

# Diagnóstico Tecnológico de las Principales Tendencias en la Industria de la Construcción

## Technological Diagnosis of the Main Trends in the Construction Industry

### Diagnóstico Tecnológico das Principais Tendências da Indústria da Construção

Yunellis Burgos Pereira<sup>1</sup>, Carolina Miranda Machado<sup>2</sup>, Lucia Ramos Gómez<sup>3</sup>, Claudio Narváez Zúñiga<sup>4</sup>

[Aderlin Ortiz Orozco, Juan Anaya López, María Revollo Padilla, Yanier Rojas Miranda, Julio Concha Castro, Juan Quiroz Espinosa, Cindy Castilla Pérez, María Puentes Ortiz]<sup>5</sup>

Recibido: 17/07/2023 Aceptado: 20/10/2023 Publicado: 22/12/2023

#### Resumen

La implementación de procesos de vigilancia tecnológica para innovaciones y tendencias en la industria de la construcción es de gran importancia. La metodología llevada a cabo para este diagnóstico tecnológico consta de 4 grandes fases que enmarcan el proceso de vigilancia tecnológica que consistió primeramente en una recolección de la información para su posterior análisis, logando la publicación de la información y por último la toma de decisiones lo que permitió abrir paso a un conjunto de información literaria cerca de la tecnología abordada en este caso, los sensores IOT específicamente los empleados en el armado de estructuras y hormigón. Se obtuvo el nivel actual de tecnología e innovación y así mismo las herramientas novedosas que se están empleando en el sector y que buscan precisamente brindar mayor seguridad y confianza en las estructuras como lo son los sensores IOT para hormigón y la robótica. Desde esta perspectiva el artículo permitió realizar una revisión de la literatura para indagar que iniciativas han sido implementadas en la construcción de viviendas y edificaciones residenciales desde el enfoque de IoT encaminados a cubrir los problemas presentes en el proceso de construcción.

**Palabras clave:** Tecnología, Construcción, Sensor, Hormigón, Robótica.

#### Abstract

The implementation of technology monitoring processes for innovations and trends in the construction industry is of great importance. The methodology carried out for this technological diagnosis consists of 4 large phases that frame the technological surveillance process, which consisted first of collecting

<sup>1</sup> Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia. [yburgos@tecnologicocomfenalco.edu.co](mailto:yburgos@tecnologicocomfenalco.edu.co) - <https://orcid.org/0000-0003-4755-7765>

<sup>2</sup> Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia. [carolina.miranda@tecnologicocomfenalco.edu.co](mailto:carolina.miranda@tecnologicocomfenalco.edu.co) - <https://orcid.org/0009-0009-7366-8056>

<sup>3</sup> Institución Universitaria Mayor de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia. [lramosg@iumcar.edu.co](mailto:lramosg@iumcar.edu.co) - <https://orcid.org/0000-0001-5506-4480>

<sup>4</sup> CN Consultores y Asociados SAS, FUCEC, Cartagena de Indias, Colombia. [cnarvaez@cnconsultores.com.co](mailto:cnarvaez@cnconsultores.com.co) - <https://orcid.org/0009-0006-2979-5152>

<sup>5</sup> Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena de Indias, Colombia. Estudiantes Semilleristas Programa Ingeniería Industrial.

information for subsequent analysis, achieving the publication of the information and finally making decisions, which It allowed us to open the way to a set of literary information about the technology addressed in this case, IOT sensors specifically those used in the reinforcement of structures and concrete. The current level of technology and innovation were obtained, as well as the innovative tools that are being used in the sector and that seek precisely to provide greater security and confidence in structures such as IOT sensors for concrete and robotics. From this perspective, the article allowed for a review of the literature to investigate what initiatives have been implemented in the construction of homes and residential buildings from the IoT approach aimed at covering the problems present in the construction process.

**Keywords:** Technology, Construction, Sensor, Concrete, Robotics.

### **Resumo**

A implementação de processos de monitoramento de tecnologia para inovações e tendências na indústria da construção é de grande importância. A metodologia realizada para este diagnóstico tecnológico consiste em 4 grandes fases que enquadram o processo de vigilância tecnológica, que consistiu primeiro na recolha de informação para posterior análise, na concretização da publicação da informação e por último na tomada de decisões, o que nos permitiu abrir caminho para um conjunto de informações literárias sobre a tecnologia abordada neste caso, sensores IOT especificamente aqueles utilizados no reforço de estruturas e concreto. Foi obtido o atual nível de tecnologia e inovação, bem como as ferramentas inovadoras que estão sendo utilizadas no setor e que buscam justamente proporcionar maior segurança e confiança em estruturas como sensores IOT para concreto e robótica. Nessa perspectiva, o artigo permitiu uma revisão da literatura para investigar quais iniciativas têm sido implementadas na construção de casas e edifícios residenciais a partir da abordagem IoT visando abranger os problemas presentes no processo construtivo.

**Palavras-chave:** Tecnologia, Construção, Sensor, Concreto, Robótica.

### **Introducción**

La industria de la Construcción ha sido un sector bastante rezagado en los últimos años comparado con otros referentes como el sector manufacturero, sumado a esto, éste sector atravesó una crisis mayor a causa de la pandemia del covid-19, suceso del cual hasta ahora no ha podido recuperarse, acompañado desde siempre a otros factores que debilitan su mejora y productividad como lo son las políticas y los altos costos de insumos y materia prima asociados a la construcción y la constante lucha con los desistimiento de viviendas que complican radicalmente su desarrollo.

En 2023, la industria de la construcción experimentó dificultades debido a continuas interrupciones en la cadena de suministros causadas por conflictos bélicos y la inflación, que incrementó el costo de los materiales. Asimismo, el aumento en las tasas de interés afectó negativamente al mercado de nuevas construcciones. A esto se sumaron innovaciones como la industrialización y el uso de madera como material alternativo, junto a la persistente falta de mano de obra.

En un mundo en constante evolución, donde la tecnología avanza a pasos agigantados, el sector de la construcción busca adaptarse e integrar innovaciones que mejoren sus procesos y resultados. Este artículo presenta un diagnóstico tecnológico de la industria de la construcción, desarrollado a través de cuatro fases metodológicas claramente definidas: identificación de necesidades sectoriales, búsqueda y captura de nuevas tecnologías, organización de la información recopilada y publicación de los resultados relevantes.

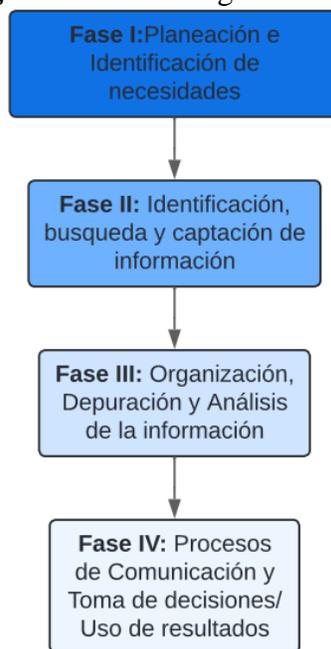
Este análisis no solo proporciona una visión amplia de la situación actual y futura del sector de la construcción, sino que también destaca las oportunidades de adopción tecnológica que podrían revolucionar las prácticas convencionales y conducir a un avance significativo en la eficiencia y efectividad de la industria de la construcción global.

El propósito del presente artículo es proporcionar una visión sobre iniciativas desarrolladas en la industria de la construcción en el mundo, bajo el enfoque del internet de las cosas o IOT. El estudio se basó en la recopilación de información extraída de fuentes bibliográficas de la literatura y bases de datos que destacan las oportunidades de mejora y de adopción de nuevas tecnologías en un sector necesitado de innovación (Andrade et al., 2017).

## Metodología

Para la realización de este diagnóstico tecnológico se emplearon 4 fases: en la primera se identificaron las necesidades del sector de la construcción, en la segunda se realizaron búsqueda y captación de las nuevas tecnologías en este sector. En la tercera fase se organizó la información seleccionada y por último, en la cuarta fase se publicaron los resultados pertinentes a la investigación (Barbosa, 2012).

**Figura 1:** Metodología de trabajo



**Fuente:** Elaboración propia

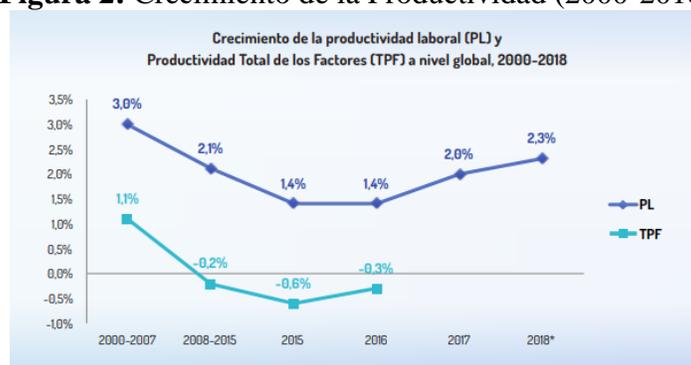
## Dinámicas y tendencias en la productividad global: un estudio sobre la fuerza laboral y la PTF

La productividad Global ha sido evaluada de diferentes maneras las principales se encuentran asociadas a los aportes que se originan en la fuerza laboral, el capital y la productividad total de los factores. Además de esto los investigadores para tener unas medidas más certeza de productividad emplearon el índice de Productividad Total de los Factores (PTF). Entre más alto sea este indicador, significa que se puede generar una mayor producción manteniendo el nivel de factores observables constante (Sánchez-Rico, 2019).

Según un estudio publicado por The Conference Board, durante el año 2017 el crecimiento de la productividad laboral global fue de 2%, lo que indica un mejor resultado en comparación con 2016, cuando fue de 1,4%. Para el año 2018, este mismo organismo proyecta un crecimiento adicional de 2,3% en la productividad fruto de un tramo del ciclo favorable. Sin embargo, estos resultados se encuentran lejanos de las tasas de productividad promedio de 2,7% experimentadas antes de la crisis de 2008. Además, se espera que la productividad laboral siga siendo impulsada principalmente por las economías desarrolladas. (Bonilla & Buitrago, 2018).

En cuanto a la Productividad Total de los Factores, se encuentra que el balance mundial es poco favorable, ya que en los últimos 10 años este indicador ha tenido un balance negativo. Particularmente, en el año 2016 se ubicó en -0,3%, lo que significó una pequeña recuperación respecto al año 2015 cuando fue de -0,6% (Bonilla & Buitrago, 2018).

**Figura 2:** Crecimiento de la Productividad (2000-2018)



Fuente: Informe de productividad, CAMACOL (2018)

### Productividad en el sector de la construcción

A nivel global, el aumento de la productividad en el sector de la construcción ha sido más lento en comparación con otros sectores. De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en las últimas dos décadas se ha formado una diferencia significativa en el crecimiento de la productividad de este sector en particular frente al crecimiento promedio de la economía, con un avance de solo 1% anual en la construcción frente al 2,7% en otros sectores. Estos datos sugieren que la industria de la construcción actual no está respondiendo adecuadamente a las demandas globales, quedándose atrás debido a problemas como la falta de recursos de calidad, innovación insuficiente, retrasos en la entrega de proyectos y elevados costos XXX. Referente a esta situación, éste artículo plasma las principales tendencias tecnológicas descubiertas en la actualidad para la mejora y avance de procesos y resultados en la industria de la construcción.

**Figura 3:** Crecimiento de la productividad laboral a nivel mundial (1995-2014)

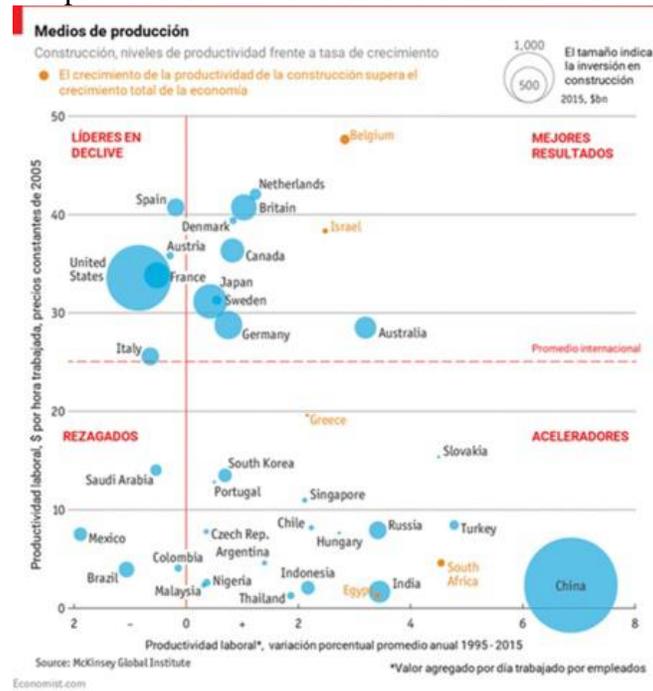


*Fuente:* (Savio, 2022).

## Productividad en el sector de la construcción en Latinoamérica

Latinoamérica experimentaba una tendencia de crecimiento en este sector, aunque por debajo del promedio mundial. Todo esto se vio gravemente afectado por pandemia de Covid-19 en 2020 puesto que se esperaba un crecimiento promedio de la industria de la construcción de 2,6% anual entre 2020 – 2023, según un análisis realizado por la Asociación de Fabricantes de Equipos de Estados Unidos (AEM). Esto no demuestra un avance en la actualidad tal como se tenía previsto. Por el contrario, a los pronósticos, este sector fue severamente afectado obteniendo el peor desempeño del mundo en 2020 según el informe anual “*Global Powers of Construction*” (Savio, 2022).

**Figura 4:** Niveles de productividad de la construcción frente a las tasas de crecimiento



*Fuente:* (Savio, 2022).

De acuerdo con los niveles de productividad se puede observar que los países latinoamericanos se encuentran rezagados y dan poca inversión al sector, a diferencia de países como Estados Unidos, Japón, España, Francia que tienen buenos resultados, pero están cercanos al declive de la industria.

## Productividad en el sector de la construcción en Colombia

A nivel global se ha presentado un abaja productividad si hablamos del entorno nacional el panorama no cambia en Colombia entre 1995 y 2015 la productividad del sector no solo se retrasó, sino que además se contrajo, con lo cual actualmente presenta uno de los niveles de productividad más bajos comparado con sus pares internacionales. En el diagnóstico realizado por la consultora McKinsey se encontró que existe una grieta en la adopción de nuevas tecnologías en el sector de la construcción. Este atraso se debe a tres factores que van desde factores externos pasando por la industria y terminando internamente en la empresa. Estos limitan y suponen un retraso en el avance y la evolución en el sector de la construcción.

**Figura 5: Razones de la Baja Productividad**

**Fuente:** Informe de productividad, CAMACOL (2018)

### Desafíos en el sector de la construcción en Colombia durante 2023

El año 2023 ha sido un reto constante para el sector de la construcción y la venta de viviendas en Colombia sobre todo en los meses de Julio, Agosto y Septiembre se registraron contracciones significativas. El PIB del sector presentó una contracción de -8,0%, las edificaciones cayeron -5,0%, las actividades especializadas -7,1% y las obras civiles -15,0%. Respecto al PIB de edificaciones, resulta relevante señalar que la caída en producción residencial (-7,7%) ha empujado la construcción del subsector, lo cual a su vez se explica por la dinámica negativa de los principales indicadores líderes de la vivienda (CAMACOL, 2023).

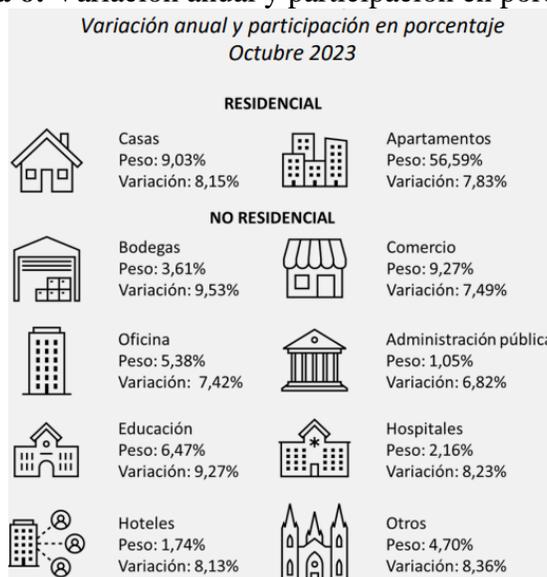
En los lanzamientos de viviendas nuevas se presentó una caída de 17 meses consecutivos sumado a esto la tendencia de las iniciaciones de obra ha sido negativa desde Marzo de 2023. Las causas derivadas de esta problemática se atribuyen principalmente al choque en los comportamientos generales de los precios, las tasas de interés, así como los cambios en las políticas de subsidios.

En materia residencial, los costos asociados a apartamentos presentaron un crecimiento anual 7,83% en octubre de 2023, mientras que el registro de los costos vinculados a casas fue de 8,15%. Todo el segmento residencial tiene una ponderación del 65,62% dentro del índice total. En cuanto a destinos no residenciales, seis se ubicaron por encima del promedio nacional, con variaciones importantes.

En el área residencial los costos relacionados a apartamentos aumentaron un 7,83% en el corte anual (Octubre-2023) mientras que los costos asociados a casas fueron de 8,15%. Todo el sector residencial tuvo una ponderación del 65,62% dentro del índice total. Por otro lado, seis de los destinos no residenciales se ubicaron por encima del promedio nacional, con variaciones relevantes (CAMACOL, 2023).

## Índice de Costos de la Construcción de Edificaciones (ICOCED)

**Figura 6:** Variación anual y participación en porcentajes



**Fuente:** Informe Económico 118 (Diciembre 22 de 2023) CAMACOL

### Insumos en el sector de la construcción

El ICOCED también permite hacer un análisis según grupo de costos e insumos. Materiales representa la mayor ponderación en el total del índice (50,7%), de manera que las fluctuaciones en este grupo inciden ampliamente en el índice agregado. Al grupo de materiales le siguen los servicios especializados de la construcción (21,9%), mano de obra (20,4%), equipo (3,7%), equipo especial para obra (1,2%), maquinaria (1,1%), transporte (1%) y herramientas menores (0,1%) (CAMACOL, 2023).

**Figura 7:** Variación anual y participación en porcentaje (Octubre 2023)

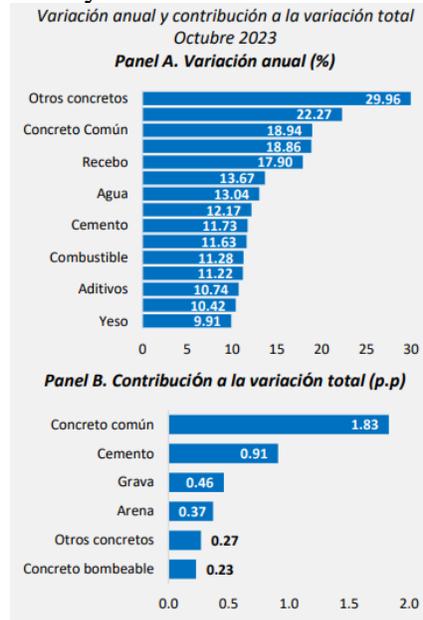
*Variación anual y participación en porcentaje  
Octubre 2023*

Grupos de costos	Peso	Var. Anual
Materiales	50.7%	7.0%
Servicios Generales de la Construcción	21.9%	7.6%
Mano de Obra	20.4%	11.3%
Equipo	3.7%	7.9%
Equipo Especial para Obra	1.2%	2.9%
Maquinaria	1.1%	12.6%
Transporte	1.0%	5.6%
Herramienta Menor	0.1%	5.6%

**Fuente:** Informe Económico 118 (Diciembre 22 de 2023) CAMACOL

Al desagregar el grupo de mayor peso en este caso el grupo de materiales notamos que a su vez varios materiales han presentado tasas de crecimiento por encima de la inflación (10,48%), dentro de los que se encuentran otros concretos (27,11%), asfalto (18,70%), concreto bombeable (18,33%), concreto común (17,85%) y recebo (16,01%) (CAMACOL, 2023).

**Figura 8:** Validación anual y contribución a la variación total (Octubre 2023)



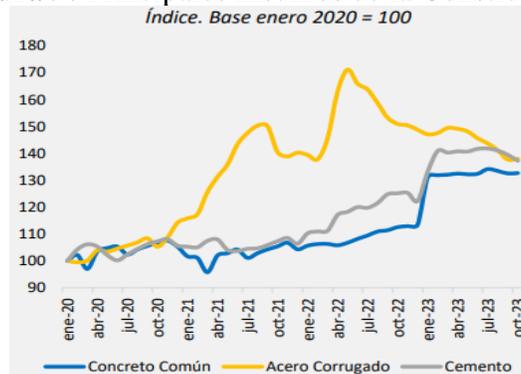
**Fuente:** Informe Económico 118 (Diciembre 22 de 2023) CAMACOL

Muchas personas atribuyen el alza de precio a una razón principal y es la postpandemia debido a la reactivación que se presentó sustentadas en las presiones de las demandas de materiales y las políticas contra cíclicas implementadas para el impulso de la economía, que en varios países del mundo tuvieron como eje la construcción (CEPAL, 2021).

**Principales materiales de la construcción**

Entre los materiales más descatados está el concreto común, el acero corrugado y el cemento. El acero corrugado presentó un crecimiento temprano y más pronunciado en comparación con los otros insumos de referencia. Este insumo registró además un segundo pico de variaciones significativas a mediados de 2022, lo que sugiere que el mercado internacional de este commodity también se vio impactado por el inicio de la guerra ruso-ucraniana que tuvo sus inicios en febrero de dicho año. Caso contrario al acero corrugado y el cemento en los cuales se evidencia una tasa de crecimiento inferior al acero corrugado anteriormente dicho (CAMACOL, 2023).

**Figura 9:** Principales Insumos de la Construcción



**Fuente:** Informe Económico 118 (Diciembre 22 de 2023) CAMACOL

## Robots constructores

Por otro lado, se encuentra la robótica que esta presente ya en muchas industrias, en el sector de la construcción está realizando sus primeros pasos debido a que no se encuentra al mismo nivel que el resto de las industrias en cuanto a requisitos de eficiencia, productividad y sostenibilidad que marca la sociedad.

Se debe tener en cuenta que el sector de la construcción es de los menos automatizados actualmente, pues tiene como fuente de productividad la mano de obra humana; por lo cual se entiende que las tareas de construcción son complicadas para ser automatizadas. Un ejemplo de ello para entender lo mencionado es que un robot industrial opera en entornos controlados, mientras que un robot en el sector de la construcción debe enfrentarse a entornos cambiantes. Lo cual lleva a que estos últimos deban adaptarse a cambios constantes en su sitio de trabajo, evitando la reprogramación de ellos en la medida de lo posible, con el fin de llegar a ser productivos y rentables.

## Desafíos en la Construcción y el Papel de la Robótica

Hay tres grandes desafíos que tiene la construcción hoy en día, y que la robotización podría resolver. Así lo señalan en Canvas, una de las empresas pioneras en el uso de robots para construcciones.

- El 80% de los contratistas dicen que no pueden encontrar mano de obra calificada
- El coste de construcción cuando se ajusta a la inflación se ha duplicado desde 1970
- Es imprescindible ampliar las obras para 2060, de acuerdo con las predicciones demográficas

## Robots y Sensores presentes en los Avances Tecnológicos en la Construcción

Esta tecnología en el sector de la construcción está experimentando un crecimiento significativo y está transformando la forma en que se planifican, diseñan y ejecutan proyectos de construcción. Entre las tecnologías robóticas utilizadas en la construcción se destacan:

- **Impresión 3D de construcción:** Permite la fabricación de estructuras complejas utilizando materiales como el hormigón, el yeso o el polímero. Esta tecnología puede acelerar el proceso de construcción, reducir costos y minimizar los residuos de materiales.
- **Robots de albañilería:** Automatizan la colocación de ladrillos o bloques, lo que aumenta la velocidad y la precisión en la construcción de muros y estructuras.
- **Drones:** Utilizados para inspecciones de sitios de construcción, monitoreo del progreso del proyecto, mapeo topográfico y seguridad en el lugar de trabajo.

Estas tecnologías mencionadas anteriormente son posibles debido a muchas herramientas como por ejemplo, los sensores, estos permiten a los robots percibir su entorno. Pueden detectar luz, sonido, temperatura, proximidad, movimiento, y más. Esto es fundamental para que los robots puedan interactuar de manera efectiva y segura en los procesos de construcción.

## Sensores IoT en la construcción

IOT o también conocido como internet de las cosas está revolucionando el mundo y el sector de la construcción no es la excepción, donde ha abierto las puertas a un mundo inteligente y automatizado la operación remota de maquinaria, la tecnología usable (wearables) para mejorar la seguridad y la eficiencia de los trabajadores, el seguimiento en tiempo real de equipos y suministros, el uso de sensores en el pie de obra para monitorear las condiciones ambientales y el modelado de la información de construcción (BIM) para crear modelos 3D de edificios y estructuras (Tobón Clavijo et al., 2017).

**Figura 10: Sensores en las edificaciones**

**Fuente:** (Nuñez, 2022)

En ese sentido, la masificación de dispositivos electrónicos en el sector de la construcción de viviendas y edificaciones residenciales ha tenido gran acogida en los últimos años. De acuerdo con la infografía realizada por el BBVA Innovation Center a través del OCDE muestran la evolución de dispositivos conectados a las viviendas, dice que en el año 2012 hubo 10 dispositivos conectados a internet en una vivienda, para el 2017 25 dispositivos y para el 2025 habrá hasta 50 dispositivos por vivienda conectados a internet. Lo anterior significa un incremento del 100% para los próximos años.

Los sensores IOT se posicionan como una solución innovadora a los desafíos presentes en este sector, teniendo la capacidad de conectar y monitorear en tiempo real una amplia gama de equipos, maquinaria y estructuras, el IoT proporciona a los operadores y responsables de proyectos la posibilidad de una gestión más eficiente de los recursos, una mejor planificación y una mayor seguridad en el lugar de trabajo.

Entre los sensores más utilizados se encuentran los sensores de temperatura y humedad para controlar el clima interior y reducir el consumo de energía, los sensores de movimiento para controlar el acceso a áreas restringidas o para monitorizar el progreso de la construcción y los sensores de hormigón, que permiten obtener datos de la resistencia de este material, lo que supone un factor clave a la hora de ahorrar recursos, pero también para asegurar con certeza que las construcciones se encuentran en buen estado. Es así como la utilización de este artefacto novedoso se está necesitando específicamente en el proceso de construcción de edificaciones al brindar confiabilidad y seguridad en la resistencia de dichas edificaciones.

### **Sensores de hormigón**

Tradicionalmente, el monitoreo de la resistencia y madurez del hormigón en grandes proyectos de construcción se realizaba de manera manual. Sin embargo, las tecnologías actuales han evolucionado, permitiendo la incorporación de sensores directamente en el hormigón.

Estos sensores, conectados a un transmisor, monitorean continuamente las diferentes temperaturas del hormigón y transmiten los datos de manera inalámbrica a una plataforma en la nube. A partir de ahí, un software procesa estos datos automáticamente, calculando la madurez y la resistencia basándose en registros históricos. Esto permite supervisar la mezcla de hormigón y su desarrollo de resistencia en tiempo real desde cualquier dispositivo.

Estos sensores emplean la tecnología 0G de Sigfox, uno de los principales proveedores de IoT (Internet de las Cosas) a nivel mundial. Han sido clave en la construcción de uno de los proyectos arquitectónicos más vanguardistas de Europa, las Cactus Towers (Kaktustårnene) en Copenhague. Esta tecnología ha sido fundamental para determinar el momento preciso para desmoldar el encofrado, facilitando así la creación de su distintiva fachada (Franco, 2021).

**Figura 11:** Cactus Towers (Copenhague)



*Fuente:* (Franco, 2021)

En la conferencia realizada en España, Rebecca Crowe, Managing Director de Sigfox España, una de las desarrolladoras del proyecto explicó la importancia de la tecnología para la construcción de estas residencias: “se está prestando especial atención al encofrado del hormigón para conseguir unos cimientos sólidos, lo que supone un desafío adicional, ya que normalmente las estructuras extensas, con una cantidad de pisos, requieren de enfriamiento para garantizar la calidad del producto. En este sentido, la monitorización del estado del hormigón está jugando un papel fundamental, pues es esencial para darle la forma retorcida y tan particular que presentan las torres” (Franco, 2021). Para aportar eficiencia al proceso de armado de hormigón la robótica permite la creación de estructuras más complejas y creativas que podrían ser difíciles de construir utilizando métodos tradicionales.

## RESULTADOS

### Función de los sensores en la robótica

En la Escuela Politécnica Federal de Zúrich (ETHZ), investigadores elaboraron una pared de madera con pequeñas piezas de distintos grosores en el año 2012 y una pared en ladrillo con forma de onda en 2016. Para ello se emplearon dos plataformas móviles: dimRob (Helm, Ercan, Gramazio y Kohler, 2012) e IF (Dörfler et al., 2016). Si bien el concepto de estos dos sistemas es el mismo, IF trae algunas mejoras sobre su predecesora dimRob; su precisión aumenta y la intervención humana se reduce considerablemente ya que no tiene que ser reposicionada manualmente.

Estas dos plataformas se encuentran equipadas con brazos robóticos, sensores (escáneres 2D, 3D e IMU), sistemas de control, software (Grass Hopper Rhinoceros, ROS, ABB Robot Control y Python) y pinzas de vacío. El sistema permite conocer su propia localización dentro del entorno de fabricación y ensamblar componentes de construcción de una manera precisa en el espacio (Sandy et al., 2016). Por otro lado, tener

distintos robots trabajando sobre una misma estructura permite acelerar el tiempo de producción, así como construir estructuras más fuertes y complejas.

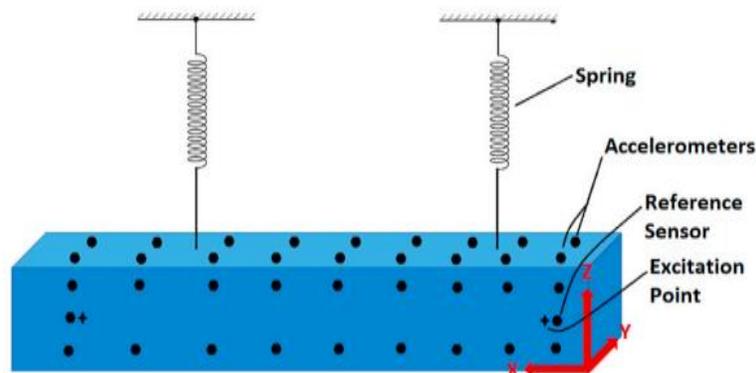
### Aplicaciones del sensor de hormigón

En un estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Ingeniería y Tecnología, Taxila, en Pakistán y el Departamento de Ingeniería Civil de Facultad de Ingeniería de la Universidad Qassim, Buraidah, en Arabia Saudita se aplicó un modelo práctico para el monitoreo de la salud estructural basado en vibraciones de estructuras de hormigón el objetivo era crear métodos modernos de técnicas de detección de daños basadas en vibraciones (VBDD) para esto se realizó un piloto que consistió en la fabricación de tres vigas de hormigón armado de escala reducida 1/4.

Las muestras fueron examinadas bajo pruebas estáticas y modales. Se aplicaron dos disposiciones de sensores que constan de 68 y 54 sensores piezoeléctricos y se llevó a cabo un análisis modal experimental (EMA) con carga incremental en tres pasos. Luego se comparan tres parámetros modales claves: frecuencia natural, amortiguamiento modal y formas modales obtenidas de EMA. A través del FEA (análisis de elementos finitos) se investiga la disposición óptima de los sensores que producen parámetros modales.

Para llevar este ejercicio a gran escala es necesario pronosticar con precisión los parámetros modales en vigas de hormigón armado, los encargados deben optimizar la ubicación de sensores de montaje cerca de la superficie. Estos datos son esenciales para colocar sensores estratégicamente para garantizar un monitoreo de la salud estructural efectivo y confiable. Comprender los efectos de varias configuraciones de sensores facilita la identificación y el diagnóstico temprano de problemas estructurales. Esto es especialmente útil para detectar cualquier deterioro o daño en vigas de hormigón armado antes de que se convierta en un problema grave, lo que permite un mantenimiento e intervención rápidos.

**Figura 12:** Vista esquemática de la ubicación de los sensores



*Fuente:* (Qaser uz Zaman Khana, 2023)

Los sistemas de control a estructuras de hormigón siguen siendo una línea abierta de investigación como aporte a esto Ana Martínez propuso un uso del sensor voltamétrico de Nitrógeno para controlar las condiciones del hormigón mediante el modelo PCA. en el estudio se pretendió verificar el alto potencial de uso de estos sensores en materiales porosos como el hormigón. Con este propósito se caracterizó la respuesta del sensor en tres concretos diferentes ( $w/C=0,6$ ,  $con/C=0,5$  y  $con/C=0,4$ ) y tres condiciones diferentes del hormigón (condiciones de saturación de agua, presencia de cloruros y carbonatación del hormigón). Luego, se desarrolla un modelo PCA, donde se verificó la capacidad del sensor para clasificar

el estado del concreto. La validación del modelo apuntó un rango de aceptación entre 78,3% y 95,4% y con un índice de confianza del 95%. (Ana Martínez-Ibernón, 2023).

**Figura 13:** Prototipo de sensor de Nitrógeno para estructuras de hormigón



*Fuente:* (Qaser uz Zaman Khana, 2023)

De acuerdo con los resultados, el sensor voltamétrico de Ni, junto con las técnicas electroanalíticas aplicadas y el análisis PCA, permiten conocer el estado del concreto ensayado (presencia de cloruros, carbonatación del concreto y variaciones de O y humedad en la red porosa) para distinguirse. Este tipo de sensor no sólo de detectar variaciones de humedad disponibilidad, sino también de mostrar las tendencias correlacionadas con la porosidad del hormigón y su permeabilidad.

En Colombia, la investigación de este tipo de tecnología no se queda atrás, es así como la Universidad Pontificia Bolivariana desarrolló una tecnología con la que se puede monitorear la salud estructural de las construcciones, generando mayor seguridad en los usuarios y evitando pérdidas económicas para empresas públicas y privadas. Se trata de un en un transductor, basado en sensores de fibra óptica, con el que se puede hacer seguimiento de lo que pasa en las edificaciones durante el proceso constructivo y durante su vida útil, de modo que, si hay un daño en el hormigón, se puedan implementar acciones correctivas antes de que ocurra un incidente. Para llevar a cabo el proyecto se instalaron en las 32 columnas de un edificio de 33 pisos, que está siendo construido por la empresa Área Ingenieros Consultores SAS. Cada transductor tiene 55mm de diámetro x 30 cm de longitud y al estar en el centro de la columna, cerca del eje neutro, no implica ningún riesgo. El paso para seguir por los investigadores es adaptar el algoritmo de monitoreo de estructura, que se ha desarrollado para otros proyectos, con el fin de que se ajuste a las necesidades de esta edificación en particular, la cual se convierte en la más grande supervisada bajo esta metodología (Bolivariana, 2022).

### **Aplicación de sensores de hormigón en la construcción: un estudio detallado a través de Herramientas de gestión de información y análisis de palabras clave.**

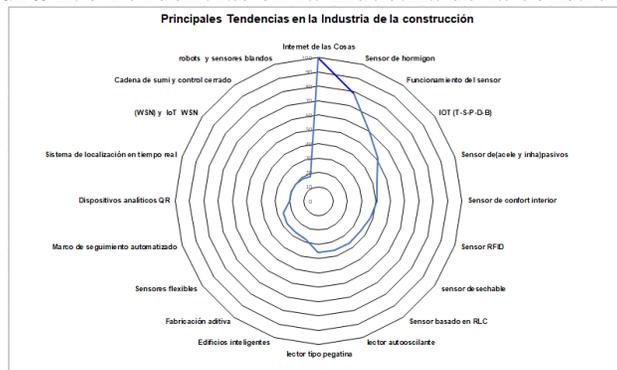
En el desarrollo de esta investigación direccionada a las nuevas tendencias: robótica y sensores se llegó a esta instancia gracias a metodologías cada vez más rigurosas a través de filtros mediante de herramientas como bases de datos institucionales donde se pudo recolectar inicialmente 400 descargas de artículos acerca del tema de sensores en dos grandes grupos (inicios de obras de construcción y finalización de obras) lo cual fue una información muy general y nos conlleva acudir demás herramientas, con Zotero y Jabref se puede organizar un poco más a detalle la información en este caso diversas palabras clave que se desarrollara a continuación en nuestra herramienta final Excel. Luego de tener un poco de compresión y a

detalle la información, suele aumentar la cantidad en este caso un aproximado de 2000 palabras claves, que muchas fueron depuradas al no pertenecer a nuestro direccionamiento.

Como resultados pertinentes en este caso la palabra clave "IOT" nos abre la puerta diversos campos de sensores basados en este sector de la construcción y ofrecer una investigación detallada acerca de este. En el desarrollo de esta investigación direccionada puntualmente a los sensores de hormigón, se pudo llegar a esta instancia gracias a metodologías cada vez más rigurosas a través de filtros mediante de herramientas como bases de datos institucionales donde se pudo recolectar inicialmente 400 descargas acerca del tema de sensores en dos grandes grupos (inicios de obras de construcción y finalización de obras) lo cual fue una información muy general y nos conlleva acudir demás herramientas, con Zotero y Jabref se puede organizar un poco más a detalle la información en este caso diversas palabras clave que se desarrollara a continuación en nuestra herramienta final Excel. Luego de tener un poco de comprensión y a detalle la información, suele aumentar la cantidad en este caso un aproximado de 2000 palabras claves, que muchas serán descartadas al no pertenecer a nuestro direccionamiento.

Con un arduo y dedicado trabajo se contará con una reducción muy importante que indicará el camino a seguir y en que centrar nuestro desarrollo de lo que estemos visionando conseguir. Como resultados pertinentes en este caso la palabra clave "IOT" nos abre la puerta diversos campos de sensores basados en este sector de la construcción y ofrecer una investigación detallada acerca de este.

**Figura 15:** Tendencias en la Industria de la construcción



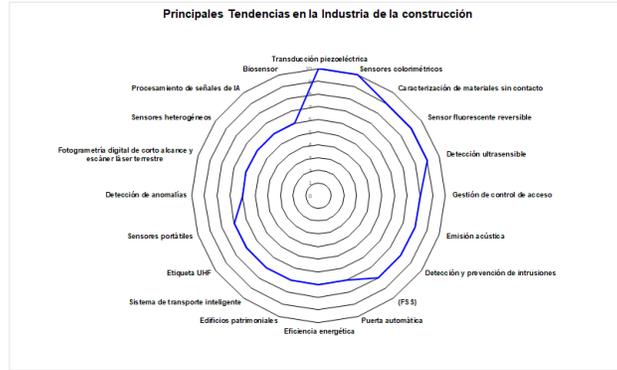
*Fuente:* Elaboración propia

**Figura 16:** Tendencias en la Industria de la construcción



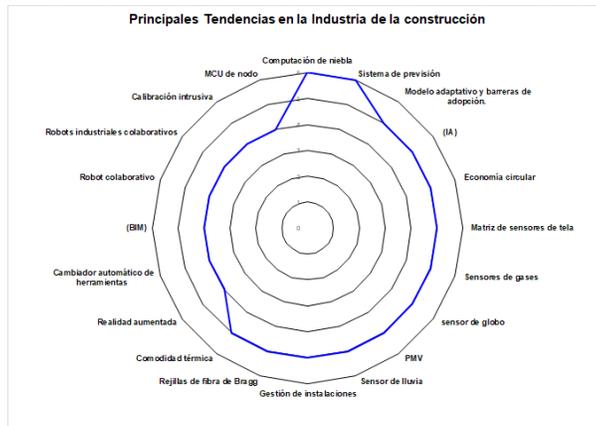
*Fuente:* Elaboración propia

**Figura 17:** Tendencias en la Industria de la construcción



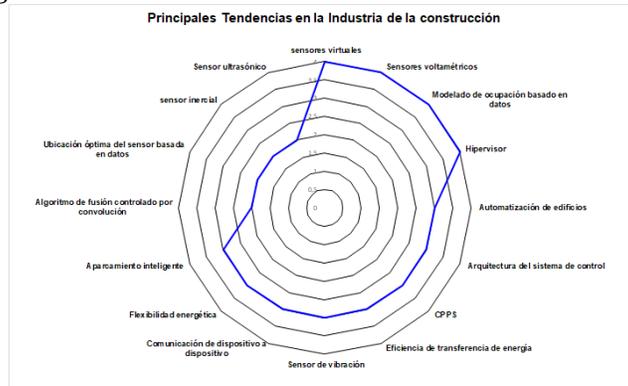
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 18:** Tendencias en la Industria de la construcción



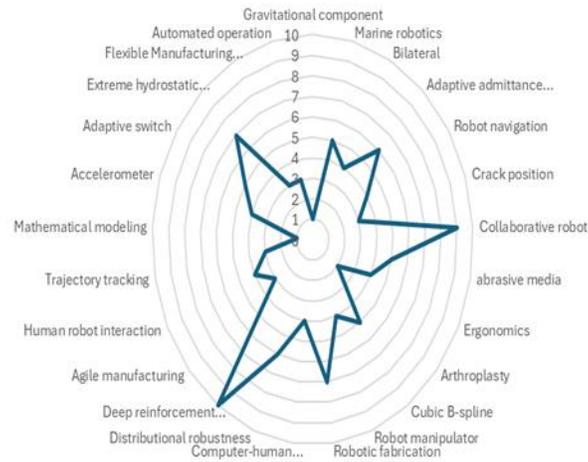
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 19:** Tendencias en la Industria de la construcción



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 20:** Tendencias en la Industria de la construcción



**Fuente:** Elaboración propia

### Empresas pioneras en la utilización de sensores de hormigón

Si bien hay un desarrollo literario de estas tecnologías. Son varias las empresas que ya la emplean en sus procesos entre las cuales se destacan:

- Giatec Scientific Inc. Una empresa canadiense con sede en Ottawa, Ontario que se encarga desarrollar y dispositivos de evaluación de condiciones y control de calidad de pruebas no destructivas para la industria de la construcción como lo son los sensores de Hormigón.

**Figura 22:** Sensores Giatec



**Fuente:** Tomado de <https://www.giatecscientific.com/products/>

- Hilti- Hilti Corporation también conocida como Hilti Group, es una multinacional liechtensteiniana que desarrolla, manufactura y comercializa productos para la construcción y para las industrias de mantenimiento de edificación, principalmente para clientes profesionales.

**Figura 23:** Sensores Hilti



**Fuente:** Tomado de

[https://www.hilti.es/c/CLS\\_MEA\\_TOOL\\_INSERT\\_7127/CLS\\_CONCRETE\\_SCANNERS\\_SENSORS\\_7127/r13232407](https://www.hilti.es/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_SENSORS_7127/r13232407)

## Conclusión

En síntesis, después de haber realizado una debida y correcta vigilancia tecnológica con ayuda de diversas herramientas se tiene como resultado diversas tendencias destacando la alta frecuencia de los sensores IOT, a raíz de esto surgen muchas utilidades como ejemplo, se presentan los sensores de hormigón que monitorea una de las partes más importantes de cualquier construcción, su cimiento ganando gran madurez en investigaciones pasando en parte de procesos manuales a ser un poco más sistematizado (Villarroelg et al., 2015). Estos sensores han sido claves para la construcción del gran proyecto arquitectónico en Europa (la captus tower en Copenhague) en búsqueda de cada día conseguir cimientos cada vez más sólidos particularmente en las torres. Muchas universidades en países como Taxila, Pakistán Arabia Saudita han implementado estudios de hormigón en la salud estructural basados en vibraciones de éstas con su respectivo sistema de análisis como lo es el EMA y el FEA.

Sin olvidar que los sensores desempeñan un papel fundamental en la robótica al proporcionar información crítica sobre el entorno y el estado del robot, permitiéndoles funcionar de manera autónoma, segura y eficiente logrando que sean autónomos, adaptativos y seguros, permitiéndoles interactuar con su entorno y realizar tareas complejas con precisión.

Empresas como Giatec, Hilti group, tecnología 0G de sigfox y demás empresas son empresas que están incorporando al mundo tecnologías que impulsen el crecimiento del sector construcción como lo son este caso los diferentes tipos de sensores que generan gran utilidad a la hora de darle comienzo a una idea de construcción permitiendo así un control muy puntual de diversos factores en las obras. Sin embargo, a pesar que se quiere fortalecer el sector suele contener muchas amenazas desde el crecimiento de costos de materiales aún en los más utilizados generando poco interés en las personas en ejercer o invertir tanto en esta parte económica, como en la parte mundial de diversos países ubicados en la categoría de rezagados recalando en gran parte a Latinoamérica, haciendo énfasis en el desequilibrio que genera a nivel mundial en los indicadores y estudios del sector.

## Referencias

Association of Equipment Manufactures (2020) THE LATIN AMERICAN OUTLOOK: ROBUST EXPANSION ON THE HORIZON? Association of Equipment Manufactures. Recuperado de: <https://www.aem.org/news/the-latin-american-outlook-robust-expansion-on-the-horizon>

Andrade, J. M., Ramírez Plazas, E., & Quintero, A. (2017). Vigilancia tecnológica del sector agroindustrial. Entornos, 30(2), 23–35. <https://doi.org/10.25054/01247905.1404>

Barbosa, A. F. (2012). *VIGILANCIA TECNOLÓGICA : METODOLOGÍAS Y*.

Bolivariana, U. P. (2022). Un sensor para mejorar la seguridad de las edificaciones.

Bonilla, G., & Buitrago, N. (2018). INFORME DE PRODUCTIVIDAD SECTOR CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES. CAMACOL.

CAMACOL. (2023). Informe Económico 118.

Cámara Colombiana de la Construcción. (2017) Una apuesta en construcción: mayor productividad, menores riesgos. Recuperado de: <http://camacolvalle.org.co/wp-content/uploads/2017/11/PRESENTACION-MCKINSEY-Douglas-Nagy.pdf>

- Franco, J. T. (26 de Diciembre de 2021). Sensores en el hormigón: Nueva tecnología para mejorar su eficiencia y evitar desperdicio de material. Obtenido de <https://www.archdaily.co/co/973406/sensores-en-el-hormigon-nueva-tecnologia-para-mejorar-su-eficiencia-y-evitar-desperdicio-de-material>
- Qaser uz Zaman Khana, M. K. (2023). Predicción de los diversos parámetros modales de vigas de hormigón armado para diferentes.
- Martínez-Ibernón, I. G. (2023). Desarrollo de un nuevo sensor voltamétrico de Ni para estimación de condiciones.
- Savio, A. D. (2022). PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN. Andrade, J. M., Ramírez Plazas, E., & Quintero, A. (2017). Vigilancia tecnológica del sector agroindustrial. *Entornos*, 30(2), 23–35. <https://doi.org/10.25054/01247905.1404>
- Barbosa, A. F. (2012). *VIGILANCIA TECNOLÓGICA : METODOLOGÍAS Y*.
- Sánchez-Rico, A.-P. (2019). *Vigilancia Tecnológica y Prospectiva Tecnológica, Políticas de Ciencia , Tecnología e Innovación*. 164.
- Tobón Clavijo, M. L., Zarta, R. H., Zарtha Sossa, J. W., Reveiz, R. E., Díaz Uribe, J. H., & Gómez Garcés, J. G. (2017). Vigilancia tecnológica y análisis del ciclo de vida de la tecnología: Técnicas de evaluación de la usabilidad, métricas y herramientas en el sector TICs. *Espacios*, 38(22).
- Villarroelg, C., Comai, A., Karmelicpavlov, V., Fernándezo, A., & Arriagadav, C. (2015). Diseño e implementación de una unidad de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. *Interciencia*, 40(11), 751–757.