

Fecha de recepción: noviembre 2024
Fecha de aceptación: diciembre 2024
Versión final: enero 2025

Huella del carbono en la edificación arquitectónica

Guillermo José Jacobo⁽¹⁾

Resumen: La edificación arquitectónica se materializa con materiales y tecnologías de la construcción, que demandan recursos naturales: en la elaboración industrial, comercialización y en la ejecución del edificio. Estas etapas previas a la puesta en servicio del edificio no han sido consideradas en su dimensión ambiental. Además, en todas estas etapas de pre-uso del edificio, las requeridas intensas aplicaciones de energía para las transformaciones del recurso natural, no son consideradas por los usuarios.

Palabras clave: Ambiente - Energía - Tecnología - Construcción - Arquitectura.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 181]

⁽¹⁾ Arquitecto (FAU-UNNE, Resistencia, Argentina). Especialista en tecnología tropical (ITT-FH-Köln, Alemania). Master en Tecnologías de las Construcciones Avanzadas (ESTA-UP-Madrid, España). Master en Ciencias Ingenieriles (ITT-FH-Köln, Alemania). Profesor Titular y Adjunto en la FAU-UNNE. Investigador categorizado I (SPU-CIN). Director del Instituto para el Desarrollo de la Eficiencia Energética en la Arquitectura, IDEEA-FAU-UNNE. Coordinador del Grupo de Investigación Energía - Eficiencia- Edificación- gi-E3-UNNE.

Introducción: economía, energía y emisiones tóxicas globales

Cuando un átomo de Carbono (C) se une a dos de Oxígeno (O₂), se forma Dióxido de Carbono (CO₂), un gas incoloro e inodoro, que se torna tóxico cuando se lo libera en grandes cantidades y se desequilibra entre otros elementos químicos del aire. Se emiten una diversidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) al ambiente, siendo el CO₂ el de mayor concentración, A los GEI se denomina CO_{2-EQUIVALENTE} (CO_{2-E}). (Souza, E., 2021). El proceso natural fotosíntesis es el factor ambiental de equilibrio atmosférico, pues las plantas absorben el CO₂ atmosférico, reteniendo el C y liberando O₂. Los suelos y mares

pueden acumular CO_2 . Los seres vivos (humanos, diversas especies de ganadería y otros animales) inhalan O_2 , liberan CO_2 y metano (CH_4), también todos los residuos orgánicos (alimentos). Debido a la Revolución Industrial, proceso iniciado hace 300 años, se intensificó el consumo de combustibles fósiles y la emisión de GEI en la atmósfera. Desde 1950 al 2022 se ha duplicado la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera (Oğuz, S., 2023). Con la industrialización planetaria se elevó la concentración de CO_{2-E} . En el período preindustrial se acumulaba naturalmente en subsuelos, océanos, mares, ríos y en la masa de los árboles y plantas (NOAA, 2022).

El problema ambiental de los siglos XX y XXI es el exceso de CO_{2-E} liberado, que no puede ser absorbido naturalmente (Souza, E., 2021). Los gases C , O_2 y CO_2 existen en la naturaleza y son factores de vida, sus excesos son tóxicos al ambiente y su efecto directo es el calentamiento global. En Marzo de 2024, la concentración de CO_{2-E} en la atmósfera ha aumentado en 4,7 partes por millón (ppm) en relación a 2023. La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica informó que la concentración de CO_{2-E} alcanzó a 422,86 ppm en Febrero de 2024, un aumento del 50% respecto el período preindustrial, cuando los niveles de concentración eran de 280 ppm (Expok News, 2024). Se pronostica alcanzar una concentración de 424 ppm en el 2024. (Campetella, E., 2024). Según Pep Canadell, director del Global Carbon Project, Canberra, Australia: “La última vez que el planeta Tierra tuvo concentraciones tan altas de CO_2 en la atmósfera fue hace más de dos millones de años. A menos que las concentraciones de CO_2 paren de crecer y luego empiecen a bajar rápidamente, las temperaturas seguirán aumentando, haciendo partes del planeta inhabitables”.

Sin embargo, los combustibles fósiles constituyen casi el 80% de la matriz energética mundial actual, situación reflejada en su demanda comercial, aunque se proyecta que se mantendrá estacionario hasta el 2050, con una probabilidad de decrecimiento ante el avance de las tecnologías de energía limpias. (McKinsey & Company, 2024). Esto no significa que cesara el consumo de combustibles fósiles, ni que desaparecerán los GEI acumulados en la atmósfera; por ejemplo, solo China ha emitido GEI en un 1.800% de más de 1950 a 1980. Además, desde el 2010 ha puesto en servicio a 50 nuevas plantas generadora de energía a base de carbón (energía barata), que permite la producción de diversos productos industriales, como los materiales de construcción para sus aplicaciones tecnológicas en las diferentes etapas del ciclo de vida de la edificación. También en las infraestructuras urbanas. (Oğuz, S., 2023).

China junto con USA e India, generan el 50% de los GEI, al 2024, el otro 50% corresponde al resto de los países. La emisión de GEI es la consecuencia directa de la oferta y de la demanda de bienes y servicios comercializables en la economía mundial, en la que se encuentra la industria de la construcción, materializando a la edificación arquitectónica, lo que es causante de casi el 41% de las emisiones anuales de GEI. Así, la tecnología de la construcción es considerada como carbonizada (elevada Huella del Carbono).

La cultura planetaria se encuentra en una etapa evolucionada de la Revolución Industrial, proceso múltiple que posibilitó (y posibilita) el acceso a bienes y servicios comercializables, basados en el uso intensivo de la energía para transformar los recursos naturales a la población mundial. Es contraproducente ver en los medios, la publicidad de productos

y servicios generadores del 30% del GEI planetario, mientras se divulgan efectos del calentamiento global: inundaciones, sequías, incendios forestales, etc. (MDR Wissen-News, 2024). Otra incoherencia es fomentar la reforestación intensa de árboles, como política de estado de la Unión Europea, según los acuerdos de la Cumbre del Clima-COP26 (Glasgow, 2021), con el fundamento de absorber el CO_{2-E} de la atmósfera, cuando está comprobado que los bosques implantados sufrirán diversas enfermedades generadas por el calentamiento global, que llevará a sus extinciones en el año 2100. (Alcolea, A., 2024). Algunos emprendedores han desarrollado tecnologías complejas, como la recientemente inaugurada planta de Captura Directa de Carbono (DAC o CDR) del CO_{2-E} en Islandia, donde la empresa suiza Climeworks puso en funcionamiento a la planta Mammoth, la más grande del mundo. La tecnología DAC absorbe CO_{2-E} del aire, lo almacena en depósitos, y/o bajo tierra para transformarse en rocas. Los productores mundiales de cemento y acero están interesados (algunos los tienen ya instalado) en Tecnologías DAC en sus plantas industriales, para reducir sus consumos de energía primaria, pues el CO_{2-E} emitido es capturado y se lo recicla como combustible (Climeworks, 2024). La internacional Holcim[®] ha iniciado en el 2024 un Programa de Captura de CO_2 denominado Carbon2Business[®], aplicado en sus plantas industriales de Lägerdorf, Höver y Beckum, Alemania, que luego es almacenado para su reutilización como combustible, para así reducir el consumo de combustibles fósiles en el proceso de clinquerización a 1.450° C, y también, es comercializado a otros productores industriales. La Agencia Federal de Medio Ambiente de Alemania informó que, la demanda total de CO_2 capturado, como materia prima, no será menor a 20 millones de toneladas. El potencial de ahorro podría alcanzar cerca de 40 millones de toneladas de CO_2 capturado. (Holcim Deutschland, 2024). Se debe tener en cuenta que se emiten 2,9 GT/año de CO_{2-E} en la producción del Cemento Portland. (Architecture 2030, 2020). La tecnología DAC utiliza mucha energía, es económicamente costosa y resulta contradictoria, pues el objetivo de retirar CO_{2-E} de la atmósfera fomenta a continuar consumiendo combustibles fósiles en los procesos industriales, cuando el objetivo debería ser reducir las emisiones de GEI, reduciendo el consumo de combustible fósil. (Más Azul Planeta, 2023). Esta tecnología innovadora tiene un punto débil: su eficacia no ha sido probada. Actualmente se están instalando Centros Climeworks en USA, donde tiene lugar el nivel más elevado de consumo comercial. (Jaynes, C. H., 2024). Esta tecnología puede eliminar 0,01 MTn/año de CO_2 , en el 2030 podrá hasta 70 MTn/año de CO_2 . Sin embargo, se emitieron en total 36,3 GTn/año de CO_2 en el 2022 (Architecture 2030, 2023) y 37,6 GTn/año de CO_2 en el 2023 (Orús, A., 2024), valores superiores a la capacidad de la tecnología DAC.

La industria global de la construcción aporta anualmente un 41% del total de las emisiones de GEI (Architecture 2030, 2023), la que consume masivamente cemento portland y acero, para producir $\text{H}^\circ \text{A}^\circ$, por esto, la firma suiza Neustark AG ha desarrollado un método de captura de GEI con la mineralización de escombros de demolición de estructuras de $\text{H}^\circ \text{A}^\circ$, que luego podrán ser utilizado como agregado grueso en la elaboración de futuros hormigones con bajo contenido de CO_2 : Se han secuestrado del aire 1,65 MTn de CO_2 desde fines de 2022 en sus 19 instalaciones industriales de Alemania y Suiza, y se proyecta secuestrar cerca de 1 GTn de CO_2 para el 2030. (Neustark AG, 2024).

Una reciente divulgación de investigadores de la Universidad de Cambridge informa que se ha desarrollado un proceso industrial de muy bajas emisiones de CO_{2-E} para la producción a escala comercial del cemento, utilizando hormigón reciclado y hornos de arco alimentados con electricidad. Este proceso industrial con menores emisiones de GEI es también aplicable al acero, que también se puede reciclar durante el proceso de reciclaje del cemento. A la fecha se ha presentado una patente para su comercialización, con el apoyo del Consejo de Investigación en Ingeniería y Ciencias Físicas de UK (EPSRC) y de UK-Research and Innovation (UKRI). Este desarrollo reciente en el proceso industrial de producción del cemento, el material más consumido del mundo dentro de la industria de la construcción, solo propone reducir las emisiones de GEI, no anularlas. (Burgos, M., 2024).

Según la American University (American University, 2024): Los procesos CDR o NET (Carbon Dioxide Removal o Negative Emission Technology) podrían frenar, limitar o incluso revertir el cambio climático. Sin embargo, únicamente los siguientes procesos naturales eliminan el CO₂ acumulado en la atmósfera: fotosíntesis, absorción por océanos y geológicos. Evidentemente, la tecnología de captura y almacenamiento de CO_{2-E} no es todavía una solución de fondo al problema ambiental, sino solo un innovador emprendimiento técnico-comercial. Ante esto, vale cuestionar (Taylor-Smith, K., 2024): ¿Cuánto carbono atmosférico es necesario eliminar para ayudar a mantener el límite de calentamiento fijado por el Acuerdo de París en 1,5°C?, desde 2010, la PNUMA, ha tomado mediciones anuales de la brecha de emisiones: la diferencia entre lo que se necesita para limitar el calentamiento global a 1,5 °C, o al menos por debajo de 2 °C, y las promesas de protección climática de los países: la política climática necesita más ambición.

Según William Lamb, del Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC-Berlin.Net, 2024): si los objetivos nacionales se implementan plenamente, las absorciones anuales de GEI podrían aumentar en un máximo de 0,5 GTn de CO₂ para 2030 y un máximo de 1,9 GTn de CO₂ para 2050. Esto contrasta con los 5,1 GTn de CO₂ para el 2050 según el último informe del IPCC. El calentamiento global calculado para el siglo XXI se limitaría a 1,5°C por medio de las Energías Renovables y de la Reducción de Emisiones de GEI. Ambos constituyen la Estrategia Central de Protección del Clima, o sea, se debe dejar de consumir masivamente combustibles fósiles, pero también, se deben capturar a los GEI emitidos existentes (heredados) en la atmósfera. El problema del cambio de matriz energética mundial lo constituye la realidad actual y la proyectada, los combustibles fósiles constituyen el 85% de la demanda total para producir energía o como materia prima. (Más Azul Planeta, 2023).

La Pandemia de COVID-19 afectó a la población mundial con múltiples efectos negativos, pero se constató una importante reducción de la concentración de GEI en la atmósfera, debido a la casi nula actividad económica mundial, cuyo efecto fue la mínima demanda comercial de combustibles fósiles, o sea, se redujeron significativamente las emisiones de GEI, evidentemente la solución al problema ambiental se direcciona en el camino de la anulación de las emisiones, no en su filtrado. Por esto, se puso en duda la Eficacia y la Ética de la Ingeniería Ambiental, ya que al mismo tiempo de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP28, Dubai, Diciembre 2023) la Comisión Mundial sobre la Ética del Conocimiento Científico y la Tecnología (COMEST-UNESCO)

publicó su primer informe sobre el uso y adopción de nuevas tecnologías para ayudar a reducir los impactos del cambio climático. COMEST manifestó que las innovaciones tecnológicas podrían causar problemas en lugar de resolverlos, pues tratar de controlar el clima o reducir el impacto del cambio climático, incluyendo la eliminación del CO_{2-E} pueden ocasionar otros riesgos ambientales de mayor envergadura con posibles efectos directos sobre la población mundial. (Ruttkamp-Bloem, E., 2024). Como ejemplo de esto, se puede citar a la innovación tecnológica de la Universidad Heriot-Wat (Escocia), la “Jaula de Jaula”, material poroso para secuestrar GEI, teóricamente más rápido que la Fotosíntesis. (Zhu, Q. et al. 2024). Sin embargo, todavía no se ha verificado su inocuidad y eficacia. Además, las tecnologías electromecánicas de filtrado del CO₂ del aire son costosas y con elevados consumos de energía (y de emisiones de GEI), pues el costo promedio ronda en US\$ 600 Tn de CO₂. Según el último informe de Rhodium Group, Inversiones Ambientales (Baumann, F., 2024): el filtrado de CO₂ del aire no es un método efectivo en la lucha contra el cambio climático. En el caso de USA, debería invertir cerca de US\$ 100 miles de millones anuales en tecnología CDR hasta el 2040 para alcanzar un nivel mínimo de efectividad ambiental. (Jones, W., 2024).

En el primer fin de semana de Mayo de 2024, se divulgó en la prensa europea (Treppler, N., 2024), la noticia de un encuentro on-line en el sitio de internet de la Organización Colapso Climático (Klimakollaps, 2024), el que es frecuentado por los denominados Colapsistas Climáticos, quienes exponen teorías sobre la pronta extinción de la civilización actual y de cómo será la vida luego del colapso ambiental planetario. Estos inéditos filósofos consideran que antes de finalizar el Siglo XXI, el planeta colapsará debido al agotamiento de los recursos naturales, a la sobrepoblación y a la contaminación ambiental, pero por sobre todo, debido a los efectos múltiples del Calentamiento Global. Según la Universidad de Cambridge (De Diego, M., 2022): El cambio climático podría resultar en una catástrofe global, con la consecuencia de la extinción humana. Esto fue ratificado en Proceedings of the National Academy of Science (Kemp, L. et al. 2022), donde se advirtió sobre los escenarios de calentamiento global suficientemente estudiados por parte de la comunidad científica, pero, lo que realmente se conoce es que no se tiene certeza sobre lo que sucederá cuando la temperatura promedio global atmosférica supere los 2° C, que no sólo favorece los fenómenos climáticos extremos, sino que existe un espectro de impactos secundarios con consecuencias catastróficas, a las que denominó 4 Jinetes: Hambre y desnutrición, Clima Extremo, Guerras y Enfermedades, que, en realidad ya tienen lugar desde hace varias décadas, pero no cuentan todavía una intensidad destructiva total. No se especifican fechas del colapso generalizado. Sin embargo, la información actual existente es muy similar a la expresada por el Club de Roma con su famoso informe de 1970: Los límites del Crecimiento, en el que se pronosticaron sucesos negativos ambientales y humanos hasta el 2100, que lamentablemente están en curso o ya sucedieron en los últimos 50 años. Según las diversas revisiones técnicas realizadas al informe de 1972 (externas y también realizadas por el mismo Club de Roma), únicamente 40 países, de los 193 nucleados en la ONU al 2024, han implementado hasta ahora programas de protección ambiental. En síntesis, se ha realizado oficialmente muy poco a nivel global y el esfuerzo privado no es suficiente, pues sus objetivos son comerciales y rentísticos (Mas Azul Planeta, 2023).

Población mundial y edificación arquitectónica en relación a la cuestión ambiental

En los últimos 300 años la población mundial alcanzó los 8,2 mil millones de personas en el 2024 (en 1750 eran 500 millones). Para el 2090, se estima que la población mundial estará en 10,3 mil millones de personas (Sosa Troya, M., 2024), quienes constituirán la demanda total comercial de bienes y servicios. Cuantificar esta demanda multifacética sería todo un desafío, pues cada habitante posee su propio carácter subjetivo. Sin embargo, una de las aspiraciones humanas, como común denominador de la población mundial, constituye el deseo de poseer su propio Hábitat Construido, que significa alta demanda de Edificación Arquitectónica, la que también necesita de Servicios de Infraestructuras para hacerlas habitables, todos dentro de la Industria de la Construcción, un sector económico mundial de consumo masivo y es un factor importante en las macroeconomías nacionales, como impulsor de la actividad económica nacional, que es fomentado por políticas para combatir el déficit habitacional. También, las obras de infraestructuras y las inversiones privadas que materializan edificios de todo tipo. La cultura consumista, evolucionada desde 1950, ha propiciado la formación de diferentes mercados comerciales, por ejemplo, el turismo, mínimo antes de 1950, actualmente una actividad económica mundial (y de desarrollo económico nacional) con elevada huella de carbono, pues las emisiones de CO_{2-E} por pasajero/km son: Crucero: 250; Vuelo corta distancia: 246; Vuelo media distancia: 151; Vuelo larga distancia: 147; Vehículos motor interno: 170. (Venditti, B. y Parker, S., 2024).

Como se comentó, la gran acumulación atmosférica de CO_{2-E} y de otros gases más tóxicos, CH₄ y CFC, generados por la industria, la deforestación, los incendios forestales y la actividad agrícola-ganadera mundial, provocan la destrucción de la capa de ozono y que se absorba más calor en la atmósfera, contribuyendo al aumento de la temperatura aire atmosférico. El gas más destructivo es el CH₄, generado por la producción mundial de alimentos y por los residuos de alimentos elaborados (casi el 40% del total anual), pero con menor concentración atmosférica que el CO₂. Desde inicio del Siglo XXI se maximizaron las emisiones de CH₄, pues el Permafrost, el territorio polar ártico, se está derritiendo debido al calentamiento global, liberando al contacto con el aire a suelos congelados desde hace millones de años, donde la capa vegetal emite en CH₄. Al derretirse la capa superior de hielo, el agua arrastra diferentes minerales (hierro, zinc, níquel, cobre y cadmio), aumentando la acidez del agua, disuelve metales y contamina la cadena alimenticia. (Marín, R., 2024).

La mayoría de las edificaciones arquitectónicas se encuentran concentradas en áreas geográficas urbanas, donde interactúa un multifacético conglomerado de bienes y servicios denominado mercado comercial. Esto genera el crecimiento continuo y exponencial de la masa física artificial planetaria. Se estima que desde el 2020 al 2060, se incorporarán 241 mil millones de m² de masa artificial como nueva superficie al parque edilicio mundial, similar a la de erigir mensualmente una ciudad de Nueva York durante 40 años, sin considerar la infraestructura necesaria. Además, el 75% de la infraestructura necesaria todavía no se construyó para los conglomerados urbanos del 2050. (Architecture 2030, 2023).

La masa artificial antropogénica se duplica cada 20 años. Cada habitante del planeta produce en promedio por semana una masa antropogénica igual a su peso corporal. La masa antropogénica producida en 1900 alcanzó los 35 mil millones de toneladas, la que se duplicó en 1950. Al 2000, se cuantificó en medio billón de toneladas, la que se ha duplicado en el 2020, cuya magnitud se triplicará para el año 2040, si se mantienen las tendencias actuales de consumo masivo (Elhacham, E., 2020).

La masa artificial de una ciudad es la generadora de la Isla de Calor Urbana, fenómeno físico debido a la acumulación de radiación solar en la masa antropogénica constituida en su gran mayoría de elementos constructivos de H° A°, que luego es irradiada al aire, produciendo su calentamiento. Una propuesta mitigadora del calentamiento urbano es implementar políticas de forestación urbana y pintar con color blanco a los edificios. (Cornwall, W., 2024). Así se reduciría el valor de temperatura del aire urbano de 2°C a 8°C, que impactaría en una menor demanda de energía eléctrica para la climatización de los edificios. El Banco Mundial ha implementado algunas financiaciones de políticas urbanas resilientes, que fueron aplicadas en diversas ciudades, las infraestructuras denominadas Nature Based Solutions - NBS (Soluciones Basadas en la Naturaleza). Desde el año 2000, los desastres naturales han causado estragos con efectos negativos sobre casi 4.000 millones de personas, murieron más de un millón y con perjuicios económicos de casi US\$ 3 Mil Millones. Uno de los NBS aplicados en diferentes ciudades es la de Forestación Urbana, para mejorar la calidad del aire y mitigar los efectos del fenómeno climático de la Isla de Calor Urbana. (World Bank, 2019). Tradicionalmente, las infraestructuras duras (obras ingenieriles de H° A°) han sido las soluciones tecnológicas para reducir y gestionar los impactos de los desastres naturales. Actualmente, la alternativa de solución es la implementación masiva de la Fotosíntesis, para generar condiciones de habitabilidad adecuadas, como las que se están ejecutando en varios países. (GPNBS-World Bank, (2022). Actualmente, denominar ciudad a un área geográfica urbanizada depende de la magnitud poblacional y edilicia de la misma. Los conglomerados urbanos han conformados Mega Ciudades, por ejemplo: Delhi, Tokio, Shanghái, Cuenca del Ruhr, New York, Londres, San Pablo, AMBA, etc., donde el común denominador es la masificación artificial del espacio territorial natural. Los límites tangibles internos se pierden, quedando solo para su diferenciación los legal-administrativos. En las Mega Ciudades se recorren largas distancias, advirtiendo solo calles y edificios, no se identifican límites interurbanos. En estas áreas artificiales se intensifica el efecto de la Isla de Calor Urbana, elevando la temperatura del aire que rodea a la edificación, lo que impacta directamente en la salud de la población y aumenta la demanda de energía eléctrica para climatizar artificialmente a los edificios. Esta situación experimentó el área de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en Mayo de 2024 (Expok News, 2024), un territorio masificado artificialmente de casi 2.884 km², habitado por casi 23 millones de personas. (CAF, 2020).

La ONU estima que el 70% de la población mundial de 10,4 mil millones para el 2100, habiten en áreas urbanas, con la consecuente alta demanda operativa de energía eléctrica y de agua potable. (ONU, 2024). Al 2024, cerca del 56 % de la población mundial (4,40 Mil Millones de habitantes) se encuentran en áreas urbanas. Se estima que la población urbana aumentará a más del doble para 2050, cuando casi 7 de cada 10 personas vivirán

en ciudades, donde se genera el 80% del PBI mundial (Banco Mundial, 2023). Algunos estudios informan, que para el 2100 el 97% de los países, tendrán una tasa de fecundidad por debajo de la requerida para reemplazar a su propia población (Roffo, J., 2024). La población envejecida demanda también bienes y servicios, de allí el mayor crecimiento de las áreas urbanas. El envejecimiento poblacional es debido a factores: económicos (manutención de hijos), culturales (emancipación femenina) y ambientales como por ejemplo la reducción de la fecundidad ocasionada por la contaminación del aire con microplásticos (particularmente de PVC, muy utilizado en la tecnología de la construcción), pues ya se detectaron en los testículos humanos, lo que reduce la producción de espermatozoides. (Expok News, 2024).

Un ejemplo del crecimiento poblacional urbano es el caso de la futura ciudad de 500 millones de habitantes, que se extenderá desde Abiyán a Lagos, Africa, cerca de 1.000 km de extensión a través de Togo, Benín y Ghana. (Prego, C., 2024). La Mega Ciudad Africana no está planificada, se estima que devendrá por el desarrollo natural de una conurbación descontrolada, producto de la explosión demográfica. En cambio, la ciudad The Line, fue planificada para 9 millones de habitantes, en construcción en Arabia Saudita desde el 2021. The Line será una ciudad peatonal de 170 km desde la costa del Mar Rojo al Desierto. Según los planificadores (Gascón, M., 2021), esta forma minimizará también el impacto medioambiental con el entorno, asegurando una reserva del 95% de la naturaleza en el área de NEOM, sin vehículos, sin calles, sin emisiones de GEI. Esta argumentación ambientalista no contempla a las emisiones de GEI en la etapa de construcción, solamente considera a la etapa operativa de servicio. No se contabilizaron a los dos edificios lineales paralelos de 480 mts de altura (climatizados artificialmente), ejecutados con tecnologías de la construcción con elevada Huella de Carbono (H° A°, Aluminio, Vidrio, etc.). Los dos edificios en altura, lineales y paralelos, se encontrarán separados por un patio interior (200 mts de ancho por 170 km de largo) con parques ajardinados peatonales, acondicionado con riego y climatización artificial. Las instalaciones de climatización seguramente potenciados con sistemas mixtos de energía (eólicos y fotovoltaicos) para generar energía limpia, del tipo de corriente continua, la que no es adecuada para potenciar equipos de climatización artificial (necesitan energía eléctrica alterna), por lo que necesitan la instalación de complejos inversores de corriente eléctrica (producidos con altos consumos de energía) y también combustibles fósiles (baratos para ellos, por ser productores mundiales líderes). También cuenta con líneas eléctricas (de corriente alterna) ferroviarias de alta velocidad subterráneas para recorrer en 20 minutos los 170 km. (Pastor, J., 2024). La ciudad The Line fundamenta su existencia en el aspecto económico, pues en el área de NEOM se concentran todas las actividades comerciales relacionadas a los combustibles fósiles que exporta Arabia Saudita. Este nuevo complejo edilicio lineal contribuirá con 380.000 nuevos puestos de trabajo y unos US\$50 mil millones anuales al PIB para el 2030 (NEOM, 2022). Arabia Saudita invierte cerca de US\$80 mil millones con el objetivo de convertirla en uno de los tres principales mercados bursátiles del mundo (Ramanan, 2023). Así, el fundamento ambiental, no es un objetivo, pues en realidad, es un área de elevada productividad económica, donde también se comercializará el turismo internacional. Otro emprendimiento tecnológicamente similar es la Ciudad Económica Rey Abdalá de 185

km², iniciada en el 2006, todavía en ejecución en Arabia Saudita con un costo de US\$100 Mil Millones, para una población inicial de 2 millones de habitantes. (Smith, S., 2015). En Abril de 2024 fue divulgada la utópica ciudad The (other) Line, con el objetivo de albergar a millones de personas, totalmente opuesta a la planificada ciudad The Line, que se basa en energías renovables y sin automóviles (sin GEI para la etapa operativa, pero con GEI durante la de ejecución de obra). En la ciudad The (other) Line no se renuncia a los combustibles fósiles: tecnología de la construcción tradicional, tráfico vehicular y contaminación urbana. (Designboom, 2024). En los casos urbanos comentados, la tecnología de la construcción es el común denominador como generador oculto de GEI, con el consecuente Calentamiento Global, que eufemísticamente es minimizado con el término “Cambio Climático”.

La necesidad aspiracional básica de la población mundial es tener cobijo duradero, seguro y cómodo, lo que la industria de la construcción oferta en edificios. El desafío comprende cubrir la alta demanda mundial de superficies habitables. Los espacios arquitectónicos, donde los usuarios desarrollan sus vidas cotidianas deben cumplimentar exigencias técnicas, salubridad, estabilidad, durabilidad, y también, comodidad y estética, que son aspectos subjetivos de los usuarios. Cumplimentar las regulaciones técnicas y las ecuaciones económicas, como producto comercial, conduce a la materialización de los objetos arquitectónicos como importantes emisores de GEI, durante su etapa operativa (vida útil) y en la previa al uso durante la construcción del mismo. Esto es un círculo vicioso, pues la industria de la construcción no es circular, por el contrario, es lineal en un 90%: se obtiene la materia prima y se la transforma con alta intensidad energética; Se la comercializa para la ejecución de la obra; Se la mantiene operativa durante su tiempo de vida económico promedio de 50 años, por medio de las tareas de mantenimiento necesarias, y por último se lo desactiva del servicio (demolición con consumo energético para transformar en residuos no absorbibles en el ambiente), o en contados casos, se lo refuncionaliza (con consumo energético).

Así, se reinicia continuamente este proceso económico, pues la demanda por espacios habitacionales es continua y creciente. Esta realidad llevó a que se masificaron artificialmente territorios naturales en los últimos 300 años, para transformarlos en productos comerciales. En el caso de la industria de la construcción, se emite cerca del 41% del total anual de GEI, que comprende un 27% anual en la etapa de ejecución de la obra y un 15% en la producción de los materiales de construcción: cemento, acero, hierro, aluminio y plástico. (Architecture 2030, 2023). El plástico (con múltiples usos comerciales y en la tecnología de la construcción) es causante de problemas tóxicos y ambientales, primero emitiendo durante la producción en un 10% a 13% de GEI anuales, luego como microplásticos. (Más Azul Planeta, 2023). A la contaminación ambiental generada, se le anexa la toxicidad causada a la vida orgánica, sea vegetal, animal y humana, pues su presencia en la edificación arquitectónica es un factor de generación de diversos tumores cancerígenos en los usuarios de los edificios. Los plásticos poseen un reducido tiempo de vida útil, de 30 a 35 años debido a su continua degradación química, deviniendo en micro y nano plásticos. El problema de los microplásticos se encuentra mundialmente generalizado, por los múltiples usos de este derivado petroquímico. (Heinrich-Böll Stiftung, 2023).

La firma internacional de arquitectura Perkins & Will desarrolló la base de datos Transparencia, sobre materiales de construcción contaminantes con plásticos. Además, edita una revista sobre temas científicos de salud y edificación, la Perkins & Will Research Journal, donde se expone públicamente a los materiales de construcción, como factor de toxicidad, los que son en su mayoría productos petroquímicos emisores GEI, que han sido identificados luego de un período largo de comercialización y uso, pero se regula sus aplicaciones tardíamente. (Transparency-Perkins & Will, 2024). En el caso del PVC, se observa que uno de sus componentes, el ftalato puede ser liberado, afectando a la salud humana como disruptor endocrino, pues puede bloquear a los receptores hormonales de las células, lo que impiden la acción normal de las hormonas, provocando una disrupción en el sistema endocrino: causal de tumores malignos. (Abellan. A., 2023). También se detectó en la leche de las mamaderas de polipropileno de los bebés, que liberan hasta 16 millones de microplásticos y billones de nanoplastico por litro cuando se calientan a temperaturas superiores a 25° C. A temperaturas de esterilización (95° C) aumenta la liberación de microplásticos a 55 millones de partículas por litro. En promedio, los bebés de un año en América del Norte, Europa y Oceanía están expuestos a 2.280.000, 2.610.000 y 2.100.000 partículas de microplásticos diarios. Otros productos de polipropileno, como hervidores y viandas de comida, también liberan microplásticos cuando se exponen a altas temperaturas. (LI, D., et al., 2020). Las cañerías de polipropileno son utilizadas masivamente en la edificación. Se analiza particularmente al material plástico, pues el 20% de los combustibles fósiles comercializados anualmente se lo utiliza para su producción industrial, como producto petroquímico La masa total mundial de plástico producida desde 1950 al 2022 es el doble que la de todos los seres vivos del reino animal. (Heinrich-Böll-Stiftung, 2023). En Abril de 2024 tuvo lugar la Cuarta Reunión del Comité Intergubernamental de Negociación (INC-4-ONU, Ottawa, Canadá) para alcanzar un acuerdo global, para reducir, controlar y, si fuera posible, anular la producción de plásticos (BFFP, 2024).

Los países productores de Combustibles Fósiles, encabezados por Arabia Saudita, dieron una batalla diplomática para impedir concretar un acuerdo internacional, que deberá tener lugar en el INC-5 (Busan, Corea del Sur, noviembre-diciembre 2024). Estas objeciones son económicas, pues para el 2050, se proyecta destinar el 35% de los combustibles fósiles para la producción de plásticos.

Durante la primera década del Siglo XXI devino una situación ambientalista positiva dentro del mercado internacional comercial de la construcción, fundamentada en la demanda de materiales naturales: no tóxicos para los usuarios y el ambiente, o sea, la innovación tecnológica para producir elementos constructivos ecológicos que reemplacen a los tóxicos actuales. También, se intensificó el reciclado, como metodología para minimizar las emisiones de GEI. En el caso del Cemento, el material de la construcción más producido y comercializado del planeta dentro de la industria de la construcción, emisor del 9% de los GEI globales solamente durante su producción, se tomaron ambos procedimientos, pero el primero solo alcanzó resultados que no satisfacen las exigencias de durabilidad y resistencia estructural. En cambio, con la innovación se obtuvieron mejores resultados, como ser la utilización del CO₂ producido como agregado para reducir el consumo de combustible fósil durante la etapa de industrialización, aunque se continúa emitiendo GEI, en supuesta menor cantidad.

De todas maneras, es válido citar a un material que reemplaza en parte al cemento, el mineral olivino, que se caracteriza por carbono negativo: podría absorber más CO_2 del que emite durante su fabricación. El olivino posee un alto contenido en magnesio, que permite secuestrar CO_2 . El proceso para transformar el olivino en cemento implica extraer compuestos como sílice y sulfato de magnesio, que luego reaccionan con el CO_2 para formar los minerales que capturan el CO_2 . La utilización del Olivino, mineral abundante y con menor complejidad de extracción, resulta un camino válido para consumir menos combustibles fósiles en los procesos industriales y al mismo tiempo secuestrar CO_{2-E} y reciclar lo generado. La firma Seratech produce Net Zero Silic, como reemplazo del 40% del Cemento en la mezcla de concreto. También, el Net Zero MagCarb, para producir elementos prefabricados: bloques, ladrillos y placas. Su proceso industrial comprende transformar el CO_2 en materiales de construcción, reduciendo emisiones de GEI hasta en un 95%. En el 2026 entrará en vigencia un nuevo impuesto en la Unión Europea a aplicar a los productos comerciales con contenidos de CO_2 . Por esto, se planifica en breve su comercialización mundial, posiblemente desde el 2027. La actual producción industrial de cemento portland genera 3 mil millones de toneladas anuales de GEI. (Higgins, N., 2024).

Otro caso a citar para disminuir las emisiones de GEI durante la producción de cemento, es el CO_2 -SUICOM (almacenamiento de CO_2 en el hormigón), con capacidad de absorber CO_{2-E} del ambiente y secuestrar permanentemente en la masa, generando un material carbono-negativo. Desde el 2008 se desarrolló en el Instituto Técnico de Investigación de Kajima, Japón, donde se incorporó como aditivo y se reemplazó un porcentaje del cemento con subproductos industriales: cenizas de carbón y escoria de alto horno. El aditivo reacciona con el CO_2 permitiendo disminuir un 33% la cantidad usada de cemento. Además, las emisiones de GEI del cemento con aditivo se reducen por debajo del valor cero, gracias a la absorción y fijación del CO_2 durante el proceso. Según Watanabe Kenzo, Director del Instituto Kajima: La producción de concreto para hormigón estructural emite 288 kilogramos de CO_2/m^3 , pero con CO_2 -SUICOM, se redujo en 18 kg la cantidad total de GEI (Yoshioka, I., 2013). Desde noviembre de 2022 se lo utiliza en obras de infraestructuras en Japón, lo que permitió reducir emisiones (captura y absorción) de 286 kg/m^3 de CO_{2-E} . La reducción total 677 Kg/m^3 de emisiones de CO_{2-E} con un total -62 Kg/m^3 de GEI, comparado con el hormigón de alta resistencia. El estudio de arquitectura Nendo utilizó 2.500 bloques prefabricados con hormigón CO_2 -SUICOM para una vivienda familiar (Abril de 2024) ubicada junto a una autopista (Karuizawa, Nagano, Japón), como pantallas filtrantes de las emisiones de los vehículos circulantes. (Kraljevich, F., (2021).

Aunque los dos citados materiales cementicios alternativos al Cemento, con ventajas ambientales comprobadas, demuestran un avance ambiental, no se ha dejado de emitir GEI, solo se redujo la cantidad de emisiones. Los procesos industriales para producir Cemento nunca se detuvieron, debido a la demanda comercial basada en su característica estructural de elevada resistencia mecánica, por lo que concentra un 85% del mercado comercial mundial. La Tecnología DAC puede ayudar a alcanzar emisiones netas cero al compensar las emisiones de sectores particularmente difíciles de reducir, como la aviación y la industria. También puede eliminar las emisiones antropogénicas heredadas de la atmósfera. De todas maneras, no es la solución integral para reducir la huella del carbono, ni una excusa

para seguir emitiendo GEI como de costumbre. Es una estrategia para complementar con los profundos recortes de emisiones en todos los sectores. (Hillsdon, M., 2024). Entonces, lo adecuado para el mejoramiento de la situación ambiental actual sería NO EMITIR GEI, para reducir su concentración atmosférica, mientras se absorbe los excesos existentes heredados, con las tecnologías desarrolladas recientemente, pero como soporte principal de la tecnología limpia: la Fotosíntesis, implementada por medio de la Silvicultura Intensiva junto con una controlada y minimizada (anulación) deforestación comercial de los bosques nativos.

Descarbonizar a la tecnología de la construcción: ¿utopía o posible realidad para el siglo XXI?

Se estima que se construirán 230 mil millones de metros cuadrados de edificios hasta el 2060. Superficie similar al actual parque edilicio mundial. (Climaterra, 2021). No es una predicción, pues la masa antropogénica alcanzó los 1.154 GTn y superó a la masa orgánica de la vida orgánica planetaria. (Venditti, B., Parker, S, 2021). Según Vaclav Smil (Mitchell, R., 2022), reconocido investigador internacional sobre la energía y los combustibles fósiles: Los antiguos romanos lo sabían bien, cuando están en juego asuntos difíciles, el cambio se logra mejor mediante un progreso lento pero implacable. siempre son preferibles las evoluciones a las revoluciones.

También, Antoni Gaudí enfatizaba (Soto Viñolo, J., 2021): la originalidad es volver al origen, pues Gaudí se inspiraba en el comportamiento estructural de los elementos naturales para aplicarlos en sus diseños. Para el tema en cuestión, ¿Cuál es el origen?, la posible respuesta sería: el Ambiente planetario, lo que se podría interpretar como: trabajar dentro del campo de la edificación arquitectónica con el ambiente, no en su contra, como ha sucedido en los últimos 300 años. Para descarbonizar la cultura consumista, en la que se encuentra también la edificación arquitectónica, la resolución no es lineal, pues existen muchas variables interrelacionadas: economía, deseos de la población mundial, recursos naturales, etc. Vale citar lo expresado por Vaclav Smil (Climaterra, 2022): LA RÁPIDA DESCARBONIZACIÓN ES UNA FANTASÍA, lo que se puede interpretar esto como una utopía a corto plazo, una posibilidad a mediano plazo y una realidad largo plazo. Smil explicó con lenguaje sencillo, para que lo entienda la población en general, (Mitchell, R., 2022): En la gestión de nuestros asuntos energéticos deberíamos constantemente favorecer medidas factibles, como ser: no desperdiciar el 40% de nuestros alimentos cultivados con un alto gasto energético, no calentar o enfriar viviendas mal diseñadas, pero de gran tamaño, no desperdiciar combustible conduciendo vehículos todoterreno de dos toneladas de masa para mover un solo cuerpo, no diseñar ciudades que exijan largos desplazamientos. Los combustibles fósiles suministran actualmente aproximadamente el 83% de la energía comercial mundial, frente al 86% en el año 2000. Las energías renovables proporcionan actualmente todavía menos del 6% de la energía primaria mundial. ¿Cuáles son las posibilidades de que después de pasar del 86% al 83% durante las dos prime-

ras décadas del siglo XXI, el mundo pase del 83% a 0% en las próximas décadas? China anunció 300 millones de toneladas adicionales de nueva producción de carbón para 2022, y la India 400 millones de toneladas adicionales para finales de 2023. Todavía nos topamos con combustibles fósiles, no nos alejamos de ellos. la mayoría de la gente piensa que la descarbonización es simplemente un problema eléctrico. No imaginan la cantidad de energía utilizada directamente como combustibles y electricidad e indirectamente como materia prima para fabricar materiales que definen la civilización moderna”. Además, Smil consideró las causas:

- Ningún material se fabrica en mayores cantidades que el CEMENTO, ingrediente clave del hormigón.
- El ACERO ocupa el segundo lugar y la fundición de HIERRO necesita carbón.
- Los PLÁSTICOS necesitan gas natural y petróleo como materias primas y como combustibles.
- Sin FERTILIZANTES NITROGENADOS (gas natural) se podría alimentar solo al 50% de la humanidad.
- Fabricar sólo estos CUATRO MATERIALES requiere casi el 20% del suministro total de energía mundial, generando alrededor del 25% de todas las emisiones de GEI.
- Se conocen alternativas, sin carbono, de fabricar estos materiales, pero ninguna está disponible para su implementación comercial inmediata a gran escala.
- Descarbonizar esta enorme demanda no se puede lograr en pocos años.

Lo expresado por Smil se concreta cada año con la materialización 6.130 millones m² de edificios, que genera cerca de 3,7 GTn anuales de CO₂ emitidas a la atmósfera. (Architecture 2030, (2020). Según S&P Global, para el período 2019-2020, los servicios públicos y el de la producción de materiales para la edificación son los sectores con mayor intensidad de emisiones de CO₂ por cada US\$1 millón de facturación comercial: Servicios Públicos de provisión de electricidad, de gas y de agua para ciudades: 2,6 GTn de CO₂; Productos petroquímicos (plásticos, pinturas, revestimientos), Materiales de construcción, (cementos), Embalajes (plásticos, cartón y papel), metales (acero, cobre, bronce, aluminio): 918 Tn de CO₂. (Oğuz, S., (2023).

De esta manera se constata que, los hábitats humanos construidos, junto con la producción mundial de alimentos, son los principales rubros económicos de generación de GEI. Ambas necesidades básicas de la población se relacionan íntimamente con el crecimiento exponencial de población mundial y con su actividad económica. (Jacobo, G. 2022). Se podría mejorar la situación ambiental mediante la simple aplicación de lo expresado por Edward MAZRIA, CEO de Architecture 2030: “El entorno construido es la solución a la crisis climática”. Juan Manuel VAZQUEZ propuso fomentar la oferta comercial de materiales de construcción con capacidad de almacenamiento de CO₂, por medio de la producción sin emisiones de GEI de elementos constructivos basado en la Fotosíntesis. (ILAPH, 2020).

El bosque almacena el CO₂ del aire en su masa, permaneciendo en el producto comercial madera, y también, cuando se los utiliza para la materialización de la edificación arqui-

tectónica, permaneciendo durante todo el período de servicio, así, el edificio deviene en un sumidero de carbono. Luego, el material de construcción madera puede ser reciclado para otros usos y/o compostado para beneficio ambiental. Se genera un proceso circular continuo, así se mantiene un balance negativo de carbono durante la vida útil del edificio. El uso de la madera en la edificación también tiene el beneficio de consumir menos energía final en obra. Por supuesto, para que tenga efecto positivo debe ser implementado globalmente, tal como lo expresó Smil: de manera continua y aplicando todos los conocimientos científicos innovadores. No implementar los tipos revolucionarios, como lo fue el Asbesto Cemento en Europa Central (1950-1980), donde se detectaron (1990) millones de enfermos de vías respiratorias por Asbestosis (Jacobo, G. 2022).

El uso masivo de la madera en la tecnología de la construcción, posibilitará generar áreas urbanas con carbono negativo. (Churkina, G., 2020). Al mismo tiempo, se debería dejar de consumir materiales con elevadas huellas de carbono como: acero, cemento, plástico, etc. Ambas acciones deben ser simultáneas y a largo plazo, para alcanzar la reducción significativa de concentración de GEI en la atmósfera.

Es necesario tener en cuenta que, el bosque para poder tener una capacidad significativa de acumulación de CO₂, necesita un período mínimo de crecimiento de 10 años antes de ser raleado para transformarlo en madera. Los bosques capturan 2 a 6 Tn de CO₂/ha/año y deben tener una permanencia de 100 años para ser sumideros efectivos de GEI. El cáñamo es un mejor convertidor biológico de CO₂. Puede capturar a los GEI dos veces más rápido que los árboles. El cáñamo absorbe entre 8 a 15 Tn de CO₂/ha/año. Otro producto, que puede mejorar la situación ambiental planetaria es el Bambú, que puede extraer 10 veces más CO₂ de la atmósfera que los árboles.

El Bambú es una planta, no es un árbol, con un crecimiento de tres a cuatro años para alcanzar los 35 metros de alto y los 30 centímetros de diámetro, y un crecimiento diario de 0,90 m a 1,00 m. El Bambú es un material biodegradable, compostable y una alternativa estructural válida “Si para el 2025 se plantará 10 millones de plantas de bambú, en el 2050 habría un millón de hectáreas que podrían secuestrar 10 GTn de CO₂ de la atmósfera y reemplazar el 1% de todos los materiales de construcción” (Rizomeco, 2020). Según la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial: el Bambú es un recurso natural renovable de rápido crecimiento y alta tolerancia. Absorbe 300 toneladas de CO₂/ha en sus 50 años de vida. Adecuado para utilizar como material de construcción, y también, como materia prima para la bioenergía, para crear papel y textiles, packaging, forraje, cestería, utensilios, alimentos. Se lo considera el futuro de los biomateriales. (Proyecto Menos Es Más, 2024). El Bambú absorbe 10 veces más CO₂ de la atmósfera que una superficie equivalente de árboles. Además, libera un 35% más de O₂ que un árbol. Dependiendo de la especie, una plantación puede ser productiva entre 50 y 200 años sin la necesidad de realizar nuevas siembras, pues se multiplica naturalmente como el césped. También, no demanda pesticidas, fertilizantes y abundante riego, la planta tiene el potencial de recuperar suelos degradados, remediar aguas contaminadas, proteger cuencas hídricas y absorber hasta cuatro veces más carbono que otros árboles. (TEC, 2024). Otra ventaja del Bambú, como material de construcción, es que tiene una caracterización mecánica a la tracción similar a las barras de acero utilizadas normalmente en las estructuras de H° A°.

En muchos países orientales se utilizan las barras de Bambú en reemplazo de las barras de acero en las vigas encadenadas de fundación y en dinteles de H° A°. (Jacobo, G., 2022). Según el Prof. Dr. Dirk HEBEL (Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zürich y Universidad Politécnica de Karlsruhe, Alemania), la Fibra de Bambú es una alternativa estructural al acero: “Se puede producir un biomaterial estructural con buena capacidad a la tracción debido a su relación resistencia peso. El 70% del acero y el 90% del cemento producido mundialmente se consumen en los países subdesarrollados. Las fibras del bambú son mezcladas con 10% de resina orgánica para formar una masa moldeable en barras, como armaduras de estructuras de H° A°, sin cemento como aglutinante, sino con un material biológico a base de micelio (hongos). Este material estructural permitiría cubrir el 80% de todas las estructuras mundiales de baja altura, de uno o dos niveles”. El Centro de Arquitectura Industrializada (CINARK) de la Real Academia de Ciencias de Dinamarca público en 2022 sobre el impacto ambiental de los materiales de construcción según la unidad: Potencial de Calentamiento Global (GWP), que define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1 kg de CO_{2-E} de efecto invernadero por m³ de material producido, encontrándose en la cima a los materiales revolucionarios más tóxicos del Siglo XX. Los materiales cementicios poseen un GWP superior a +10.000 kg/CO_{2-E}/m³ y los metálicos poseen de entre +10.000 a +1.000 kg/CO_{2-E}/m³. En cambio, los producidos por medio de la Fotosíntesis de 0 a -1.740 kg/CO_{2-E}/m³, (CINARK., 2022), que demuestran ser favorables ambientalmente, lo que implica que, usar (masivamente) estos materiales de construcción se favorece la reducción sustancial de la concentración de GEI atmosférico. Por lo expuesto, no es una casualidad o modismo que en los últimos 15 años se encuentre un amplio espectro de edificaciones erigidas con madera como principal material de la obra gruesa, desplazando al acero y al cemento a usos mínimos.

El Instituto para la Valorización de la Madera y de las Especies Arbóreas (CNR IVALS, Italia) realizó un ensayo de comportamiento sísmico de un edificio de siete niveles ejecutado con paneles prefabricados de CLT (Cross Laminated Timber, Madera Laminada Cruzada, Mass Timber, Kreuzlagenholz) en el 2007, cuando se erigió un edificio sobre la plataforma vibratoria más grande del mundo en Miki, Japón, donde fue sometido a réplicas de sismos, como lo fue el de 6,8 grados de la escala de Richter que asoló a Kobe, Japón (1995). (IVALSA-CNR, 2007). La estructura de paneles de CLT resistió a las acciones horizontales destructivas, mostrando algunos daños leves en las conexiones metálicas entre paneles verticales y horizontales, de fácil reparación. Los elementos constructivos de CLT se mantuvieron en perfecto estado, habilitando así su aplicación estructural en edificios en altura. (Sánchez, María, 2020). A partir de este ensayo, la firma Simpson Strong-Tie, el principal fabricante mundial de conexiones metálicas para estructura de madera, verificó sus productos en otro ensayo de sismo de otro edificio en altura ejecutado en escala real construido con CLT. (Simpson Strong-Tie, (2023). Por esto, el H° A° es posible de ser reemplazado como solución tecnológica estructural en edificación en altura para conformar el arriostamiento vertical ante acciones externas horizontales (viento y sismo). Vale citar, como ejemplos al edificio Murray Grove (Waugh Thistleton Architects, ocho niveles, Hackney, Londres, 2009), que fue erigido con paneles prefabricados CLT en toda su altura, únicamente se ejecutó el

basamento en H° A°. A la torre Mjøstårnet, (Voll Arkitekter, Brumunddal, Noruega, 2019), 18 niveles de estructura híbrida de madera laminada: CLT (losas) y LVL (vigas y columnas). En cambio, la Torre Brock Commons, (Acton Ostry Architects, Vancouver, Canadá. 2018), 18 niveles con una estructura híbrida: CLT y H° A° en los dos núcleos de circulación vertical (rigidización vertical) y en los basamentos (Jacobo, G..2022).

Un hecho significativo en USA, generado por la organización Architecture 2030, es la modificación del Código Internacional de Construcción (IBC), 2021-2022, (Woodworks, 2021). El IBC considera tres tipos de edificación en altura: IV-A; IV-B y IV-C, en los que se permiten el uso estructural del CLT (en reemplazo del H° A°) de hasta 18, 12 y 9 niveles. Así, se autoriza la concreción de edificios en altura según usos y funciones de los mismos. La mayoría de los Estados de USA han adoptado el nuevo código IBC a marzo de 2024. (Woodworks, 2024). El Departamento de Ingeniería Estructural de la Universidad de California, (San Diego, USA), realizó una serie de ensayos sísmicos en la mesa vibratoria más grande del mundo: NHERI UCSD, de un edificio en altura de 10 niveles, que fue construido en un 100% con tecnología CLT. El test sísmico del Proyecto NHERI TallWood fue iniciado en Marzo de 2023, en tres etapas de ejecución, para verificar su comportamiento estructural ante acciones horizontales similares a las generadas por la Falla de San Andrés, (Costa Oeste, USA), con resultados positivos, pues el prototipo a escala real demostró ser dúctil antes las acciones horizontales y sin daños al volumen erigido. (Nheri Tallwood, 2023); (Tall Wood Institute, 2023).

Así, la tecnología CLT se encuentra verificada con un adecuado comportamiento estructural ante acciones externas horizontales, por lo que, desde Julio de 2021 a Junio de 2024 ya estaban en ejecución o erigidos 2.205 edificios con tecnología CLT en diferentes temáticas arquitectónicas, edificios multifamiliares, comerciales e institucionales, a tres años de la puesta en vigencia del nuevo IBC. (Woodworks, 2024).

De manera paralela a estos hechos arquitectónicos singulares, se erigieron en otros países algunos edificios con mayores alturas con tecnología CLT. El mercado comercial internacional de la construcción ya adopto a la madera como reemplazo alternativo del H° A°, aún en condiciones estructurales exigentes del campo de la edificación arquitectónica. Vale acotar que los basamentos son en todos los casos, de H° A°, debido a la necesidad estructural de garantizar la estabilidad y durabilidad ante acciones externas horizontales (viento y sismo).

Las compañías de seguros han admitido a la tecnología CLT como material de construcción estructural de larga duración. Además, el Canadian Wood Council realizó una serie de cinco ensayos destructivos con fuego a un prototipo construido con tecnología prefabricada de CLT y con elementos estructurales de madera laminada, cuando se comprobó que el incendio se apagó por sí solo y permanecieron intactas las masas interiores del maderamen erigido. (Forestal Maderero, 2022). Con lo expuesto se materializa el concepto de la Fotosíntesis como generador de la producción masiva de elementos de construcción sin emisiones de GEI, además, como sumidero de CO₂ atmosférico. Los GEI emitidos, actualmente con altos niveles de concentración atmosférica, podrían ser secuestrados y acumulados en los edificios (a construir y en los existentes, por medio de acciones de saneamiento energético en los mismos). Así, se necesitará cubrir una elevada demanda de

madera de construcción, lo que implica la implantación de bosques en grandes áreas (y conservar los bosques nativos).

Conclusión (no definitiva)

El Secretario General de la ONU, António Guterres, expresó el 05/06/2024, en la conmemoración del Día mundial del Medio Ambiente: “El caos climático costaría anualmente al menos US\$ 38 Mil Millones, desde ahora al 2050. Los humanos representan el mismo peligro para el planeta que el meteorito que exterminó a los dinosaurios”, luego de divulgarse que el planeta lleva 12 meses batiendo récords de altas temperaturas. (France 24, 2024). Además, propuso establecer un impuesto sobre los beneficios extraordinarios de las empresas de combustibles fósiles, que serían destinados a financiar la lucha contra el cambio climático. “Los padrinos del caos climático, la industria de los combustibles fósiles, obtienen unos beneficios récord”. (Guerrero, T., 2024).

Lo expresado por Guterres sintetiza la realidad climática mundial en relación a la cultura consumista imperante, sin embargo, en los últimos 15 años transcurridos, se ha desarrollado y consolidado, a nivel internacional, una tecnología de la construcción basada en la Fotosíntesis, que se la reconoce como válida como alternativa estructural-constructiva-ambiental a la tecnología tradicional (acero y H^oA^o), que se utiliza en grandes volúmenes para materializar de edificaciones arquitectónica. La Ingeniería en Madera ha permitido, con las innovaciones tecnológicas consolidadas, incorporar a la ventaja ambiental en la tecnología de la construcción, al permitir emisiones cuasi nulas de GEI, y también, con la capacidad natural de acumularlos en su masa.

El concepto de secuestrar GEI durante la etapa de producción de un material de construcción no lo poseen los materiales tradicionales, como son los casos del acero y del cemento, que generan impactos ambientales negativos con elevadas las huellas del carbono. Los dos materiales tradicionales son combustibles fósiles dependientes, aunque se han desarrollado innovaciones en sus procesos productivos para reducir sus emisiones de GEI y/o reciclar el CO₂ emitido. Como se comentó, no significa que se anuló la emisión de GEI durante el proceso industrial de producción de estos materiales, solo se redujo la emisión de GEI, que continúa acumulándose en la atmósfera.

El estado actual del conocimiento sobre la descarbonización de la economía y de la cultura ya se encuentra consolidado a nivel internacional, solo falta su aplicación masiva por parte de la mayoría de los países, pero para esto deben resignar beneficios económicos. En el mercado de la edificación arquitectónica en Argentina se encuentra limitada por dos factores, para iniciar el proceso de descarbonización de la tecnología de la construcción:

- **CULTURAL:** los materiales producidos por la Fotosíntesis, la opinión general expresa dudas en cuanto a durabilidad en el largo plazo y en el comportamiento estructural. Con notoria ausencia de ejemplos singulares válidos.

- **ECONÓMICO-COMERCIAL:** el mercado se encuentra influenciado por los productores de cemento y acero, lo que se observa en la Reglamentación Técnica vigente, orientada a la utilización (comercialización) de los mismos. Aunque es destacable que los principales productores de estos materiales tradicionales han implementado importantes programas de marketing comercial para el mejoramiento de la calidad y la imagen ambiental de sus productos, algunos con modificaciones en sus cadenas de producción, no significa que prescindan de los combustibles fósiles (continúan emitiendo GEI).

En el 2000, se presentaron los primeros resultados reales de estudios científicos realizados durante la última década de del Siglo XX, tal es el caso de los productos presentados en la Feria Internacional de Hannover, Alemania, 2000, donde se expusieron los primeros paneles de madera cruzada laminada, como innovación tecnológica ambiental, los cuales iniciaron sus desarrollos a mediados de la década de 1990.

Se ha realizado mucho en los primeros 20 años del Siglo XXI, para desarrollar productos comerciales tecnológico-constructivos alternativos a los tradicionales, con ventajas ambientales positivas. Desde hace 10 años son realidades comerciales maduras: materiales de terminaciones, de aislaciones, hasta para los necesarios para la obra gruesa de la edificación: la estructura portante, donde se encuentra la mayor demanda de materiales tradicionales tóxicos (acero, cemento, plásticos, etc.). Las alternativas ambientalmente conscientes dentro de la tecnología de la construcción, como es el caso de los productos de ingeniería de madera se deberían intensificar en su divulgación académica en las carreras de arquitectura, también, ampliar los conocimientos técnicos de los graduados, para sus aplicaciones profesionales:

- **LVL (Laminated Veneer Lumber):** de varias capas de madera pegadas juntas.
- **CLT (Cross-Laminated Timber):** capas de madera contrachapada pegadas en ángulo recto.
- **PSL (Parallel Strand Lumber):** hebras de madera que se pegan y presan juntas.
- **Glulam (Glued Laminated Timber):** varias piezas de madera pegadas juntas.

También, divulgar las buenas prácticas, como es lo acontecido en la República Oriental de Uruguay, donde, hace unos pocos años atrás, se modificaron los reglamentos de construcción y estructurales, para admitir a la madera blanda (y con nudos) como material de uso estructural-constructivo en la producción de paneles CLT. Este cambio en el marco técnico-legal permite ejecutar edificios de hasta cuatro niveles de altura. El objetivo oficial es el aprovechamiento de los bosques implantados, de diferentes especies de Pinus y Eucaliptus sobre el territorio uruguayo, para la producción de productos comerciales con valor agregado, como es el caso de la tecnología CLT.

El primer caso autorizado oficialmente, para la ejecución de una obra singular con tecnología CLT es un complejo hotelero compuesto por seis edificios, de los cuales tres son de tres plantas. En su momento se importaron los paneles CLT desde Italia, pues al 2018 todavía no se los producían en Uruguay. La cadena hotelera internacional VIK junto con la Firma Enkel Group erigieron un emprendimiento turístico de 1.800 m² en la localidad

de José Ignacio, Uruguay, de 504 m³ con tecnología CLT de madera blanda, lo que implicó secuestrar 580 Tn de CO_{2-E}, equivalente de retirar de la circulación vial a 122 vehículos durante un año (Uruguay XXI., 2018). En la ciudad de Tacuarembó, Uruguay, la empresa Frutifor Lumber Company inicio la producción de paneles CLT en el 2021, procesando 140.000 m³ de madera de pino. Se emplean a 100 personas y se exporta anualmente US\$25 millones (Revista Forestal 2021).

La madera de Uruguay es similar a la que se encuentra en la Región Nordeste de Argentina (NEA), la de mayor superficie de bosques implantados de Argentina, principalmente en las provincias de Corrientes, Misiones y Entre Ríos. Existe un potencial de materia prima (Fotosíntesis) suficiente para abastecer al mercado de la construcción nacional, y para producir elementos constructivos a partir de la ingeniería de madera. En Argentina no se han imitado masivamente todavía las buenas prácticas, sólo de manera puntual, como el caso de la empresa Novak CLT, (Plaza Huincul, Neuquén), que desde el 2023 produce comercialmente paneles CLT, que fueron desarrollados técnicamente con el asesoramiento de la delegación del INTA Bariloche, la que logró la incorporación de la especie Pino Ponderosa al Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (INTI CIRSOC 601). (Todo Madera, 2023). Además, en la Facultad Regional de Venado Tuerto-Universidad Tecnológica Nacional, se caracterizó el comportamiento estructural del panel CLT con madera de Pino Ponderosa, el más implantado en la Patagonia Argentina. (INTI, 2023).

Las maderas de los bosques implantados del NEA se comercializan actualmente en gran parte para producir pasta de papel (tóxico al ambiente y productor de GEI), cuando se debería estar produciendo elementos constructivos prefabricados, para poder equilibrar el déficit habitacional crónico de Argentina, por medio de la construcción masiva de viviendas de uno o dos niveles de altura, volúmenes adecuados para ser erigidos con productos de la ingeniería en madera (Fotosíntesis). En bajos niveles de altura, se puede prescindir del H° A°, así permitir descarbonizar masivamente la edificación arquitectónica. El Reglamento CIRSOC-IRAM-INTI todavía no ha emitido una reglamentación específica para la Tecnología CLT para su aplicación en estructuras de edificios, así que, el H° A° domina en casi el 90% dentro del campo estructural del mercado argentino.

Los materiales tradicionales: acero, cemento, plásticos, bloques, ladrillos, terminaciones, etc., se basan en los combustibles fósiles como factor de producción y de materia prima en Argentina, aunque oficialmente, el estado argentino se adhirió a tratados internacionales relacionados con el tema de la reducción de la emisión de GEI. Vale comentar que la mayoría de los Institutos de Viviendas Provinciales argentinos son ajenos o rozan tangencialmente con esta temática. La huella de carbono en la edificación argentina es una de las más altas del mundo. En la etapa operativa de la edificación (en servicio activo), la intensidad energética de los edificios no es inferior a 350 kWh/m²/año, principalmente en los emprendimientos sociales financiados a través del FONAVI desde 1972. En otros países no supera los 70 kWh/m²/año (Alemania, con un parque edilicio de 60 millones de unidades construidas). Cuando a la intensidad energética operativa argentina se le adiciona el consumo energético inicial generado en la producción, comercialización y uso tecnológico de los materiales de construcción, no sorprende que se duplique el valor de la misma, lo que significa una elevada Huella de Carbono en la tecnología de la construcción. En algunas provincias argentinas

se han iniciado algunas acciones relacionadas con la eficiencia energética (operativa) en la edificación, pero no la descarbonización de la misma. Existen algunas acciones pioneras en las ciudades de Rosario, Santa Fe y Tucumán, y en la Provincia de Buenos Aires, con modificaciones de sus reglamentaciones técnicas municipales.

El objetivo ambiental en el mercado de la Edificación Arquitectónica no se encuentra todavía incorporado en la agenda oficial de Argentina, debido a que no se considera a los materiales de construcción en su ciclo de vida completo. Los objetivos propuestos por el Estado Argentino están proyectados a ser alcanzados recién en el 2050 (Oğuz, S., 2024), cuando es necesaria su implementación en la brevedad posible.

Una conclusión definitiva en la presente no es posible, pues Argentina no ha iniciado todavía un proceso de descarbonizar su cultura, su economía y aún menos la tecnología de la construcción de su edificación. De hacerlo, redundaría en una mejorar la calidad de vida de la población.

Referencias bibliográficas

- Abellan. Alicia, (11/10/2023). *Los disruptores endocrinos: ¿qué son y cómo nos afectan?..* www.isglobal.org/es/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/los-disruptores-endocrinos-que-son-y-como-nos-afectan-6113487/0?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw9cCyBhBzEiwAJTUWNfpqdm9a3XSSa5gx8YFPYz5dR5gORvQEvyD_usWTYnljUW74-nUp-BoCr-mQQAvD_BwEAF.COM, (2020). www.caf.com/es/temas/o/observatorio-de-movilidad-urbana/ciudades/ciudad-de-mexico/#:~:text=La%20Zona%20Metropolitana%20de%20la,densidad%20promedio%20de%2066%2C71
- Alcolea, Alejandro, (05/05/2024). *Estamos reforestando Europa con árboles que no llegarán al 2100. Si no los matan las plagas, lo hará el cambio climático.* www.xataka.com/ecologia-y-naturaleza/estamos-reforestando-europa-arboles-que-no-llegaran-al-2100-no-matan-plagas-hara-cambio-climatico
- American University, (2024). *What is Carbon Removal?* www.american.edu/sis/centers/carbon-removal/what-it-is.cfm#:~:text=Carbon%20removal%20is%20the%20process,for%20cutting%20greenhouse%20gas%20emissions
- Architecture 2030, (2023). *Why the built environment?.* Disponible en www.architecture2030.org/why-the-built-environment/
- Banco Mundial, (03/04/2023). *Urban Development.* www.bancomundial.org/es/topic/urbandevlopment/overview#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20alrededor%20del,10%20personas%20vivir%2C%20A%20en%20ciudades
- Baumann, Felix, (15/05/2024). *Klimawandel: Filtern von CO2 aus der Luft ist keine effektive Methode.* www.basichinking.de/blog/2024/05/15/entfernung-von-treibhausgasen/
- BFFP - BreakFreeFromPlastic (30/04/2024.). *INC-4 negotiating countries fail to respond to the magnitude of the plastics crisis.* Www.Breakfreefromplastic.Org/2024/04/30/Inc-4-Negotiating-Countries-Fail-To-Respond-To-The-Magnitude-Of-The-Plastics-Crisis/
- Burgos, Matthew. (27/05/2024). *Cambridge researchers discover the world's first process to produce zero-emissions cement.* www.designboom.com/technology/cambridge-

- university-researchers-low-emission-concrete-recycled-cement-05-27-2024/?utm_source=designboom+daily+-+sunday+edition&utm_medium=email&utm_campaign=cambridge+researchers+discover+the+world%E2%80%99s+first+process+to+produce+zero-emissions+cement
- Campetella, Enzo, (22/01/2024). *Pronóstico: ¿cómo evolucionará en 2024 la concentración atmosférica global de dióxido de carbono?*. www.meteored.com.ar/noticias/actualidad/pronostico-como-evolucionara-en-2024-la-concentracion-atmosferica-global-de-dioxido-de-carbono.html
- CINARK - Center for Industriel Arkitektur, (2022) *The Construction Material Pyramid*. <https://materialepyramiden.dk/>
- Churkina, Galina et al. (27/01/2020). *Buildings as a global carbon sink*. Nature, Vol. 3. www.nature.com/articles/s41893-019-0462-4
- Clemente, Joaquim, (15/06/2023). *Récord de dióxido de carbono en la atmósfera: 424 ppm, el mayor nivel en tres millones de años*. www.lavanguardia.com/natural/20230615/9039764/record-dioxido-carbono-atmosfera-420-ppm-nivel-mas-alto-3-millones-anos.html
- Climaterra (02/12/2021). *Las cantidades de materiales que necesita el capitalismo son asombrosas*. www.climaterra.org/post/las-cantidades-de-materiales-que-necesita-el-capitalismo-son-asombrosas
- Climaterra.Org, (2022). www.climaterra.org/post/vaclav-smil-la-descarbonización-rápida-es-una-fantasia
- Climatechangetracker.Org, (2024). <https://climatechangetracker.org/igcc>
- Climeworks, (08/05/2024). *Climeworks switches on world's largest direct air capture plant*. <https://climeworks.com/press-release/climeworks-switches-on-worlds-largest-direct-air-capture-plant-mammoth>
- CAF - Corporación Andina De Fomento (2020). Ciudad de México. www.caf.com/es/temas/o/observatorio-de-movilidad-urbana/ciudades/ciudad-de-mexico/
- Europapress.Es, (2016). www.europapress.es/economia/noticia-comunicado-ciudad-economica-rey-abdala-lanza-fundacion-mar-rojo-20160122185806.html
- Cornwall, Warren. (22/05/2024). *New research shows how more trees could cut ER visits in heatwaves*. www.anthropocenemagazine.org/2024/05/new-research-shows-how-more-trees-could-cut-er-visits-in-heatwaves/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=new-research-shows-how-more-trees-could-cut-er-visits-in-heatwaves
- De Diego, Mariela. (04/08/2022). *Cambio climático: ¿rumbo a la extinción humana?* www.meteored.com.ar/noticias/actualidad/cambio-climatico-rumbo-a-la-extincion-humana.html
- Designboom, (30/04/2024). *The (Other) Line: an AI-generated antithetical counterpart to NEOM's mirrored city*. www.designboom.com/art/ai-generated-the-other-line-subversive-counterpart-neom-mirrored-city-04-30-2024/?utm_source=designboom+daily&utm_medium=email&utm_campaign=THE+%28OTHER%29+LINE%3A+an+AI-generated+antithetical+counterpart+to+NEOM%27s+mirrored+city
- Elhacham, Emily. (09/12/2020). *Global human-made mass exceeds all living biomass*. Nature Vol. 588. www.nature.com/articles/s41586-020-3010-5

- Expok News (23/05/2024). *Hallan microplásticos en todos los testículos humanos: Estudio*. www.expoknews.com/hallan-microplasticos-en-todos-los-testiculos-humanos-estudio/; (23/05/2024)
- México experimentará las mayores temperaturas de su historia. www.expoknews.com/mexico-experimentara-las-mayores-temperaturas-de-su-historia/; (10/05/2024). Rompemos récord... ¡en los niveles de CO₂ en la atmósfera!. www.expoknews.com/rompemos-record-en-los-niveles-de-co2-en-la-atmosfera/
- France 24, (06/06/2024). *El caos climático costaría al menos 38.000 millones de dólares al año de aquí a 2050*. www.france24.com/es/minuto-a-minuto/20240605-el-mundo-lleva-una-c3%B1o-batiendo-r%C3%A9cord-de-calor-y-guterres-pide-acci%C3%B3n-contras-energ%C3%ADas-f%C3%B3siles
- Forestal Maderero, (26/07/2022). *Prueba de fuego: CLT permanece intacto después de incendio en una oficina*. www.forestalmaderero.com/articulos/item/prueba-de-fuego-clt-permanece-intacto-despues-de-incendio-en-una-oficina.html
- Gascón, Marta, (2021). *n* www.20minutos.es/noticia/4540150/0/the-line-la-futurista-ciudad-sostenible-sin-calles-ni-coches-que-quiere-construir-el-principe-de-arabia-saudita/
- Gei. Novapet. (2020). <https://novapet.com/noticias/examen-de-la-huella-de-carbono-basado-en-el-analisis-del-ciclo-de-vida-de-un-material/>
- IEA, (2023). www.iea.org/commentaries/unlocking-the-potential-of-direct-air-capture-is-scaling-up-through-carbon-markets-possible
- Guerrero, Teresa. (06/06/2024). *El calentamiento global causado por el hombre alcanza su máximo histórico..* www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2024/06/06/6660696ee85ece71498b4588.html
- GPNSB-WORLD BANK - *Global Program On Nature-Based Solutions, (2022). Embracing Nature to Strengthen Climate Resilience*. <https://naturebasedsolutions.org/projects>
- Goaarchitecture, (2020), www.goaarchitecture.com/projects/buildings-as-a-global-carbon-sink
- Holcim Deutschland, (2024). *Vom Klimagas Zum Rohstoff*. Disponible en <https://carbon2business.de/carbon2business/vom-klimagas-zum-rohstoff>
- Heinrich-Böll-Stiftung., (13/10/2023). *Cambio climático y crisis del plástico: no frena, si no acelera*. <https://sv.boell.org/es/2023/10/13/cambio-climatico-y-crisis-del-plastico-no-frena-si-no-acelera>
- Hillsdon, Mark, (24/06/2024). *Heavy lift required to solve cement's carbon conundrum*. www.reuters.com/sustainability/decarbonizing-industries/heavy-lift-required-solve-cements-carbon-conundrum-2024-06-24/
- Kraljevich, Felipe. (18/06/2021). *Hormigón CO2-SUICOM: Un hormigón carbono negativo para las edificaciones del futuro*. <https://hormigonaldia.ich.cl/smartconcrete/hormigon-co2-suicom-un-hormigon-carbono-negativo-para-las-edificaciones-del-futuro/>
- ILAPH – Instituto latinoamericano Passivhaus, (31/08/2020). *Conferencia de Juan Manuel Vázquez: El Impacto de la Construcción*. <https://passivhaus.lat/juan-manuel-vazquez-el-impacto-de-la-construccion/>
- INTI – Instituto Nacional de Tecnología Industrial, (08/08/2023). *Desarrollan los primeros paneles de madera contralaminada en la Argentina*. www.argentina.gob.ar/noticias/desarrollan-los-primeros-paneles-de-madera-contralaminada-en-la-argentina

- IVALSA-CNR - Consiglio nazionale delle ricerche (23/10.2007). *La casa in legno di sette piani resiste a un sisma devastante*. <https://www.cnr.it/it/comunicato-stampa/4640/la-casa-in-legno-di-sette-piani-resiste-a-un-sisma-devastante#:~:text=La%20casa%20di%20legno%20di,per%20le%20opere%20civili%3A%20la> ; www.youtube.com/watch?v=cYE9J9QCAw4
- Jacobo Guillermo J., (28/12/2022). Tecnología de la construcción ambientalmente consciente para el siglo XXI. *Revista Cuaderno N° 175*. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi175.8593>
- Jaynes, Cristen H., (09/05/2024). *World's Largest CO2 Removal Plant Opens in Iceland*. <https://www.ecowatch.com/co2-removal-climeworks-iceland.html>;
- Jones, Whitney. (10/04/2024). *The Landscape of Carbon Dioxide Removal and US Policies to Scale Solutions*. <https://rhg.com/research/carbon-dioxide-removal-us-policy/>
- Kaec.Net, (2024). www.kaec.net/about/
- Kemp, Luke et al. (01/08/2022) *Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios*.. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>
- Klimakollaps, (2024). *Klima-Kollaps-Café*. Disponible en www.klimakollaps.org/angebot/klimakollaps-cafe
- Li, Dunzhu et al. (19/10/2020). *Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation*.. Disponible en www.nature.com/articles/s43016-020-00171-y
- McKinsey & Company, (18/10/2023). *Perspectiva energética global*. 2023. www.mckinsey.com/locations/south-america/latam/crecimiento-collection/perspectiva-energetica-global-2023/es-CL
- Marín, Rossana, (23/05/2024). *El cambio climático tiñe de naranja los ríos de Alaska y amenaza el ecosistema acuático*. www.infobae.com/estados-unidos/2024/05/23/el-cambio-climatico-tine-de-naranja-los-rios-de-alaska-y-amenaza-el-ecosistema-acuatico/
- Mas Azul Planeta, (08/04/2023). *La negociación ONU sobre contaminación de plásticos prosigue en Francia*. www.masazulplaneta.com.ar/2023/04/08/la-negociacion-onu-sobre-contaminacion-de-plasticos-prosigue-en-francia/; (01/05/2023). *Captura y almacenamiento de carbono*. www.masazulplaneta.com.ar/2023/05/01/captura-y-almacenamiento-de-carbono/; (22/02/2023). *Se quema una tonelada de carbón por cada habitante del planeta*. www.masazulplaneta.com.ar/2023/02/22/se-quema-una-tonelada-de-carbon-por-cada-habitante-del-planeta/
- MCC-Berlin, (03/05/2024). *MCC-led research team quantifies the “gap” in carbon removal for the first time*. www.mcc-berlin.net/en/news/information/information-detail/article/mcc-led-research-team-quantifies-the-gap-in-carbon-removal-for-the-first-time.html
- MDR Wissen-News, (07/05/2024). *Flugreisen, Autos, Schokolade: Ein Drittel der TV-und YouTube- Werbung klimaschädlich*.. www.mdr.de/wissen/umwelt-klima/tv-youtubewerbung-ein-drittel-klimaschaedlich-102.html?xing_share=news
- Mitchell, Russ, (05/09/2022). *The energy historian who says rapid decarbonization is a fantasy*. www.latimes.com/business/story/2022-09-05/the-energy-historian-who-says-rapid-decarbonization-is-a-fantasy
- Nheri Tallwood, (2023). *Welcome to NHERI Tall Wood Project*. <http://nheritallwood.mines.edu/index.html>

- NYTimes (20/04/2024). www.nytimes.com/interactive/2024/04/20/upshot/carbon-dioxide-growth.html?auth=login-google1tap&login=google1tap
- Neom, (2022). *What is NEOM?*. www.neom.com/en-us/regions/theline
- Neustark AG, (2024). *Unser Impact*. www.neustark.com/de/unser-impact
- NOAA, (03/06/2022). *Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels*. USA. www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels
- OĞUZ, SELIN, (30/09/2023). *The Most Carbon-Intensive Sectors in the World*. <https://elements.visualcapitalist.com/the-most-carbon-intensive-sectors-in-the-world/> (10/12/2023).
- Global CO2 Emissions Through Time (1950–2022)*. https://decarbonization.visualcapitalist.com/global-co2-emissions-through-time-1950-2022/?utm_source=decarb-channel&utm_medium=email-newsletter&utm_campaign=Decarbonization ;
- ONU - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, (2024). *Población*. Disponible en www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Est%C3%A1%20previsto%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,y%2010.400%20millones%20en%202100.
- Orús, Abigail (13/03/2024). *Emisiones mundiales de CO2 de 1995 a 2023*. <https://es.statista.com/estadisticas/635894/emisiones-mundiales-de-dioxido-de-carbono/>
- Pastor, Javier, (2024). *Construcción-the-line-rascacielos-170-km-arabia-saudi-avanza*. www.xataka.com/otros/construccion-the-line-rascacielos-170-km-arabia-saudi-avanza-nuevo-video-demuestra
- Prego, Carlos, (27/03/2024). *Una megaciudad de 500 millones de habitantes: África tendrá la ciudad más grande del planeta en 2100*. www.xataka.com/magnet/como-africa-esta-cocinando-mayor-megalopolis-planeta-500-millones-personas-a-largo-cinco-paises .
- Proyecto Menos Es Mas*, (2024). www.proyctomenosmas.com/bambuniverso.html
- Treppner, Niklas. (06/05/2024.). *Kollapsologen“ prognostizieren das Ende der Zivilisation*. www.n-tv.de/wissen/Kollapsologen-prognostizieren-das-Ende-der-Zivilisation-article24922625.html?xing_share=news
- Ramanan, (15/09/2023). *Mega-Project The Line: Saudi Arabia's Ambitious Vision*. https://medium.com/@ramananthewriter/mega-project-the-line-saudi-arabias-ambitious-vision-a23f3689df7b#id_token=ey
- Revista Forestal, (04/05/2021). *Tacuarembó tendrá moderna planta de paneles CLT*. www.revistaforestal.uy/paso-y-pasara/tacuarembó-tendrá-la-planta-más-moderna-de-paneles-clt-de-sudamérica
- Roffo, Julieta. (26/05/2024). *Pueblos fantasmas y un mundo envejecido: para 2100 el 97% de los países no podría reemplazar a su propia población*. www.infobae.com/sociedad/2024/05/26/pueblos-fantasma-y-un-mundo-envejecido-para-2100-el-97-de-los-paises-no-podria-reemplazar-a-su-propia-poblacion/
- Rizome, (2020). *This is how we build a better world*. www.rizomeco.com
- Ruttkamp-Bloem, Emma, (18/05/2024). *Un nuevo informe de la UNESCO alerta sobre los riesgos éticos de la Ingeniería Climática*. www.unesco.org/es/articles/cop28-un-nuevo-informe-de-la-unesco-alerta-sobre-los-riesgos-eticos-de-la-ingenieria-climatica
- Sánchez, María, (2020). *CLT y sismo: un caso práctico*. <https://maderayconstruccion.com/clt-y-sismo-un-caso-practico/>

- Yoshioka, Ichiro, (05/08/2013). *New Ecological Concrete that Reduces CO2 Emissions Below Zero Level - New Method for CO2 Capture and Storage*. ScienceDirect, Energy Procedia. Vol. 37. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.530>
- Higgins, Natasha, (04/29/2024). *Olivine: A New Market..*. Disponible en www.seratechcement.com/olivine-a-new-market
- Smith, Sylvia, (23/03/2015). *La increíble ciudad que está construyendo Arabia Saudita en el desierto*. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/03/150321_arabia_saudita_ciudades_amv
- Simpson Strong-Tie, (2023). *Our Research Labs*. www.strongtie.com/about/research-testing-innovation/our-research-labs
- Sosa Troya, María, (11/07/2024). *La población mundial dejará de crecer en la década de los ochenta tras alcanzar los 10.300 millones de personas*. <https://elpais.com/sociedad/2024-07-11/la-poblacion-mundial-dejara-de-crecer-en-la-decada-de-los-ochenta-tras-alcanzar-los-10300-millones-de-personas.html>
- Soto Viñolo, Juan, (2021). <https://lazancadilla.com/2021/10/antoni-gaudi-la-originalidad-es-volver-al-origen/>
- Souza, Eduardo, (05/06/2021). *¿Por qué es necesario entender y preocuparnos por el carbono en la arquitectura?*. www.archdaily.cl/cl/962003/por-que-los-arquitectos-deberiamos-entender-y-preocuparnos-por-el-carbono
- Tallwood Institute, (2023). *Shake-Table Testing*. <https://tallwoodinstitute.org/converging-design-task-4/>
- Taylor-Smith, Kerry, (09/05/2024). *¿Cuánto carbono atmosférico debe eliminarse para cumplir el límite fijado por el Acuerdo de París?*. www.meteored.com.ar/noticias/ciencia/cuanto-carbono-atmosferico-debe-eliminarse-para-cumplir-el-limite-fijado-por-el-acuerdo-de-paris.html
- Transparency-Perkins & Will, (2024). *Why Material Health?*. <https://transparency.perkinswill.com/about>
- TEC, (2024). *El bambú, un recurso sustentable aplicado a la creación de nuevos biomateriales*. Disponible en www.tec.gov.ar/biomateriales-bambu-nota/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR0DY-RMSzbtRnnCz1mXOZPsMO5GZOA9jDQJtQWxnBYP3GrIpDmmZjLXAE_aem_AaRD1slc1BLrPGch4OMMQXCBvPlehGAS1JWz9CSCBgti4faAE5Vg8gaJTC_-oNdSP3UyvOFx4q087GN7Ptz9B5Y9
- Todo Madera, (12/10/2023). *Cómo surgió Novak CLT, la primera fábrica de tableros contralaminados del país*. <https://maderamen.com.ar/todo-madera/2023/10/12/nova-clt-primera-fabrica-de-tableros-contralaminados-del-pais/>
- Uruguay XXI. (20/12/2018). *El primer edificio de tres niveles en madera CLT de Sudamérica se construyó en Uruguay*. www.uruguayxxi.gub.uy/es/noticias/articulo/el-primer-edificio-de-tres-niveles-en-madera-de-latinoamerica-se-construyo-en-uruguay/
- Venditti, Bruno y Parker, Sam, (26/04/2024). *The Carbon Footprint of Major Travel Methods*. www.visualcapitalist.com/the-carbon-footprint-of-major-travel-methods/
- World Bank (10/04/2019). *Nature-based Solutions: a Cost-effective Approach for Disaster Risk and Water Resource Management*. www.worldbank.org/en/topic/disasterriskmanagement/brief/nature-based-solutions-cost-effective-approach-for-disaster-risk-and-water-resource-management

Woodworks. (2021). *Tall Mass Timber*. www.woodworks.org/learn/mass-timber-clt/tall-mass-timber/;

_____ (2024). *Mapping Mass Timber*. www.woodworks.org/resources/mapping-mass-timber/

Zhu, Qiang et al. (26/05/2024). *Computationally guided synthesis of a hierarchical [4[2+3]+6] porous organic 'cage of cages*. <https://doi.org/10.1038/s44160-024-00531-7>

Abstract: The architectural building is materialized with construction materials and technologies, which demand natural resources: industrial production, marketing and in the execution of the building. These stages prior to the commissioning of the building have not been considered in their environmental dimension. Furthermore, in all these stages of pre-use of the building, the intense energy applications required for the transformations of the natural resource are not considered by the users.

Keywords: Environment - Energy - Technology - Construction - Architecture.

Resumo: O edifício arquitetônico materializa-se com materiais e tecnologias de construção, que exigem recursos naturais: produção industrial, comercialização e na execução do edifício. Estas etapas anteriores ao comissionamento do edifício não foram consideradas na sua dimensão ambiental. Além disso, em todas essas etapas de pré-utilização da edificação, as intensas aplicações energéticas necessárias às transformações do recurso natural não são consideradas pelos usuários.

Palavras-chave: Meio Ambiente - Energia - Tecnologia - Construção - Arquitetura.

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]
