambiental causado por la especie humana.

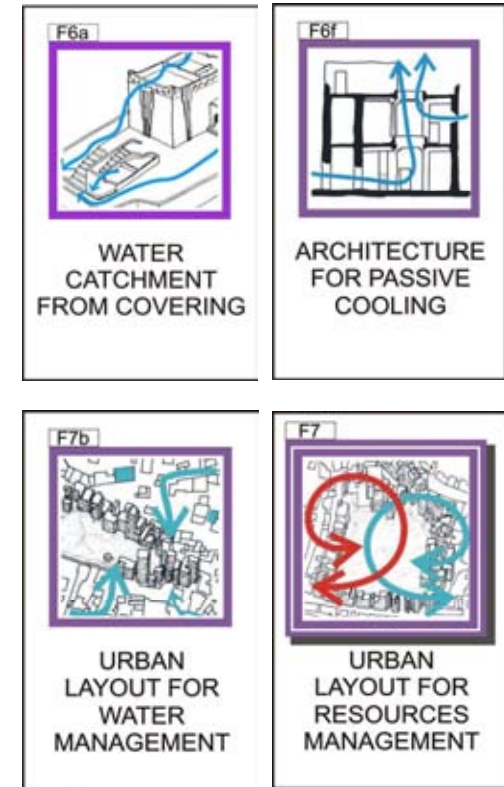
La revolución industrial produjo la transformación de la sociedad orgánica en la sociedad industrial. Este cambio implicó el abandono de las fuentes energéticas renovables pero trajo aparejado algo más: una lenta pero continua pérdida del conocimiento tradicional, un gran conjunto de técnicas, recursos, inventos, soluciones, etc., producto de una acumulación de un saber empírico basado en pruebas y errores sedimentado a lo largo de los siglos, en un tiempo en que no era posible resolverlo todo a base de usar cantidades ilimitadas de energía y materiales y de generar cantidades ilimitadas de residuos. Aquella sabiduría tan valiosa, hoy muy escasa entre las fuentes de conocimiento usuales de que dispone la sociedad, desafortunadamente ha ido dejándose de lado. Dejando en el olvido este conocimiento se ha perdido la oportunidad poder hacer frente, en la actualidad, a problemas como la desertificación, el agotamiento de los combustibles fósiles o el deterioro de las reservas de agua dulce con técnicas de muy baja intensidad de materiales y energía, con técnicas de muy baja afectación sobre los sistemas naturales.

El conocimiento tradicional es un capital técnico que no sólo ha sido ignorado, también se ha hecho imposible la continuidad de su puesta en práctica, donde la había, así como se ha roto la cadena que lo transmitía de generación en generación. Pero su reconsideración, ahora desde el punto de vista ambiental, vuelve a ponerle en valor. En todo el mundo pueden encontrarse ejemplos, aunque incipientes, de recuperación de técnicas tradicionales que son especialmente útiles en la resolución de problemas en los que disminuir el impacto ambiental es un objetivo. Como ejemplo de estos esfuerzos de recuperación destaca el TKWB (Traditional Knowledge World Bank), el Banco Mundial del Conocimiento Tradicional que, desde su primera sede en Italia y bajo la dirección del instituto IPOGEA con el arquitecto Pietro Laureano como director, está formando ya una estructura de nivel mundial dedicada al estudio, recuperación, documentación y transmisión del conocimiento tradicional²⁵.

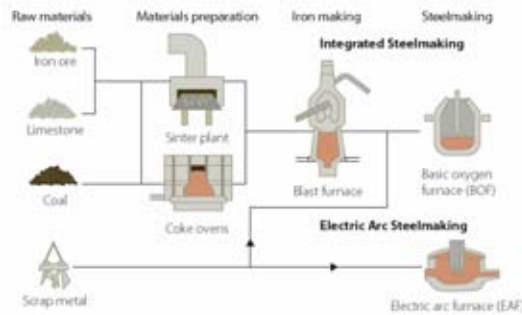
Las exigencias de la sostenibilidad hacen que volvamos a centrar la atención en los principios de la sociedad orgánica. El regreso a un uso orgánico de los recursos, es decir, a reciclar completamente los materiales ya sea a través de la biosfera o del sistema técnico industrial es uno de los retos que enfrenta la industria de la construcción y el sector profesional vinculado a ella. Se trata de redefinir el sistema técnico industrial para que asuma la exigencia del cierre del ciclo de los materiales.

Se sostiene que habitualmente algunos materiales se reciclan dentro del sistema técnico industrial, aunque sobre ello deberían hacerse algunas precisiones. En la mayoría de los casos tal denominación no es técnicamente correcta pues este proceso, al menos tal como genéricamente suele entenderse, involucra pérdidas en la calidad o la cantidad del material o bien sólo admite un número limitado de ciclos. Cuando esto ocurre, lo que estamos haciendo es infraciclar en lugar de reciclar [McDonough, Branguart 2005]. El concepto de infraciclaje implica la prolongación de la vida útil de un material más allá de sus términos habituales, aunque una vez acabada su utilidad como producto éste no se volverá a reciclar o bien se reciclará pero con pérdidas de calidad o cantidad.

Un ejemplo claro de infraciclaje son los compuestos plásticos que provienen de la mezcla de diferentes polímeros, situación habitual cuando se los fabrica a partir de la recogida selectiva de recursos domésticos en muchas ciudades. Este proceso da lugar a un nuevo material compuesto por los componentes termoplásticos que se fusionan y por los componentes termoestables que actúan como carga. La calidad del material final es inferior a la de los polímeros que lo formaron y, además, como tales éstos se han perdido para siempre. Los ciclos siguientes no hacen sino empeorar las cosas, ya como cada uno de ellos comporta una merma progresiva de calidad, prematuramente se llega a la inutilización definitiva del material. El infraciclaje consigue mantener en uso por más tiempo al material,



Algunas de las categorías empleadas por el TKWB (Traditional Knowledge World Bank), Banco Mundial del Conocimiento Tradicional, en el inventario de técnicas locales. Consulta en línea 02/2009 www.tkw.org



Esquema de producción de acero a partir de altos hornos u hornos de arco voltaico mostrando como, en el segundo caso, el metal puede ser producido exclusivamente a partir de chatarra.
 A. Cuchi, F. López, A. Sagrera y G. Wadel. Ecomaterials. Estratégias para a melhoria ambiental da construção, Oporto, 2005.

aunque no evita que su destino final sea el de convertirse en residuos contaminantes. Cuando esto ocurre se crea una nueva demanda de materias primas, que se satisface con la extracción de recursos de la corteza de la tierra. Infraciclar, por tanto, aporta mejoras ambientales al modelo de producción industrial dominante pero no supone una alternativa válida para el cierre del ciclo de los materiales.

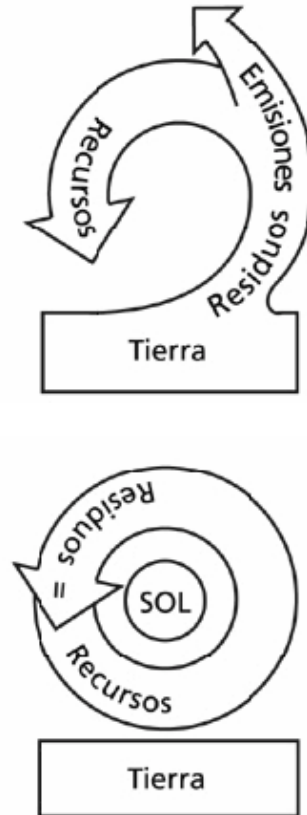
El reciclaje, por el contrario, permite que un material pueda renovarse cíclicamente en forma indefinida, puesto que no se registran pérdidas apreciables ni en calidad ni en cantidad. El proceso técnico que se emplea en este caso supone en primer lugar que el material base recolectado tiene suficiente nivel de pureza y compatibilidad como para que, una vez separado de las pequeñas cantidades de impurezas, pueda renovarse manteniendo la masa y las características técnicas originales.

El acero, por ejemplo, cumple los requisitos técnicos para que ello sea posible. La experiencia de cien años de su reciclaje ha permitido que se pueda llegar a hablar de una muy alta recuperación. Si el sistema constructivo es de montaje en seco y se han tomado las debidas precauciones de diseño para facilitar su desconstrucción, tales como la utilización de juntas y uniones reversibles entre materiales que deben reciclarse por separado, es posible recuperar hasta un 98% del acero contenido en un edificio y reciclarlo completamente en la fabricación de nuevo acero hasta en un 95%²⁶. Las características técnicas del material obtenido no cambian de ciclo en ciclo, mientras que la energía de fabricación se reduce hasta en un tercio a partir de cuarto ciclo, produciéndose de esta forma una doble mejora ambiental. Por una parte se tiene la reducción de la energía utilizada y sus emisiones contaminantes asociadas (ya que habitualmente se trata de electricidad generada principalmente por combustibles fósiles o bien por la utilización directa de éstos últimos) y por la otra el ahorro de recursos extraídos de la corteza terrestre combinada una menor cantidad de energía que comportarían la fabricación de acero convencional, es decir producido a partir de mineral de hierro, piedra caliza y carbón como componentes básicos del proceso de fusión.

La fabricación del acero a partir de un 100% chatarra, posible gracias a la tecnología de los hornos de arco voltaico, es globalmente posible aunque no aplicable a todos los tipos de acero ni a la totalidad de las piezas que se producen. En efecto, aun existen problemas para frente a determinadas aleaciones o procesos de conformado, que siguen necesitando de los hornos de oxígeno, alimentados sólo en parte por chatarra y mayoritariamente por mineral de hierro, carbón y piedra caliza. Los tipos de conformado posibles bajo la tecnología de arco voltaico son aquellos de sección delgada, como por ejemplo los laminados que posteriormente encontramos en la industria de la construcción bajo la forma de chapas planas o perfiles de chapa plegada.

Cuando se habla de acero fabricado a partir de hornos de arco voltaico, y más aún si éstos pudieran alimentarse con energías renovables, la aproximación a las demandas del cierre del ciclo de los materiales es significativa.

La reciclabilidad de un material no sólo es intrínseca a sus características técnicas, sino que también cuenta el sistema técnico, diseñado para permitir su recuperación a lo largo de la vida útil en la edificación. Trabajar con productos monocomponentes reciclables, juntas reversibles y emplear sistemas de recogida selectiva en los procesos de desconstrucción son los principales requisitos a garantizar. De tal forma, para que un material alcance la reciclabilidad, además de ser reciclable necesitará de un sistema capaz de involucrar a todos los agentes de la construcción que forman parte de su proceso de gestión: proveedores, fabricantes, proyectistas, constructores, compradores, usuarios, gestores de edificios, empresas de derribo, etc. Asegurar el retorno del material a fábrica una vez haya acabado su vida útil en la edificación es el punto clave en este proceso. Esto, combinado con un diseño de proceso y producto que garantice la incorporación del material retornado en la fabricación del nuevo producto, es condición necesaria para la reciclabilidad. Y la reciclabilidad lo es para el cierre de los ciclos materiales.



Esquemas simplificados de los modelos industriales de ciclos abiertos (superior) y cerrados (inferior). El modelo de ciclos cerrados admite, bajo la exigencia de la renovabilidad, la incorporación de recursos naturales.

Referencias bibliográficas:

- [Anink et al. 1996] D. Anink, C. Boonstra, J. Mak, *Handbook of sustainable building*, Earthscan Publications, Londres, Reino Unido, 1996, ISBN 187393638.
- [ARC 2006] Equipo técnico de la ARC, *Revisió del Programa de Gestió de Residus de la Construcció a Catalunya 2004-2006* (documento), Agència de Residus de Catalunya, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 2006.
- [Berge 1996] Bjorn Berge, *The ecology of Building Materials*. Architectural Press, Oxford, Reino Unido, 2001 (la edición sueca es de 1996), ISBN 0750654503.
- [Carpintero 2005] Óscar Carpintero, *El metabolismo de la economía española*, Fundación César Manrique, Tegui, Lanzarote, España, 2005, ISBN 84-88550-60-X.
- [CIRIA 1995] Construction Industry Research & Information Association (autor y editor) *Environmental impact of building and constructions materials*, Londres, Reino Unido, 1995, ISBN 0860174247.
- [Cuchí et al. 1999] Albert Cuchí e Isaac López, Informe MIES, Edicions UPC, Barcelona, España, 1999, ISBN 84-7653-870-7.
- [Cuchi 2005] Albert Cuchí, *Arquitectura y Sostenibilidad*. Colección Temas de Tecnología y Sostenibilidad, CITIES, Universidad Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2005, ISBN 848301839X.
- [Cuchí et al. 2005] A. Cuchí, F. López, A. Sagrera y G. Wadel. Ecomateriais, Exponor, Feira Internacional do Porto, Oporto, Portugal, 2005, ISBN 8460975215.
- [ITeC, COAC, UPC 1996] N. Casado et al., *La Enseñanza de la Arquitectura y el Medio Ambiente*. Programa Life, Colegio de Arquitectos, Instituto de Tecnología de la Construcción y Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 1996.
- [ITeC 2000] Equipo técnico del ITeC, *Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos en el sector de la construcción*, Programa Life, ITeC, Barcelona, 2000, ISBN 84-7853-383-4.
- [Mañá et al. 2003] F. Mañá (Dir.), A. Cuchí, D. Castelló, G. Diez, A. Sagrera, *Parámetros de sostenibilidad*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, España, 2003, ISBN 8478534611.
- [McDonough, Branguart 2005] W. McDonough, M. Branguart, *Cradle to cradle*, Mcgraw-Hill Interamericana de España, Madrid, España, 2005
- [Ponting 1992] Clive Ponting, *Historia verde del mundo*, Editorial Paidós, Barcelona, España, ISBN 84 7509 840 1.
- [Rees, Wackernagel 1996] M. Wackernagel y W. Rees. *Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra* (edición original en inglés, de 1996)
- [Rovira, Casado 1998] J. LL. Rovira, I. Casado, *Guia de l'edificació Sostenible*, Institut Cerdà, Barcelona, España, 1998, ISBN 84 87104 38.
- [SaAS et al. 2007], J. Sabaté, A. Cuchí, A. Sagrera, G. Wadel, F. López, A. Moreno, J. Vidal, S. Cantos, *Estudio de reducción de emisiones de CO2 en un conjunto de 60 VPO* (doc. electr.), Sabaté associats Arquitectura i Sostenibilitat, Barcelona, España, 2007.

[WCED 1987] World Commission On Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford University Press, 1987, ISBN 019282080X.

Notas:

¹ Como ha sido visto en el capítulo anterior, desde el enfoque convencional de la economía se sostiene que el crecimiento del sector terciario o de servicios sobre el sector industrial, en especial de aquellos que son prestados a través Internet como el comercio electrónico, implican una reducción de la cantidad de materiales o energía empleada. Los estudios que existen sobre el tema [Carpintero 2005] demuestran que no sólo no es así sino que muchas de estas nuevas formas de comercialización, como por ejemplo la compra de alimentos “sin salir de casa” conllevan un impacto de transporte aún mayor a causa de su alta ineficiencia.

² Datos extraídos de los informes del IPCC, Panel Intergubernamental Contra el Cambio Climático.

³ IDAE, Instituto para la Diversificación y en Ahorro de la Energía de España, según datos de 2006. Debe tenerse en cuenta que, a diferencia del lo expresado en esta investigación, en la consideración de este instituto la energía hidráulica y también la que proviene de la combustión controlada de RSU's (residuos sólidos urbanos) son consideradas renovables.

⁴ Según el IDAE para 2006 el factor fue de 0,648 kgCO₂/KWh para el la electricidad y de 0,201 para el gas natural.

⁵ El mix energético de un país o una región se obtiene a partir la participación de las diferentes fuentes de energía en la generación total de un período de tiempo determinado. Se trata de un cálculo complejo porque depende de diversos factores. Entre ellos la demanda, que si crece o disminuye puede suponer el aumento o la reducción de producción de unas fuentes (las que mayor capacidad de variar su potencia tienen, como las centrales eléctricas) sobre otras, el régimen pluviométrico que afecta a la capacidad de generación hidroeléctrica, el comportamiento del viento, que afecta a la generación eólica, la interconexión eléctrica entre redes de distintos países, que puede afectar la generación de electricidad a partir de los consumos diferenciales que pueden haber entre unos y otros, la presencia o no de radiación solar, que afecta a la generación de electricidad fotovoltaica, etc. Habitualmente el mix energético es considerado según los promedios de períodos anuales y su elaboración recae en instituciones especializadas.

⁶ Documento de política ambiental, Federación Española de Municipios y Provincias, FEMP, 2005.

⁷ Inventario de emisiones del Plan Azul de la Comunidad de Madrid, 2006.

⁸ Comunicación del Profesor Albert Cuchí respecto de una investigación realizada por el CIES (Centre d'Iniciatives per a l'Edificació Sostenible) en 2000. Grupo de trabajo con financiación de la Generalitat de Catalunya formado ences por la Universidad Politécnica de Cataluña, el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña, el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, y otras instituciones.

⁹ ICAEN, Institut Català de l'Energia, 2000.

¹⁰ A modo de ejemplo, véase el desglose de la mochila ecológica del aluminio, el acero y el cemento, los tres materiales utilizados para explicar el concepto de mochila ecológica, en la parte final de este capítulo.

¹¹ El Índice de Calidad del Aire de la ciudad de Madrid, publicado regularmente por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid siguiendo las Directivas 1999/30/CE y 2000/69/CE, establecía en

2004 que la cantidad de días con buena calidad de aire era sólo de 1 en 365. Como admisible registraba 146 días y como mala y muy mala 218 días, es decir el 60% del año.

¹² Como por ejemplo y en el ámbito local la base de datos de la Agenda de la Construcción Sostenible que incluye más de 1.000 referencias seleccionadas en base a filtros ambientales (www.csostenible.net). En el ámbito internacional existen muy diversas opciones de consulta gratuita y de pago, algunas de ellas empeladas en los capítulos 7 y 8.

¹³ Como por ejemplo los programas LIDER y CALENER asociados al Código Técnico de la Edificación y a la Certificación Energética de Edificios en España, el programa Archisun coparticipado por la Unión Europea y la Generalitat de Cataluña, u otros programas que cuentan con mayores aplicaciones como ECOTECT, TRNSYS, Energy Plus, etc. La lista de aplicaciones posibles, algunas de libre uso y otras de pago, es muy extensa.

¹⁴ Según el World Watch Insitute, la construcción de infraestructuras y edificios representa el 60% de las extracciones de recursos abióticos y bióticos. De ese volumen, un 60 corresponde a obra civil y el 40% restante a edificación, por lo que ésta implica el 24% de las extracciones totales de la sociedad.

¹⁵ Según datos de residuos gestionados por las instalaciones catalanas registrados por el Programa de Gestió de Residus de la Construcció a Catalunya PROGROC 2007-2012 para 2006 y cifras de población de Cataluña publicadas por el Institut Català d'Estadística IDESCAT, de la Generalitat de Cataluña.

¹⁶ El Real Decreto 105/2008, que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición en España, el Decreto 201/1994 y modificatorios de la Generalitat de Cataluña y diversas acciones públicas y privadas de fomento de la reducción, separación selectiva y reciclaje, como por ejemplo los manuales y programas gratuitos desarrollados por el Institut de la Tecnologia de la Construcció de Catalunya o el propio PROGROC.

¹⁷ Estudio *Treballs de recerca previs per a la redacció del Llibre Blanc per a l'Etiquetatge Verd dels productes per a la construcció* desarrollado en 2001 por el grupo de trabajo CIES (Centre d'Iniciatives de l'Edificació Sostenible) financiado por la Generalitat de Cataluña, que determinó, a partir de una muestra de 200 proyectos de edificios de usos y tipos diversos representativa de la construcción en Cataluña visados en el Colegio de Arquitectos de Cataluña, los principales impactos de la construcción estándar, entre ellos la cantidad de materiales directamente empleados.

¹⁸ Algunos ejemplos de los valores que puede alcanzar la mochila ecológica (toneladas de recursos abióticos y bióticos, agua, el aire y la erosión): 92 para el acero galvanizado fabricado en hornos de oxígeno (9,32t de recursos abióticos, 81,19t de agua y 0,77t de aire), 20,5 para el cemento (3,22t de recursos abióticos, 16,9t de agua y 0,33t de aire) y 1096 para el aluminio primario (37t de material abiótico, 1047,7t de agua y 10,87t de aire), por tomar sólo tres ejemplos de materiales habitualmente utilizados en casi cualquier sistema constructivo. Wuppertal Institute for Climate, *Environment and Energy, Material intensity of materials, fuel, transport services*, 2006.

¹⁹ Moll, Stephan; Bringezu, Stefan; Schütz, Helmut, *Resource Use in European Countries*, 2006

²⁰ En inglés Direct Material Input DMI y Total Material Requirements TMR, Eurostat Metodological Guide.

²¹ Cristina Sendra i Sala, *Anàlisi dels fluxos de materials de sistemes. Avaluació del metabolisme material a diferents escales*, tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 2008

²² Karla Fentanes, *Intervenir o conservar*, tesis doctoral leída dentro del programa de doctorado “Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente en la Arquitectura” del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, de la Universidad Politécnica de Cataluña. 2004. “Los habitantes de Metzabok mantienen un sistema de aprovechamiento de recursos para construcción que, pese a que algunos tipos de materiales utilizados en la arquitectura de las viviendas provienen de productos de origen industrial obtenidos a través de núcleos comerciales ubicados en las ciudades vecinas, aún es deudor principalmente de los materiales de construcción que proviene del sistema productivo tradicional, ya que se obtienen de los diferentes tipos de territorios productivos que articulan el modo de explotación del medio selvático de Metzabok (la Milpa, el Acahual, la Selva, el Huerto de Traspatio, las Orillas de la Laguna y la Laguna)”.

²³ Según las estimaciones de la red de científicos y técnicos Global Footprint Network que calcula de forma actualizada la huella ecológica de diversos países y global. www.footprintnetwork.org

²⁴ “El proceso debió comenzar en Asia Menor hace unos 10.000 años, durante el período Neolítico o nueva Edad de Piedra, unas 375 generaciones atrás, porque es cuando el hombre comenzó a utilizar herramientas de piedra de cierta perfección. Los pueblos preneolíticos ya habían interferido con el equilibrio ambiental en escala desproporcionada respecto de su número, aunque su impacto no fue grave (era local y ocasional, por lo que en sitio podía recuperarse) dado que eran escasos y nómades. Se cree que el comienzo del neolítico no fue una revolución económica súbita porque la agricultura y la domesticación de los animales habían comenzado en el Mesolítico. En el Neolítico se consolida y acrecienta, revelándose el hombre como la única especie que se dispuso a dominar el ambiente en su beneficio. Estableció cultivos y utilizó a los animales en beneficio propio destruyendo bosques, erosionando el suelo, contaminando los ríos y acelerando procesos naturales de erosión y de multiplicación de especies animales. Todo ello requería una vida comunal –no ya nómada- que formó las primeras villas, hecho que junto con la disposición diferencial de recursos entre uno y otro sitio creó las condiciones para el intercambio (comercio) y el nacimiento del transporte horizontal. La complejización y el crecimiento del sistema deriva en la estructura territorial actual”. Meter Farb et al., *Ecología*, Colección de la naturaleza de LIFE, Offset Multicolor, México, 1966.

²⁵ El TKWB, Traditional Knowledge World Bank, o Banco Mundial del Conocimiento Tradicional (www.tkwb.org), gestionado por IPOGEA (www.ipogea.org) bajo la dirección del arquitecto Pietro Laureano (www.laureano.it), cuenta con el respaldo del Ministerio de Medioambiente de Italia, las organizaciones UNCCD (cambio climático) y UNESCO (educación) de la Organización de las Naciones Unidas y la Región de la Toscana. De la descripción que puede encontrarse en su página web: Está dedicado al Conocimiento Tradicional, la acumulación de saber más antigua de que dispone la humanidad, desarrollada por la ciencia y la cultura durante miles de años. El foco está puesto en la recuperación, a través de la realización de un inventario mundial, de las soluciones locales que han permitido la creación y gestión de ecosistemas y paisajes culturales en la totalidad de la superficie del planeta, técnicas de baja intensidad en energía y materiales que se adaptan a las variaciones ambientales y reaccionan frente a las catástrofes climáticas de modo flexible y multifuncional. El Conocimiento Tradicional enseña, frente a la amenaza ambiental que afecta al planeta entero, cómo interactuar con el medio aprovechando su potencial de recursos pero sin agotarlo.

²⁶ Según diversos documentos técnicos elaborados por el Corus Center en 2002.