



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 460-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898476*

RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

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

Año: XIII Número: 3 Artículo no.:81 Período: 1 de mayo del 2026 al 31 de agosto del 2026

TÍTULO: Mapa científico tecnológico de la Impresión 3D en Concreto por Extrusión en la Industria de la Construcción.

AUTORES:

1. Lic. Marco Antonio Rodríguez Otero.
2. Dra. Hortensia Gómez Viquez.

RESUMEN: La industria de la construcción requiere tecnologías limpias para reducir su impacto ambiental. Esta investigación explora las tendencias científico-tecnológicas de la impresión 3D en concreto por extrusión (3DCP), destacando su potencial para disminuir la huella de carbono al optimizar materiales y eliminar encofrados. Mediante un análisis de contenido de patentes y artículos científicos recientes, se identifican las principales vertientes de desarrollo tecnológico y académico a nivel global. Los resultados subrayan la importancia de esta técnica en la reducción del impacto ambiental y la mejora de la eficiencia constructiva. Finalmente, se examina el panorama actual de esta tecnología en México, identificando actores clave y proyectos pioneros que marcan su adopción inicial en el país.

PALABRAS CLAVES: concreto, extrusión, sustentabilidad, patentes, innovación.

TITLE: Scientific and technological map of 3D printing in concrete by extrusion in the construction industry.

AUTHORS:

1. Bach. Marco Antonio Rodríguez Otero.
2. PhD. Hortensia Gómez Viquez.

ABSTRACT: The construction industry requires clean technologies to reduce its environmental impact. This research explores the scientific and technological trends in 3D extruded concrete (3DCP), highlighting its potential to decrease the carbon footprint by optimizing materials and eliminating formwork. Through a content analysis of recent patents and scientific articles, the main avenues of technological and academic development at a global level are identified. The results underscore the importance of this technique in reducing environmental impact and improving construction efficiency. Finally, the current landscape of this technology in Mexico is examined, identifying key players and pioneering projects that mark its initial adoption in the country.

KEY WORDS: concrete, extrusion, sustainability, patents, innovation.

INTRODUCCIÓN.

La industria de la construcción contemporánea se encuentra ante una paradoja crítica que define los desafíos del siglo XXI: por un lado, se erige como el pilar fundamental del desarrollo productivo y la estabilidad social global; por otro, representa uno de los sectores más agresivos para el equilibrio ecológico del planeta. De acuerdo con datos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2023), esta actividad es responsable del consumo del 40% de la energía mundial, y genera aproximadamente el 37% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. Este impacto ambiental no se limita únicamente a la huella de carbono, sino que se extiende a una explotación masiva de recursos naturales sin precedentes.

Actualmente, el sector demanda el 40% de la piedra y arena extraída, el 25% de la madera virgen y el 16% del agua dulce disponible a nivel global (Dobrowolska, 2021; Musenga y Aigbavboa, 2019). Esta presión sobre los ecosistemas subraya la urgencia de transitar desde un modelo de negocio centrado exclusivamente en la rentabilidad económica de corto plazo hacia un paradigma integral que priorice la mitigación de impactos sociales y ambientales negativos (Shen et al., 2010).

Bajo esa premisa de transformación sectorial, el concepto de construcción sustentable adquiere una relevancia estratégica. Definido por Charles J. Kibert (1994) como la creación y gestión responsable de un entorno construido saludable, basado en principios ecológicos y en la eficiencia en el uso de los recursos, este enfoque se ha convertido en el eje rector de las nuevas tendencias académicas y profesionales.

La literatura científica actual identifica diversas rutas críticas para descarbonizar el sector, las cuales abarcan desde el diseño de ciudades inteligentes y la implementación de tecnologías de la información (BIM, IoT), hasta la gestión circular de residuos; no obstante, es en la investigación y aplicación de materiales eco-eficientes y sistemas constructivos automatizados donde se vislumbran los cambios más profundos para reducir la huella material de la edificación.

En ese escenario de innovación, la impresión 3D de concreto por extrusión (3DCP, por sus siglas en inglés) emerge como una tecnología disruptiva con el potencial de redefinir los procesos tradicionales de manufactura en obra. A diferencia de los métodos convencionales, esta técnica de fabricación aditiva permite una libertad geométrica casi ilimitada, lo que se traduce en una optimización estructural donde el material se coloca únicamente donde es mecánicamente necesario. Esta innovación no solo permite optimizar los tiempos de ejecución y reducir los costos operativos, sino que minimiza drásticamente el desperdicio de materias primas y las emisiones de polvo suspendido durante la construcción (El-Sayegh et al., 2020; Pastia, 2020).

La eficiencia de la impresión 3D radica en la eliminación de encofrados o cimbras, los cuales representan históricamente una fuente mayoritaria de residuos sólidos en las obras civiles. La sinergia entre la automatización y la ciencia de los materiales representa la frontera más avanzada de esta tecnología. Al integrar la impresión 3D por extrusión con el uso de cementantes alternativos, como los geopolímeros, el beneficio ambiental se potencia de manera exponencial.

Se ha documentado, que es posible reducir las emisiones de CO₂ en un rango que oscila entre el 40% y el 90%, dependiendo del precursor químico y el activador alcalino empleado en la mezcla (Ansari et al., 2023); por consiguiente, el presente trabajo se propone analizar de manera exhaustiva la impresión 3D por extrusión, examinando su viabilidad como una solución integral a los desafíos de eficiencia técnica y descarbonización urgente que demanda la construcción contemporánea a nivel global y local.

Impresión 3D en concreto (3DCP) por extrusión.

La impresión 3D en concreto (3DCP, por sus siglas en inglés 3D Concrete Printing) se define como una técnica de manufactura aditiva automatizada de vanguardia, diseñada para la erección de estructuras mediante la superposición precisa de estratos. Este proceso emplea materiales cementantes avanzados, los cuales suelen ser optimizados mediante la integración de polímeros y aditivos naturales que garantizan las propiedades reológicas necesarias para su extrusión.

La base normativa de esta tecnología se encuentra formalizada en el estándar internacional vigente ISO/ASTM 52939:2023; según este documento, el proceso consiste en la unión de materiales para fabricar componentes estructurales y no estructurales, así como sistemas complejos, a partir de la información digital de un modelo tridimensional. Esta metodología opera típicamente mediante la deposición de material capa por capa, estableciendo una ruptura paradigmática frente a las metodologías de manufactura sustractivas —donde se elimina material— o formativas —que dependen de moldes o encofrados— (International Organization for Standardization [ISO] / American Society for Testing Materials [ASTM], 2023).

Desde una perspectiva operativa, la técnica de 3DCP funciona mediante el bombeo y extrusión de una mezcla cementicia a través de una boquilla controlada numéricamente. Este mecanismo guarda una analogía funcional con el funcionamiento de una impresora de inyección de tinta convencional; sin embargo, mientras que la impresión tradicional se limita a una superficie bidimensional, la 3DCP utiliza

el concreto para generar volúmenes físicos en el espacio tridimensional. El sistema puede ser ejecutado principalmente a través de dos configuraciones robóticas: impresoras de pórtico o marco (tipo gantry), que operan en un área delimitada por rieles, o mediante brazos robóticos articulados de varios ejes, que ofrecen una mayor flexibilidad de movimiento y alcance. En ambos casos, el éxito de la estructura depende de la capacidad del material para soportar su propio peso y el de las capas superiores, mientras aún se encuentra en estado fresco, un fenómeno conocido como "construibilidad".

Esta transición hacia la automatización no solo representa un cambio de herramienta, sino una reingeniería del flujo de trabajo en la construcción. Al eliminar la dependencia de los encofrados tradicionales, la 3DCP permite una optimización topológica que reduce el uso de concreto en zonas donde no es estructuralmente crítico, favoreciendo la creación de secciones huecas o geometrías orgánicas que serían técnica o económicamente inviables mediante métodos de vertido convencionales. De este modo, la tecnología se posiciona como el vínculo directo entre el diseño asistido por computadora (CAD) y la realización física de la obra, minimizando el error humano y maximizando la precisión geométrica en la edificación contemporánea.

Las tecnologías de 3DCP en concreto por extrusión se clasifican en dos grandes métodos:

1. *Contour Crafting (CC)* del Behrokh Khoshnevis. Se enfoca a mejorar las superficies (Buswell et al., 2008). Esto es, sólo se construyen los exteriores de cada capa del objeto, los huecos se rellenan (Khoshnevis, 2004). Con esta tecnología se producen los muros de la edificación con sus respectivos espacios para ductos hidráulicos, servicio eléctrico, puertas y ventanas sin detenerse, en una sola sesión (Medina, 2021).
2. *Concrete printing (CP)*. Los procesos clasificados en estos métodos se basan en la construcción de forma libre (*Free form construction*), y su principio básico es el de inyectar la mezcla a la boquilla por medio de una bomba. Va dirigida a la manufactura en locaciones especializadas de componentes de construcción prefabricados de gran escala tales como paneles o paredes (Buswell et al., 2008).

DESARROLLO.

El presente trabajo centra su análisis en la técnica de impresión 3D de concreto por extrusión, la cual ha sido identificada por Placzek y Schwerdtner (2024) como la metodología con mayor índice de adopción global debido a su versatilidad y a la relativa sencillez de su implementación directamente en el sitio de obra (in situ).

Para comprender el alcance de esta técnica, es preciso definir el principio físico que la sustenta. La extrusión es un proceso mecánico mediante el cual un material en estado plástico o semisólido es forzado, bajo presión, a pasar a través de una matriz u orificio con una sección transversal específica. Velling (2021) destaca, que la extrusión es un proceso de conformado en el que se fuerza un metal (caliente o frío) a través de una matriz. Esto le confiere la forma de la matriz al metal extruido al pasar por la cavidad. El material que sale de la matriz se conoce como "extruido". Este procedimiento transforma la masa amorfa en una pieza de perfil fijo que puede ser depositada de manera continua, permitiendo la construcción de elementos geométricos con una precisión milimétrica que responde directamente a las coordenadas dictadas por el software de diseño.

La génesis de esta tecnología, aunque parezca puramente contemporánea, tiene sus raíces en las innovaciones mecánicas de principios del siglo XX. El primer antecedente relevante se remonta a 1939 con la invención de William Urschel, quien desarrolló una máquina rústica diseñada específicamente para la construcción de paredes mediante la superposición de capas. A pesar de que este prototipo carecía de los sofisticados sistemas computacionales, componentes mecatrónicos y algoritmos de control robótico que definen a la industria 4.0, representó un hito histórico fundamental al conceptualizar la posibilidad de extruir mezclas cementicias sin la dependencia de encofrados o moldes tradicionales; sin embargo, el verdadero despegue de la impresión 3D de concreto ocurrió a inicios de la década de 2010, impulsado por el abaratamiento de la electrónica de control y el auge de la manufactura aditiva en sectores como el aeroespacial y el médico.

Un punto de inflexión mediático y técnico ocurrió en el año 2014, cuando la empresa china Winsun logró la edificación de diez casas monofamiliares utilizando componentes impresos en 3D (Placzek y Schwerdtner, 2024), demostrando al mundo que la tecnología había escalado satisfactoriamente desde los laboratorios de ensayo hasta la producción habitacional masiva.

Finalmente, la exploración sistemática de esta tecnología se vuelve imperativa debido a su carácter multidimensional. En el plano técnico y arquitectónico, la extrusión robótica posee el potencial de revolucionar el diseño, liberando a los proyectistas de las restricciones de la ortogonalidad, y permitiendo la creación de estructuras de curvatura compleja, que serían inviables técnica o económicamente con métodos convencionales.

En la dimensión social, esta tecnología emerge como una herramienta estratégica para mitigar la crisis global de vivienda, permitiendo construcciones más rápidas y accesibles, y por último, en el ámbito ambiental, la 3DCP favorece una economía circular al reducir drásticamente los desperdicios en obra, eliminar el uso de madera para cimbras, y disminuir la huella de carbono mediante la optimización logística y el manejo eficiente de materiales (Ahmed, 2023; Cemex Ventures, 2023). La integración de estos beneficios posiciona a la extrusión no solo como una innovación procedimental, sino como una respuesta necesaria a la crisis de sostenibilidad de la industria.

Metodología.

El presente trabajo se desarrolla bajo un diseño de investigación exploratoria con un alcance descriptivo, orientado a identificar y sistematizar las tendencias científico-tecnológicas emergentes en el campo de la impresión 3D de concreto por extrusión (3DCP). El estudio se fundamenta en un enfoque cualitativo, el cual resulta idóneo para comprender la evolución de un fenómeno tecnológico complejo a través de la interpretación de sus fuentes documentales primarias. Para el cumplimiento de los objetivos, se emplearon técnicas avanzadas de análisis de contenido, las cuales permiten la extracción, procesamiento y síntesis de información crítica alojada en grandes volúmenes de datos. Esta metodología facilita la identificación

de patrones, recurrencias y nichos de innovación dentro de un corpus documental compuesto, en este caso, por publicaciones científicas de alto impacto y registros de patentes internacionales (Altamirano, 2024).

La elección de este enfoque cualitativo-documental responde a la necesidad de mapear el estado del arte de una tecnología en rápida expansión. El análisis no se limita a una revisión bibliográfica convencional, sino que integra una vigilancia tecnológica que permite contrastar el avance del conocimiento académico con el desarrollo de aplicaciones industriales protegidas por propiedad intelectual. De este modo, la metodología de análisis de contenido actúa como un filtro heurístico que organiza la información técnica dispersa, transformándola en conocimiento estructurado sobre las vertientes de desarrollo, los actores clave y las trayectorias tecnológicas de la 3DCP a nivel global.

Para asegurar la validez y el rigor de la investigación, el proceso de selección de documentos se basó en criterios de relevancia, actualidad y pertinencia temática. Se dio prioridad a documentos generados en la última década, periodo en el cual la manufactura aditiva de concreto ha experimentado su mayor crecimiento exponencial. Este rigor metodológico permite que la síntesis resultante no solo describa el panorama actual, sino que también ofrezca una base sólida para prospectar las futuras direcciones de la industria de la construcción automatizada, garantizando que el análisis de las patentes y artículos científicos refleje con precisión las fronteras del conocimiento en la materia.

Base de datos de Artículos de investigación 3DCP.

Para la ejecución de esta fase, se empleó la base de datos especializada del proyecto 3DCP.fyi, un repositorio de alta curaduría que compila literatura académica relevante desde la década de 1990 hasta el presente. Esta plataforma fue diseñada estratégicamente para ofrecer a la comunidad científica un acceso estructurado al estado del arte, funcionando como una herramienta validada para el seguimiento longitudinal de la evolución tecnológica en este campo. La relevancia de este recurso radica en su capacidad para simplificar la gestión del crecimiento exponencial de publicaciones científicas registrado

en los últimos cinco años (Auer et al., 2024). Es fundamental destacar, que la integridad de este corpus documental se garantiza mediante actualizaciones trimestrales regidas bajo la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses), un estándar internacional que asegura la transparencia, repetibilidad y rigor en la selección de estudios para revisiones sistemáticas (Page et al., 2021).

En el marco de este estudio, se realizó un corte temporal para recopilar la totalidad de los trabajos disponibles hasta el 29 de abril de 2025. El procesamiento y análisis cualitativo de la información se llevó a cabo mediante el software especializado Atlas.ti (versión 25), una herramienta líder en el análisis de datos no estructurados. Dado que el software permite el procesamiento de un volumen máximo de 2,774 documentos por unidad hermenéutica, se aplicó un criterio de priorización cronológica, seleccionando los artículos de mayor actualidad para garantizar que los resultados reflejen fielmente las fronteras del conocimiento contemporáneo. Bajo este criterio, se logró analizar el 73.06% del universo total de artículos existentes en la plataforma, lo que otorga una representatividad estadística y temática robusta a la investigación.

La fase analítica se apoyó en las capacidades de Inteligencia Artificial integradas en Atlas.ti, las cuales permitieron una codificación automatizada inicial de gran escala. Este motor de IA detectó un total de 2,925 códigos distribuidos en 2,286 citas textuales; no obstante, con el fin de depurar el ruido informativo y concentrar el análisis en los conceptos con mayor peso semántico, se estableció un criterio de inclusión para aquellos códigos con una frecuencia de aparición igual o superior a dos. Como resultado de este proceso de filtrado, se obtuvo una muestra final de 978 códigos (34.6% del total detectado), los cuales fueron posteriormente sometidos a una categorización temática exhaustiva. Este procedimiento permitió organizar la información en vertientes principales de investigación, proporcionando un mapa claro de las prioridades académicas y tecnológicas que definen actualmente a la impresión 3D de concreto a nivel global.

Estudio de Patentes 3DCP.

La fase de prospección tecnológica de esta investigación se fundamentó en la explotación de la base de datos Patentscope, gestionada por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, por sus siglas en inglés). Dada la naturaleza transversal de la impresión 3D en concreto, se diseñó una estrategia de búsqueda robusta que permitiera delimitar un conjunto de datos preciso y exhaustivo, evitando el ruido informativo común en tecnologías emergentes.

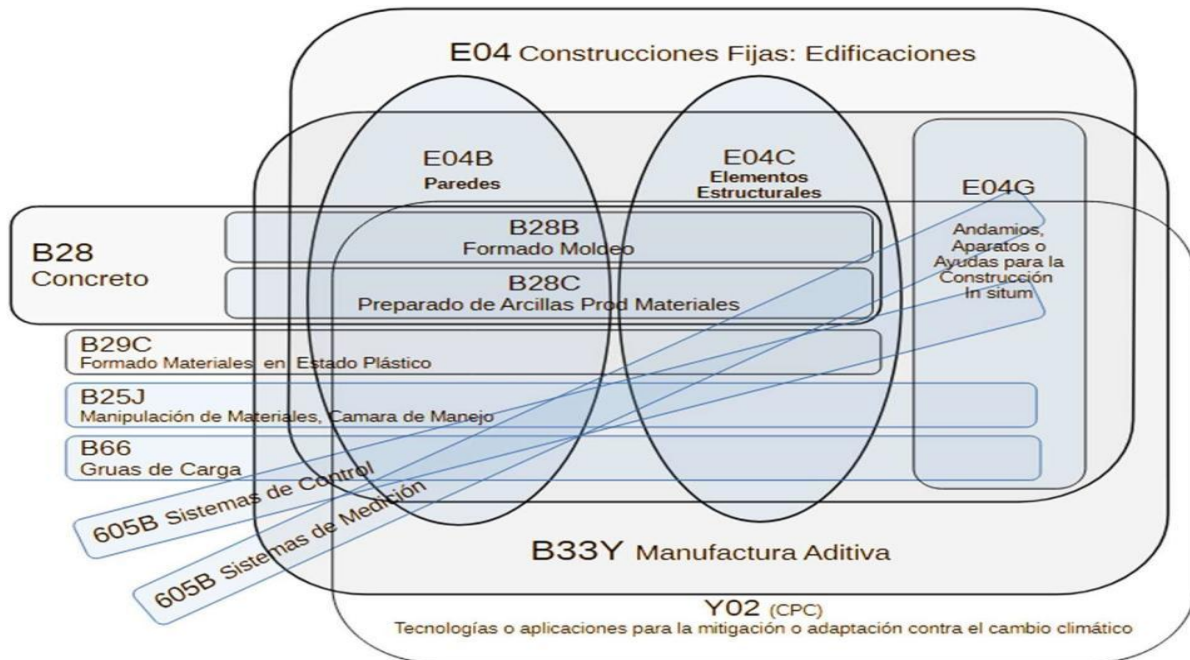
Se estructuró la selección en tres ejes estratégicos de filtrado: el primero se constituyó a partir de las patentes registradas bajo los códigos de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) que refieren de manera directa y unívoca al campo de la manufactura aditiva cementicia. El segundo eje operó como un mecanismo de complementariedad, integrando patentes relevantes de empresas líderes en el sector; este paso resultó crítico para capturar documentos, que debido a particularidades en su redacción técnica o estrategias de protección, no fueron clasificados inicialmente en los grupos CIP convencionales, pero poseen una incidencia directa en nuestra área de interés.

El tercer y último eje de la estrategia se centró en la recuperación de patentes registradas bajo la Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC), específicamente bajo el código Y02. Esta categoría es de especial relevancia para el presente estudio, ya que identifica tecnologías dedicadas específicamente a la mitigación y adaptación contra el cambio climático. La inclusión de este criterio permite alinear el análisis tecnológico con los objetivos de sustentabilidad que rigen la investigación, identificando aquellas innovaciones en 3DCP que han sido etiquetadas globalmente por su potencial de impacto ambiental positivo.

La recopilación sistemática por código se realizó siguiendo rigurosamente la jerarquía de la Clasificación Internacional de Patentes. Con el fin de transparentar la relación lógica y las intersecciones entre estos distintos grupos de datos, en la Gráfica 1 se presenta un diagrama de Euler que ilustra la selección de códigos a nivel de clase y subclase. Este esquema no solo facilita la comprensión de la amplitud del

universo estudiado, sino que también justifica la necesidad de utilizar un enfoque multivariable para cubrir todas las dimensiones de la innovación en 3DCP, desde el desarrollo de maquinaria y materiales hasta sus aplicaciones específicas en la edificación resiliente y de bajo impacto ecológico.

Gráfica 1. Principales Códigos CIP identificados en la muestra a nivel Clase y subclase.



Nota: Elaboración propia con base en las Clasificaciones de patentes CIP y CPC.

Para la ejecución de la consulta técnica, se seleccionaron elementos estratégicos de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP), enfocándose en la Sección B (Operaciones y Transporte) mediante la clase B33, la cual refiere de manera específica a las tecnologías de manufactura aditiva. Este criterio se complementó con la Sección E (Construcciones fijas), integrando la clase E04 relativa a la edificación de edificios.

A fin de precisar la búsqueda en el dominio del concreto, se estableció una conjunción booleana con las clases B28 (trabajo con cemento, arcilla y piedra), B29 (procesamiento de sustancias en estado plástico), B25 (herramientas motorizadas y métodos de sujeción) y B66 (operaciones de izado y elevación). Esta fase de la investigación, ejecutada el 20 de diciembre de 2024, permitió identificar un universo inicial de 723 registros tecnológicos vinculados directamente a la infraestructura mecánica de la 3DCP.

Con el objetivo de garantizar la exhaustividad del estudio y la inclusión de todas las organizaciones clave en el ecosistema de innovación, se implementó un rastreo de empresas líderes mediante vigilancia tecnológica en entornos web y reportes sectoriales especializados. Bajo el descriptor de búsqueda “3DCP top companies in the world”, se consultaron siete fuentes de alta autoridad técnica, entre las que destacan Google Patent, Parametric-Architecture, Construcción Digital, Building Radar, Kosmos Ross Griffin, Cconlinenews, Manufactur3D y Roboticsbiz. Tras este proceso, se preseleccionaron las 30 corporaciones con mayor densidad de patentamiento a nivel global. Para cada entidad, se realizaron búsquedas dirigidas en Patentscope utilizando el nombre de la organización como llave de acceso; en aquellos casos donde se detectaron registros ajenos al núcleo del estudio, se aplicó un filtrado avanzado mediante los códigos B33Y, B28 y E04 para asegurar la pertinencia temática.

El último segmento de datos incorporado corresponde a las patentes de 3DCP catalogadas bajo la clasificación Y02 de la Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC), sistema coadministrado por las oficinas de patentes de Estados Unidos (USPTO) y Europa (EPO) para identificar tecnologías de mitigación del cambio climático. La ejecución de la sentencia de búsqueda Y02 AND B33Y AND B28 AND E04 arrojó 48 registros especializados en sostenibilidad. Al consolidar las tres fuentes de información y proceder con la eliminación algorítmica de duplicados, se obtuvo un total bruto de 816 patentes. Finalmente, este conjunto fue sometido a una curaduría manual y revisión documental exhaustiva para validar su relevancia técnica, resultando en una muestra final depurada de 651 registros de patentes, los cuales constituyen la base del análisis de resultados sobre las tendencias científico-tecnológicas de la industria.

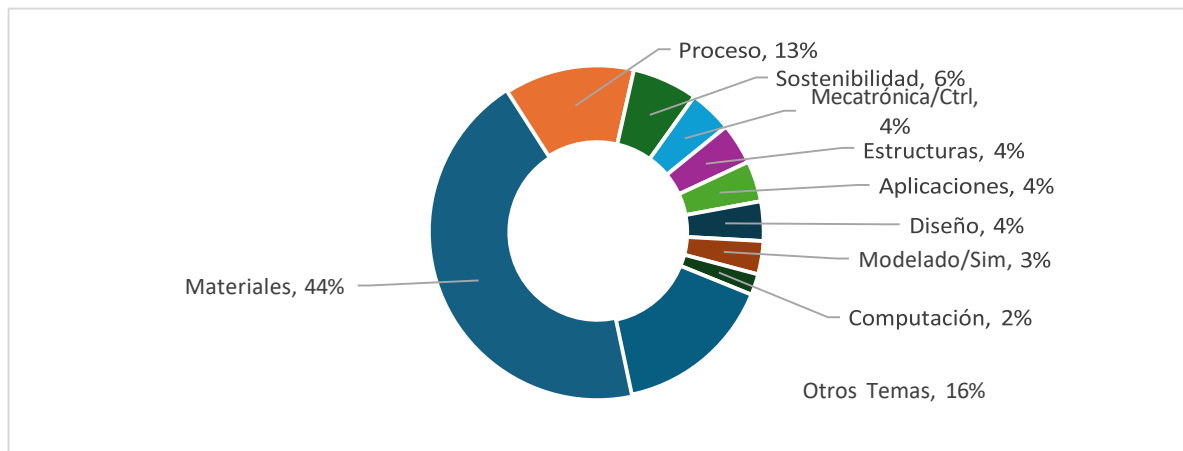
Resultados: tendencias científico - tecnológicas de la impresión 3D en concreto.

Artículos de investigación 3DCP.

La gráfica 2 muestra que las publicaciones en este campo tecnológico han aumentado en los últimos años,

Nota: Elaboración propia con NubeDePalabras.es a partir de selección de muestra de las 80 palabras con mayor tasa de aparición. Software Atlas.ti.

Gráfica 4. Temáticas de Publicaciones Científicas sobre 3DCP por extrusión desde 1997 (%).



Nota: Elaboración propia a partir de análisis de títulos de publicaciones de la Base de datos 3DCP.fyi (Auer, 2025). Software Atlas.ti.

Cada temática refiere a un contenido que se relaciona con el trabajo académico desarrollado en esta tecnología. En este tenor:

- *Materiales.*

Contiene los códigos referentes a los temas de materiales, sus propiedades y comportamientos desde el estado fresco (acabado de mezclar) hasta cuando está completamente fraguado (seco y endurecido). Aunque el concreto es el material base, se abarcan toda la serie de mezclas en las que intervienen cementos como aglutinante y existen una gran cantidad de agregados diferentes como geo-polímeros o fibras de carbono que modifican las propiedades y comportamientos de la mezcla. También se catalogan aquí las técnicas, métodos y procedimientos relacionados con la elaboración de éstas, así como a la evaluación y medición de las propiedades.

- *Proceso.*

Agrupar todos los códigos de procesos y métodos de manufactura específicamente empleados en la

impresión 3DCP, desde un componente prefabricado, hasta una edificación completa.

- *Sostenibilidad.*

En este grupo se agregaron todos los códigos referentes a la aportación de la 3DCP hacia la sostenibilidad, o la evaluación de ésta, en cualquiera de sus tres dimensiones.

- *Mecatrónica.*

Contiene los códigos referentes a los dispositivos, equipos, sistemas y equipos mecánicos que se están desarrollando, así como los sistemas de automatización, posicionamiento y control.

- *Estructuras.*

Agrupar todos los códigos referidos a la elaboración de componentes estructurales, su comportamiento, estrategias de reforzamiento, así como los métodos y técnicas asociados.

- *Aplicaciones.*

En este grupo se incluyen todos los temas que tienen que ver con las aplicaciones en las que se emplea la 3DCP como proceso de manufactura o elaboración. Incluye aplicaciones desde la construcción de un elemento prefabricado o una pared, hasta edificaciones completas.

- *Diseño.*

Aquí se agruparon todos los códigos referentes al diseño aplicado para elaborar elementos, componentes y edificaciones con 3DCP, principalmente los que tienen que ver con el diseño arquitectónico, el diseño de las formas y el diseño estructural.

- *Modelado/ Simulación.*

En este grupo se agregaron todos los códigos de publicaciones que tienen que ver específicamente con la elaboración de modelos para predecir comportamiento de procesos, componentes o elementos y la simulación de éstos.

- *Computación.*

Agrupar los códigos que tienen que ver con otros sistemas computacionales, aplicaciones de Inteligencia

Artificial, reconocimiento de imágenes. Se incluye tanto programas y software, como elementos físicos como sensores y equipo de cómputo (hardware).

- *Otros Temas.*

Contiene el resto de los códigos de cualquier otro tema sobre 3DCP.

Patentes 3DCP.

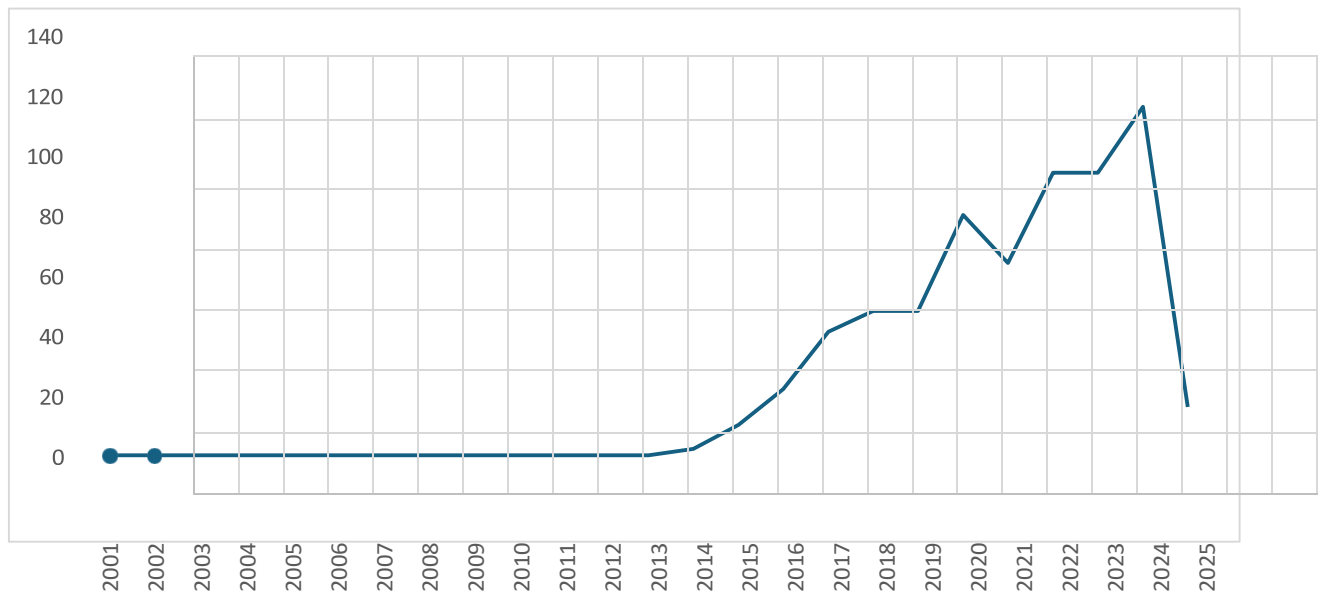
Al examinar la evolución cronológica de las actividades de protección de propiedad intelectual, se corrobora de manera inmediata, que la explosión en el crecimiento de la investigación y desarrollo (I+D) aplicada a la impresión 3D de concreto (3DCP) inició formalmente alrededor del año 2015, manteniendo una tendencia ascendente sostenida hasta la actualidad. Si bien es cierto que esta tecnología, aplicada específicamente al sector de la edificación y la obra civil, aún no alcanza los volúmenes de patentamiento masivos de industrias más maduras, es imperativo contextualizar su desarrollo dentro del ecosistema global de la fabricación aditiva.

La impresión 3D, de manera general, no es ya una promesa técnica, sino una innovación plenamente consolidada que está reconfigurando las cadenas de suministro globales. Esta madurez se refleja en indicadores de crecimiento excepcionales; por ejemplo, en su reporte de tendencias innovativas de septiembre de 2023, la Oficina Europea de Patentes destacó, que durante la última década, las familias de patentes vinculadas a las tecnologías de impresión 3D crecieron a un ritmo ocho veces superior al promedio de todas las demás áreas tecnológicas combinadas (European Patent Office [EPO], 2023). Este dinamismo global actúa como un catalizador para la 3DCP, proporcionando una infraestructura de conocimiento y componentes electrónicos que aceleran su adopción en la construcción.

La Gráfica 5 ilustra con precisión el comportamiento de la actividad de patentamiento específica para la tecnología de extrusión de concreto a través del tiempo, permitiendo denotar una transición clara desde una fase de invención esporádica hacia una etapa de desarrollo tecnológico acelerado. Este fenómeno

sugiere, que las empresas y centros de investigación están movilizandando capital significativo para proteger soluciones relacionadas con la reología de los materiales, el diseño de boquillas de extrusión y los sistemas de control robótico, anticipando una fase inminente de comercialización masiva; por tanto, el avance observado no solo representa un incremento cuantitativo en el número de registros, sino una evolución cualitativa en la sofisticación de las soluciones técnicas presentadas, consolidando a la 3DCP como el vector de cambio más dinámico dentro de la construcción 4.0.

Gráfica 5. Distribución de patentes por fecha de publicación



Nota: Elaboración propia a partir de la base de datos consolidada obtenida de *Patentscope*.

El siguiente punto de este análisis fue identificar cuáles son los países con mayor actividad de patentamiento sobre tecnologías 3DCP, que son China, Estados Unidos, la Unión Europea, Francia y Alemania. Este resultado es congruente con la revisión de artículos, en los que destacan los mismos países. Ahora bien, de las 359 compañías con actividades de patentamiento que se encontraron en la base depurada, están 10 empresas con más actividades de patentamiento. Estas compañías se muestran en la tabla 1. Resalta el caso de General Electric, puesto que no es una constructora, pero sí es una desarrolladora de este tipo de tecnologías 3D que se están usando en la industria de la construcción.

Tabla 1. Diez principales compañías con actividad de patentamiento.

Empresa	No.	Empresa	No.
GENERAL ELECTRIC COMPANY	83	PERI SE	19
ICON TECHNOLOGIES INC	42	PUTZMEISTER ENGINEERING GMBH	17
XTREEE	36	TONGJI UNIVERSITY	17
SHANGHAI CONSTRUCTION MATERIALS TECHNOLOGY GROUP CO., LTD.	24	VELO3D, INC.	16
SIKA TECH AG	20	CHINA STATE CONSTRUCTION EIGHTH ENGINEERING DIV.	13

Nota: Elaboración propia a partir de la base de datos consolidada obtenida de Patentscope.

La codificación de los 651 registros de patentes generó 925 códigos temáticos, los cuales se agruparon en cinco categorías: Métodos y procesos, Materiales, Impresoras, Componentes, y Productos. Estas clases coinciden con las tendencias observadas en la literatura académica.

Respecto a la aplicación en campo, no existe un inventario exhaustivo, pero se estima la existencia de unas 200 edificaciones (Placzek y Schwerdtner, 2024). Esta cifra es incipiente si se compara con el universo global de viviendas y edificios, estimado en miles de millones de unidades (Shahnoori y Mohammadi, 2022); no obstante, es propio de una tecnología emergente en sus fases iniciales de adopción. Los retos principales identificados son las limitaciones técnicas para estructuras a gran escala, la alta inversión inicial en equipo especializado, y los obstáculos en normas y regulaciones (IMARC Group, 2025).

Entre las empresas con mayor presencia destacan Icon, Peri Group, XtreeE y Sika AG. Es importante señalar, que el análisis de patentes incluyó no solo la impresión de concreto per se, sino también rubros auxiliares como la fabricación de componentes y equipos, resaltando casos como General Electric. Los métodos de extrusión predominan debido a su versatilidad, pues permiten la aplicación tanto in situ como

en prefabricación industrial, abarcando desde la micro hasta la gran escala con velocidades de impresión superiores (Wang et al. 2024).

En cuanto a las temáticas, aunque las publicaciones científicas y las patentes son similares, sus prioridades difieren: la academia se centra en los materiales, mientras que el patentamiento prioriza los procesos y componentes. Sobre estos últimos, los documentos de patente se distribuyen de la siguiente manera:

- Cabezales: 22.2%
- Elementos de sujeción y montaje: 18.6%
- Boquillas de extrusión: 17.6%
- Sistemas de control: 15.8%
- Dispositivos de movilización: 14%
- Alimentación y bombeo: 11.4%

Finalmente, el rezago en la incorporación total de la 3DCP al sector constructor se explica por el alto costo de oportunidad y los riesgos de seguridad, donde cualquier falla estructural puede ser fatal; asimismo, el costo de la infraestructura es un factor crítico; se estima que la fase de diseño para 3DCP puede ser hasta 19 veces más costosa que la tradicional (Besklubova et al., 2024); pese a ello, el crecimiento exponencial en artículos y patentes confirma que este campo se encuentra en plena expansión.

El panorama Industria de la Construcción en México.

Aunque el desarrollo tecnológico de este campo es muy reciente, ya existen intentos serios de explorar su implementación en nuestro país:

- En 2019 se construyeron las primeras 2 edificaciones mexicanas para vivienda por 3DCP en Tucta, en el municipio de Nacajuca del estado de Tabasco (Échale, 2025). Miden 46 m² con dos recámaras, una cocina, y un baño. Todas las tuberías e instalación eléctrica son internas (Kamin, 2021). Para su construcción se empleó una impresora Vulcan II de tipo pórtico (*Gantry*) de 4.72 X 14.17 metros de

pórtico, con capacidad de imprimir un volumen de 5.03 X 11.58 X 30.48 metros, utilizando como material de impresión Lavacrete, que es una mezcla de concreto de alta resistencia desarrollada exclusivamente por Icon, que soporta de 140 a 246 kilogramos por centímetro cuadrado. El proyecto fue desarrollado por la alianza del fabricante de impresoras 3DCP Icon, con las empresas sociales *New Story* de San Francisco y *Échale* de México.

- Cemex, accionista de *Cobod International*, fabricante de impresoras 3D en concreto por extrusión, desarrolló la mezcla D.fab basada en concreto portland convencional con aditivos especiales de bajo costo, desarrollado con materiales locales y de fácil disponibilidad, compatible con las impresoras Cobod, misma que fue probada, ya en el campo en la primera casa impresa en 3D de Angola, en un suburbio de Luanda por la constructora Power2Build en 2021, y también en el edificio 3D más grande de África, también en Angola, de 140 m² y que fue impreso en 48 horas (*Cobod International*, 2022).
- Desde octubre de 2022, Cemex cuenta en su Centro de Innovación y Desarrollo de la Ciudad de México con una impresora de pórtico (*gantry*) de extrusión de concreto modelo BOD2 de COBOD (Cemex, 2022), especialmente diseñada para impresión 3D en concreto *in-situm* que puede imprimir objetos de cualquier largo y hasta 14.6 m de ancho, por 8.1 metros de alto (Cobod International, 2025).
- La empresa americana *Mighty Buildings*, cuya misión es la construcción a gran escala de casas habitación estéticas, sustentables y resistentes al clima, por medio de la impresión de muros, fachadas y componentes estructurales prefabricados, instaló en marzo de 2023 una fábrica en Monterrey, con capacidad de imprimir en cada día de operación todos los componentes prefabricados necesarios para construir (o mejor dicho armar) una casa (*Expert Market Research*, 2024).
- En el año 2023, la arquitecta Dinorah Marinez Schulte funda el taller multidisciplinario ManufacturaMx, en el que se realiza investigación aplicada para la creación de componentes constructivos prefabricados, la experimentación y creación de nuevos sistemas constructivos, así como el desarrollo de nuevos materiales en la aplicación de la manufactura aditiva (Jaquez, 2023).

- En junio del 2024, la Empresa TechInt de ingeniería y construcción, en colaboración con CEMEX elaboraron elementos estructurales prefabricados de concreto para ser utilizados en una obra industrial. TechInt elaboró el diseño, Cemex los imprimió en sus instalaciones, y luego eran trasladados a la obra, siendo de los primeros desarrollos de carácter industrial y estructural en México (Techint Ingeniería y construcción, 2024).
- Desde el año 2024, la concretera HOLCIM, también accionista de Cobod International, cuenta con una impresora BOD 2 de Cobod en su Centro de Innovación Tecnológica para Construcción (CITEC) en la Ciudad de Toluca, misma que utilizó en un proyecto de desarrollo de mobiliario urbano (mesas y bancas de concreto) en el proyecto de *Biocities* en Tijuana. En ella usa su mezcla particular de mortero para impresión 3D ultrarrápida denominado Tectorprint (Holcim, 2025).
- En este año 2024, el Instituto Politécnico Nacional adquiere una impresora en concreto portable modelo Maxiprinter de la compañía francesa Constructions-3D, con lo que se convierte en la primera institución de educación superior de América Latina en contar con dicha tecnología para la formación de talento humano (*Constructions 3D*, 2024). Esta impresora se encuentra en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) en su plantel Tecamachalco (Secretaría de Administración del Instituto Politécnico Nacional, 2024).

A pesar de que la adopción de la Tecnología de Impresión 3D de Concreto (3DCP) en el territorio nacional se encuentra en una etapa incipiente, su viabilidad técnica y comercial en el mercado mexicano está respaldada por el interés estratégico de los principales actores de la industria cementera global. En la actualidad, México se ha posicionado como un centro de experimentación relevante debido a que dos de las corporaciones líderes del sector a nivel mundial —Cemex y Holcim— han establecido infraestructura de gran escala y centros de innovación dentro del país. Estas compañías no se limitan a una exploración superficial de la tecnología; por el contrario, lideran el diseño de materiales cementantes de última generación y aditivos químicos avanzados, tales como la familia D.fab. Estos desarrollos son críticos para

el éxito de la 3DCP, ya que están formulados específicamente para optimizar la reología del material durante la extrusión, garantizando tanto la fluidez necesaria para el bombeo como la integridad estructural inmediata requerida para soportar las capas sucesivas de la obra sin necesidad de encofrados.

Este sólido interés corporativo no es un fenómeno aislado, sino que responde a una dinámica de mercado que comienza a reflejarse en las proyecciones macroeconómicas regionales. Según los análisis de la consultora Expert Market Research (EMR), el mercado de impresión 3D de hormigón en México experimentó un punto de inflexión y un aumento notable en su valoración durante el año 2024. Las previsiones financieras y sectoriales indican que este nicho tecnológico mantendrá una robusta tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 27.80% durante el periodo comprendido entre los años 2025 y 2034 (Expert Market Research, 2024). Este indicador sugiere que México posee el potencial de convertirse en un nodo estratégico para la manufactura aditiva en América Latina, impulsado por la necesidad de soluciones habitacionales masivas, la reducción de costos operativos, y la creciente presión normativa por adoptar métodos de construcción con menor impacto ambiental.

La convergencia entre la capacidad instalada de las grandes cementeras y estas proyecciones de crecimiento acelerado señala una transición inminente hacia la fase de escalabilidad industrial. En este sentido, el mercado mexicano no solo actúa como receptor de tecnología, sino como un laboratorio de pruebas para modelos de construcción híbridos que combinan la automatización robótica con la mano de obra especializada local; por tanto, la viabilidad de la 3DCP en el país trasciende la mera innovación teórica, consolidándose como una respuesta estratégica frente a los desafíos de productividad y sostenibilidad que enfrenta la industria de la edificación en la región.

CONCLUSIONES.

La impresión 3D de concreto por extrusión (3DCP) se erige actualmente como un paradigma disruptivo con un potencial extraordinario para liderar la transición hacia una construcción global sustentable,

fundamentada en las innovaciones de la manufactura aditiva, que aunque consolidadas en la teoría, mantienen una evolución constante y acelerada en la práctica científica contemporánea.

En la actualidad, la industria se encuentra en un punto de inflexión crítico, situándose entre los niveles 6 y 7 de la escala de madurez tecnológica (Technology Readiness Level, TRL), lo que explica, que a pesar del notable entusiasmo técnico y la viabilidad demostrada en entornos controlados, la implementación operativa masiva sea todavía incipiente. Esta etapa de transición se refleja en la existencia de apenas unas 200 edificaciones documentadas y validadas a nivel mundial, según los reportes técnicos de mayor autoridad emitidos por Placzek, Schwerdtner y BotFactory en 2024.

La complejidad intrínseca de esta disciplina no se limita únicamente a la convergencia de la mecatrónica de precisión, la electrónica de control y la ingeniería de software de vanguardia, sino que exige una simbiosis profunda y multidimensional con la ciencia de materiales. Este ecosistema de innovación demanda el desarrollo de nuevas formulaciones cementicias aditivas que garanticen la estabilidad reológica, exigiendo al mismo tiempo, una transformación radical en los métodos de diseño arquitectónico y estructural, los cuales deben evolucionar en paralelo para asegurar la viabilidad normativa y mecánica de los proyectos habitacionales e industriales del futuro.

El mapeo sistemático de tendencias en patentes y publicaciones académicas de alto impacto confirma un crecimiento exponencial de la propiedad intelectual a partir del año 2014, revelando que los esfuerzos actuales de Investigación y Desarrollo (I+D) están priorizando estratégicamente la creación de cementos compuestos sostenibles para mitigar los efectos del cambio climático mediante la reducción drástica de la huella de carbono embebida. Esta tendencia global se manifiesta en el desarrollo de componentes estructurales de alta eficiencia que prescinden de los refuerzos de acero convencionales a través de la optimización topológica, así como en el diseño de procesos de "cero desperdicio" mediante el uso de encofrados ecológicos impresos con materiales terrosos o reciclados para aplicaciones híbridas de economía circular; asimismo, la integración sinérgica de estas tecnologías con modelos de digitalización

avanzada, como el Modelado de Información de la Construcción (BIM), y el desarrollo de sistemas robóticos automatizados a gran escala, han permitido establecer protocolos rigurosos para la simulación de comportamiento estructural, el análisis de propiedades mecánicas anisotrópicas y el control de calidad automatizado en cada fase del proceso de extrusión, buscando siempre alcanzar una eficiencia energética superior durante la ejecución de la obra en comparación con los métodos de vertido tradicionales.

En este contexto de transformación destaca un bloque robusto de investigaciones orientadas a la validación sistemática y experimental de las ventajas competitivas de la 3DCP, utilizando herramientas de medición objetiva como la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) y estudios de caso comparativos que contrastan el desempeño ambiental y financiero frente a los métodos constructivos convencionales. Estas métricas son fundamentales para definir hojas de ruta institucionales hacia la sustentabilidad real del sector; no obstante, la operación técnica in situ sigue representando un desafío multifactorial que comienza desde la fase de diseño computacional, donde se deben predefinir con exactitud milimétrica los parámetros de la mezcla, la logística del equipamiento robótico y la estrategia de la cadena de suministro en función de las condiciones topográficas del terreno.

La sensibilidad extrema del proceso a las variables climáticas exógenas, como la temperatura ambiente y la humedad relativa, obliga a mantener un equilibrio precario entre la fluidez necesaria para una extrusión continua y la resistencia temprana requerida para soportar el peso propio de las capas sucesivas durante el fraguado. Esta interdependencia técnica crítica exige la vigilancia constante de expertos y el uso de software de simulación predictiva para realizar ajustes paramétricos en tiempo real que salvaguarden la integridad estructural del edificio.

En conclusión, aunque la tecnología aún no opera de forma masiva y su impacto total en la productividad global es complejo de cuantificar con precisión estadística en esta etapa, la urgencia climática y la crisis de vivienda convierten su estudio sistemático en una necesidad imperativa, consolidando los resultados de este trabajo como un insumo estratégico para el avance científico basado en la revisión rigurosa de la

literatura técnica y la propiedad intelectual existente a nivel mundial.

Reconocimiento.

El artículo deriva del proyecto de investigación con registro SIP IPN 20250247.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Ahmed, G. H. (2023). A review of “3D concrete printing”: Materials and process characterization, economic considerations and environmental sustainability. *Journal of Building Engineering*, 66, 105863. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223000426>
2. Altamirano, M. (2024). *Cómo hacer un protocolo de investigación. Ejercicio didáctico para un trabajo escolar, académico o de investigación.* México: Tirant lo Blanch.
3. Ansari, M. A., Shariq, M., & Mahdi, F. (2023). Geopolymer concrete for clean and sustainable construction—A state-of-the-art review on the mix design approaches. In *Structures*, 55, 1045-1070. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352012423008469>
4. Auer, D. (2025). 3DCP.fyi (v1.0.0) Repositorio de GitHub. <https://github.com/dan-auer/3dcp.fyi>
5. Auer, D., Bos, F. y Fischer, O. (2024, September). 3DCP. fyi-A Comprehensive Citation Network Graph on the State of the Art in 3D Concrete Printing. In *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication* (pp. 533-538). Cham: Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-70031-6_62
6. Besklubova, S., Raza, M. H., Zhong, R. Y. y Skibniewski, M. J. (2024, June). 3D Printing vs. Traditional Construction: Cost Comparisons from Design to Waste Disposal Stages. In *Proceedings of the 41st International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2024)*, Lille, France (pp. 3-5). https://www.iaarc.org/publications/2024_proceedings_of_the_41st_isarc_lille_france/3d_printing_vs_traditional_construction_cost_comparisons_from_design_to_waste_disposal_stages.html

7. BotFactory, Inc. (2024). TRLs and MRLs in 3D Printing. An insight on industry trajectory. BotFactory. <https://www.botfactory.co/blog/what-s-new-at-botfactory-1/post/trls-and-mrls-in-3d-printing-260>
8. Buswell, R. A., Thorpe, A., Soar, R. C. y Gibb, A. G. (2008). Design, data and process issues for mega-scale rapid manufacturing machines used for construction. *Automation in Construction*, 17(8), 923-929. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580508000460>
9. CEMEX Ventures. (11 de Julio de 2023). Impresión 3D en la construcción: Innovación y eficiencia para el futuro. <https://goo.su/cb58m>
10. CEMEX. (4 de octubre de 2022). CEMEX es primera compañía que introduce impresión 3D con concreto en México. <https://goo.su/34SYkmE>
11. COBOD International. (20 de junio de 2022). Largest 3D printed building in Africa. COBOD International. <https://chatgpt.com/c/67d93022-60fc-8002-a43c-6b9aa70e0716>
12. COBOD International. (2025). BOD2 specifications. COBOD International. <https://cobod.com/solution/bod2/specifications/>
13. Dobrowolska, K. (4 de Marzo de 2021). ¿Cómo afecta la construcción al medio ambiente?. <https://agbc.org.ar/?articulos=como-afecta-la-construccion-al-medio-ambiente>
14. Échale. (2025). Nacajuca Tabasco. <https://echale.mx/en/proyectos/nacajuca/>
15. El-Sayegh, S., Romdhane, L. y Manjikian, S. (2020). A critical review of 3D printing in construction: Benefits, challenges, and risks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20, 1-25. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43452-020-00038-w>
16. European Patent Office [EPO]. (Septiembre 2023). Innovation trends in additive manufacturing. <https://link.epo.org/web/service-support/publications/en-additive-manufacturing-study-2023-full-study.pdf>
17. Expert Market Research. (2024). Mercado de impresión 3D de hormigón en México- Por oferta, tipo de impresión, técnica, uso final y región (2025-2034).

<https://www.expertmarketresearch.com/es/reports/mexico-3d-concrete-printing-market>

18. Geng, S., Wang, Y., Zuo, J., Zhou, Z., Du, H. y Mao, G. (2017). Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 176-184.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117303830>
19. Holcim. (2025) Morteros Tectorprint. Morteros para impresión 3D. Productos y Servicios.
<https://www.holcim.es/morteros-impresion-3D>
20. IMARC Group. (2025). 3D concrete printing market: Industry trends, share, size, growth, opportunity and forecast 2024-2029. <https://www.imarcgroup.com/3d-concrete-printing-market>
21. International Organization for Standardization [ISO], American Society for Testing Materials [ASTM]. (2021). Standard 52900:2021. Additive manufacturing- General principles – Fundamentals and vocabulary. Edition 2. <https://www.iso.org/standard/74514.html>
22. International Organization for Standardization [ISO], American Society for Testing Materials [ASTM]. (2023). Standard 52939:2023. Additive manufacturing for construction – Qualification principles - Structural and Infrastructure elements. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-astm:52939:ed-1:v1:en>
23. Jaquez, D. (26 de Junio de 2023). Manufactura MX. Materiales sustentables a partir de cascarones. Grid Magazine. <https://www.gridmag.com.mx/index.php/2023/06/26/manufacturamx-materiales-sustentables-a-partir-de-cascarones/>
24. Kamin, D. (1° de octubre de 2021). Un pueblo de México tendrá casas construidas con una impresora 3D. Square Feet. The New York Times.
<https://www.nytimes.com/es/2021/10/01/espanol/construccion-casas-3d-mexico.html>
25. Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation in construction*, 13(1), 5-19.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>

26. Kibert, C. J. (1994). Establishing principles and a model for sustainable construction. In Proceedings of the first international conference on sustainable construction (pp. 6-9). Tampa, FL: CIB Publications TG 16, Roterdeão. https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24773.pdf
27. Lima, L., Trindade, E., Alencar, L., Alencar, M. y Silva, L. (2021). Sustainability in the construction industry: A systematic review of literature. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125730. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620357760>
28. Liu, T., Chen, L., Yang, M., Sandanayake, M., Miao, P., Shi, Y., y Yap, P. S. (2022). Sustainability considerations of green buildings: a detailed overview on current advancements and future considerations. *Sustainability*, 14(21), 14393. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/14393>
29. Mavi, R. K. , Gengatharen, D., Mavi, N. K., Hughes, R., Campbell, A. y Yates, R. (2021). Sustainability in construction projects: a systematic literature review. *Sustainability*, 13(4), 1932. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/1932>
30. Medina, H. S. R. (2021). *Arquitectura del futuro. Las construcciones con impresora 3D*. Universidad politécnica de madrid. <https://oa.upm.es/66723/>
31. Montjoy, V. (11 de agosto de 2023). Infograffa: La evolución de la impresión 3D en la arquitectura, desde 1939. ArchDaily en Español. <https://www.archdaily.cl/cl/1005303/infografia-la-evolucion-de-la-impresion-3d-en-la-arquitectura-desde-1939>
32. Musenga, C. y Aigbavboa, C. (2019). Environmental impacts of construction activities: A case of Lusaka, Zambia. In *Advances in Human Factors, Sustainable Urban Planning and Infrastructure: Proceedings of the AHFE 2018 International Conference on Human Factors, Sustainable Urban Planning and Infrastructure*, July 21-25, 2018, Loews Sapphire Falls Resort at Universal Studios, Orlando, Florida, USA 9 (pp. 535-541). Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94199-8_52

33. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... y Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista española de cardiología*, 74(9), 790-799. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300893221002748>
34. Pastia, C. (2020, October). 3D Printing of Buildings. Limits, Design, Advantages and Disadvantages. Could This Technique Contribute to Sustainability of Future Buildings?. In *Critical Thinking in the Sustainable Rehabilitation and Risk Management of the Built Environment: CRIT-RE-BUILT. Proceedings of the International Conference, Iași, Romania, November 7-9, 2019* (p. 298). Springer Nature. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-61118-7>
35. Piccarozzi, M., Silvestri, C., Aquilani, B. y Silvestri, L. (2022). Is this a new story of the ‘Two Giants’? A systematic literature review of the relationship between industry 4.0, sustainability and its pillars. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121511. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162522000439>
36. Placzek, G. y Schwerdtner, P. (2024). A Global Snapshot of 3D-Printed Buildings: Uncovering Robotic-Oriented Fabrication Strategies. *Buildings*, 14(11), 3410. <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/11/3410>
37. Secretaría de Administración del Instituto Politécnico Nacional. (2 de febrero de 2024). ¿Ya conoces la primera impresora de concreto para prácticas universitarias en México y Latinoamérica? Ubicada en ESIA Unidad Tecamachalco.[Actualización de Estado]. Facebook. <https://www.facebook.com/ipnsad/posts/-ya-conoces-la-primera-impresora-de-concreto-para-pr%C3%A1cticas-universitarias-en-m%C3%A9xico-y-latinoam%C3%A9rica-411591027931614/>
38. Shahnoori, S. y Mohammadi, M. (2022). Construction for Health; Reversing the Impacts. *Buildings*, 12(8), 1133. <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/8/1133>

39. Shen, L. Y., Tam, V. W., Tam, L. y Ji, Y. B. (2010). Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice. *Journal of cleaner production*, 18(3), 254-259.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652609003424>
40. Swinhoe, D. (25 de Junio de 2024). Impresión 3D: ¿una revolución en la construcción?. *Canal Diseño & Construcción. Reportajes. Data Center Dynamics*.
<https://www.datacenterdynamics.com/es/features/impresion-3d-una-revolucion-en-la-construccion/>
41. Techint Ingeniería y Construcción. (3 de junio de 2024). Tendencia e innovación: Techint E&C apuesta por la impresión en 3D de concreto. *Techint*.
<https://www.techint.com/es/noticias/2024/tendencia-e-innovacion-techint-ec-apuesta-por-la-impresion-en-3d-de-concreto>
42. United Nations Environment Programme [UNEP]. (2023). *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/43293?show=full>
43. Urschel, W.E. (1944). *Machine for Building Walls*. (U.S. Patent No. US2339892A). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US2339892A/en>
44. Velling, A. (2021). *Extrusión de metal*. Fractory. <https://fractory.com/metal-extrusion/>
45. Wang, L., Ma, G., Liu, T., & Zhang, J. (2024). Versatility of extrusion-based 3D concrete printing: Methods and materials. *Cement and Concrete Composites*, 145, 105342.
46. Wang, X., Li, W., Guo, Y., Kashani, A., Wang, K., Ferrara, L. y Agudelo, I. (2024). Concrete 3D printing technology for sustainable construction: A review on raw material, concrete type and performance. *Developments in the Built Environment*. 2024. Vol. 17.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165924000590>
47. Wuni, I. Y., Shen, G. Q. y Osei-Kyei, R. (2019). Scientometric review of global research trends on green buildings in construction journals from 1992 to 2018. *Energy and buildings*, 190, 69-85.

48. Zuo, J. y Zhao, Z. Y. (2014). Green building research—current status and future agenda: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 30, 271-281.

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **LMarco Antonio Rodríguez Otero.** Estudiante de la Maestría en Gestión de la Innovación. Adscripción: Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, CDMX. Correo electrónico: marcorodriguez0001@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6938-0034>.
2. **Hortensia Gómez Viquez.** Doctora en Estudios Sociales, Línea Economía Social. Adscripción: Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, CDMX. Correo electrónico: hgomezv@ipn.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1820-1877>. Autora de correspondencia.

RECIBIDO: 26 de febrero del 2026.

APROBADO: 31 de marzo del 2026.