

Prototipo de mobiliario impreso en 3D con incorporación de relaves mineros.
Prototype 3D printed furniture incorporating mining tailings.
Autores / authors: Claudia Eugenin, Estefanía Loyola, Cristian Muñoz, Iván Navarrete and T2CM.
© Cristian Muñoz.



EL LUGAR DEL MATERIAL

THE PLACE OF THE MATERIAL

CRISTIAN MUÑOZ DÍAZ

Universidad de Chile
Departamento de Arquitectura de la
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Santiago, Chile
cristianmd@uchile.cl

PAULA ORTA CAMUS

Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Arquitectura
Santiago, Chile
porta@uc.cl

RESUMEN La ONU prevé que para el 2060, el uso de recursos primarios se duplicará, y que el acero y el cemento serán los principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero. En ese contexto de agotamiento y sobreconsumo planetario, definir el lugar del material —es decir, dónde y cuánto colocar— como parte del proceso de diseño y fabricación del entorno construido cobra una nueva y urgente relevancia. Este ensayo discute cuál es el lugar del material, específicamente el del hormigón —como uno de los materiales más masificados y contaminantes— a partir de dos perspectivas históricas, la formal y la económica; y una perspectiva futura, la ecológica. Mientras las dos primeras han dominado durante el último siglo las decisiones de diseño y la conformación de lo que conocemos como “industria de la construcción”, el inminente colapso ambiental nos exige repensar la relación entre técnica, material y diseño a través de la incorporación de la variable ecológica como clave para responder a esa pregunta inicial.

ABSTRACT The UN predicts that by 2060, the use of primary resources will double, and that steel and cement will bear the most responsibility for greenhouse gas emissions. In this context of planetary depletion and overconsumption, defining the place of the material—that is, where and how much to allocate—as part of the design and manufacturing process of the built environment takes on a new and urgent relevance. This essay discusses the place of the material, specifically that of concrete—as one of the most widespread and polluting materials—from two historical perspectives, the formal and the economic; and a future perspective, the ecological one. Over the last century, while the first two have dominated design decisions and the formation of what we know as the ‘construction industry’, the imminent collapse of the environment compels us to rethink the relationship between technique, material, and design through the incorporation of the ecological variable as a key to answering that initial question.

PALABRAS CLAVE

ecología
material
tecnología
hormigón
industria 4.0

KEYWORDS

ecology
material
technology
concrete
industry 4.0

¿CUÁL ES EL LUGAR DEL MATERIAL?

Eugène Viollet-le-Duc sostenía, alrededor de 1870, que las estructuras¹ debían pensarse de tal manera que no sumaran más partes ni de mayor tamaño que el estrictamente necesario para llevar a cabo su tarea (Hearn, 1990). Esta frase resume su pionero trabajo experimental y teórico sobre diseño estructural, estableciendo la necesidad de una aproximación racional en este ámbito.² Aunque años más tarde Louis Sullivan transformaría dicha noción en la ubicua sentencia de que “la forma sigue a la función” (1896), fue Viollet-le-Duc quien introdujo por primera vez el principio de la economía de los medios en el ámbito del diseño estructural, declarándolo inseparable del deber de la búsqueda de la belleza. Esta visión temprana de la cuestión estructural como un problema ético que combina aspectos formales y funcionales cristalizó más tarde en los ideales modernistas que guiaron gran parte de la producción arquitectónica durante el siglo xx. Sin embargo, con el desarrollo del modelo fordista de producción en serie y taylorista de eficiencia, con los avances técnicos en materiales como el acero y el hormigón, y con los procesos de reconstrucción de las dos posguerras y las dinámicas de expansión y densificación urbana de los cincuenta y sesenta, el enfoque se desplazó de la eficiencia y el uso racional del material hacia la eficiencia en los tiempos y costos de construcción, es decir, hacia un problema fundamentalmente económico.

Desde una perspectiva formal, propiedades tangibles como estabilidad, resistencia, durabilidad, estética y utilidad han sido predominantes. En tanto, desde un punto de vista económico, el material se ha transformado en una mercancía que forma parte de una precisa ecuación financiera centrada en la eficiencia y la rentabilidad. Ambas perspectivas son fiel reflejo del sistema socioeconómico global, sustentado en un extractivismo intensivo anclado en la creencia de la inagotabilidad de los recursos del planeta, o bien

WHAT IS THE PLACE OF THE MATERIAL?

Around 1870, Eugène Viollet-le-Duc argued that structures¹ should be thought of in a way that they do not add more parts or larger components than strictly necessary to perform their task (Hearn, 1990). This phrase summarizes his pioneering experimental and theoretical work on structural design, establishing the need for a rational approach in this field.² Although years later Louis Sullivan would transform this notion into the ubiquitous statement ‘form follows function’ (1896), it was Viollet-le-Duc who first introduced the principle of the economy of means in the field of structural design, declaring it inseparable from the duty of the pursuit of beauty. This early vision of the structural question as an ethical problem that combines formal and functional aspects later crystallized in the modernist ideals that guided much of the architectural production during the 20th century. However, with the development of Fordist models of mass production and Taylorist models of efficiency, with technical advances in materials such as steel and concrete, and with the reconstruction processes of the two post-war years and the dynamics of urban expansion and densification in the 1950s and 1960s, the focus shifted from efficiency and rational use of material to efficiency in construction times and costs, that is, to a fundamentally economic problem.

From a formal perspective, tangible properties such as stability, strength, durability, aesthetics, and utility have been predominant. Meanwhile, from an economic point of view, the material has been transformed into a commodity that is part of a precise financial equation focused on efficiency and profitability. Both perspectives are a faithful reflection of the global socioeconomic system, built upon intensive extractivism anchored in the belief of the inexhaustibility of the resources of the planet, or

¹ Viollet-le-Duc señalaba lo siguiente: “No puedo indicarte cuáles son las reglas por las que se rige la forma, ya que es propio de cada forma adaptarse a todas las exigencias de la estructura; dame una estructura y encontraré las formas que naturalmente resultan de ella, pero si cambias esa estructura, debo cambiar las formas”

(como se citó en Forty, 2004, p. 283–284).

² Tal fue la relevancia histórica del trabajo de Viollet-le-Duc, que en 2019 los académicos Aleda Rueda y Pablo Cruz realizaron un análisis de elementos finitos sobre uno de sus diseños para evaluar su comportamiento estructural, concluyendo que sería óptimo y eficiente.

¹ Viollet-le-Duc pointed out the following: “I cannot give you the rules by which the form is governed, inasmuch as it is of the very nature of that form to adapt itself to all the requirements of the structure; give me a structure, and I will find you the forms that naturally result from it, but if you change that structure, I must change the forms” (as

cited in Forty, 2004, p. 283–284).

² Such was the historical relevance of the work of Viollet-le-Duc that in 2019 academics Aleda Rueda and Pablo Cruz carried out a finite element analysis on one of his designs to evaluate its structural behavior, concluding that it would be optimal and efficient.

en la confianza en la capacidad de la tecnología de reemplazarlos por otros igualmente efectivos.

Entonces, ¿cuál es el lugar del material en la arquitectura actual? Responder esta pregunta implica no sólo una reflexión sobre la posición (¿dónde?) y la cantidad (¿cuánto?) del material necesario para ejecutar un diseño, sino también definir desde qué perspectivas se responden dichas interrogantes. Desde fines del siglo XIX, esa respuesta se dio desde un pragmatismo —primero ilustrado y luego moderno— que fijó a la eficiencia, la rentabilidad, la resistencia y la estética como las principales variables del problema, restringiendo el debate sobre el lugar del material a sólo dos dimensiones: la formal y la económica.

Sin embargo, el inminente colapso medioambiental provocado por la acción humana nos exige, por una parte, la revisión crítica de ambas perspectivas y, por otra, la incorporación de la ecología como una tercera —e ineludible— dimensión. Según Latour y Schultz, esta última sería aquella que “ha emprendido una exploración general de las condiciones de vida que fueron destruidas por la obsesión de (y sólo de) la producción” (2023, p. 17). La urgencia de la incorporación de esta dimensión es evidente si consideramos que se “prevé que el uso de recursos primarios se duplique de aquí a 2060, y que el acero, el hormigón y el cemento sean los principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero” (ONU, 2022). Actualmente, el cemento y el hormigón contribuyen con el ocho por ciento de las emisiones de CO₂ a nivel mundial (Lehne & Preston, 2018). En Chile, el 68 por ciento de los muros construidos en edificios durante 2022 fueron ejecutados en hormigón armado (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, 2022). En este escenario de sobreconsumo, degradación y agotamiento del ecosistema planetario, la pregunta sobre el lugar del material, en particular el del hormigón, se convierte en un asunto crucial.

LA PERSPECTIVA FORMAL

La búsqueda formal ha sido acometida desde variables mecánicas —como el diseño de sección de elementos estructurales—, de durabilidad —como protección y revestimiento—, estéticas —como peso visual, orden y composición— o de uso —como cerramiento, estructura o complemento—. Ante todas ellas, el resultado final usualmente depende de la técnica disponible para su propia materialización. Para Adolf Loos, esto era evidente en la fricción entre la naturaleza particular del hormigón y su utilización bajo una técnica que no le era propia:

in the confidence in the capability of technology to replace them with other equally effective ones.

Then, what is the place of the material in current architecture? Answering this question implies not only a reflection on the position (where?) and the quantity (how much?) of the material necessary to implement a design, but also defining from which perspectives these questions are answered. Since the end of the 19th century, this response was given from a pragmatism—first enlightened and then modern—that set efficiency, profitability, resistance, and aesthetics as the main variables of the problem, restricting the debate on the place of the material to only two dimensions: the formal and the economic.

However, the imminent environmental collapse caused by human action demands of us, on the one hand, to critically review both perspectives and, on the other, the incorporation of ecology as a third—and unavoidable—dimension. According to Latour and Schultz, the latter would be the one that “has undertaken a general exploration of the conditions of life that were destroyed by the obsession with (and only with) production” (2023, p. 17). The urgency for incorporating this dimension is evident if we consider that “the use of primary resources is expected to double between now and 2060, and that steel, concrete and cement will bear the main responsibility for greenhouse gas emissions” (UN, 2022). Currently, cement and concrete contribute eight percent of global CO₂ emissions (Lehne & Preston, 2018). In Chile, 68 percent of the walls built in buildings during 2022 were made of reinforced concrete (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, 2022). In this scenario of overconsumption, degradation, and depletion of the planetary ecosystem, the question about the place of the material, particularly concrete, becomes a crucial issue.

THE FORMAL PERSPECTIVE

Formal exploration has been undertaken from mechanical variables—such as the section design of structural elements—, of durability—such as protection and coating—, aesthetic variables—such as visual weight, order, and composition—, or utilitarian—such as enclosure, structure, or complement. Given all of them, the final result usually depends on the available technique for its own materialization. For Adolf Loos, this was evident in the friction between the particular nature of concrete and its use under a technique not

“es un magnífico material en sí mismo, pero lo único que pensamos al utilizarlo es lo mismo que se viene a la mente con cualquier otro nuevo material, es ¿qué puede ser imitado con él?” (1898/2019, p. 121). Pero pensar el hormigón como si fuese piedra, como un objeto masivo del cual sustraer material para darle forma, implica desestimar que en su estado fluido este es agregado y que, por ende, su agencia es distinta. Como un antídoto a esa suerte de formalismo habilitado tecnológicamente, la perspectiva humanista supone que la comprensión de la agencia material nos obligará a actuar de manera autorreflexiva (Vaccari, 2022), reforzando la idea de que la forma está determinada por la comprensión de la naturaleza de los materiales, y poniendo en cuestión que la definición física de los artefactos sea un puro resultado del proceso de definición estético o funcional.

Una perspectiva que anuncia tempranamente la visión humanista de los 2000 la proporciona Eaton Hodgkinson desde su trabajo con el acero. En 1830, Hodgkinson presentó ante la Sociedad filosófica y literaria de Manchester, el documento titulado “Theoretical and Experimental Researches to Ascertain the Strength and Best Forms of Iron Beams” (Investigación teórica y experimental para establecer la resistencia y la forma óptima de las vigas de fundición), avanzando en la teorización respecto de la geometría de las secciones de las piezas de acero en relación con el uso del material (Strike, 2004).³ La década de 1960 fue particularmente productiva en el desarrollo de esta visión debido al impulso de la industria militar durante la Segunda Guerra Mundial y a la reconstrucción en el período de posguerra. Estos mismos avances promovieron no sólo el desarrollo de las técnicas asociadas a los materiales, sino también una confianza en la capacidad de la tecnología como herramienta que determinaría en gran medida la construcción del futuro humano. Robert Le Ricolais, ingeniero hidráulico y profesor de estructuras para arquitectos, cuestionó el lugar del material desde las dinámicas mecánicas de esfuerzos y, con ello, desde una perspectiva energética. Dentro de sus exploraciones destacan los elementos tridimensionales diseñados a flexión, en los que la separación de tracción y compresión de las barras determina el material y su naturaleza formal,

inherent to it: “It is a magnificent material itself, but the only thought about how to apply it, the same thought that comes to mind with every new material, was: what can it be used to imitate?” (1898/2019, p. 121). But to think of concrete as stone, as a massive object from which material can be subtracted to give it shape, implies dismissing that material is added in its fluid state, and that, therefore, its agency is different. As an antidote to that kind of technologically enabled formalism, the humanist perspective assumes that understanding material agency will force us to act in a self-reflexive manner (Vaccari, 2022), reinforcing the idea that form is determined by the understanding of the nature of materials, and calling into question the physical definition of the artifacts as pure result of the aesthetic or functional definition process.

Eaton Hodgkinson provides a perspective that makes an early announcement of the humanist vision of the 2000s through his work with steel. In 1830, Hodgkinson submitted to the Manchester Literary and Philosophical Society a paper entitled ‘Theoretical and Experimental Researches to Ascertain the Strength and Best Forms of Iron Beams’, advancing the theorization in regards to the geometry of the sections of the steel pieces in relation to the use of the material (Strike, 2004).³ The 1960s were particularly productive in the development of this vision due to the boost of the military industry during World War II and the reconstruction in the postwar period. These same advances promoted not only the development of techniques associated with materials, but also confidence in the capability of technology as a tool that would largely determine the construction of the human future. Robert Le Ricolais, hydraulic engineer and structures professor for architects, questioned the place of the material from the mechanical dynamics of stress and, with it, from an energy perspective. Among his explorations, the three-dimensional elements designed to resist flexural tension stand out, in which the traction and compression separation of the bars determine the material and its formal nature, as in the case of the ‘Funicular Polygon of Revolution’, developed between 1960 and 1961. His ambition to

³ A diferencia de lo ocurrido con el acero, y producto de su naturaleza, las primeras aproximaciones al uso eficiente del hormigón respecto a su comportamiento estructural ocurren recién en

1956 con las exploraciones de Pier Luigi Nervi, quien da cuenta, en su libro *Structures*, de la relación entre las dinámicas de fuerza de los elementos y la naturaleza del material.

³ Unlike what happened with steel, and as a result of its nature, only in 1956 did the first approaches to the efficient use of concrete with respect to its structural behavior take

place with the explorations of Pier Luigi Nervi who, in his book *Structures*, reports on the relationship between the force dynamics of the elements and the nature of the material.

como en el caso del “Polígono funicular de revolución”, desarrollado entre 1960 y 1961. Su ambición de lograr la estructura de “cero peso y luz infinita” quedó plasmada en la Conferencia internacional sobre estructuras espaciales en Guildford, 1975 (Motro, 2007), según la cual, para lograr el uso del mínimo de material —es decir, energía— sería imprescindible encontrar la posición exacta de la materia.

En 1964, Simondon propuso una mirada a la relación entre forma y material, según la cual lo “determinante en la adquisición de forma es la distribución de la energía, y la conveniencia mutua de la materia y la forma es relativa a la posibilidad de existencia y a los caracteres de ese sistema energético” (2015, p. 37). Así se define una relación que se rige por las leyes de la naturaleza física de los materiales y desde una variable que es operable ambientalmente: “la materia es lo que vehiculiza esta energía y la forma lo que modula la distribución de esta misma energía. La unidad materia-forma, en el momento de adquisición de forma, está en el régimen energético” (Simondon, 2015, p. 37). Si entendemos dicha energía desde la perspectiva ecológica, será una relación precisa y ajustada de materia-energía la que justifique su uso. Cualquier gasto de materia extra será energía desperdiciada en el sistema; por ende, cualquier desperdicio energético será contrario al uso ecológico de los materiales.

En esta línea, la búsqueda de la maximización de la función con minimización del material empleado es parte de la discusión de la arquitectura: en plena Escola Paulista, João Vilanova Artigas y Carlos Cascardi empleaban el mínimo hormigón necesario para el funcionamiento de la estructura, prácticamente representando las líneas de fuerza y tensión de los elementos (Gallanti, 2022) en la cubierta del edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de São Paulo (1961). En ella, la losa se aligera mediante un sistema de casetones que además permiten el ingreso de luz natural. Su trabajo pionero sentó las bases para una integración más consciente y eficiente del material en el diseño arquitectónico.

Pero han sido las nuevas tecnologías de fabricación, en especial aquellas que dependen de técnicas aditivas como la impresión 3D,⁴ las que han dado una respuesta provisoria

achieve the ‘zero weight and infinite light’ structure was manifested at the International Conference on Space Structures in Guildford, 1975 (Motro, 2007), according to which, to achieve the use of the minimum of material—that is, energy—it would be essential to find the exact position of the matter.

In 1964, Simondon proposed a view of the relation between form and material, wherein the “determinant in form acquisition is the distribution of energy, and the mutual convenience of matter and form is relative to the possibility of existence and to the characteristics of that energy system” (2015, p. 37). This is how a relation that is governed by the laws of the physical nature of materials, and from a variable that is environmentally operable is defined: “matter is what conveys this energy, and form is what modulates the distribution of this same energy. The unity of matter and form, at the moment of form acquisition, is in the energetic regime” (Simondon, 2015, p. 37). If we understand this energy from the ecological perspective, it will be a precise and adjusted matter-energy relation that justifies its use. Any extra matter expenditure will be wasted energy in the system; therefore, any energy waste will be contrary to the ecological use of materials.

In this line, the search for the maximization of function minimizing the material used is part of the architectural discussion: in the heart of the Escola Paulista, João Vilanova Artigas and Carlos Cascardi used the minimum concrete necessary for the functioning of the structure, practically representing the lines of force and tension of the elements (Gallanti, 2022) on the roof of the building of the Faculty of Architecture and Urban Planning of the University of São Paulo (1961). In it, the slab is lightened by a system of coffers that also allow the entry of natural light. His pioneering work laid the foundation for a more conscious and efficient integration of material in architectural design.

Nevertheless, it has been the new manufacturing technologies, especially those that depend on additive techniques such as 3D printing,⁴ that have provided a provisional answer to the initial question of how to

⁴ La definición estándar para “tecnología de manufactura aditiva”, según la norma ASTM del 2013 es la siguiente: “un proceso de unión de materiales para fabricar objetos a partir de un

modelo (digital) de información 3D (...) mediante la deposición de material a través de un cabezal, boquilla u otra tecnología” (American Society for Testing and Materials, 2013).

⁴ The standard definition for ‘additive manufacturing technology’, according to the 2013 ASTM standard, is as follows: “a process of joining materials to make objects from

3D model data (...) through the deposition of a material using a print head, nozzle, or another printer technology” (American Society for Testing and Materials, 2013).

a la pregunta inicial de cómo disponer el material donde efectivamente se requiere en la construcción de edificaciones. Ellas permiten su disposición eficiente, minimizando desechos y maximizando el trabajo mecánico de las piezas construidas. No obstante, desde su aparición, estas tecnologías se han aplicado mayormente con un enfoque centrado en el resultado estético del elemento construido, reduciéndolo así a un objeto físico inerte y atemporal, que limita la posibilidad de asumir su propia agencia material o el reconocimiento de sus propiedades, posibilidades, y los procesos asociados a ella. Aunque los aspectos formales seguirán siendo relevantes, el contexto ambiental nos obligará a fijar nuevos modos de valoración del objeto construido.

LA PERSPECTIVA ECONÓMICA

Desde las primeras civilizaciones, el ser humano ha hecho alarde de su capacidad de producir y consumir, amparado en argumentos de poder —político o económico—, capacidad técnica o simplemente de mercado. Para Lewis Mumford (2017), el exceso y la ostentación son parte de lo que llamó “la tarea de consumir”, y que definió como el impulso humano que valida el consumo desmedido en tanto medio de satisfacción, contrario al esfuerzo activo y, muchas veces doloroso, de la sobriedad en el uso de recursos.

En esta línea, la industria de la construcción es parte tanto del engranaje del actual mercado de capitales como de dicha “tarea de consumir”, por lo cual depende directamente de la maximización de los resultados (rentabilidad) y la minimización de los esfuerzos (costos). La simplificación de los métodos de evaluación del uso del material en la industria, al priorizar la reducción de costos, consumos y tiempos de construcción por sobre otros parámetros, ha llevado a la normalización de la sobreutilización de material como una consecuencia “necesaria” de la esquematización de la forma en lugar de su optimización.

Hasta ahora, la industria de la construcción, en particular aquella del hormigón, es un ejemplo paradigmático de esta visión predominantemente económica. Esto se evidencia en su constante crecimiento, pese a que diversos estudios muestran su bajo nivel de productividad y eficiencia como un problema sistemático,⁵ tal como

⁵ Esto fue propio del gran auge de este material, que, según detalla Adrian Forty (2012), originalmente se sustentó en mano de obra no calificada

ni perteneciente a gremios o sindicatos y de bajo costo, lo que permitió la rápida masificación del sistema constructivo.

arrange the material in the construction of buildings, where it is actually required. These technologies allow an efficient arrangement, minimizing waste and maximizing the mechanical work of the built parts. However, since their appearance, these technologies have mostly been applied with an approach focused on the aesthetic result of the built element, thus reducing it to an inert and timeless physical object, which limits the possibility of assuming its own material agency or the recognition of its properties, possibilities, and the processes associated with it. Although the formal aspects will continue to be relevant, the environmental context will force us to establish new modes of valuation of the built object.

THE ECONOMIC PERSPECTIVE

Since the first civilizations, human beings have boasted about their ability to produce and consume, supported by arguments of power—political or economic—and technical capability, or simply the capacity of the market. For Lewis Mumford (2017), excess and ostentation are part of what he called ‘the task of consuming’ and which he defined as the human impulse that validates excessive consumption as a means of satisfaction contrary to active effort and, often painful, austerity in the use of resources.

In this sense, the construction industry is part of both, the workings of the current capital market and of this ‘task of consuming’, which is why it depends directly on the maximization of results (profitability) and the minimization of efforts (costs). The simplification of evaluating methods of the use of material in the industry, by prioritizing the reduction of costs, consumption, and construction times over other parameters, has led to the normalization of the overuse of material as a ‘necessary’ consequence of the schematization of form instead of its optimization.

Until now, the construction industry, especially that of concrete, is a paradigmatic example of this predominantly economic vision. This is evident in its constant growth, despite the fact that various studies show its low level of productivity and efficiency as a systematic problem,⁵ as evidenced by

⁵ This was characteristic of the great surge of this material, which, as detailed by Adrian Forty (2012), was originally based on low-cost, unskilled

labor not belonging to guilds or unions, which allowed the rapid massification of the construction system.

evidencian Hasan et al. (2018) a través de una revisión de treinta años de investigaciones en el mundo.⁶ Ante esto, la industrialización del sector desde una perspectiva ecológica se hace urgente, traspasando métodos enquistados en las costumbres de la construcción, pero escasamente eficientes en términos energéticos y materiales, hacia procesos de mayor eficiencia, eficacia y calidad. Para esto, se requiere un cambio profundo que abarque desde la normativa existente hasta las tecnologías involucradas (Strike, 2004), entendiendo que todo cambio tecnológico es también un cambio cultural que requiere aceptación del entorno funcional y de uso, así como normativo y político.

Ante esta realidad sustentada en criterios de eficiencia y rentabilidad, Juan Manuel Heredia interpreta el concepto de “concretización” planteado por Simondon, defendiendo que el desarrollo de los objetos técnicos “reside en la realidad técnica de la misma y no en factores extrínsecos de tipo social y económico” (2022, p. 104). En este sentido, son la naturaleza del objeto, sus materiales y sus procesos de fabricación los que revelan su forma y funcionamiento y no los factores del entorno que puede o no utilizarlos. Con ello, si bien se reconoce que el valor económico es relevante para forzar la eficiencia en el uso de los materiales, el proceso de concretización y evolución tecnológica es imperativamente de orden técnico. Esta idea pone en cuestión todo el modo de producción capitalista del siglo xx, basado en la estandarización como condición propia de la búsqueda de rentabilidad que favorece el trabajo en cadena productiva, limitando, por consiguiente, el desarrollo tecnológico y poniendo de manifiesto que no es la técnica la que fomenta dicha estandarización. Sumando a esto, Diego Lawner (2022) desarrolla la idea de estandarización como un artefacto operador de posibilidades que tiene propiedades intencionales y normativas que son locus de autoridad y poder, y que factorizan intereses y dominios. Así, los estándares son piezas constitutivas de nuestro mundo artificial que deben ser desnaturalizadas e indagadas para tener una idea más acabada de las prácticas humanas y, con ello, manejar de mejor forma sus restricciones para permitir oportunidades de

Hasan et al. (2018) through a review of thirty years of research throughout the world.⁶ Given this, the industrialization of the sector from an ecological perspective becomes urgent, transferring methods entrenched in construction practices, but barely efficient in terms of energy and materials, towards processes of greater efficiency, effectiveness, and quality. For this, a profound change is required that ranges from the existing regulations to the technologies involved (Strike, 2004), understanding that all technological change is also a cultural change that requires acceptance of the functional and use environment, as well as that of normative and political contexts.

Confronted with this reality grounded in efficiency and profitability criteria, Juan Manuel Heredia interprets the concept of ‘concretization’ proposed by Simondon, defending that the development of technical objects “resides in its technical reality and not in extrinsic social and economic factors” (2022, p. 104). In this sense, it is the nature of the object, its materials, and its manufacturing processes that reveal its form and function and not the factors of the environment that may or may not use them. With this, although it is recognized that economic value is relevant to force efficiency in the use of materials, the process of concretization and technological evolution is imperatively of a technical nature. This idea calls into question the entire capitalist mode of production of the 20th century, based on standardization as a condition of the search for profitability that favors work in the production chain, consequently, limiting technological development and making evident that it is not the technique that fosters such standardization. In addition to this, Diego Lawner (2022) develops the idea of standardization as an artifact that operates possibilities that have intentional and normative properties that are a locus of authority and power, and that factorize interests and domains. Thus, standards are constituent parts of our artificial world that must be denatured and investigated to have a more complete idea of human practices and, with this, better manage its restrictions to allow opportunities for

⁶ A nivel local, el diagnóstico del programa Construye 2025 declara que “en Chile la modularización, industrialización y prefabricación es baja” (Construye 2025 & CORFO, 2016, p. 9), extendiendo los tiempos

de construcción, aumentando los costos y, con ello, impidiendo entregar una respuesta adecuada en consonancia con los estudios y recomendaciones internacionales.

⁶ At the local level, the diagnosis of the program Construye 2025 declares that “in Chile, modularization, industrialization, and prefabrication is low” (Construye 2025 & CORFO,

2016, p. 9), extending construction times, increasing costs, and, with it, preventing the delivery of an adequate response in line with international studies and recommendations.

perfeccionamiento que modifiquen los intereses y dominios que ellos defienden.

En el caso del hormigón, la estandarización ha quedado referida a los procesos de producción que determinan la forma de los elementos construidos y cómo se utiliza en ellos el material. Esto se ve fomentado por el bajo costo del hormigón en comparación con otros materiales como el acero, cuyo alto valor forzó a la optimización temprana en la producción de sus partes y piezas. En este sentido, el hormigón es utilizado en gran volumen no sólo por su relativa baja capacidad mecánica, sino también por su bajo costo, lo que a su vez determina la instalación de un desincentivo a la innovación en el uso del material por parte de la industria.

Para superar la estandarización de la forma del elemento determinada por el mercado y liberar al material de la posición y el uso que este le da, se requieren tecnologías que logren hacer factibles procesos de producción capaces de responder a una nueva industrialización. Así, será necesario definir una nueva lógica de producción que supere la estandarización como vía y ponga en relación la economía con la ecología, con esta última como eje central.

LA PERSPECTIVA ECOLÓGICA

En este escenario, el reto para los actores del diseño y, particularmente, de la arquitectura, es reconsiderar el "lugar" del material, promoviendo una visión integral que considere las implicancias físicas, económicas y, sobre todo, ambientales de las decisiones materiales. Ezema (2019) realiza un acabado estudio de los factores relevantes del proceso de construcción para la evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida de los edificios, destacando la urgente necesidad de establecer nuevas técnicas de fabricación que permitan un uso eficiente de materiales que, por naturaleza, son altamente contaminantes. Esta visión no es nueva en la historia de la arquitectura, pues las tradiciones vernáculas han desarrollado naturalmente la eficiencia en el uso de recursos a partir de la dificultad de su producción y disposición. Aunque estas lógicas no son capaces de responder al volumen de la demanda actual de construcción ni a los estándares de industrialización que se requieren de manera urgente, sí constituyen un modelo posible de ser replicado y tecnologizado.

En este sentido, Jaime Fisher cuestiona la búsqueda, propia del siglo xx, de una racionalización de la construcción basada exclusivamente en la eficiencia

improvement that modify the interests and domains that they defend.

In the case of concrete, standardization has been related to the production processes that determine the shape of the built elements and how the material is used in them. This is encouraged by the low cost of concrete compared to other materials such as steel, whose high value forced early optimization in the production of its parts and pieces. In this sense, concrete is used in large volumes not only because of its relative low mechanical capability, but also because of its low cost, which in turn determines the installation of a disincentive to innovation in the use of the material by the industry.

To overcome the standardization of the form of the element determined by the market and to free the material from the position and use that the market gives it, technologies that make production processes feasible and capable of responding to a new industrialization are required. Thus, it will be necessary to define a new production logic that overcomes standardization as a path and relates the economy to ecology, with the latter as the central axis.

THE ECOLOGICAL PERSPECTIVE

In this scenario, the challenge for design actors, particularly from architecture, is to reconsider the 'place' of the material, promoting a comprehensive vision that considers the physical, economic, and, above all, environmental implications of material decisions. Ezema (2019) carries out a thorough study of the relevant factors of the construction process for the evaluation of the environmental impact of the life cycle of buildings, highlighting the urgent need to establish new manufacturing techniques that allow efficient use of materials that, by nature, are highly polluting. This vision is not new in the history of architecture, since vernacular traditions have naturally developed efficiency in the use of resources due to the difficulty of their production and disposal. Although these logics are not capable of responding to the current volume of construction demand or the industrialization standards that are urgently required, they do constitute a model that can be replicated and technologized.

To this end, Jaime Fisher questions the search, typical of the 20th century, for a rationalization of construction exclusively based on efficiency, because this, "although

pues esta, “aunque es necesaria, no es suficiente para la racionalidad [técnica] entendida como uso inteligente o elegante de la razón” (2022b, p. 422). Agrega que “la característica que parece crucial en la racionalidad técnica es el aprendizaje, entendido como una permanente corrección de la práctica a la luz de la ocasional discrepancia entre los objetivos planteados *ex ante* y los resultados obtenidos *ex post*” (Fisher, 2022b, p. 422), invitándonos así a poner en tela de juicio los resultados obtenidos de estos procesos “racionales”, promoviendo el aprendizaje y, con ello, la toma de decisiones.

Para ello, es necesario trazar un camino que se desacople efectivamente de las lógicas productivas del siglo XX, de forma tal que las decisiones materiales en el diseño se orienten hacia un foco ecológico. Esta estrategia discute la noción tradicional del desarrollo tecnológico que iguala la eficiencia energética a la idea de progreso. En este sentido, la eficiencia deberá ser abordada desde múltiples variables, no sólo como energía embebida, sino también en el impacto de su producción, fabricación y uso. Precizando esta noción, Fisher concluye que el “progreso tecnológico ocurre cuando una mejora ingenieril en la eficiencia de un artefacto trae aparejado el incremento en la libertad del agente que lo utiliza, sin reducir la de quienes no lo utilizan” (2022a, p. 413). Resguardar la libertad de quienes no se beneficiarán directamente de una mejora tecnológica constituye ineludiblemente una perspectiva social y ecológica del uso de material.

Es creencia común que el hormigón, dada su naturaleza plástica y masiva, requiere grandes volúmenes para construir elementos con una resistencia adecuada. Pero esta mirada se sustenta, principalmente, en la eficiencia del proceso productivo y no en la eficiencia del uso del material. La simplificación de los procesos constructivos da lugar a elementos de hormigón que no responden eficientemente a las cargas mecánicas internas, resultando en un desperdicio significativo de material, que es cuantificado por Afzal et al. (2020) en un acabado estudio de los métodos de optimización que se han aplicado en procesos de diseño de estructuras y edificios en hormigón armado. Una de sus conclusiones es que la optimización ha estado fuertemente enfocada en reducir costos de producción mediante la mejora de los sistemas estructurales, pero que la posibilidad de reducir el uso de material en los elementos estructurales mediante estas mismas técnicas no ha sido abordada (Afzal et al., 2020). Más aún, considerando que esta optimización del uso del material puede ser alcanzada con el apoyo de las tecnologías de fabricación digital, tal como demuestran García de Soto et al. (2018), quienes concluyen

necessary, is not sufficient for [technical] rationality understood as the intelligent or elegant use of reason” (2022b, p. 422). He adds that “the characteristic that seems crucial in technical rationality is learning, understood as a permanent correction of practice in light of the occasional discrepancy between the objectives set *ex-ante* and the results obtained *ex-post*” (Fisher, 2022b, p. 422), thus inviting us to question the results obtained from these ‘rational’ processes, promoting learning and, with it, decision making.

To this end, it is necessary to chart a path that effectively decouples from the productive logic of the 20th century, so that material decisions in design are oriented towards an ecological focus. This strategy challenges the traditional notion of technological development that equates energy efficiency with the idea of progress. In this sense, efficiency must be addressed from multiple variables, not only as embedded energy, but also in the impact of its production, manufacturing, and use. Specifying this notion, Fisher concludes that “technological progress occurs when an engineering improvement of the efficiency of an artifact brings along an increase in the freedom of the agent who uses it, without reducing that of those who do not use it” (2022a, p. 413). Protecting the freedom of those who will not directly benefit from a technological improvement inevitably constitutes a social and ecological perspective on the use of material.

It is a common belief that concrete, given its plastic and massive nature, is required in large volumes to build elements with adequate resistance. However, this view is based mainly on the efficiency of the production process and not on the efficiency of the use of the material. The simplification of construction processes results in concrete elements that do not efficiently respond to internal mechanical loads, resulting in significant material waste, which is quantified by Afzal et al. (2020) in a thorough study of the optimization methods that have been applied in the design processes of reinforced concrete structures and buildings. One of his conclusions is that optimization has been strongly focused on reducing production costs by improving structural systems, but that the possibility of reducing the use of material in structural elements through these same techniques has not been addressed (Afzal et al., 2020). Furthermore, considering that this optimization of material use can be achieved with the support of digital manufacturing technologies, as demonstrated by García de Soto et al.

que la construcción de elementos con geometrías de sección variable es un 40 por ciento más económica de realizar mediante tecnología CNC que mediante técnicas tradicionales de construcción.

En este sentido, es relevante la experiencia de los investigadores Alireza Bayramvand y Yuxin Lin de la Universidad de Michigan, junto con la arquitecta Mania Aghaei Meibodi, quienes afirman haber logrado reducir en 72 por ciento el material respecto de un sistema tradicional mediante su método de diseño optimizado topológicamente⁷ y fabricado mediante impresión 3D (*Groundbreaking Project at Taubman College Involving Novel 3D Concrete Printing Method*, 2023). Esto plantea cambios fundamentales en el uso del material y en las perspectivas sobre las cuales se define su lugar, su rol, su uso y su pertinencia.

Para ello, será necesario implementar tecnologías que respondan a nuevas lógicas de producción ancladas en un paradigma ecológico que asegure la habitabilidad del planeta desde un sentido material. Esta nueva perspectiva ecológica deberá necesariamente negociar con los ámbitos formales y económicos, redefiniendo los estándares, las reglas y los valores para el diseño y la industria en pos de una sociedad ecológica. La urgencia del momento actual nos exige desarrollar tecnologías que permitan materializar un entorno que responda a las tres perspectivas.

LA TECNOLOGÍA ES LA RESPUESTA. ¿CUÁL ES LA PREGUNTA?

Así titulaba Cedric Price su afamada charla de 1966, provocando a la audiencia a imaginar la posición de la tecnología en el mundo. Con el mismo afán, la pregunta de Price continúa vigente hoy en el debate sobre el material y el rol de la técnica en la transformación irreversible que, a través de ella, se ha hecho del entorno físico. Más tarde, en 1975, el mismo Price promovería, en “Creatividad y tecnología”, el desarrollo de esta última desde la arquitectura: “los arquitectos deben generar tecnologías creativas en su funcionamiento y no simplemente utilizar las existentes como herramientas útiles” (2022, p. 125), invitando a la acción activa y crítica del arquitecto en el desarrollo tecnológico en lugar

(2018), who conclude that the construction of elements with variable section geometries is 40 percent cheaper to carry out using CNC technology than by using traditional construction techniques.

In this sense, the experience of researchers Alireza Bayramvand and Yuxin Lin from the University of Michigan, together with architect Mania Aghaei Meibodi, is relevant. They claim to have managed to reduce the material by 72 percent compared to a traditional system through their method of topologically⁷ optimized design and manufacture using 3D printing (*Groundbreaking Project at Taubman College Involving Novel 3D Concrete Printing Method*, 2023). This raises fundamental changes in the use of the material and in the perspectives on which its place, its role, its use, and its relevance are defined.

To achieve this, it will be necessary to implement technologies that respond to a new production logic anchored in an ecological paradigm that ensures the habitability of the planet from a material standpoint. This new ecological perspective must necessarily negotiate with the formal and economic spheres, redefining the standards, rules, and values for design and industry in pursuit of an ecological society. The emergency of the current moment requires us to develop technologies that allow us to materialize an environment that responds to the three perspectives.

TECHNOLOGY IS THE ANSWER. WHAT IS THE QUESTION?

This is how Cedric Price titled his renowned lecture in 1966, provoking the audience to imagine the position of technology in the world. In a like manner, Price's question continues to be relevant in the debate on the material and the role of the technique in the irreversible transformation that, through it, has been made of the physical environment. Later, in 1975, Price himself would promote, in ‘Creativity and Technology’, the development of the latter from architecture: “architects must generate creative technologies in their function and not simply use existing ones as useful tools” (2022, p. 125), inviting the active and critical action of the architect in technological development,

⁷ La optimización topológica se define como la optimización material ante esfuerzos mecánicos mediante la

distribución de materiales en un espacio de diseño bidimensional o tridimensional (Stoiber & Kromoser, 2021).

⁷ Topological optimization is defined as material optimization in the face of mechanical stress through the

distribution of materials in a two-dimensional or three-dimensional design space (Stoiber & Kromoser, 2021).

de conformarse con el rol de usuario sometido a las decisiones y ofertas de otras disciplinas.

En este contexto, Wiebe E. Bijker (2010) plantea que el interés por la pregunta “¿qué es la tecnología?” es menos relevante que la pregunta técnica “¿cómo hacer tecnología?” o la pregunta política “¿cómo usar la tecnología?” o la pregunta académica “¿cómo estudiar la tecnología?”. Resulta imposible pensar en nuevas oportunidades si, como disciplina, no enfrentamos las preguntas asociadas a las tecnologías para su uso pertinente y formalmente sensato. Por otra parte, y enfrentando el constructivismo social de la tecnología, Winner (1993) establece la importancia de comprender la complejidad propia de toda innovación tecnológica con un desarrollo a través de múltiples focos simultáneos: la técnica no sólo implica su propio desarrollo o la intención de uso, se requiere una validación social y cultural de ella.

Aquí se hace inevitable retomar las palabras de James Strike cuando afirma que “las raíces de las innovaciones en la construcción deben verse en una amplia gama de cuestiones que influyen en la industria de la construcción” (2004, p. 181), es decir, que la tecnología por sí sola —como manifestación cultural— no es capaz de promover los cambios que potencialmente puede lograr, requiriendo un diálogo con otros aspectos culturales. Aún más, a pesar de que “la industria de la construcción ha cambiado en los últimos 200 años, los cambios no han sido rápidos ni bienvenidos. Hay una especie de reticencia a aceptar la innovación” (Strike, 2004, p. 181). Loosemore y Forsythe (2019) refuerzan lo anterior a partir de la gran dificultad de difundir y transmitir los valores de las nuevas tecnologías al entorno social, tanto a inversionistas como a usuarios.

Una de las principales ventajas que puede dar sustento y respaldo a estas nuevas tecnologías es su capacidad de responder efectivamente a los requerimientos de cada usuario, dejando atrás la idea de producción en masa. Esto lo explica Mario Carpo (2005) en su lúcida comparación entre los procesos de producción gráfica estandarizados y de masas (como la imprenta tradicional) con los medios de reproducción digital (como las impresoras láser). Carpo señala que, con los medios digitales, el coste de imprimir una misma página mil veces es idéntico al de imprimir mil páginas diferentes, a diferencia de la imprenta tipográfica, en la que cada dos páginas se necesita una matriz física única, lo que multiplica el coste y el esfuerzo, existiendo rentabilización sólo en grandes volúmenes de impresión. Hague,

instead of conforming to the role of the user subjected to the decisions and offers of other disciplines.

In this context, Wiebe E. Bijker (2010) asserts that the interest in the question ‘What is technology?’ is less relevant than the technical question ‘How to make technology?’ or the political question ‘How to use technology?’ or the academic question ‘how to study technology?’ It is impossible to think of new opportunities if, as a discipline, we do not confront the questions associated with technologies for their relevant and formally sensible use. On the other hand, and facing the social constructivism of technology, Winner (1993) establishes the importance of understanding the complexity of all technological innovation with development through multiple simultaneous foci: technique does not only imply its own development or intention of use, social and cultural validation is also required.

Here, it is inevitable to revisit the words of James Strike when he states that “the roots of innovations in construction must be seen in a wide range of matters that influence the construction industry” (2004, p. 181), that is, that technology alone—as a cultural manifestation—is not capable of promoting the changes that it can potentially achieve, requiring a dialogue with other cultural aspects. Furthermore, even though “the construction industry has changed over the past 200 years, the changes have neither been swift nor welcomed. There is a kind of reluctance to accept innovation” (Strike, 2004, p. 181). Loosemore and Forsythe (2019) reinforce the above based on the great difficulty of disseminating and transmitting the values of new technologies to the social environment, both to investors and users.

One of the main advantages that can substantiate and endorse these new technologies is their capability to effectively respond to the requirements of each user, leaving behind the idea of mass production. This is explained by Mario Carpo (2005) in his lucid comparison between standardized and mass graphic production processes (like traditional printing) with digital reproduction media (like laser printers). Carpo points out that, with digital media, the cost of printing the same page a thousand times is identical to that of printing a thousand different pages, unlike letterpress printing, in which a unique physical matrix is needed for every two pages, which multiplies cost and effort, with profitability only in large printing volumes. Hague, Campbell, and Dickens exemplify this same problem

Campbell y Dickens ejemplifican este mismo problema comparando la fabricación tradicional con las técnicas de impresión 3D: en la construcción convencional, es necesario modular los elementos, definiendo líneas y tamaños estándar; todos estos requisitos condicionan el diseño; pero con las nuevas tecnologías, “se eliminan estas limitaciones, ya que no es necesario utilizar el molde y, por tanto, sería posible tener formas diversas sin encarecer la fabricación” (2003, p. 26). En este sentido, se espera que los sistemas de impresión 3D con hormigón—3DCP—aporten beneficios en productividad, costes, salud, seguridad y calidad, avanzando significativamente hacia el control y la actuación digitales de sus procesos de fabricación (Roussel et al., 2022). Como tal, uno de los principales beneficios estaría asociado con el medio ambiente, pues estas tecnologías podrían reducir significativamente el consumo de materiales al lograr la personalización en el diseño con poco o ningún aumento del coste de fabricación (Hague et al., 2003, p. 27); la respuesta, por ello, puede ser según cada necesidad específica de material.

Van Der Putten et al. apoyan esta idea al afirmar que “independientemente de la aplicación de esta técnica, siempre existe una interdependencia entre el material, el proceso y los productos (...) la estrategia de impresión no puede elegirse independientemente del diseño, el material o la consideración del producto final” (2022, p. 138). A partir de esto debemos comprender que el proceso de diseño, así como la búsqueda estética, espacial, formal o urbana, estará fuertemente vinculado a las capacidades tecnológicas del sistema utilizado. Un trabajo interdisciplinario permitirá la aplicación de estas tecnologías y, con ello, dar un paso decisivo hacia la industrialización ecológica del sector de la construcción.

Un ejemplo de los resultados de estas nuevas herramientas son las losas optimizadas topológicamente y fabricadas mediante 3DCP por Jipa et al. (2016), quienes presentaron un modelo de losa realizando un refuerzo estructural según las líneas de fuerza predominantes. Sin embargo, Stoiber y Kromoser (2021) concluyen, luego de una amplia revisión del estado del arte, que una de las principales falencias de las investigaciones e innovaciones centradas en la optimización topológica es la falta de perspectiva ambiental en las evaluaciones que se realizan de estos procesos.

Hasta el momento, gran parte de estas tecnologías ha respondido a las perspectivas formales y económicas del paradigma industrial del siglo XX, que, a la luz del

by comparing traditional manufacturing with 3D printing techniques: in conventional construction, it is necessary to modulate the elements, defining standard lines and sizes; all these requirements condition the design; but with new technologies, “these limitations are removed as it is not necessary to withdraw the part from the mould and therefore it would be possible to have re-entrant shapes without complicating manufacture” (2003, p. 26). In this sense, 3D concrete printing systems—3DCP—are expected to provide benefits in productivity, costs, health, safety, and quality, significantly advancing towards digital control and performance of their manufacturing processes (Roussel et al., 2022). As such, one of the main benefits would be associated with the environment, as these technologies could significantly reduce material consumption by achieving customization in design with little or no increase in manufacturing cost (Hague et al., 2003, p. 27); the answer, therefore, can be according to each specific need of material.

Van Der Putten et al. support this idea by stating that “regardless of the application of this technique, there is always an interdependency between material, process and products (...) the print strategy cannot be chosen independently of the design, the material or the considerations regarding the final product” (2022, p. 138). From this, we must understand that the design process, as well as the aesthetic, spatial, formal, or urban pursuit, will be strongly linked to the technological capabilities of the system used. Interdisciplinary work will allow the application of these technologies and, with this, take a decisive step toward the ecological industrialization of the construction field.

Examples of the results of these new tools are the topologically optimized slabs manufactured by Jipa et al. (2016) using 3DCP, who presented a slab model performing a structural reinforcement in accordance with the predominant stress lines. However, Stoiber and Kromoser (2021) conclude, after an extensive review of the state of the art, that one of the main shortcomings of research and innovations focused on topological optimization is the lack of an environmental perspective in the evaluations carried out of these processes.

Until now, a large part of these technologies has responded to the formal and economic perspectives of the 20th-century industrial paradigm, which, in light of the current context, is obsolete. However,

contexto actual, resulta obsoleto. Sin embargo, las tecnologías de la “Industria 4.0”⁸ poseen una inherente capacidad para dar respuesta a la perspectiva ecológica, con lo cual podrían tener un rol clave en los medios disponibles para combatir el colapso ambiental. En este contexto, estas nuevas tecnologías pueden ser un factor determinante en el futuro de los materiales en la arquitectura: colocar el material donde y en la cantidad que realmente se requiere es un paso fundamental en la formulación de una nueva relación con el medio ambiente que priorice la preservación de las condiciones de habitabilidad del planeta y no el mero desarrollo de la producción (Latour & Schultz, 2023).

Establecer un nuevo contrato ambiental entre la industria de la construcción y la sociedad resulta fundamental al considerar la imposibilidad de pensar un mundo que no seguirá siendo construido y transformado: la intervención del medio es inherente a la acción humana y a la búsqueda de mejores condiciones de vida. En este sentido, la transformación de la industria de la construcción a la luz de las nuevas tecnologías supone repensar los modos en que diseñamos y valoramos lo construido. Centrar el quehacer en lo pertinente implica, por una parte, renunciar a los recursos meramente formales y efectistas avalados por lo tecnológico y, por otra, asumir que probablemente la forma final quedará importantemente supeditada a variables que exceden a aquellas que históricamente han delineado la producción de la arquitectura y el rol del autor (estilo, función, gusto, etc.).

Finalmente, no podemos definir el lugar del material mientras no enfrentemos la perspectiva ecológica con el fin de encontrar el correcto equilibrio entre forma, economía y medio ambiente. Jaime Fisher

‘Industry 4.0’⁸ technologies have an inherent capability to respond to the ecological perspective, which could play a key role in the means available to combat environmental collapse. In this context, these new technologies can be a determining factor in the future of materials in architecture: placing the material where and in the quantity that is really required is a fundamental step in the formulation of a new relationship with the environment that prioritizes the preservation of the planet’s habitable conditions and not the mere development of production (Latour & Schultz, 2023).

Establishing a new environmental contract between the construction industry and society is essential when considering the impossibility of thinking about a world that will no longer be built and transformed: the intervention of the environment is inherent to human action and the search for better living conditions. In this sense, the transformation of the construction industry in light of new technologies means rethinking the ways in which we design and value what is built. Focusing efforts on what is pertinent implies, on the one hand, giving up merely formal and effective resources supported by technology and, on the other, assuming that the final form will probably be significantly subject to variables that exceed those that have historically outlined the production of architecture and the role of the author (style, function, preferences, etc.).

Finally, we cannot define the place of the material until we face the ecological perspective, in order to find the correct balance between form, economy, and environment. Jaime Fisher (2022a) declares that

⁸ Lasi et al. (2014) detallan que la industria 4.0 se caracteriza por la personalización de productos bajo las condiciones de producción en masa, con alta flexibilidad, integración de clientes y socios comerciales en los procesos de negocio y de valor, tecnologización de la industria mediante redes y automatización junto con la reducción de su tamaño, y producción centrada en el cliente y no a la inversa. Esto se complementa con lo expuesto por Kagermann y Wahlster (2022) al evaluar

los últimos 10 años de la industria 4.0, donde las tendencias de la IA industrial, la computación de borde, el 5G en la fábrica, la robótica y la mecanización, los sistemas intra logísticos autónomos y las infraestructuras de datos fiables deben aprovecharse para reforzar la resiliencia, la soberanía, la interoperabilidad y la sostenibilidad, todo lo cual permitiría crear ecosistemas de innovación digital que garanticen la adaptabilidad a largo plazo en un entorno económico y geopolítico volátil.

⁸ Lasi et al. (2014) specify that industry 4.0 is characterized by the customization of products under the conditions of mass production, with high flexibility, integration of clients and commercial associates in business and value processes, technologization of the industry through networks and automation, along with the reduction of its size and production focused on the client and not the other way around. This is complemented by what was stated by Kagermann and Wahlster

(2022) when evaluating the last 10 years of industry 4.0, where the trends in industrial AI, edge computing, 5G in the factory, robotics and mechanization, autonomous intra-logistics systems, and reliable data infrastructures must be leveraged to strengthen resilience, sovereignty, interoperability, and sustainability, all of which would create digital innovation ecosystems that ensure long-term adaptability in a volatile economic and geopolitical environment.

(2022a) declara que el progreso tecnológico no existe, que el ser humano es lo único sobre lo que cabe predicar progreso. Con ello, el “progreso tecnológico” ocurre si y sólo si progresan los seres humanos que diseñan, construyen y utilizan esos sistemas técnicos al exponerse a sus resultados. La catástrofe ecológica en curso hace explícita la imposibilidad de seguir avanzando sin aprender, es decir, sin cambiar una industria que es responsable de parte importante del impacto ambiental generado por la civilización actual. Enfrentar esta crisis requiere considerar la realidad del material, sus posibilidades, su agencia, y un enfoque racional actualizado de su uso para, desde ahí, establecer un nuevo paradigma de producción que incorpore la industrialización ecológica y permitan que el sector de la construcción avance asumiendo la responsabilidad que le cabe en la materialización del futuro del planeta. Diseñar será, en gran parte, encontrar el correcto lugar del material en el entorno construido. **m**

technological progress does not exist and that the human being is the only subject upon which progress can be asserted. With this, ‘technological progress’ occurs if and only if the human beings who design, build, and use these technical systems progress by exposing themselves to their results. The ongoing ecological catastrophe makes explicit the impossibility of continuing to advance without learning, that is, without changing an industry that is responsible for a significant part of the environmental impact generated by current civilization. Facing this crisis requires considering the reality of the material, its possibilities, its agency, and an updated rational approach to its use to, from there, establish a new production paradigm that incorporates ecological industrialization and allows the construction sector to move forward assuming the responsibility falling on them, in the materialization of the future of the planet. Designing will be, for the most part, finding the correct place of the material in the built environment. **m**

REFERENCIAS REFERENCES

- AFZAL, M., LIU, Y., CHENG, J. C. P., & GAN, V. J. L. (2020). Reinforced Concrete Structural Design Optimization: A Critical Review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120623. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120623>
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2013). *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. <https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications/standards/additive-manufacturing-standards.html>
- BIJKER, W. E. (2010). How Is Technology Made?—That Is the Question. *Cambridge Journal of Economics*, 34(1), 63–76. <https://doi.org/10.1093/cje/bep068>
- CARPO, M. (2005). La desaparición de los idénticos. La estandarización arquitectónica en la era de la reproductibilidad digital. In L. Ortega (Ed.), *La digitalización toma el mando* (pp. 59–65). Gustavo Gili.
- CONSTRUYE 2025, & CORFO. (2016). Programa estratégico nacional. Productividad y construcción sustentable. Informe Final. Fase 3. Hoja de Ruta PyCs 2025.
- EZEMA, I. C. (2019). Materials. In V. W. Y. Tam & K. N. Le (Eds.), *Sustainable Construction Technologies: Life-Cycle Assessment* (pp. 237–262). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811749-1.00007-9>
- FISHER, J. (2022a). Progreso tecnológico. In D. Parente, A. Berti, & C. Celis (Eds.), *Glosario de filosofía de la técnica* (pp. 410–414). La Cebra.
- FISHER, J. (2022b). Racionalidad técnica. In D. Parente, A. Berti, & C. Celis (Eds.), *Glosario de filosofía de la técnica* (pp. 419–423). La Cebra.
- FORTY, A. (2004). *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture*. Thames & Hudson.
- FORTY, A. (2012). *Concrete and Culture: A Material History*. Reaktion Books.
- GALLANTI, F. (2022). *Complicidad y contradicciones (en arquitectura)/Concreto político*. ARQ.
- GARCÍA DE SOTO, B., AGUSTÍ-JUAN, I., HUNHEVICZ, J., JOSS, S., GRASER, K., HABERT, G., & ADEY, B. T. (2018). Productivity of Digital Fabrication in Construction: Cost and Time Analysis of a Robotically Built Wall. *Automation in Construction*, 92, 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.004>
- Groundbreaking Project at Taubman College Involving Novel 3D Concrete Printing Method*. (2023, March 20). University of Michigan News. <https://news.umich.edu/groundbreaking-project-at-taubman-college-involving-novel-3d-concrete-printing-method/>

- HAGUE, R., CAMPBELL, I., & DICKENS, P. (2003). Implications on Design of Rapid Manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(1), 25–30. <https://doi.org/10.1243/095440603762554587>
- HASAN, A., BAROUDI, B., ELMUALIM, A., & RAMEEZDEEN, R. (2018). Factors Affecting Construction Productivity: A 30 Year Systematic Review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(7), 916–937. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2017-0035>
- HEARN, M. F. (1990). A Visionary Among the Gargoyles. In M. F. Hearn (Ed.), *The Architectural Theory of Viollet-le-Duc: Readings and Commentary*. MIT Press.
- HEREDIA, J. M. (2022). Concretización (Simondon). In D. Parente, A. Berti, & C. Celis (Eds.), *Glosario de filosofía de la técnica* (pp. 102–105). La Cebra.
- INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN DE CHILE. (2022). *Material muros, superficie total y participación*. <https://ich.cl/estadisticas/material-muros-superficie-total-y-participacion/>
- JIPA, A., BERNHARD, M., MEIBODI, M., & DILLENBURGER, B. (2016). 3D-Printed Stay-in-Place Formwork for Topologically Optimized Concrete Slabs. *Proceedings of the 2016 TXA Emerging Design + Technology Conference*, 97–107. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000237082>
- KAGERMANN, H., & WAHLSTER, W. (2022). Ten Years of Industrie 4.0. *Sci*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/sci4030026>
- LASI, H., FETTKE, P., KEMPER, H.-G., FELD, T., & HOFFMANN, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- LATOUR, B., & SCHULTZ, N. (2023). *Manifiesto ecológico político. Cómo construir una clase ecológica consciente y orgullosa de sí misma* (M. Polo, Trans.). Siglo XXI.
- LAWNER, D. (2022). Estándar. In D. Parente, A. Berti, & C. Celis (Eds.), *Glosario de filosofía de la técnica* (pp. 197–200). La Cebra.
- LEHNE, J., & PRESTON, F. (2018). Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. Chatham House Report, The Royal Institute of International Affairs. <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete>
- LOOS, A. (2019). Building Materials. In S. Whiteside (Trans.), *Ornament and Crime*. Penguin (Original work published 1898).
- LOOSEMORE, M., & FORSYTHE, P. (2019). *Sustainable Construction Technology Adoption*. In V. W. Y. Tam & K. N. Le (Eds.), *Sustainable Construction Technologies: Life-Cycle Assessment* (pp. 299–316). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811749-1.00009-2>
- MOTRO, R. (2007). Robert Le Ricolais (1894–1977) “Father of Spatial Structures.” *International Journal of Space Structures*, 22(4), 233–238. <https://doi.org/10.1260/026635107783133834>
- MUMFORD, L. (2017). *El mito de la máquina: Técnica y evolución humana* (A. Rigodón, Trans.; 3rd ed.). Pepitas de calabaza.
- ONU. (2022, November 9). *Las emisiones históricas del sector de la construcción, lo alejan de los objetivos de descarbonización*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2022/11/1516722>
- PRICE, C. (2022). *Una arquitectura de la aproximación: Ensayos y conferencias 1965–1991* (D. H. Falagán, Trans.). Puento.
- ROUSSEL, N., LOWKE, D., & BUSWEL, R. (2022). Digital Fabrication with Cement-Based Materials—The Rilem D.F.C. Technical Committee History, Strategy and Achievements. In N. Roussel & D. Lowke (Eds.), *Digital Fabrication with Cement-Based Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM TC 276-DFC* (pp. 1–9). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90535-4_1
- SIMONDON, G. (2015). *La individuación a la luz de las nociones de forma y de información*. Cactus.
- STOIBER, N., & KROMOSER, B. (2021). Topology Optimization in Concrete Construction: A Systematic Review on Numerical and Experimental Investigations. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 64(4), 1725–1749. <https://doi.org/10.1007/s00158-021-03019-6>
- STRIKE, J. (2004). *De la construcción a los proyectos: La influencia de las nuevas técnicas en el diseño arquitectónico, 1700–2000* (M. J. Rivas, Trans.). Editorial Reverté.
- VACCARI, A. (2022). Agencia material. In D. Parente, A. Berti, & C. Celis (Eds.), *Glosario de filosofía de la técnica* (p. 36–37). La Cebra.
- VAN DER PUTTEN, J., NERELLA, V. N., MECHTCHERINE, V., D'HONDT, M., SONEBI, M., WEGER, D., WANG, Z., MENNA, C., ROUSSEL, N., LOWKE, D., VAN TITTELBOOM, K., & DE SCHUTTER, G. (2022). Properties and Testing of Printed Cement-Based Materials in Hardened State. In N. Roussel & D. Lowke (Eds.), *Digital Fabrication with Cement-Based Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM TC 276-DFC* (pp. 137–185). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90535-4_5
- WINNER, L. (1993). Upon Opening the Black Box and Finding It Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology. *Science, Technology, & Human Values*, 18(3), 362–378. <https://doi.org/10.1177/016224399301800306>