

Sparavigna, Amelia Carolina. "The orientation of Trajan's town of Timgad" (agosto 2012). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1208.0454>

Straus, Anselm y Juliet Corbin. *Bases de la investigación cualitativa*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 2002.

Venturi, Robert. *Complejidad y contradicción en la arquitectura*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1995. (*Complexity and contradiction in architecture*. New York: The Museum of Modern Art, 2nd ed., 1992).

Voyd, Bill. "Funk Architecture" en *Shelter and Society*. Londres: Barrie & Rockliff the Cresset (1969) 156-164.

Wickede, A. von. *Die Ornamentik der Tell Halaf-Keramik, Ein Beitrag zu ihrer Typologie*. Tesis doctoral, Universidad de Munich, 1981.

Williamson, Terry, Antony Radford y Helen Bennetts. *Understanding Sustainable Architecture*. Londres: Spon Press, 2003.

Wright, Frank Lloyd. *In the Cause of Architecture: Essays by Frank Lloyd Wright for the Architectural Record, 1908-1952*. Nueva York: McGraw-Hill, 1975.

Yazbeck, Corine. "The Neolithic of Byblos" en *Byblos, a Legacy Unearthed*, 49-52. Leiden: Sidestone Press, 2024.

Yeang, Ken. *Designing with Nature. The ecological basis for architectural designs*. New York: McGraw-Hill, 1995.

Zevi, Bruno. *Saber ver la arquitectura*. Barcelona: Poseidón, 4ª edición, 1981 (*Architecture as space. How to look at architecture*. New York: Da Capo Press, 1993).

Hacia una arquitectura de lo disponible. Propuestas para antes del colapso

Towards an Availability-based Architecture: Pre-collapse proposals

Gloria Gómez Muñoz y Mariano Vázquez Espí

Resumen

Se aborda la relación entre la arquitectura, la ingeniería y la gestión sostenible de los recursos en un planeta finito, analizando cómo el crecimiento desmedido de la población y la extracción de recursos minerales llevan al colapso. La Tierra es un sistema cerrado en cuanto a materiales, y su explotación sin reposición adecuada los agota, lo que provoca desequilibrios en los ecosistemas. En contraste, los ecosistemas sanos reciclan la materia, funcionando en ciclos casi cerrados. Los desequilibrios actuales en la biosfera, como el calentamiento global y los fenómenos climáticos extremos, son una consecuencia de la actividad humana, especialmente desde la Revolución Industrial.

El concepto de "Antropoceno" ilustra cómo la humanidad se ha convertido en un agente geológico, modificando el planeta a través de actividades extractivas y de transporte con más intensidad que el resto de agentes. El calentamiento global es un síntoma de causas más profundas, como el crecimiento exponencial de la población y la explotación de recursos no renovables, lo que hace que las medidas actuales, como la "descarbonización", sean insuficientes.

En el ámbito de la construcción, se propone recuperar los enfoques tradicionales preindustriales. La arquitectura vernácula, que adapta los diseños a los recursos locales y condiciones climáticas, puede ser un modelo a seguir en lugar de recurrir a soluciones globalizadas y con alto consumo energético en la fabricación y en el transporte. Aunque las llamadas "tecnologías verdes", como los paneles solares o vehículos eléctricos, parecen reducir emisiones, su masiva fabricación va a requerir una gran cantidad de recursos minerales y energéticos que no se suelen tener en cuenta en el análisis de su sostenibilidad, contradiciendo la narrativa de "cero emisiones".

El uso de herramientas como el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) para evaluar los impactos ambientales en el sector de la construcción es útil, pero limitado. Este enfoque mide el impacto desde la extracción de materias primas hasta la demolición del edificio, pero no abarca la complejidad total del daño ecológico. Una posible solución sería usar, junto con el resto de indicadores de impactos sobre los ecosistemas, la exergía (energía útil) como unidad de medida para entender el consumo real de recursos, ya que tiene en cuenta no solo la cantidad de energía utilizada, sino también su calidad.

La arquitectura de lo disponible se propone como una estrategia frente al colapso, y aboga por utilizar materiales locales y de proximidad, reducir la transformación del suelo y priorizar la rehabilitación del patrimonio construido, con soluciones arquitectónicas diseñadas a partir de estas estrategias. En resumen, se propone un replanteamiento de la arquitectura hacia una economía de los recursos basada en la sostenibilidad real, no en un sistema socioeconómico alejado de la realidad material.

Palabras clave:

Arquitectura, extracción de recursos, crisis ecológica, materiales, energía.

Gloria Gómez Muñoz
Dra. Arquitecta. Profesora contratada doctora
Departamento de Construcción y Tecnología
Arquitectónicas
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad Politécnica de Madrid
gloria.gomez.munoz@upm.es

Mariano Vázquez Espí
Dr. Arquitecto. Profesor titular Departamento de
Estructuras y Física de Edificación
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad Politécnica de Madrid
mariano.vazquez.espi@upm.es

Tú no puedes comprar al viento
Tú no puedes comprar al sol
Tú no puedes comprar la lluvia
Tú no puedes comprar el calor
Tú no puedes comprar las nubes
Tú no puedes comprar los colores
Tú no puedes comprar mi alegría
Tú no puedes comprar mis dolores

Latinoamérica. Calle 13. 2010

ESP ¿Cómo podemos desde la arquitectura y la ingeniería contribuir a gestionar equitativamente el colapso o, mejor, evitarlo? Sin un diagnóstico honesto y sólido, las soluciones que se proponen solo serán tales por azar. Y la naturaleza del problema ha sido bien establecida.^{1,2,3} Por ello expondremos brevemente los hechos clave, para cuyo conocimiento no hacen falta siquiera instituciones como el IPCC, basta con personas que plantean preguntas y buscan respuestas en la estela que inició Galileo.⁴

En un planeta mediano

Vivimos, respecto de nuestra estrella, justo en la posición precisa y con la protección electromagnética suficiente como para que la vida pudiera abrirse camino y crear la atmósfera actual (lejos del equilibrio químico), que ha permitido la evolución hasta el reino animal, hasta nuestra especie.

La Tierra no crece, aunque tal cosa se daba como cierta hasta el siglo XVII.⁵ Y nada que ocupe espacio puede crecer indefinidamente. Pura geometría. Así que los ecosistemas sanos se caracterizan por su estabilidad demográfica y morfológica.⁶ Los cambios son pausados una vez alcanzada una identidad morfológica y afectan de manera marginal en el espacio y en el tiempo.

Antes del actual aumento sostenido de los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, etc.), en los tiempos históricos la Tierra gozaba de equilibrio energético y temperatura constante: la radiación de entrada desde el Sol era igual a la de salida hacia el cosmos. Un equilibrio térmico construido y mantenido por los ecosistemas no-artificiales. Ahora no sale tanta energía como entra y la biósfera se calienta. Un desequilibrio obra de nuestra especie, con muy desigual contribución según países y regiones. Se habla de nuestra época como “Antropoceno”: somos un agente geológico de primer orden: trasegamos anualmente más masa que la que fluye por todos los ríos del planeta.⁷

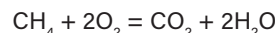
La vida se ha sustentado en la ganancia de energía útil (exergía): la radiación solar (emitida a 5.000K) es más valiosa que la disipación terrestre (a 300K); y ese saldo exergético a favor de la biosfera se emplea para realizar

trabajo de transformación y transporte: sobre todo viento y precipitación de agua dulce, algo de biomasa vegetal, etc.

Ahora también hay más exergía; en la atmósfera, la hidrosfera... y aumenta la variedad fenoménica: la población actual no recuerda nada parecido: huracanes devastadores, tormentas con raudas inundaciones, nevadas paralizantes, etc.

Dada la casi clausura material de la Tierra, la extracción continua de recursos minerales sin reposición conduce a su agotamiento previsible, al desabastecimiento, al colapso de ese modo de ganarse la vida. Por ello, los ecosistemas sanos se organizan mediante transformaciones de la materia en espirales casi cerradas en las que los recursos renacen a partir de los residuos. De hecho, un ecosistema sano es una red en la que los residuos de unas especies son recursos vitales para otras.

Un ejemplo sencillo puede ayudar a reconceptualizar nuestra perspectiva: la oxidación del metano, una combustión:



El oxígeno es el reactivo imprescindible, a razón estequiométrica de cuatro partes por una de combustible. No hay combustión sin oxígeno. Quien quiere sacar provecho de quemar metano, consigue oxígeno “gratis” del aire, lo que involucra trece partes adicionales de nitrógeno (en total, unas diecisiete partes por una de combustible como reactivos y/o productos). Quemamos el combustible y emitimos “gratis” productos que, de no ser reciclados por la fotosíntesis y otras reacciones anabólicas, se convierten en residuos y contaminación, cuyos efectos producen

1. John Ruskin, *Unto This Last* (Boston: George Allen, 1877).
2. R. Clausius, *Über die Energieverträge der Natur und ihre Verwertung zum Nutzen der Menschheit* (Bonn: Verlag von Max Cohen & Sohn, 1885).
3. Frederick Soddy, *Cartesian Economics: The Bearing of Physical Science upon State Stewardship* (London: Hendersons, 1921).
4. Galileo Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche* (Leiden: Elsevierii, 1638).
5. José Manuel Naredo, *La economía en evolución* (Madrid: Siglo Veintiuno, 1987).
6. Eugene P. Odum, “The Strategy of Ecosystem Development,” *Science* 126 (1969): 262–270.
7. José Manuel Naredo y Antonio Valero, dirs., *Desarrollo económico y deterioro ecológico* (Madrid: Fundación Argentaria / Visor Distribuciones, 1999).

pérdidas de riqueza real: pero es “gratis” y nadie paga por ello. Y además se destruye un recurso valioso cuyo tiempo de renovación es de millones de años. El metano es un combustible poco sucio: los casos de la gasolina, el keroseno, etc., son mucho peores. La medida del valor de cambio de las mercancías con pseudomagnitudes,⁸ como es la unidad de cuenta monetaria, hace imposible perseguir el objetivo de Descartes: “la perfección de la vida humana”⁹, nuestro bienestar.

Nuestra especie ha vivido en inestable equilibrio, inserta en ecosistemas sanos durante la mayor parte de su existencia. Pero, más o menos a partir de 1850, los incrementos exponenciales tanto de la extracción de minerales como de la población humana han torcido ese equilibrio. En la actualidad, el capitalismo (extractivista y transportista) ha configurado ecosistemas artificiales enfermos que se encaminan hacia su colapso (como muchos otros no-artificiales en el pasado biológico); su joven sucesor, el tecnofeudalismo (los grandes comisionistas, Google, Amazon, etc.), con sus grandes infraestructuras de transporte de mercancías o información (la nada ligera “nube”) simplemente aumentan la velocidad hacia ese destino¹⁰, engrosando su riqueza monetaria mediante el trabajo servil del público.

Centrar las acciones en el “cambio climático”, como se viene haciendo, es como tratar una infección disminuyendo la fiebre. El cambio climático es una consecuencia de las dos causas señaladas (demográfica y económica), y sin operar sobre ellas no bajará la fiebre del enfermo. Para su justificación, se ha creado todo un vocabulario, una neolengua, que no resiste el más mínimo análisis semántico: “descarbonizar”, “crecimiento sostenible”, “economía circular”, “cero emisiones”, etc.

La vuelta a una economía de los recursos (valorados con unidades físicas de magnitudes bien definidas: masa, superficie, exergía, etc.), y la sostenida disminución de la extracción de minerales y de la población humana junto con la limitación de la movilidad basada en combustibles fósiles son los únicos tratamientos para gestionar el colapso.

Entonces, ¿qué hacer?

Con nuestros proyectos y obras administramos los recursos empleados en la construcción de la edificación, y podemos elegir cómo hacerlo y cuáles emplear; también definimos cuánta exergía se consumirá, y de qué tipo, desde su construcción hasta su demolición o rehabilitación, pasando por su mantenimiento. Todo ello sabiéndolo o no: nuestras decisiones tienen consecuencias y no pueden escapar a las leyes de la Naturaleza.

La muy mal llamada descarbonización de la economía no es otra cosa que reducir el consumo de combustibles fósiles y sus emisiones a la atmosfera. La manera más

directa de conseguirlo sería imputar de alguna manera todos los impactos ambientales de nuestras actividades en la contabilidad monetaria de acuerdo con las leyes de la termodinámica.¹¹

Si la tendencia es continuar con un sistema financiero ajeno al mundo material, sólo nos queda tratar de paliar los efectos de la economía extractivista reduciendo los impactos que producimos.

En el caso de la arquitectura, la mejor opción es el aprovechamiento de la radiación solar de manera directa o en combinación con las propiedades de los materiales, tal y como se plantea desde el diseño bioclimático. Esta es la estrategia que utiliza la arquitectura vernácula, con construcciones adaptadas a las condiciones climáticas y ejecutadas con materiales locales, que apenas requieren transformación.

La transformación de la energía radiante del Sol, o de sus derivadas en forma eólica o hidrogeológica, en electricidad requiere de dispositivos fabricados con minerales dispersos en la corteza terrestre. Esto implica un elevado consumo energético para su extracción, separación, concentración, transporte y transformación en productos.

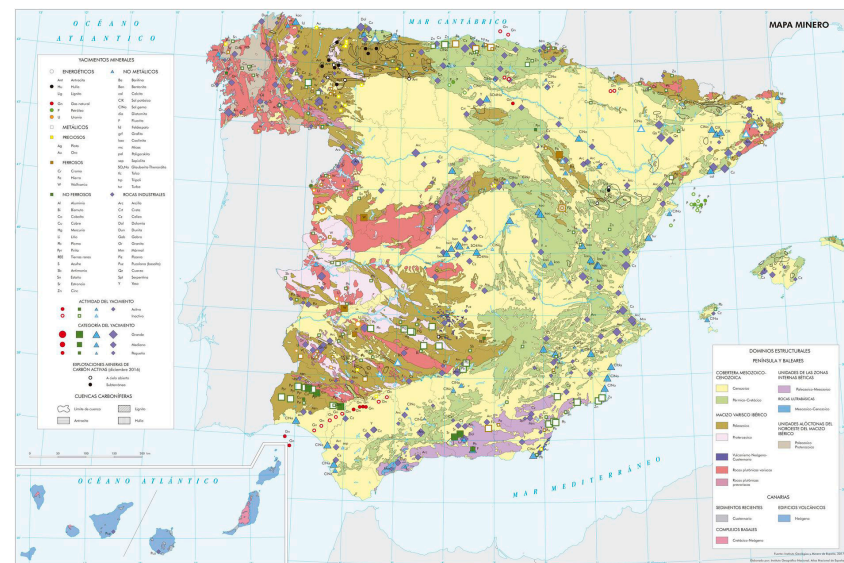
Pero, generalmente, se ignoran estos gastos y sus residuos, así que se habla de “cero emisiones” con completa impunidad. El caso paradigmático es la energía nuclear: solo la cadena de producción del combustible de fisión desde la mina hasta la entrega en la central supone un notable consumo de recursos y emisión de residuos; y, en lo que se refiere a las mismas futuras centrales de fusión, mucha exergía tendrán que producir para compensar todo el gasto de exergía y materiales acumulado desde el primer “tokamak” de 1950.

La llamada “transición energética” que impulsa técnicas como el vehículo eléctrico o el uso masivo de paneles fotovoltaicos sigue cayendo en esta falta de rigor en el análisis de gastos y residuos, tal y como se ha demostrado.¹²

La disponibilidad de energía “barata”, en cuyo coste no se imputan los impactos sobre un medio ambiente común, ha permitido la globalización no sólo de la economía sino, por extensión, de la arquitectura. La preocupación por la integración ambiental de la disciplina ha dado lugar a muy diversas formalizaciones sobre las que se aplican adjetivos

8. Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971).
9. Frederick Soddy, *Cartesian Economics: The Bearing of Physical Science upon State Stewardship* (London: Hendersons, 1921).
10. Yanis Varoufakis, *Technefeudalism: What Killed Capitalism* (London: Bodley Head, 2023; New York: Melville House, 2024).
11. Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*.
12. A. Valero, A. Valero, y G. Calvo, *Thanatia, Límites materiales de la transición energética* (Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2021).

FIG 01. Mapa de recursos minerales de España. Instituto Geográfico Nacional. *Atlas Nacional de España*. 2024 / Map of mineral resources in Spain. *Atlas Nacional de España*. 2024



como ecológico, verde o sostenible.^{13 14 15 16} Las primeras aproximaciones a una arquitectura y urbanismo en sintonía con la naturaleza eran propuestas marginales alejadas de las tendencias mayoritarias o iniciativas experimentales desde la academia con poca replicabilidad en la práctica profesional. Desde hace tiempo, lo “medioambiental” forma parte de cualquier discurso arquitectónico sin que, en la mayoría de los casos, haya una reflexión profunda sobre los procesos socioeconómicos que nos han traído hasta aquí y para delimitar en qué medida desde la arquitectura puede contribuirse a paliar los efectos antedichos.

En ese sentido, proponemos como estrategia de supervivencia, encaminarnos hacia una arquitectura de lo disponible, recodificando bien conocidas y eficaces tradiciones y reduciendo el consumo de lo no renovable.

Sobre la disponibilidad de los recursos

La formación de la Tierra hace unos 4500 millones de años desencadenó una serie de procesos geológicos que modelaron la corteza terrestre tal y como la conocemos,

dando lugar a una distribución desigual e irregular de los minerales en la corteza¹⁷ [Fig. 01]. El ritmo de extracción y transformación de los recursos y su desplazamiento de unos países a otros ha sido y es posible gracias a procesos históricos de colonización y a la disponibilidad de energía “barata” concentrada en combustibles como los hidrocarburos.

En el sector de la construcción, según datos de Eurostat de 2020, cada ciudadano europeo consumió el equivalente a 13,5 toneladas anuales per cápita de materias primas.¹⁸ La OCDE prevé que, pese a una mayor eficiencia en el uso de los recursos, incluyendo acciones encaminadas a la “economía circular”, el uso de materias primas minerales se duplicará en 2060.

Sobre la cuantificación de impactos ambientales

Resultaría pueril proponer un único método incluso para evaluar la “sostenibilidad” de un proyecto. La propuesta de Le Corbusier¹⁹ para todos los países, para todos los climas: una vivienda con respiración exacta” es

13. L. Fernández Galiano, *El fuego y la memoria, sobre arquitectura y energía* (Madrid: Alianza Forma, 1991).
 14. C. Verdaguier, “Paisaje antes de la batalla. Apuntes para un necesario debate sobre el paradigma ecológico en arquitectura y urbanismo,” *Revista Urban*, núm. 3 (1999).
 15. Eduardo Prieto, *Historia medioambiental de la arquitectura* (Madrid: Ediciones Cátedra, 2019).
 16. Lydia Kallipoliti, *Historias of Ecological Design. An Unfinished Cyclopaedia* (Barcelona: Actar Publishers, 2024).
 17. J. Craig, D. Vaughan, y B. Skinner, *Recursos de la Tierra y el medio ambiente* (Madrid: Pearson Educación, 2012).
 18. De estos, algo más de 0,7 toneladas correspondieron a metales y 7,1 a materias primas minerales no metálicas. En el caso de nuestro país, hay cierto grado de autosuficiencia por la disponibilidad de materiales como yeso, arcilla o piedra, pero también una fuerte dependencia en la importación de combustibles fósiles y materiales como cobre o madera (Raw Materials Information System (RMIS). <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>).
 19. Le Corbusier, *Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme* (Paris: Vincent Fréal, 1930).

el paradigma de lo que no hay que hacer y de lo que, desafortunadamente, se sigue haciendo cuando los recursos monetarios lo permiten. El hecho de habitar y su impacto es un problema multidimensional del mismo tipo de los que estudió Pareto²⁰ a propósito de la crematística: no solo hay múltiples soluciones no-peores ante un mismo problema, tampoco puede existir un método de evaluación que las ordene de mejor a peor. La decisión entre soluciones no-peores solo puede ser subjetiva (tomada por sujetos), de ahí la importancia de la participación e implicación de la población. Se trata de la *téckne* clásica en la que ya se apoyaba Vitruvio, quien, respetuoso con el significado etimológico de arquitectura (del griego *architéctōn*, «constructor jefe»), la definió como un “arte que abarca como en un círculo todos los saberes”. Varios siglos después, Perrault se inventó lo de “utilitas, firmitas, venustas” y se lo atribuyó al romano en su versión²¹, comenzando la separación de aquellos saberes en cajones estancos, hasta llegar a la situación presente en la que se insiste en lo específicamente “disciplinar”, desgajado del resto, meras disciplinas periféricas a la arquitectura.²² Sin embargo, la perspectiva de Vitruvio ha permanecido en la arquitectura clásica (Alberti) y en la tradición vernácula, en la que proponemos la “arquitectura de lo disponible”.

A pesar de la dificultad, se han desarrollado numerosos procedimientos y herramientas para “objetivar” la toma de decisiones en relación con los efectos sobre el medio ambiente y justificarlas ante la sociedad.²³ Conviene recordar que cada uno de ellos tiene objetivos muy diversos y que eso, sin duda, condiciona el enfoque que aplican y los resultados que ofrecen. Veamos el método de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Su objetivo es la recopilación y evaluación de entradas y salidas e impactos ambientales potenciales de un sistema o producto, en este caso, la construcción, a lo largo de su ciclo de vida o, lo que es lo mismo, de la cuna o extracción de recursos hasta a la tumba, cuando finaliza su utilidad.²⁴ El procedimiento consiste en definir previamente el objetivo y el alcance del análisis, identificar los flujos de entrada y salida de materiales y energía en un inventario para cuantificar los impactos, evaluarlos y finalmente interpretarlo.²⁵ El propósito de la evaluación puede ser diferente, desde la asistencia en la toma de decisiones, al cumplimiento de requisitos legales, la certificación o la orientación de políticas.²⁶

La primera fase del ACV se dirige a los procesos de fabricación de materiales que permiten el ensamble de un edificio, clasificados en diversas categorías.²⁷ Los datos de impactos ambientales asociados a estos procesos son facilitados por los fabricantes a través de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP).²⁸ En España continúa elaborándose en la actualidad una base de datos de DAP, completa y consensuada.²⁹ Su integración en el proceso de diseño arquitectónico es complicada, ya que cuando se tienen un inventario completo y cierto de materiales es cuando ya se ha construido el edificio. La

comparación previa entre materiales puede ayudar a la toma de decisiones, pero es muy probable que el impacto ambiental dependa, fundamentalmente, de desde dónde y cómo se haya transportado cada material a la obra. Este método deja la cuantificación de esos y otros aspectos al proyectista, que desconoce en la mayoría de las ocasiones la procedencia de los materiales y sistemas que prescribe durante el proyecto y que, luego, la empresa constructora acaba colocando.

El ACV evalúa también el consumo energético en la fase de uso del edificio partiendo de valores obtenidos mediante simulación. Hasta el momento, los datos climáticos que el método considera válidos no tenían en cuenta la modificación actual del clima, una cuestión que puede ser muy relevante en la definición de soluciones y en el consumo energético asociado a lo largo de su vida útil.³⁰

La última fase del ACV se dirige a identificar los impactos asociados a un futuro desmontaje una vez que el edificio deje de ser operativo. Este análisis, realizado también a partir de las DAP, es bastante incierto. ¿Cómo cuantificar los impactos ambientales asociados a la utilización de técnicas que se aplicarán dentro de 50 o 100 años?³¹

Otra limitación del ACV es que, de momento, no abarca una fase final denominada de la tumba a la cuna que trataría de cuantificar el cierre de manera “circular” del proceso industrial completo que permita revertir los residuos generados a su estado original (en el yacimiento) o convertirlos en nuevos recursos. Aventuraamos que el procedimiento para su cálculo podría ser el siguiente documento de la ya larga lista citada, a pesar de la cuantificación y valoración de los resultados, como el

20. Vilfredo Pareto, “Il massimo di utilità dato dalla libera concorrenza,” *Giornale degli Economisti* 9, no. 2 (1894): 48–66.
 21. Claude Perrault, *Les dix livres d'architecture de Vitruve corrigez et traduits nouvellement en François, avec des notes et des figures* (Paris: Jean Baptiste Coignard, 1673).
 22. José Luis González Moreno-Navarro, *El legado oculto de Vitruvio: saber constructivo y teoría arquitectónica* (Madrid: Alianza Editorial, 1993).
 23. Es interesante comprobar la profusión de normas, procedimientos, herramientas y sellos relacionados con la cuantificación de impactos ambientales en la construcción en las dos últimas décadas. A modo de ejemplo, la aplicación de la norma UNE-EN 15978:2012 que define los métodos de cálculo de la evaluación del comportamiento ambiental de un edificio, exige el conocimiento de otros 11 documentos similares.
 24. AENOR. UNE-EN ISO 14040:2006. *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. (ISO 14040:2006). 2006.
 25. AENOR. UNE-EN ISO 14044:2006. *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices*. (ISO 14044:2006). 2006.
 26. AENOR. UNE-EN 15978:2012. *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo*. 2012.
 27. AENOR. UNE-EN 15804:2012+A2:2020/AC:2021. *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción*. 2012.
 28. AENOR. UNE-EN ISO 14025:2010. *Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos*. (ISO 14025:2006). 2006.
 29. Existen algunas bases de datos sobre el impacto ambiental de los materiales de construcción impulsadas desde instituciones públicas y/o empresas privadas, aunque la mayoría suelen ser accesibles mediante pago.
 30. La recién aprobada Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición) ya recoge la necesidad de tener en cuenta las condiciones climáticas modificadas, al igual que la consideración de los impactos asociados no sólo al uso, sino al ciclo de vida completo del edificio.
 31. Vida útil que suele asignarse a los edificios que se diseñan con un carácter permanente. AENOR. ISO 15686-1: 2010 *Edificios y activos construídos. Planificación de vida útil. Parte 1: Principios generales*. 2010.

resto de las fases, tenga numerosas dificultades. Una de las más significativas es que el método de ACV expresa sus resultados en unos indicadores sobre el consumo de recursos (energía primaria renovable y no renovable y en volumen de agua consumidos) y otros relacionados con procesos de degradación del medio ambiente como el calentamiento global, la eutrofización o la acidificación de ecosistemas, expresados en toneladas equivalentes de determinados compuestos (CO₂, CFC 11, SO₂, PO₄-3, ...) que potencialmente se emitirán durante el proceso. Estas cuantificaciones no se refieren a unos rangos admisibles para un ecosistema global o local, lo que permitiría estimar el impacto que podría tener nuestro proyecto en el medio ambiente y adoptar una decisión consensuada sobre si, por ejemplo, los beneficios obtenidos en forma de habitabilidad, cohesión social o mejora económica compensan la pérdida de calidad del ecosistema en el que nos implantamos.

La cuantificación de los costes físicos exigiría, en primer lugar, definir la unidad de medida referida a un sistema planetario que funciona globalmente. Sabemos por la segunda ley de la termodinámica, que no sólo es importante la cantidad de recursos, sino también su calidad. Por ejemplo, no es lo mismo una capa de arcilla en un terreno que los ladrillos colocados en un edificio. Cuanto más hemos transformado cualquier materia, más energía necesitamos para revertirla a su estado original.

Por otro lado, la contabilidad monetaria tradicional no mide los impactos ambientales en todas sus dimensiones. Sólo tiene en cuenta el coste de intercambio de recursos, a partir de los procesos de extracción, transformación y transporte, pero no cómo esto influye en el funcionamiento que hace posible la vida en el planeta.

Debemos considerar otras formas de medir la transformación de recursos. Puesto que la energía sólo mide cantidad, no calidad de la energía, surge el concepto de exergía (energía útil). La exergía es una unidad que mide la cantidad máxima de trabajo útil que puede suministrar un sistema en un ambiente de referencia. La energía se conserva, pero la exergía se consume: no podemos quemar un tronco dos veces. El ambiente de referencia se caracteriza por los gradientes asociados a cada tipo de energía: la altura para la gravitatoria, la temperatura para el calor, etc. La energía no dice nada acerca de la utilidad: por ejemplo, con 1 kJ de energía y máquinas perfectas (capaces de extraer 1kJ de exergía) podemos actuar sobre 1 kg de agua y conseguir muy distintos efectos: dispararlo a 161 km/h (44,7 m/s); elevarlo a 100 m de altura; calentarlo 0,24K; descomponer 37,9 g en hidrógeno y oxígeno, dejando el resto tal cual. La variación de los gradientes en cada caso es extraordinariamente diversa, pero da pistas de cómo se consume la exergía. En un extremo, la construcción de banales en laderas de las huertas tradicionales aumenta un poco la exergía gravitatoria, pues las piedras se alzan ladera arriba. En el otro, la mezcla

de materiales con tamaños muy pequeños destruye una enorme cantidad de exergía química: separar azúcar y sal previamente mezcladas es prácticamente imposible; reciclar los *smartphones* requiere consumir más exergía que la que requirió fabricarlos.

Si utilizáramos la exergía como unidad de medida de los impactos ambientales de la arquitectura y la ingeniería seríamos conscientes de la importancia no sólo de la cantidad de recursos que se requieren, sino de la calidad, concentración y ubicación de estos.

Esta propuesta también es complicada por las limitaciones en la cuantificación de la exergía para los materiales de construcción. Existen ya algunos trabajos que pueden servir de referencia^{32,33}, pero queda una enorme tarea por realizar a la que podrían sumarse numerosos investigadores interesados en los aspectos ambientales de la arquitectura.

Con todo esto no queremos concluir que no sea importante el desarrollo y aplicación de los actuales métodos de evaluación del impacto ambiental, sino que la urgencia de la situación requiere una transformación inmediata de nuestra manera de actuar y que, desde ya, podemos avanzar sin necesidad de procesos de evaluación complejos que nos pueden desviar de abordar el problema en su enorme dimensión.

Propuestas para antes del colapso

Dada la limitación actual de métodos cuantitativos como el ACV y la incertidumbre e imprecisión de la contabilidad exergética de los procesos industriales, junto con el diagnóstico sobre la causa de los actuales problemas, proponemos estrategias que consideramos apropiadas y en el buen camino: aquellas que se dirigen a lidiar con estas causas, sin necesidad de establecer complejos análisis y cálculos.

Sin duda, la más adecuada sería evitar la extracción de más recursos minerales y aprovechar los materiales ya transformados en el patrimonio construido y en otros productos, así como los residuos que se generan en cualquier proceso de transformación previo. Si la extracción fuera inevitable, lo deseable sería utilizar recursos próximos en el territorio y técnicas que impliquen la menor transformación material posible.³⁴

Proponemos la arquitectura de lo disponible como un modo de hacer asequible y posible; que ofrece habitabilidad con el menor consumo de recursos en todas las fases del proceso de la construcción atendiendo a dos estrategias:

1. La reducción de la transformación del suelo y la utilización de recursos disponibles próximos en el territorio.
2. El uso de técnicas y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental, dando prioridad a la rehabilitación del patrimonio existente frente a la creación de nuevo.



FIG 02. Propuesta del estudio de arquitectura MRDV para Benidorm. Fuente: W. van Rijs, J. Maas, and N. de Vries, eds., *MVRDV. Costa Ibérica: Upbeat to the Leisure City* (Barcelona: Actar, 2005). 4 / Proposal by the MRDV architectural studio for Benidorm. Source: W. van Rijs, J. Maas, and N. de Vries, eds., *MVRDV Costa Ibérica: Upbeat to the Leisure City* (Barcelona: Actar, 2005). 4

Una gestión adecuada del territorio

El territorio es el primer recurso imprescindible, a la vez que agotable, para la vida humana. La biomasa humana es muy pequeña: a principios de este siglo la población humana hubiera cabido, amontonada, en el embalse de El Atazar cerca de Madrid.³⁵ Y sin embargo su influencia es enorme, hasta el punto de que quedan muy pocos ecosistemas no-artificiales (si es que queda alguno), lo que está provocando la sexta extinción, con un ritmo de desaparición de especies muy superior al de las cinco anteriores, sobre todo por falta de territorio libre de contaminación y/o ocupación humana.

El suelo urbano es un pequeño porcentaje de la superficie emergida, pero al añadir la superficie destinada a la obtención de todo tipo de recursos para las conurbaciones se va acercando a la totalidad. Y como cada incremento de superficie urbana implica un aumento de la superficie destinada a abastecerla, el suelo disponible va camino de agotarse. Ese pequeño porcentaje de superficie urbanizada es un espejismo. Es peor: lejos de extenderse de manera uniforme y equilibrada por el territorio, la población urbana tiende a concentrarse en cada vez menos conurbaciones cada vez más grandes.

Galileo³⁶ desarmó la creencia en la existencia de gigantes con forma humana con un poderoso argumento, la denominada después “ley de los cubos y los cuadrados”: si conservando la forma humana existiera un ser 10 veces más alto, pesaría 1000 veces más, pero la resistencia de sus huesos solo sería 100 veces mayor: si consiguiera mantenerse erguido apenas podría moverse. Esa ley puramente geométrica ha arrojado mucha luz sobre cualquier sistema físico cuya viabilidad requiera un flujo (tensión en mecánica, tráfico en transporte) que permanezca proporcional a un volumen (peso en mecánica, población en transporte). Cuando un sistema semejante quiere crecer tiene que cambiar de forma a fin de que el espacio destinado al flujo pueda crecer en la misma proporción que lo hace el volumen. El volumen puede entenderse como una demanda y el flujo como llevar la

oferta que la satisfaga. Esta ley se ha comprobado en muchas disciplinas: dada la resistencia de un material hay una altura insuperable más allá de la cual no es posible si quiera sostener el peso propio: edificios, dinosaurios, árboles están sujetos a ella.³⁷ Las ciudades no son una excepción.

Puesto que se da por hecho que las ciudades tienen que crecer, la verificación de la ley de Galileo respecto al suelo urbano ha concitado poco interés en la investigación urbanística ortodoxa. Este desinterés ha dado lugar a propuestas insólitas pero apoyadas en imágenes de éxito, como la de un Benidorm brutalmente denso de MRVD [Fig. 02], una propuesta en la que se ignoran las más elementales leyes geométricas del tráfico, y en las que no hay siquiera obligación de mostrar su viabilidad física. Pero cuando se han realizado comprobaciones empíricas se ha visto que la ley es inexorable: baste con citar el clásico estudio de Buchanan.³⁸ En definitiva, una conurbación que crece tiene que dedicar cada vez mayor fracción del suelo al transporte de manera que el consumo de suelo por habitante (el inverso de la densidad urbana) aumenta inexorablemente. Así la conurbación madrileña pasó de ocupar 95m²/hab en 1957, a 448 en 1999, con un incremento medio anual (un TAE por así decir) del consumo de suelo per cápita del 3,74%^{39,40}. Pero si nos atenemos al consumo marginal, esto es a la nueva superficie requerida por cada nuevo habitante, la cifra casi alcanzó los 2.700m²/

32. A. Valero, A. Valero, y G. Calvo, Thanatia. *Límites materiales de la transición energética*.

33. Martín Lallana, Jorge Torrubio, y Alicia Valero, *Minerales para la transición energética y digital en España: demanda, reciclaje y medidas de suficiencia* (Zaragoza: CIRCE, Amigos de la Tierra, 2023).

34. En el actual debate sobre el impacto ambiental del ciclo de vida de los edificios, consideramos de interés recuperar reflexiones sobre la homogeneidad y heterogeneidad en la conformación de los elementos y sistemas constructivos en la línea señalada en Paricio Anzuategui, I.: *La construcción en la arquitectura. Los elementos. Tomo II*. Barcelona: Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya ITEC. (3ª ed.). 1996.

35. M. Vázquez Espí, “La ciudad acaparadora II,” en *De Sur a Norte. Ciudades y medio ambiente en América Latina, España y Portugal*, eds. Marta Román y Begoña Pernas (Madrid: Caja Madrid, Obra Social, 2002).

36. Galileo Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche*.

37. D’Arcy Thompson, *Sobre el crecimiento y la forma* (Madrid: H. Blume Ediciones, 1981; primera edición: On Growth and Form, Edimburgo, 1917).

38. C. D. Buchanan, *Traffic in Towns* (Report of the Department of Transport, UK, 1963; reprint, 1964).

39. J. M. Naredo y J. Frias, “El metabolismo económico de la conurbación madrileña,” *Revista Economía Industrial* 351 (2003).

40. José Manuel Naredo, “Anatomía y fisiología de la conurbación madrileña:

hab a finales de siglo. Luego estalló la burbuja inmobiliaria. Ciertamente ese consumo desahogado de suelo poco tenía que ver con el derecho a la vivienda: era pura especulación urbanística esencial para el crecimiento crematístico. Pero incluso si la oferta de nueva ciudad casara con la nueva población, la ley de Galileo prevalece.

Estos consumos desahogados de una conurbación en crecimiento no se reducen al suelo: como la distancia es creciente y la cadencia del suministro debe ser constante, la velocidad del transporte debe aumentar, y basta con recordar la clásica fórmula de la energía cinética para ver que, como poco, el consumo de exergía asociado crecerá en proporción geométrica al de la velocidad: lo que en nuestra infancia se hacía andando ahora se hace en automóvil, etc. El sueño del gestor de una red ferroviaria es aumentar la frecuencia de paso, para aumentar la velocidad del tránsito (caudal), aunque los propios vehículos mantengan su velocidad.

Una conurbación grande no puede ser compacta, pues la forma que deben adoptar las infraestructuras del transporte no solo requiere más superficie, requieren también un acople estructural con la ubicación de la población y su propio uso del territorio. Cierta urbanismo en los EE. UU. incluso teorizó la solución dando lugar a la dispersión urbana explícita y diseñada, dispersión que hubiera sido necesaria aun en forma espontánea, como ha venido ocurriendo en las conurbaciones españolas [Fig. 03]. De la forma compacta de la aldea neolítica pasamos a la forma tentacular de las actuales conurbaciones, una forma en que el perímetro que conecta con el resto pueda crecer en la misma proporción que la superficie del suelo urbano.

Una conclusión obvia para un urbanismo de lo disponible es parar el crecimiento de las conurbaciones y reutilizar todo el suelo urbano ocioso en las ciudades medianas y pequeñas para acomodar un crecimiento demográfico sobre el que no podemos actuar. La primera objeción será naturalmente que tal cosa atenta contra derechos humanos básicos. Puede que sea así. Pero como ya señaló Odum⁴¹ los ecosistemas sanos funcionan entre otras cosas gracias a la "coerción mutua" inter- e intraespecies. Y la "coerción mutua" está bien presente en nuestras actividades cotidianas: sin el Código de la Circulación el tráfico por las calles de nuestras ciudades sería simplemente imposible.

La propiedad privada del suelo es, de hecho, una regulación muy moderna. En todo caso, la ecología muestra que somos las especies las que pertenecemos a los territorios, a los ecosistemas, no al revés. Que una sola especie se haga con la propiedad del territorio y disponga de él a su antojo causa la destrucción del ecosistema previo, de su diversidad, de su capacidad de adaptación, etc.⁴² La importancia de este asunto puede entenderse si consideramos el caso de Soria: al conservar la propiedad comunal de sus bosques consiguió un estupendo récord: ser la última de la cola de las provincias que encabeza la

que mayores incendios forestales ha sufrido en los últimos tiempos: es la población que en parte se gana la vida mediante la gestión de los bosques la más interesada en su conservación. Como exageradamente nos informó un agente forestal: "Aquí a los pirómanos los colgamos de un árbol"; una frase que apunta a la importancia de la gestión colectiva de una propiedad común. Odum apuntaba de manera callada a este asunto cuando propuso "una persona, un voto, está bien; pero necesitamos también una persona, una hectárea".

En la arquitectura clásica y vernácula, el uso del territorio respondía a su vocación edáfica: las tierras más fértiles se destinaban a la agricultura, mientras que el suelo urbano, en el peor de los casos, ocupaba las laderas rocosas más cercanas si no había opciones más adecuadas.⁴³ El urbanismo contemporáneo ha ignorado esta vocación, ese respeto. Las antiguas huertas de tantas conurbaciones españolas han sido simplemente sepultadas bajo el suelo urbano.⁴⁴ Las infraestructuras de transporte han troceado el territorio y hemos pasado de un mosaico de asentamientos humanos sobre un tapiz no-artificial, a un mosaico de reductos con poca huella artificial sobre un tapiz urbanizado.

Imponer el respeto a la vocación edáfica de cada porción del territorio es, sobre todo, reconocer la muy distinta exergía que contiene cada superficie. Es lo contrario que lo que se propició con la desamortización del siglo XIX ("pleno derecho de los propietarios al aprovechamiento de sus esquilmos"): la riqueza de cada suelo debe conservarse y, en lo posible, acrecentarse.

Regeneración frente a nueva construcción, recuperación frente a transformación

El crecimiento demográfico sostenido, desde 1850, es un síntoma grave de nuestros ecosistemas artificiales enfermos. Pero no está en nuestra mano influir en él. Si hay que construir nuevo patrimonio, el objetivo es hacerlo desde lo disponible localmente, y mejor con cuánta más mano de obra, y con cuánta menor transformación y acarreo de materiales. Un dato significativo es la superficie total visada en los Colegios de Arquitectos de España.⁴⁵ en el primer semestre de 2023 fue de 16.776.072 m². El impacto ambiental a corto, medio y largo plazo de estos edificios que se construirán o rehabilitarán en los próximos meses y años puede ser mayor o menor en función de la elección

gigantismo e ineficiencia crecientes," *Biblioteca Ciudades para un Futuro más Sostenible* (CF+S), Boletín n° 29/30: Notas para entender el mercado inmobiliario (2002), disponible en <https://polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2170/2248>.

41. Eugene P. Odum, "The Strategy of Ecosystem Development," *Science* 126 (1969): 262-270.

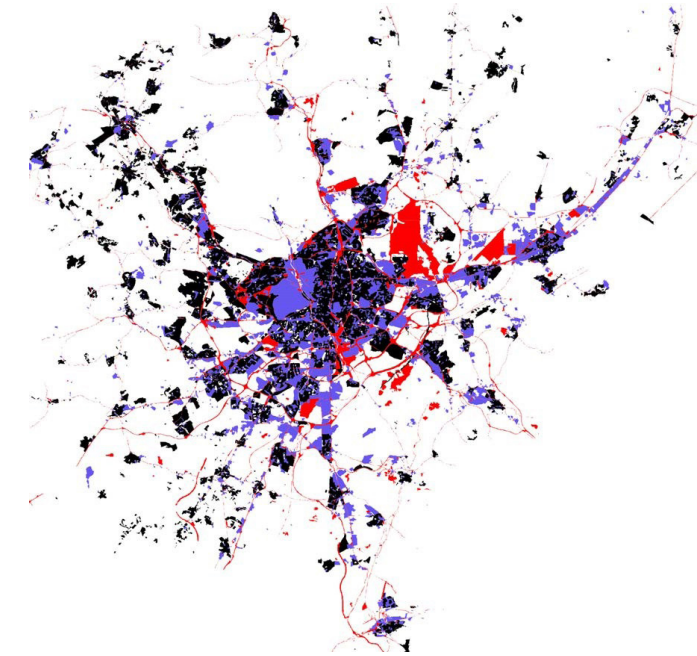
42. Ibid.

43. Mariano Vázquez Espí, "Los límites de la técnica," *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales* 29, no. 111 (1997): 65.

44. La reciente catástrofe en Valencia muestra de manera trágica la voracidad de este modelo que ignora la vocación de suelos en los que ya los romanos sabían que no se debía construir por riesgo de inundaciones.

45. *Estadística de visado*. Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España <https://www.csaec.com/index.php/servicios58/estadistica>

FIG 03. La conurbación madrileña en 2010. Fuente: C. Jiménez Romera, *Tamaño y densidad urbana: análisis de la ocupación de suelo por las áreas urbanas españolas* (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2015). / The Madrid conurbation in 2010. Source: C. Jiménez Romera, *Tamaño y densidad urbana: análisis de la ocupación de suelo por las áreas urbanas españolas* (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2015).



de los materiales y sistemas constructivos que configuren la solución arquitectónica, además de su adaptación a las condiciones climáticas y ambientales locales.⁴⁶

Por otro lado, sabemos que, frente a construir nuevo patrimonio, es menos costoso exegéticamente utilizar los recursos disponibles ya transformados. Desde este punto de vista, son acciones adecuadas poner en uso el patrimonio infrautilizado, regenerar el patrimonio que despilfarró exergía u ofrece condiciones insalubres y desmontar lo que no se pueda regenerar, con recuperación y clasificación de materiales para hacerlos de nuevo disponibles (materiales de segunda mano). Se trata del uso de técnicas y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental en el diseño arquitectónico que pueden abordarse desde, al menos, dos enfoques.

El primero de ellos está relacionado con una materialidad en un contexto de escasez. Una manera de abordarlo queda representada por abundantes ejemplos en países del llamado sur global^{47 48 49} en los que se integra el uso de recursos naturales locales junto con saberes ancestrales para su construcción [Fig. 04]. Este tipo de propuestas han sido hasta ahora poco replicables en nuestro contexto y, lo que sí podríamos hacer, es renovar soluciones constructivas tradicionales, adecuándolas a las condiciones de nuestro territorio y del actual tejido económico, social y cultural.

En la lógica de las dinámicas de los ecosistemas que

configuran ciclos en espiral, también son recursos aquellos residuos de otros procesos. En el desarrollo del proyecto europeo LIFE Posidonia liderado por el Instituto Balear de Vivienda (IBAVI) se diseñó un sistema constructivo de cubierta plana con un aislamiento fabricado a partir de los restos del alga posidonia que se deposita en sus costas [Fig. 05]. La solución se ha ejecutado en varias promociones de vivienda social en las islas⁵⁰, ofreciendo una oportunidad para generar nuevas economías en el proceso de construir alojamiento accesible para los habitantes de las islas.

El diseño orientado al desmontaje es otra manera de mejorar la transformación de recursos ya que permite la recuperación de sistemas y elementos constructivos una vez finalizada su vida útil^{51 52}. El diseño arquitectónico con elementos que procedan del desmontaje parece posible y encontramos ejemplos de equipos españoles con pequeñas construcciones como el Pabellón Loggia Basileana en Münchenstein, Basilea del equipo Isla

46. G. Gómez Muñoz, *Método de análisis diacrónico para la intervención en el alojamiento con criterios ecológicos. El caso de Madrid 1940-2100* (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2014), disponible en <https://oa.upm.es/30897>.

47. Cassio Sauer, *Arquitectura x escasez* (Brasília: Editora Concordia Brasil, 2022).

48. Natura Futura & Juan Carlos Bamba, *Hábitats flotantes. Una mirada a la arquitectura del agua en Ecuador* (Madrid: Trama Ediciones, 2023).

49. Luis Fernández-Galiano, ed., *AV Proyectos, Escasez material*, no. 122 (2024).

50. F. Márquez, R. Levene., eds., "IBAVI. 2019-2023 Una investigación colectiva", *El Croquis* no. 219 (2023).

51. David Cheshire, *The Handbook to Building a Circular Economy* (London: RIBA Publishing, 2021).

52. AENOR. UNE-ISO 20887 *Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Diseño para el desmontaje y la adaptabilidad Principios, requisitos y directrices*. 2023.

architects. [Fig. 06]. Para su generalización sería imprescindible una nueva actividad económica para recoger, limpiar, ordenar, catalogar y almacenar elementos procedentes del desmontaje de edificios, a partir de los cuales plantearía el diseño de otros nuevos edificios. Ya existe algo así para la industria del automóvil, véanse las instalaciones de Desguaces La Torre en Madrid .

Seguir avanzando depende también de nuestra creatividad

Hoy por hoy, tenemos mucha información disponible, pero hay que utilizarla. Puesto que son los consumidores quienes pagan por los contadores a las distribuidoras de agua, electricidad, etc., un gobierno responsable considerará esa información (una vez transformada en anónima) como pública. Junto a la información disponible en el censo y en el catastro es factible elaborar mapas del consumo per cápita en el patrimonio construido; y a partir de ahí, localizar aquel que prioritariamente merece la pena rehabilitar de inmediato. Y esa rehabilitación debe hacerse de manera proactiva, no con la pasividad de los actuales programas de ayuda.

Si es necesaria la sustitución, se puede plantear siempre un desmontaje que permita la recuperación del mayor número de elementos y dando lugar a nuevos sectores encargados de su gestión.

Una vez aprovechada la disponible, la nueva construcción que fuera indispensable debería proyectarse con un horizonte temporal amplio, mejor infinito (ahí están las pirámides de Giza), y teniendo en cuenta la incertidumbre de cómo será el futuro.

Tanto en la rehabilitación y nueva construcción, utilicemos nuestra creatividad para proyectar desde la lógica de los ecosistemas. Una economía para ser realmente “circular” y una transición para ser “ecológica” debe conducir a una arquitectura diferente en cada lugar, adaptada a las condiciones y los recursos propios.

Nuestra actividad se desarrolla en un marco institucional que nos coarta. Está bien así. Pero no tenemos por qué actuar como si ese marco fuera inamovible. Si la ciencia fuera el arte de formular buenas preguntas y la política, el de imaginar buenas respuestas, una labor imprescindible es que la política dé buenas respuestas a las preguntas de la ciencia: la técnica, nuestra disciplina, tiene mucho que aportar aquí.

53. <https://www.desguaceslatorre.es/>

Abstract

This study examines the interplay between architecture, engineering, and the sustainable management of resources on a finite planet, analysing how unchecked population growth and mineral resource extraction lead to collapse. Earth functions as a closed system for materials, and their exploitation without adequate replenishment leads to depletion, disrupting ecosystems. In contrast, healthy ecosystems recycle matter, operating in near-closed cycles. Current imbalances in the biosphere, such as global warming and extreme weather events, are consequences of human activity, particularly since the Industrial Revolution.

The concept of “Anthropocene” highlights humanity’s role as a geological agent, altering the planet through extractive and transport activities more intensely than any other force. Global warming is a symptom of deeper issues, such as exponential population growth and the exploitation of non-renewable resources, rendering current measures like “decarbonisation” insufficient.

In this context, the authors propose reclaiming pre-industrial traditional construction approaches. Vernacular architecture, which adapts designs to local resources and climatic conditions, can serve as a model instead of relying on globalised solutions with high energy consumption in manufacturing and transportation. While so-called “green technologies,” such as solar panels or electric vehicles, appear to reduce emissions, their mass production requires significant mineral and energy resources, data which is often overlooked in sustainability analyses and contradicts the “zero-emissions” narrative.

Tools like Life Cycle Assessment (LCA) are valuable for evaluating environmental impacts in construction but are not without limitations. This approach measures impacts from raw material extraction to building demolition but does not fully address the complexity of ecological damage. A potential solution could be to use exergy (usable energy) as a unit of measurement alongside other indicators of ecosystem impacts. Exergy considers not only the quantity of energy used but also its quality, offering a clearer understanding of real resource consumption. In this sense, the authors put forth the concept of availability-based architecture as a strategy to prevent collapse, advocating for the use of local and nearby materials, reducing land transformation, and prioritising the retrofitting of built heritage with architectural solutions designed around these strategies. In summary, this study calls for a rethinking of architecture towards a resource economy grounded in genuine sustainability, rather than a socio-economic system disconnected from material reality.

Keywords:

Architecture, resource extraction, ecological crisis, materials, energy.

You can't buy the wind
You can't buy the sun
You can't buy the rain
You can't buy the heat
You can't buy the clouds
You can't buy the colours
You can't buy my joy
You can't buy my sorrows

Latinoamérica. Calle 13. 2010

ENG How can architecture and engineering contribute to equitably managing collapse or, better yet, preventing it? Without an honest and robust diagnosis, any proposed solutions remain nothing more than random attempts. The nature of the problem has been previously established.¹²³ Thus, we will briefly outline the key facts, whose understanding does not require institutions like the IPCC; it suffices for individuals to ask questions and seek answers, following in the footsteps of Galileo.⁴

On a Medium-Sized Planet

We inhabit a planet perfectly positioned with respect to its star, shielded by sufficient electromagnetic protection to foster life. This unique balance allowed life to emerge, reshape the atmosphere (far from chemical equilibrium), and enable the evolutionary journey through the animal kingdom to our species.

Earth does not grow, although this belief was held until the 17th century.⁵ Nothing that occupies space can grow indefinitely; this is a fundamental principle of geometry. Healthy ecosystems, in contrast, are marked by demographic and morphological stability.⁶ Once a morphological identity is established, changes occur at a slow pace, marginally affecting space and time.

Before the current sustained increase in greenhouse gases—carbon dioxide, methane, and others—Earth maintained energetic equilibrium and stable temperatures. Incoming solar radiation equalled outgoing radiation into space, a thermal balance maintained by non-artificial ecosystems. This equilibrium has been disrupted: less energy now exits than enters, warming the biosphere, a disequilibrium caused by our species and with highly uneven contributions across countries and regions. Our era is aptly referred to

1. John Ruskin, *Unto This Last* (Boston: George Allen, 1877).
2. R. Clausius, *Über die Energiesorrate der Natur und ihre Verwertung zum Nutzen der Menschheit* (Bonn: Verlag von Max Cohen & Sohn, 1885).
3. Frederick Soddy, *Cartesian Economics: The Bearing of Physical Science upon State Stewardship* (London: Hendersons, 1921).
4. Galileo Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche* (Leiden: Elsevierii, 1638).
5. José Manuel Naredo, *La economía en evolución* (Madrid: Siglo Veintiuno, 1987).
6. Eugene P. Odum, “The Strategy of Ecosystem Development,” *Science* 126 (1969): 262–270.

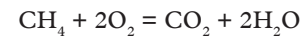
as the “Anthropocene”: humanity has become a primary geological agent, moving more mass annually than that flowing through all the planet’s rivers combined.⁷

Life thrives on useful energy (exergy): solar radiation (emitted at 5,000K) is more valuable than terrestrial dissipation (at 300K). This exergy surplus benefits the biosphere, enabling transformation and transport work, primarily wind, freshwater precipitation, and plant biomass growth.

However, increased exergy in the atmosphere and hydrosphere has also led to greater phenomenological variety—extreme events such as devastating hurricanes, sudden floods, and paralyzing snowfalls. The current population lacks collective memory of such occurrences.

On a finite planet, continuous extraction of mineral resources without replenishment leads inevitably to depletion, shortages, and the collapse of our way of life. Conversely, healthy ecosystems operate through near-closed cycles of material transformation, regenerating resources from waste. In essence, a healthy ecosystem is a network where the waste of one species serves as a vital resource for another.

To illustrate this, consider methane oxidation—a combustion process:



Oxygen is the essential reactant, required at a stoichiometric ratio of four parts to one part fuel. Combustion cannot occur without oxygen. Those who seek to benefit from burning methane take “free” oxygen from the air, which also contains an additional thirteen parts of nitrogen (amounting to approximately seventeen parts of reactants and/or products per one part of fuel). We burn the fuel and emit “free” by-products which, unless recycled by photosynthesis or other anabolic reactions, become waste and pollution, leading to real wealth losses. But since this process is perceived to be “free”, no one pays for it. Furthermore, a valuable resource, renewable only over millions of years, is destroyed. Methane, considered a relatively “clean” fuel, is far less harmful compared to gasoline, kerosene, and similar alternatives. Using pseudo-magnitudes⁸ like monetary units to measure the exchange value of goods makes it impossible to achieve Descartes’ aspiration for “the perfection of human life”⁹—namely, our well-being.

For most of its existence, our species lived in unstable equilibrium within healthy ecosystems. However, since approximately 1850, exponential increases in both mineral extraction and human population have disrupted this balance. Today, capitalism (extractivist and transport-based) has given rise to sick, artificial ecosystems, heading towards collapse, much like many non-artificial ones in Earth’s biological past. Its young successor, techno-

feudalism (led by major brokers like, inter alia, Google and Amazon), relies on vast infrastructures for transporting goods or information (the far-from-light “cloud”) and only accelerates this trajectory¹⁰, amassing monetary wealth at the expense of public servitude.

Focusing actions solely on “climate change” is akin to treating an infection by lowering the fever. Climate change is merely a symptom of two root causes—demographic and economic—and without addressing these, the fever will not subside. To support this flawed approach, a new vocabulary—a form of Newspeak—has emerged, filled with terms that fail even the simplest semantic analysis: “decarbonise,” “sustainable growth,” “circular economy,” “net zero emissions,” and so forth.

A return to a resource-based economy—measured using well-defined physical units such as mass, surface area, and exergy—together with a sustained reduction in mineral extraction and human population, and limitations on fossil fuel-based mobility, are the only viable treatments to manage collapse.

So, what can we do?

Through our projects and work, we manage the resources used in construction, determining how and which ones to employ. We also decide how much exergy will be consumed, and of what type, from construction to demolition or retrofitting, including maintenance. Whether knowingly or not, our decisions have consequences and are subject to the immutable laws of Nature.

The poorly named decarbonisation of the economy is merely a reduction in fossil fuel consumption and their emissions into the atmosphere. The most direct way to achieve this would be to incorporate all the environmental impacts of our activities into monetary accounting, in accordance with the laws of thermodynamics.¹¹

If the financial system remains disconnected from the material world, the only viable option would be to mitigate the effects of the extractivist economy by reducing the impacts we generate.

In the field of architecture, the best strategy is to harness solar radiation directly or in combination with the intrinsic properties of materials, as bioclimatic design suggests. This is the approach historically embraced by vernacular architecture, characterised by constructions adapted to local

7. José Manuel Naredo y Antonio Valero, dirs., *Desarrollo económico y deterioro ecológico* (Madrid: Fundación Argentaria / Visor Distribuciones, 1999).

8. Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971).

9. Frederick Soddy, *Cartesian Economics: The Bearing of Physical Science upon State Stewardship* (London: Hendersons, 1921).

10. Yanis Varoufakis, *Technofeudalism: What Killed Capitalism* (London: Bodley Head, 2023; New York: Melville House, 2024).

11. Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971).

FIG 04. La Comuna (Espacio Productivo + Vivienda Adaptable). Natura Futura Arquitectura + Frontera Sur Arquitectura. Huaquillas, El Oro, Ecuador. 2018. Fuente: Natura Futura <https://naturafuturarq.com/proyecto/la-comuna> / La Comuna (Productive Space + Adaptable Housing). Natura Futura Arquitectura + Frontera Sur Arquitectura. Huaquillas, El Oro, Ecuador. 2018. Fuente: Natura Futura <https://naturafuturarq.com/proyecto/la-comuna>



climatic conditions and built with materials that require minimal transformation.

The conversion of solar radiant energy, or its derivatives in the form of wind or hydrogeological energy, into electricity requires devices manufactured from minerals dispersed throughout the Earth’s crust. This process entails significant energy consumption for extraction, separation, concentration, transportation, and transformation into usable products.

However, these costs and their associated waste are often overlooked, enabling discussions of “zero emissions” to proceed with complete impunity. A paradigmatic example is nuclear energy: the production chain for fission fuel alone, from mining to its delivery at the power plant, involves considerable resource consumption and waste emissions. As for the ever-future fusion reactors, a vast amount of exergy would be required merely to offset the cumulative exergy and material expenditure since the first “tokamak” in 1950.

The so-called “energy transition,” promoting technologies such as electric vehicles or the widespread use of photovoltaic panels, continues to exhibit a lack of rigour in analysing costs and waste, as has been demonstrated.¹²

The availability of “cheap” energy, priced without consideration for its impacts on a shared environment, has facilitated the globalisation of not only the economy but also, by extension, architecture. Environmental integration in architecture has given rise to numerous approaches, often labelled with adjectives such as ecological, green, or sustainable^{13 14 15 16}. Early proposals for architecture and urbanism in harmony with nature were typically marginal, removed from mainstream trends, or limited to experimental academic initiatives with little applicability in professional practice. While environmental concerns have become integral to architectural discourse, they are often addressed superficially, without critical reflection on the socio-economic processes driving current conditions or on

how architecture might genuinely contribute to mitigating these effects.

As a survival strategy, we argue for a shift towards an availability-based architecture—a reimagining of well-established, effective traditions aimed at reducing the consumption of non-renewable resources.

On the availability of resources

The Earth’s formation approximately 4.5 billion years ago set in motion geological processes that shaped its crust as we know it today, resulting in the unequal and irregular distribution of minerals¹⁷ [Fig. 01]. The pace of resource extraction and transformation, coupled with their transport across countries, has historically been facilitated by processes of colonisation and access to “cheap” energy sources such as hydrocarbons.

In the construction sector, Eurostat data from 2020 shows that each European citizen consumed an average of 13.5 tonnes of raw materials per year.¹⁸ The OECD predicts that, despite greater efficiency in resource use, including actions aimed at fostering a “circular economy,” the use of mineral raw materials will double by 2060.

12. A. Valero, A. Valero, y G. Calvo, *Thanatia. Límites materiales de la transición energética* (Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2021).

13. L. Fernández Galiano, *El fuego y la memoria, sobre arquitectura y energía* (Madrid: Alianza Forma, 1991).

14. C. Verdaguier, “Paisaje antes de la batalla. Apuntes para un necesario debate sobre el paradigma ecológico en arquitectura y urbanismo,” *Revista Urbana*, núm. 3 (1999).

15. Eduardo Prieto, *Historia medioambiental de la arquitectura* (Madrid: Ediciones Cátedra, 2019).

16. Lydia Kallipoliti, *Histories of Ecological Design. An Unfinished Cyclopedic* (Barcelona: Actar Publishers, 2024).

17. J. Craig, D. Vaughan, y B. Skinner, *Recursos de la Tierra y el medio ambiente* (Madrid: Pearson Educación, 2012).

18. Of these, just over 0.7 tonnes were metals and 7.1 were non-metallic mineral raw materials. In the case of our country, there is a degree of self-sufficiency due to the availability of materials such as gypsum, clay, and stone, but also a strong dependence on imports of fossil fuels and materials such as copper or wood (Raw Materials Information System (RMIS). <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>).

On the Quantification of Environmental Impacts

It would be naive to propose a single method for assessing the “sustainability” of a project. Le Corbusier’s proposal¹⁹—“for all countries, for all climates: a house with exact breathing”—embodies precisely what should not be done, yet it remains a widespread practice where financial resources permit. The act of inhabiting, and its impact, is a multidimensional problem akin to those Pareto²⁰ studied in chrematistics: not only are there multiple equally viable solutions to a single problem, but no evaluation method exists to rank them definitively from best to worst. Choosing among these solutions is inherently subjective, underscoring the importance of public participation and engagement.

This aligns with the classical notion of *téchne*, as Vitruvius framed it, who, respecting the etymological roots of architecture (from the Greek *architéctōn*, “chief builder”), defined it as an “art encompassing all knowledge as if within a circle.” Centuries later, Perrault coined the term *utilitas*, *firmitas*, *venustas* and attributed it to the Roman²¹, marking a shift towards separating these domains into distinct categories. This division led to the current fragmented approach, where isolated disciplines operate detached from one another, relegated to the periphery of architecture²². Yet Vitruvius’ integrated perspective persists in classical architecture (e.g., Alberti) and vernacular traditions—an enduring foundation for what we advance as an availability-based architecture.

Despite the difficulty, numerous procedures and tools have been developed with the intent of quantifying decision-making concerning environmental effects and, thus, justifying them to society.²³ It is important to note that each of these methods targets different aims, which undoubtedly shape the approach and results yielded. Let us consider the Life Cycle Assessment (LCA) method. Its goal is the collection and evaluation of inputs and outputs and potential environmental impacts of a system or product, in this case, construction, throughout its life cycle, from cradle (resource extraction) to grave, when its utility ends.²⁴ The LCA process involves defining the objective and scope of the analysis, pinpointing the input and output flows of materials and energy in an inventory to quantify the impacts, appraise them, and ultimately interpret them.²⁵ The purpose of the evaluation can vary, ranging from assisting in decision-making to complying with legal requirements, certifications, or shaping policy recommendations.²⁶

The first stage of the LCA focuses on the manufacturing processes of materials that allow the assembly of a building, classified into various categories.²⁷ Environmental impact data associated with these processes is provided by manufacturers through Environmental Product Declarations (EPD).²⁸ A complete and consensual EPD database for our country is still under development.²⁹ Integrating this data into the architectural design process

poses some challenges, as a full and accurate inventory of materials is typically only available after the building has been constructed. While pre-comparison of materials can assist in decision-making, the environmental impact is likely to depend heavily on where and how each material is transported to the construction site. This approach leaves the quantification of such aspects to the designer, who is often unaware of the origin of the materials and systems specified during the design phase and later installed by the contractor.

The LCA also assesses energy consumption during the building’s operational phase, relying on simulation values. However, the climate data historically considered valid for this method has not accounted for ongoing climate change—a factor that can significantly influence both design solutions and energy consumption throughout the building’s lifespan.³⁰

The final phase of the LCA aims to identify the impacts associated with future dismantling once the building ceases to be operational. This analysis, also based on EPDs, carries a high level of uncertainty. After all, how can we accurately quantify the environmental impacts of techniques that will be implemented in 50 or 100 years from now?³¹

Another shortcoming of the LCA is its current lack of a final phase termed “cradle-to-cradle,” which would aim to quantify the “circular” closure of the industrial process—returning waste to its original state (in the deposit) or converting it into new resources. We venture that developing a methodology for calculating this could be the next addition to the already extensive list of LCA components. However, as with the existing phases,

19. Le Corbusier, *Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme* (Paris: Vincent Fréal, 1930).

20. Vilfredo Pareto, “Il massimo di utilità dato dalla libera concorrenza,” *Giornale degli Economisti* 9, no. 2 (1894): 48–66.

21. Claude Perrault, *Les dix livres d'architecture de Vitruve corrigés et traduits nouvellement en François, avec des notes et des figures* (Paris: Jean Baptiste Coignard, 1673).

22. José Luis González Moreno-Navarro, *El legado oculto de Vitruvio: saber constructivo y teoría arquitectónica* (Madrid: Alianza Editorial, 1993).

23. It is noteworthy how, over the last two decades, a proliferation of standards, procedures, tools, and labels has emerged to quantify environmental impacts in construction. For instance, applying the UNE-EN 15978:2012 standard, which outlines calculation methods for assessing a building’s environmental performance, requires knowledge of 11 other related documents.

24. AENOR. UNE-EN ISO 14040:2006. *Environmental management. Life cycle analysis. Principles and reference framework* (ISO 14040:2006). 2006.

25. AENOR. UNE-EN ISO 14044:2006. *Environmental management. Life cycle analysis. Requirements and guidelines* (ISO 14044:2006). 2006.

26. AENOR. UNE-EN 15978:2012. *Sustainability in construction. Assessment of the environmental performance of buildings. Calculation methods*. 2012.

27. AENOR. UNE-EN 15804:2012+A2:2020/AC:2021. *Sustainability in construction. Environmental product declarations. Basic product category rules for construction products*. 2012.

28. AENOR. UNE-EN ISO 14025:2010. *Environmental labels and declarations. Type III environmental declarations. Principles and procedures* (ISO 14025:2006). 2006.

29. There are a few databases on the environmental impact of building materials promoted by public institutions and/or private companies, though most are typically accessible only through paid access.

30. The recently adopted Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council, dated 24 April 2024, on the energy performance of buildings (recast) highlights the need to account for changing climatic conditions and considers impacts not only during the building’s use but throughout its entire life cycle.

31. Useful life usually assigned to buildings that are designed with a permanent character. AENOR. ISO 15686-1: 2010 *Buildings and built assets. Useful life planning. Part 1: General principles*. 2010.

FIG 05. Fabricación de aislamiento térmico a partir de la posidonia para la construcción de 14 viviendas sociales en Sant Ferran. Formentera. 2017. Fuente: Proyecto *Life Rehousing Posidonia* <http://reusingposidonia.com/posidonia/> / Manufacturing of thermal insulation from Posidonia for the construction of 14 social housing units in Sant Ferran. Formentera. 2017. Fuente: Proyecto *Life Rehousing Posidonia* <http://reusingposidonia.com/posidonia/>



quantifying and evaluating these outcomes would pose numerous challenges. One major obstacle is LCA’s reliance on indicators of resource consumption (renewable and non-renewable primary energy, water usage) and environmental degradation processes, such as global warming, eutrophication, or acidification, typically expressed in equivalent tonnes of compounds (e.g. CO₂, CFC 11, SO₂, PO₄-3, etc.), potentially emitted during the process. These measurements do not account for admissible thresholds for global or local ecosystems. Such benchmarks would enable us to estimate the environmental impact of a project and determine, through consensus, whether the benefits—such as improved habitability, social cohesion, or economic gains—justify the loss of ecosystem quality incurred.

The quantification of physical costs would first require establishing a unit of measurement aligned with a planetary system that functions on a global scale. According to the second law of thermodynamics, it is not only the quantity of resources that matters but also their quality. For instance, a layer of clay in the ground is fundamentally different from bricks assembled in a building. The more a material has been transformed, the more energy is required to return it to its original state.

On the other hand, traditional monetary accounting fails to capture the multi-dimensional nature of environmental impacts. It only reflects the exchange cost of resources—based on extraction, transformation, and transportation—while neglecting their effects on the planetary systems that sustain life.

Alternative approaches to measuring resource transformation should be explored. While energy measures quantity, it does not account for quality—this is where the concept of exergy, or useful energy, becomes relevant. Exergy quantifies the maximum amount of useful work a system can deliver in a given reference environment. Unlike

energy, which is conserved, exergy is consumed: we cannot burn the same log twice.

The reference environment is defined by the gradients associated with different forms of energy—height for gravitational energy, temperature for thermal energy, and so on. Energy alone provides no information about utility. For instance, with 1 kJ of energy and ideal machines (capable of extracting 1 kJ of exergy), we could act on 1 kg of water in drastically different ways: propelling it at 161 km/h (44.7 m/s); lifting it to a height of 100 m; heating it by 0.24 K; or decomposing 37.9 g into hydrogen and oxygen, leaving the rest unchanged. The variation in gradients across these cases is wide-ranged, but it provides clues on how exergy is consumed. At one end of the spectrum, traditional practices like building terraced beds on hillside orchards increase gravitational exergy slightly, as stones are moved uphill. At the other end, mixing materials with very fine particles destroys substantial chemical exergy—separating sugar and salt once mixed is nearly impossible, and recycling smartphones often requires consuming more exergy than manufacturing them in the first place.

If exergy was used as a unit to measure the environmental impacts of architecture and engineering, we would better understand the importance of not just the quantity of resources but also their quality, concentration, and location.

This approach is constrained by the challenges in quantifying exergy in building materials. While previous research provides some guidelines^{32,33}, much remains to be done, presenting opportunities for researchers interested in the environmental dimensions of architecture.

32. A. Valero, A. Valero, y G. Calvo, *Thanatia. Límites materiales de la transición energética*.

33. Martín Lallana, Jorge Torrubio, y Alicia Valero, *Minerales para la transición energética y digital en España: demanda, reciclaje y medidas de suficiencia* (Zaragoza: CIRCE, Amigos de la Tierra, 2023).

This is not to suggest that the development and application of current methods for assessing environmental impact are unimportant, but rather to highlight the urgency of transforming our actions immediately. Progress can begin now, without relying on complex evaluation processes that risk diverting our focus from addressing the problem in its full breadth.

Pre-collapse proposals

Given the current limitations of quantitative methods like LCA, the uncertainties and inaccuracies in exergy accounting for industrial processes, and the root causes of present issues, we propose strategies that we believe are both appropriate and effective, by tackling these causes directly without relying on complex analyses or calculations.

Undoubtedly, the most suitable approach would be to avoid extracting additional mineral resources, instead prioritising materials already transformed within the built heritage, other products, and waste generated in prior transformation processes. When extraction is unavoidable, nearby resources and low-transformation techniques should be preferred.³⁴

We propose an availability-based architecture as a feasible and attainable approach to provide habitability with minimal resource consumption at all stages of the construction process, emphasising two key strategies:

1. Reducing land transformation and using resources readily available in the local territory.
2. Employing low-impact construction techniques and systems, prioritising the refurbishment of existing heritage over the creation of new buildings.

Proper Land Management

Land is the primary and indispensable resource for human life, yet it is also finite. The total human biomass is relatively small: at the start of this century, the entire human population could have fit, if piled up, into the El Atazar reservoir near Madrid.³⁵ Even so, its impact is enormous, to the extent that very few, if any, non-artificial ecosystems remain. This is bringing about the sixth extinction event, with species disappearing at rates far exceeding those of the previous five, primarily due to the scarcity of territory free from pollution and human occupation.

Urban land occupies only a small percentage of the Earth's surface. However, when factoring in the areas needed to supply resources to urban centres, this footprint approaches near totality. Each expansion of urbanised areas demands a corresponding increase in the land required to sustain them, steadily depleting the planet's available land. The notion of a small urban footprint is, therefore, an illusion. Worse still, urban populations are not evenly distributed or balanced across territories but are increasingly concentrated in fewer

and ever-larger conurbations.

Galileo³⁶ dismantled the belief in the existence of human-shaped giants with a compelling argument, later known as the “square-cube law.” If a being were ten times taller than a human while maintaining the same form, it would weigh a thousand times more, yet the strength of its bones would only be a hundred times greater: if it managed to stand upright, it could barely move. This purely geometric law has illuminated many physical systems whose viability requires a flow (stress in mechanics, traffic in transport) proportional to a volume (weight in mechanics, population in transport). When such a system seeks to grow, it must change its form so that the space allocated to flow can grow proportionally to the volume. Volume can be seen as demand and flow as the provision that meets it. This law has been proven across many disciplines: given the strength of a material, there is an insurmountable height beyond which it cannot even support its own weight—buildings, dinosaurs, and trees are subject to it.³⁷ Cities are no exception.

Since it is generally accepted that cities must grow, the verification of Galileo's law regarding urban land has drawn little attention from traditional urban research. This lack of interest has led to unconventional proposals, though supported by images of success, such as an absurdly dense Benidorm imagined by MRVD [Fig. 02], a scheme that disregards the most basic geometric laws of traffic and fails to demonstrate its physical viability. However, empirical studies have consistently shown that the law is relentless; Buchanan's classic study³⁸ is a notable example. In summary, as a conurbation grows, an increasing fraction of land must be allocated to transportation, causing land consumption per inhabitant (the inverse of urban density) to grow inexorably. For instance, the Madrid conurbation expanded from 95 m² per capita in 1957 to 448 m² in 1999, with an average annual growth rate (akin to an annual percentage rate) of 3.74% in per capita land consumption.^{39,40} Nonetheless, considering marginal consumption—new land required for each new inhabitant—this figure approached 2,700 m² per capita by the end of the century, before the real estate bubble burst. Certainly, this disproportionate land consumption had little to do with the right to housing; it was pure urban speculation, essential

34. In the ongoing debate on the environmental impact of a building's life cycle, we find it valuable to revisit reflections on the homogeneity and heterogeneity in the formation of construction elements and systems, as highlighted in Paricio Anzuategui, I.: *La construcción en la arquitectura. Los elementos*. Tomo II. Barcelona: Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya ITEC. (3rd ed.). 1996.

35. M. Vázquez Espí, “La ciudad acaparadora II,” en *De Sur a Norte. Ciudades y medio ambiente en América Latina, España y Portugal*, eds. Marta Román y Begoña Pernas (Madrid: Caja Madrid, Obra Social, 2002).

36. Galileo Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche*.

37. D'Arcy Thompson, *Sobre el crecimiento y la forma* (Madrid: H. Blume Ediciones, 1981; primera edición: On Growth and Form, Edimburgo, 1917).

38. C. D. Buchanan, *Traffic in Towns* (Report of the Department of Transport, UK, 1963; reprint, 1964).

39. J. M. Naredo y J. Frias, “El metabolismo económico de la conurbación madrileña,” *Revista Economía Industrial* 351 (2003).

40. José Manuel Naredo, “Anatomía y fisiología de la conurbación madrileña: gigantismo e ineficiencia crecientes,” Biblioteca Ciudades para un Futuro más Sostenible (CF+S), *Boletín n° 29/30: Notas para entender el mercado inmobiliario (2002)*, disponible en <https://polired.upm.es/index.php/boletin/2170/2248>.

for economic growth. However, even if the supply of new cities matched population growth, Galileo's law would still prevail.

The excessive consumption of resources by a growing conurbation extends beyond land. As distances increase and the frequency of supply must remain constant, transportation speeds must also rise. A glance at the classic formula for kinetic energy reveals that, at a minimum, exergy consumption associated with speed increases geometrically. What was once accomplished on foot in our childhood is now done by car, and so on. The dream of a railway network manager is to increase train frequency to raise traffic flow (throughput), even if the trains themselves maintain the same speed.

A large conurbation cannot be compact because the layout of transport infrastructure requires not only more land but also alignment with both the population's distribution and its use of the territory. Certain urban planning models in the United States even theorised this approach, leading to the explicit design of urban sprawl—a phenomenon that would have arisen naturally, as demonstrated by Spanish conurbations [Fig. 03]. From the compact form of the Neolithic village, we have evolved into the tentacular structure of modern conurbations, where the perimeter connecting to the surrounding area grows proportionally with the urbanised land.

An obvious recommendation for urban planning practices based on available resources is to halt the growth of conurbations and repurpose idle urban land in medium and small cities to accommodate demographic growth, over which we have no control. The first objection, naturally, will be that such an approach infringes upon basic human rights. That may be true. Nonetheless, as Odum⁴¹ pointed out, healthy ecosystems function, among other things, thanks to “mutual coercion” both between and within species. “Mutual coercion” is also ever-present in our daily activities: without traffic regulations, navigating the streets of our cities would simply be impossible.

Private land ownership is, in fact, a fairly modern construct. Ecology, however, demonstrates that species belong to territories and ecosystems, not the other way around. When a single species claims ownership of a territory and exploits it at will, it destroys the pre-existing ecosystem—its diversity, adaptability, and more.⁴² This point is exemplified by the case of Soria: through the communal ownership of its forests, the region has achieved an exceptional record, ranking among the provinces with the fewest recent forest fires. Populations that depend on forest management for their livelihoods are often the most committed to their conservation. As one forest ranger put it—perhaps with some exaggeration—‘Here, we hang arsonists from a tree,’ underscoring the importance of collective management of common property. Odum subtly touched on this issue when

he proposed: ‘One person, one vote, is fine; but we also need one person, one hectare.’

Both classical and vernacular architecture traditionally respected the natural vocation of land: the most fertile areas were reserved for agriculture, while urban development climbed the nearest rocky slopes if no better alternatives were available.⁴³ Contemporary urban planning has disregarded said aptitude entirely. Former fertile fields of countless Spanish conurbations have been paved over by urban sprawl.⁴⁴ Transport infrastructure has fragmented the territory, transforming a mosaic of human settlements within a non-artificial landscape into a patchwork of artificial remnants embedded in an urbanised tapestry.

Respecting the natural aptitude of each portion of land primarily involves recognising the unique exergy inherent in each surface. This stands in stark contrast to the practices promoted during the 19th-century disentailment process, which upheld “the absolute right of landowners to exploit their land”. Instead, the fertility of each soil should be preserved and, whenever possible, enhanced.

Regeneration versus New Construction, Recovery versus Transformation

The sustained demographic growth since 1850 is a severe symptom of our ailing artificial ecosystems that remains beyond our control. If new heritage is to be built, the focus should be on using locally available resources as much as possible, maximising manual labour and minimising the transformation and transportation of materials. A striking statistic is the total area approved by the Spanish Architects' Association⁴⁵, which in the first half of 2023 amounted to 16,776,072 m². The environmental impact of these buildings—whether newly constructed or refurbished in the coming months and years—will largely depend on the materials and construction methods chosen, as well as their adaptation to local climatic and environmental conditions.⁴⁶

In contrast, compared to creating new heritage, utilising already transformed resources is less exergy-intensive. From this perspective, appropriate actions include repurposing underutilised assets, refurbishing heritage that wastes exergy or creates unhealthy conditions, and dismantling what cannot be regenerated—recovering and sorting materials for reuse (second-hand materials). Additionally, employing low-

41. Eugene P. Odum, “The Strategy of Ecosystem Development,” *Science* 126 (1969): 262-270.

42. Ibid.

43. Mariano Vázquez Espí, “Los límites de la técnica,” *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales* 29, no. 111 (1997): 65.

44. The recent catastrophe in Valencia tragically underscores the destructive nature of this model, which disregards the natural suitability of soils where even the Romans knew construction should not take place due to the risk of flooding.

45. Visa statistics. Higher Council of the Spanish Architects' Associations. <https://www.cscae.com/index.php/servicios58/estadistica>.

46. G. Gómez Muñoz, *Método de análisis diacrónico para la intervención en el alojamiento con criterios ecológicos. El caso de Madrid 1940–2100* (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2014), disponible en <https://oa.upm.es/30897>.

FIG 06. Pabellón Loggia Baseliense. Münchenstein, Basilea. Isla architects. 2022. Fotografía: Luis Díaz. Fuente: Isla Architects <https://isla-architects.com/> Loggia-Baseliense. / Loggia Baseliense Pavilion. Münchenstein, Basel. Isla Architects. 2022. Photograph: Luis Díaz. Source: Isla Architects <https://isla-architects.com/Loggia-Baseliense>.



environmental-impact techniques and construction systems in architectural design can be approached from at least two perspectives.

The first one focuses on materiality within a context of scarcity. This approach is exemplified by numerous cases in the so-called Global South^{47 48 49}, where local natural resources are combined with ancestral knowledge for construction [Fig. 04]. While such solutions have been minimally replicable in our context, we could renew traditional construction solutions, adapting them to the conditions of our territory and the current economic, social, and cultural landscape.

In the logic of ecosystem dynamics that operate in spiral cycles, waste from one process can become a resource for another. A prime example of this is the development of the European LIFE Posidonia project, led by the Balearic Institute of Housing (IBAVI). This initiative designed a flat-roof construction system using insulation made from the remains of the seagrass *Posidonia oceanica*, which are deposited along the island's coasts [Fig. 05]. This solution has been implemented in several social housing projects on the islands⁵⁰, offering an opportunity to generate new economic models while addressing the need for accessible housing for island residents.

Designing for disassembly is another way to improve

resource transformation, as it enables the recovery of systems and construction elements once their useful life has ended.^{51 52} Architectural design using elements from disassembly appears feasible, as demonstrated by examples from Spanish teams working on small-scale projects, such as the Loggia Baseliense Pavilion in Münchenstein, Basel, by Isla Architects [Fig. 06]. To scale up this practice, the development of a new economic sector would be essential, focused on the collection, cleaning, sorting, cataloguing, and storage of elements from building disassembly, which could then be used in the design of new constructions. Such infrastructure already exists in other industries, as seen in the facilities of Desguaces La Torre in Madrid.⁵³

Continuing to move forward also depends on our creativity

Today, we have access to vast amounts of information, but it must be put to effective use. Since consumers are the

47. Cassio Sauer, *Arquitetura x escasez* (Brasília: Editora Concordia Brasil, 2022).
 48. Natura Futura & Juan Carlos Bamba, *Habitats flotantes. Una mirada a la arquitectura del agua en Ecuador* (Madrid: Trama Ediciones, 2023).
 49. Luis Fernández-Galiano, ed., *AV Proyectos, Escasez material*, no. 122 (2024).
 50. F. Márquez, R. Levene., eds., "IBAVI. 2019–2023 Una investigación colectiva", *El Croquis* no. 219 (2023).
 51. David Cheshire, *The Handbook to Building a Circular Economy* (London: RIBA Publishing, 2021).
 52. AENOR. UNE-ISO 20887. *Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Diseño para el desmontaje y la adaptabilidad Principios, requisitos y directrices*. 2023.
 53. <https://www.desguaceslatorre.es/>

ones paying for the services provided by water, electricity, and other utility companies, a responsible government should consider this data (once anonymised) as public. In conjunction with census data and land registry records, it is possible to create maps of per capita consumption in the built environment, which could then help identify buildings most in need of immediate retrofitting. Such refurbishment actions should be carried out proactively, rather than passively as in current aid programmes.

When replacement is necessary, disassembly should always be prioritised to recover the maximum number of components, thereby fostering the development of new sectors dedicated to their management.

Once already available resources have been exhausted, any unavoidable new construction should be designed with a long-term perspective, ideally infinite (like the pyramids of Giza), while accounting for the uncertainty of what the future might hold.

In both refurbishment and new construction, let us use our creativity to design based on ecosystem principles. For an economy to truly be "circular" and a transition "ecological," it must lead to architecture that is unique to each location, tailored to its specific conditions and resources.

While our work operates within an institutional framework that may constrain us, this framework is not unchangeable. If science is the art of formulating the right questions and politics the art of providing the right answers, an essential task is for politics to offer well-considered answers to the questions raised by science. Technique, our discipline, has much to contribute in this regard.

Bibliografía

Buchanan, C. D. *Traffic in Towns*. Report of the Department of Transport, UK, 1963. Reprint, 1964.

Cheshire, David. *The Handbook to Building a Circular Economy*. London: RIBA Publishing, 2021.

Clausius, R. *Über die Energievorräte der Natur und ihre Verwertung zum Nutzen der Menschheit*. Bonn: Verlag von Max Cohen & Sohn, 1885.

Craig, J., Vaughan, D., y Skinner, B. *Recursos de la Tierra y el medio ambiente*. Madrid: Pearson Educación, 2012.

Georgescu-Roegen, Nicholas. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.

Fernández Galiano, L. *El fuego y la memoria, sobre arquitectura y energía*. Madrid: Alianza Forma, 1991.

Fernández-Galiano, Luis, ed. *AV Proyectos. Escasez material*. No. 122, 2024.

Gómez Muñoz, Gloria. *Método de análisis diacrónico para la intervención en el alojamiento con criterios ecológicos. El caso de Madrid 1940–2100*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2014.

Jiménez Romera, C. *Tamaño y densidad urbana: análisis de la ocupación de suelo por las áreas urbanas españolas*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.

Kallipoliti, Lydia. *Histories of Ecological Design. An Unfinished Cyclopeda*. Barcelona: Actar Publishers, 2024.

Lallana, Martín, Torrubio, Jorge, y Valero, Alicia. *Materiales para la transición energética y digital en España: demanda, reciclaje y medidas de suficiencia*. Zaragoza: CIRCE, Amigos de la Tierra, 2023.

Le Corbusier. *Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme*. Paris: Vincent Fréal, 1930.

Márquez F., Levene, R., eds. "IBAVI. 2019–2023 Una investigación colectiva". *El Croquis* No. 219, 2023.

Moreno-Navarro, José Luis González. *El legado oculto de Vitruvio: saber constructivo y teoría arquitectónica*. Madrid: Alianza Editorial, 1993.

Naredo, José Manuel. "Anatomía y fisiología de la conurbación madrileña: gigantismo e ineficiencia crecientes." *Biblioteca Ciudades para un Futuro más Sostenible (CF+S)*, Boletín nº 29/30: Notas para entender el mercado inmobiliario, 2002.

Naredo, José Manuel. *La economía en evolución*. Madrid: Siglo Veintiuno, 1987.

Naredo, José Manuel, y Antonio Valero, dirs. *Desarrollo económico y deterioro ecológico*. Madrid: Fundación Argentaria / Visor Distribuciones, 1999.

Naredo, J. M., y Frías, J. "El metabolismo económico de la conurbación madrileña." *Revista Economía Industrial* 351, 2003.

Natura Futura y Bamba, Juan Carlos. *Hábitats flotantes. Una mirada a la arquitectura del agua en Ecuador*. Madrid: Trama Ediciones, 2023.

Odum, Eugene P. "The Strategy of Ecosystem Development." *Science* 126, 1969.

Pareto, Vilfredo. "Il massimo di utilità dato dalla libera concorrenza." *Giornale degli Economisti* 9, no. 1894.

Perrault, Claude. *Les dix livres d'architecture de Vitruve corrigez et traduits nouvellement en François, avec des notes et des figures*. Paris: Jean Baptiste Coignard, 1673.

Prieto, Eduardo. *Historia medioambiental de la arquitectura*. Madrid: Ediciones Cátedra, 2019.

Ruskin, John. *Unto This Last*. Boston: George Allen, 1877.

Sauer, Cassio. *Arquitetura x escasez*. Brasilia: Editora Concordia Brasil, 2022.

Soddy, Frederick. *Cartesian Economics: The Bearing of Physical Science upon State Stewardship*. London: Hendersons, 1921.

Thompson, D'Arcy. *Sobre el crecimiento y la forma*. Madrid: H. Blume Ediciones, 1981. Primera edición: On Growth and Form, Edimburgo, 1917.

Valero, A., Valero, A., y Calvo, G. Thanatia. *Límites materiales de la transición energética*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2021.

Van Rijs, W., J. Maas, and N. de Vries, eds. *MVRDV Costa Ibérica: Upbeat to the Leisure City*. Barcelona: Actar, 2005.

Varoufakis, Yanis. *Technofeudalism: What Killed Capitalism*. London: Bodley Head, 2023; New York: Melville House, 2024.

Vázquez Espí, Mariano. "Los límites de la técnica." *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales* 29, no. 111, 1997.

Vázquez Espí, Mariano. "La ciudad acaparadora II." En *De Sur a Norte. Ciudades y medio ambiente en América Latina, España y Portugal*, eds. Marta Román y Begoña Pernas, 2002. Madrid: Caja Madrid, Obra Social. ISBN 84-95471-55-8.

Verdaguer, C. "Paisaje antes de la batalla. Apuntes para un necesario debate sobre el paradigma ecológico en arquitectura y urbanismo." *Revista Urban*, núm. 3 (1999).

Microintervenir para construir la ciudad posthumana. Hacia un metabolismo verde, multiespecie, resiliente, autosuficiente, no especializado y colaborativo

Microintervening to cohabit the posthuman city. Towards a green, multispecies, resilient, self-sustaining, non-specialised and collaborative metabolism

Nekane Azpiazu Lejardi e Iñigo García Odiaga

Resumen

Transformar el modelo de ciudad es la única elección posible para remediar las actuales urgencias, ya que no podemos permitirnos la construcción de nuevos centros urbanos que desatiendan los desafíos presentes, y que prosigan con el consumo de cantidades ilimitadas de recursos contra otros seres, cuerpos y paisajes. La adaptación es primordial, y para ello la ciudad tiene que asumir una serie de cambios para que los sistemas circulares se integren en la edificación y en el espacio público, y estos pasen a producir agua, energía, y alimentos. Transformar los centros urbanos para crear espacios donde coevolucionar es el reto que se debe afrontar. Centros capaces de acoger una nueva naturaleza que implique ir más allá de lo estético con el propósito de cultivar nuevas alternativas ecológicas desde una visión postnatural. Es necesario que la ciudad evolucione hacia superficies permeables y estructuras porosas que impulsen nuevas formas de vida, mediante la implementación de microintervenciones diseñadas para fortalecer la justicia multiespecie, y crear mecanismos que permitan el metabolismo circular de la urbe. El repetitivo establecimiento sobre preexistencias de diversos microproyectos diseñados desde una posición posthumana y postnatural, tiene la aptitud de reparar el espacio urbano y convertirlo en un organismo modular no especializado; de forma que se garantice un funcionamiento ininterrumpido, y sincronizado entre los procesos interespecie de la nueva ecología. El nuevo modelo de ciudad se organiza como un árbol que se nutre de acciones de pequeña escala para progresar, adaptarse y transformarse, estructurada en una filogénesis que establece una relación entre distintas microactuaciones arquitectónicas no especializadas.

Palabras clave:

Metabolismo urbano, coexistencia multiespecie, ecología urbana, diseño postnatural, filogénesis.

Nekane Azpiazu Lejardi
UPV/EHU, Departamento de Arquitectura, ETS
Arquitectura, Donostia-San Sebastián
nazpiazu006@ikasle.ehu.eus

Iñigo García Odiaga
UPV/EHU, Departamento de Arquitectura, ETS
Arquitectura, Donostia-San Sebastián
i.garcia@ehu.eus