

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 4.0 A PROYECTOS DE  
EDIFICACIÓN**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN  
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORES:**

Rojas Córdova, Alejandro Rafael

San Martín Blas, Erick César

Peña Saavedra, Héctor Enrique

Jara Enriquez, Josué

Flores Zorrilla, Jackelin Violeta

**ASESOR:**

Pablo Fernando Orihuela Astupinaro

Lima, Julio, 2022

## RESUMEN

El trabajo de investigación que se presenta en las siguientes páginas se desarrolla en torno a la Cuarta Revolución Industrial y la aplicación de las tecnologías 4.0 a proyectos de edificaciones. El desarrollo de las denominadas tecnologías es relativamente reciente y ha ofrecido a proyectos de edificaciones e infraestructura avances en la industrialización de procesos.

La industria de la construcción, en comparación a otras industrias, sigue requiriendo del uso intensivo de mano de obra para la ejecución de las labores correspondientes; sin embargo, la incorporación de las tecnologías 4.0 tendrían un efecto disruptivo en la industria en cuanto a la optimización los procesos de diseño y ejecución, mejoramiento de la gestión de la cadena de suministro, incorporación de herramientas digitales y, para que todo esto sea posible, se deberá invertir en la capacitación de la fuerza laboral. En el Perú, con el desarrollo de la industria de la construcción con un crecimiento relativamente estable, se han adaptado nuevas tecnologías, siendo la más difundida, el BIM, que entre las ventajas de su aplicación es mejorar la eficiencia en un proyecto de construcción debido a que permite gestionar la información de los materiales y componentes a utilizar, desarrollar en un modelo único todas las especialidades involucradas, programar las partidas, entre otras.

Las principales aplicaciones como inteligencia artificial, *Machine Learning*, robótica y automatización, *Big data*, *Building Information Modelling*, entre otros, en el sector de la construcción serán presentadas en la presente investigación. Dichas aplicaciones en proyectos del sector construcción se centran principalmente en incrementar la productividad de las empresas, industrializando los procesos repetitivos y el perfeccionamiento de la gestión de proyectos, control y planificación de la producción. Al finalizar, se presentarán propuestas a implementar en la industria de la construcción del Perú debidamente sustentadas y cuyas aplicaciones en otros sectores o países han resultado beneficiosas para dinamizar el sector que, debido a la pandemia, fue duramente afectado y optimizar actividades de gestión y ejecución de proyectos de construcción.

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	2
<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....</b>	<b>6</b>
1.1. Introducción .....	6
1.2. Justificación .....	6
1.3. Alcance.....	7
1.4. Objetivos .....	7
1.4.1. Objetivo general:.....	7
1.4.2. Objetivos específicos: .....	8
1.5. Metodología .....	8
<b>CAPÍTULO 2: Revisión de literatura .....</b>	<b>9</b>
2.1. La industria y las revoluciones industriales.....	9
2.1.1. 1ra Revolución Industrial .....	9
2.1.2. 2da Revolución Industrial.....	10
2.1.3. 3ra Revolución Industrial .....	10
2.1.4. 4ta Revolución Industrial.....	11
2.2. Tecnologías 4.0 en la industria en general .....	12
2.2.1. Big data .....	12
2.2.2. Computación en la nube .....	14
2.2.3. Internet de las cosas (IoT).....	14
2.2.4. Ciberseguridad .....	14
2.2.5. Blockchain .....	15
<b>CAPÍTULO 3: TECNOLOGÍAS 4.0 EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>
3.1. Impresión 3D .....	18
3.2. Inteligencia artificial .....	21
3.2.1. Machine Learning .....	23
3.3. Robótica y automatización .....	24
3.4. Big data .....	25
3.5. Internet de las cosas (IoT) enfocado en la construcción .....	26
3.6. Simulación .....	28
3.7. Building Information Modelling (BIM) .....	31
3.8. Blockchain en la construcción .....	32
3.9. Ciberseguridad en construcción.....	33
<b>CAPÍTULO 4: PROPUESTAS DE TECNOLOGÍAS 4.0 PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ .....</b>	<b>35</b>

4.1.	Uso de inteligencia artificial para la realización de cartas balance.....	35
4.2.	Utilización de tecnologías inmersivas para impulsar el desarrollo de la industria .....	36
4.3.	Empleo de manufactura aditiva para combatir la problemática del acceso a la vivienda en el Perú	37
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>38</b>
5.1.	Conclusiones.....	38
5.2.	Recomendaciones .....	39
<b>CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>40</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resumen grafico de las diferentes revoluciones industriales mundiales .....	11
Figura 2. Estructura de la data en Blockchain. Las transacciones se agrupan en bloques los cuales están unidos a otros bloques.....	15
Figura 3. Tecnología Contour Crafting .....	19
Figura 4. Impresora 3D Big Delta .....	19
Figura 5. Desarrollo de idea del microcontrolador .....	26
Figura 6. Producto desarrollado .....	27



## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1. Introducción**

Las industrias se han ido desarrollando de la mano de las innovaciones tecnológicas que vayan surgiendo y el rubro de la construcción no ha sido ajeno a este progreso. La inserción de nuevas tecnologías ha permitido incrementar la productividad de las empresas mediante la automatización de procesos repetitivos y el perfeccionamiento de la gestión, control y planificación de la producción.

En la actualidad se viene desarrollando la cuarta revolución industrial, también llamada Industria 4.0, la cual se caracteriza por una progresiva introducción de tecnologías que contribuyan a una producción más eficiente. Las tecnologías que impulsan la industria 4.0 son fundamentalmente el internet de las cosas (IoT), computación en la nube, inteligencia artificial y *machine learning*, computación de borde, ciberseguridad y gemelos digitales (IBM, 2021). El presente trabajo de investigación tiene como finalidad analizar las ventajas y desventajas que ofrece la implementación de las tecnologías 4.0 a la industria de la construcción.

### **1.2. Justificación**

En la actualidad, el sector de la construcción está cambiando e implementando debido a la digitalización y a la integración de nuevas tecnologías que optimizan e industrializan los procesos de construcción. Estas nuevas tecnologías aportan mayor flexibilidad y viabilidad técnica brindando soluciones más eficientes en la construcción. Esta digitalización y optimización de procesos se llama actualmente como Construcción 4.0 (Villena et al., 2020). Este nuevo impulso en el sector busca convertir a la construcción en una industria altamente productiva, eficiente, sostenible y rentable (Antolín, 2020).

Con respecto a la situación del sector en el Perú, en el cual la industria de la construcción está en constante crecimiento, la implementación de estas nuevas tecnologías ofrecería una

disminución de tiempos y costos en los procesos constructivos de distintos proyectos. Además, en general, debido a la pandemia se ha vuelto imprescindible adoptar nuevas tecnologías digitales y metodologías que promuevan la colaboración, integración y desarrollo de procesos de construcción y así, poder analizar su impacto en el sector construcción del Perú.

### **1.3. Alcance**

En la presente investigación, con base en la literatura revisada, se analizan las distintas aplicaciones de las tecnologías 4.0 en el sector de la construcción.

Para ello, se empieza estudiando el ciclo de vida de las industrias, analizando su crecimiento y desarrollo hasta la industria 4.0. Para analizar el impacto que tuvieron estas nuevas metodologías, se tratan conceptos relacionados con la optimización de procesos y aumento de productividad y eficiencia.

Luego de ello, se explicarán las actuales tecnologías 4.0 que se llevan desarrollando e implementando en el sector construcción. Se explicará cómo el sector construcción adoptó estas nuevas tecnologías, cómo funcionan y se llevan optimizando en los proyectos de construcción y de qué manera aportan y mejoran los procesos.

Además, se analizan y presentan propuestas de nuevas tecnologías y sus aplicaciones para mejorar la eficiencia en un proyecto de construcción en el Perú, se explicarán las ventajas y desventajas de los mismos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general:**

Identificar las principales tecnologías 4.0 en la construcción y nuevas propuestas de tecnologías para implementar en un proyecto de construcción en el Perú.

#### **1.4.2. Objetivos específicos:**

- Definir la industria 4.0, sus aplicaciones de tecnologías en diferentes campos y su desarrollo a lo largo del tiempo.
- Identificar la aplicación de las diferentes tecnologías y metodologías 4.0 en el sector construcción.
- Sugerir algunas alternativas de aplicación de tecnologías 4.0 y sus aplicaciones serían las más apropiadas para implementar en un proyecto de construcción en el Perú.

#### **1.5. Metodología**

La presente investigación tendrá un enfoque cuantitativo, debido a que se analizan registros narrativos de los fenómenos de estudio mediante técnicas como la observación. La investigación cualitativa estudia la relación entre las variables estudiadas en contextos situacionales o estructurales (Pita y Pértegas, 2002). Además, se considera la investigación como informativa, ya que el presente documento se basa en poder recopilar información sobre la industria 4.0, específicamente en el sector construcción, analizar e identificar las principales tecnologías 4.0 y sus aplicaciones para implementar el sector.

Para poder desarrollar la presente investigación, como se mencionó anteriormente, se describirán las principales tecnologías 4.0 en la industria en general y en el sector construcción. Con ello, se plantean propuestas de tecnologías y metodologías que se puedan desarrollar e implementar en proyectos de construcción en el Perú.

## **CAPÍTULO 2: Revisión de literatura**

### **2.1. La industria y las revoluciones industriales**

Desde el siglo XIX, el principal impulsor de la economía ha sido la industria. El aumento de la productividad y el avance de nuevas tecnologías generó que disminuya el aporte a la industria al PBI (Producto Bruto Interno) debido a que este sector era el que más puestos de trabajo generaba y con la aplicación de dichas tecnologías disminuyó el requerimiento de mano de obra, sin embargo, sigue siendo fundamental debido a que el PBI está relacionado con los servicios y este se basa el desarrollo de la industria. La transformación industrial repercute en otros sectores de actividad, les aporta un valor añadido y llega hasta el consumidor final por lo que tiene consecuencias en el desarrollo de la economía y estilos de vida de la sociedad (Basco et al., 2018).

A través de la historia las revoluciones industriales han marcado un hito en el avance de la sociedad ,la cual se ha ido adaptando a los cambios que esta conlleva, adquiriendo dichos conocimientos en el uso de maquinarias en los procesos de producción, la introducción de energía hidráulica, el uso de vapor como proveedor de energía, trabajo de métodos químicos, la creación de herramientas y el reemplazo de materia prima convencionales por otras creadas con el avance tecnológico desarrollado a lo largo de las fases de la revolución industrial, que serán explicadas a continuación:

#### **2.1.1. 1ra Revolución Industrial**

El concepto de industria inició con el desarrollo de las máquinas a vapor que producían en masa telares, mediante la automatización en serie de vestimentas iguales, lo cual condujo a la aparición de la primera Revolución Industrial (Garrell y Guilera, 2019).

En esta etapa, surgió la revolución agrícola lo cual generó el incremento de tierras que benefició para poder sembrar a través del drenaje de tierras pantanosas, implementación de páramos y deforestación. La aplicación de estas tecnologías produjo que el requerimiento mundial de alimentos pueda ser abastecido a través de herramientas como el sistema de rotación de cultivos Norfolk, la implementación de estiércol como fertilizante en las áreas de cultivo y el uso de maquinarias sofisticadas como las sembradoras (Pacheco, 2021).

### **2.1.2. 2da Revolución Industrial**

La segunda Revolución Industrial surgió a inicios de la Primera Guerra Mundial con la aparición de nuevas tecnologías con la introducción del gas y materiales provenientes del petróleo, el motor de combustión y la electricidad. Lo más característico de esta etapa fue que se exploró nuevos mercados para abastecerse de materias primas e invertir capitales en otros países (Garrell y Guilera, 2019).

En este periodo se produjo varios cambios socioeconómicos, como consecuencia de procesos químicos, metalúrgicos, petroleros y eléctricos, lo cual condujo a la invención del telégrafo y el teléfono, en comparación con la primera revolución industrial esta se caracterizó por tener varios inventos en poco tiempo. El uso de acero en reemplazo del hierro, que era el metal más utilizado, fue característico de esta etapa y se aplicó en diversas construcciones como en la torre Eiffel. El transporte marítimo de vela fue reemplazado por el funcionamiento a vapor los cuales eran fabricados a base de hierro, además, hubo un avance en el desarrollo de la energía eléctrica y creció la extracción de material de hidrocarburo (Pacheco, 2021).

### **2.1.3. 3ra Revolución Industrial**

La tercera Revolución Industrial que estuvo marcada por la creación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) la cual produjo una sociedad de la información (Garrell y Guilera, 2019).

Esta etapa también es llamada como “ la revolución científica y tecnológica” , inició en paralelo con el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, los países que encabezaron la tercera revolución industrial fueron de la unión europea, Estados Unidos y Japón; este periodo se distingue por el estudio y avance de la energía nuclear, la educación universitaria tuvo un espacio de crecimiento y el aumento de la investigación en el área de las telecomunicaciones las cuales abarca la informática, la biotecnología y la robótica (Pacheco, 2021).

#### **2.1.4. 4ta Revolución Industrial**

La cuarta Revolución Industrial inició con la exhibición de empresas alemanas en el CeBit de Hannover el 2013 con la denominación de “nueva guerra” la cual marcó una transición entre la Industria 3.0 a la Industria 4.0. Esta etapa que se desarrolla actualmente trajo consigo la implementación de la industria de la sostenibilidad y las energías limpias, la impresión 3D, el uso de redes sociales en el mercado, *big data* que consiste en el manejo de una gran cantidad de información que beneficia a la comercialización, la integración de las TIC que impulsa la incorporación del conocimiento a la información en las distintas etapas del ciclo de vida del producto (Garrell y Guilera, 2019).

Esta etapa tiene varios puntos que profundizar como es la globalización, la que disminuyó la brecha entre países alejados para acercarlos en tiempo y espacio. Las pequeñas y medianas empresas son las más beneficiadas debido a que pueden aprovechar las oportunidades que les da el comercio electrónico para su internalización e inclusión el mercado mundial, no obstante, se pueden chocar con diferencia entre los estándares de calidad, la falta de normas en el comercio de transporte de productos y las discriminaciones fiscales (Basco et al., 2018).



Figura 1. Resumen grafico de las diferentes revoluciones industriales mundiales.

Tomado de: “Optimización en el manejo de proyectos de la construcción de VISR por medio de las herramientas de la industria 4.0.”, Pacheco, 2021.

## 2.2. Tecnologías 4.0 en la industria en general

La industria 4.0 es la fase de la digitalización de procesos, donde este movimiento está principalmente impulsado por los sistemas computacionales, los grandes volúmenes de información que se maneja y la conectividad. Las tecnologías que se detallan a continuación ya existían en la industria 3.0 pero sin el impacto positivo que ahora aportan ya que ahora se relacionan entre sí y generan un cambio aún mayor (Basco et al., 2018).

### 2.2.1. Big data

*Big data* hace referencia al gran volumen de datos que se encuentran disponibles en internet y que pueden brindar información a diferentes organizaciones y personas con distintos intereses. Para estos conjuntos de información lo importante es la calidad de datos e información, siendo este un conjunto o combinaciones de conjuntos de datos de tamaño, complejidad y velocidad de crecimiento de grandes magnitudes (Garrell y Guilera, 2019). Debido a ello, resulta muy complejo analizar y efectuar la gestión y procesamiento de esta información con tecnologías tradicionales, es por ello a que se debe recurrir a *softwares* especializados.

La información del *big data* puede ser reportada por distintos dispositivos como máquinas, sensores, cámaras, celulares, y provienen de igual forma de distintas fuentes como empresas y redes sociales. Analizar estos datos con los *softwares* especializados es de gran importancia para la toma de decisiones, mejorar procesos y estándares de calidad, y simplificar la inmersión en nuevos mercados (Basco et al., 2018). Es decir, brinda puntos base para una mejor toma de decisiones bien justificada.

Según Garrel y Guilera (2019) los principales ejemplos de aplicaciones de esta tecnología son:

- Tráfico en la web de una empresa: recolección de datos como origen de las visitas a sitios web, horarios de acceso y productos más vistos. Con ello, se tiene una mejor vista estadística sobre el comportamiento de los clientes.
- Previsiones financieras: detectar las tendencias económicas, el estado financiero de los distintos países y con ello tener una mejor planificación.
- Publicidad: obtener información sobre la influencia de los anuncios digitales y su efectividad, y el número de compras exitosas de los productos. Debido a esto, es posible mejorar la relación con los clientes.
- Redes sociales: realizar análisis sobre la imagen de los clientes y su nivel de confianza con la marca estudiada gracias a las opiniones de los usuarios que dejan en las mismas redes sociales.

Estas aplicaciones permiten que las empresas tengan una mejor flexibilidad y rapidez al momento de innovar nuevos productos y servicios e introducirlos al mercado. Además, les permite suprimir áreas problemáticas antes que la insatisfacción de los clientes afecte al mercado (Garrell y Guilera, 2019). En otras palabras, *big data* es donde se almacena la información de casi todo lo que las personas realizan, como, por ejemplo, cuando una persona usa *Google Maps* u ordenan un Uber, o cuando Amazon recomienda productos basándose en páginas visitadas anteriormente (Antolín, 2020).

### **2.2.2. Computación en la nube**

Es una tecnología que permite el almacenamiento, acceso y uso de los servicios de datos en línea y en tiempo real, esto permite a las empresas que las personas puedan acceder a estas bases de datos al mismo tiempo y desde distintos dispositivos, brindando flexibilidad, interoperabilidad y una mejor coordinación (Basco et al., 2019). La computación en la nube permite conectarse a los servicios de computación a través de una red de internet, gracias a ello el *software* se ha liberado del *hardware* (Antolín, 2020). Por ejemplo, una empresa ya no tiene necesidad de adquirir un servidor local para almacenar la información, sino que ahora puede guardar los datos e información en línea, donde cualquier miembro de la empresa tiene acceso.

### **2.2.3. Internet de las cosas (IoT)**

Es una tecnología que permite una comunicación entre máquina, persona y producto, brindando una mejora en la toma de decisiones gracias a la información que se recoge en el entorno, además, utiliza nuevos sensores que, junto con *big data* y la computación en la nube, permite construir máquinas y sistemas inteligentes y autónomos (Basco et al., 2018). Esta información permite recopilar información sobre el desempeño de los productos cuando es usado por los clientes, logrando una mejor relación con los consumidores y permitiendo que la industria avance en la fabricación de productos inteligentes. Según Antolín (2020), el internet de las cosas es la interconexión de objetos de uso cotidiano con el internet, la conexión se logra a través de, por ejemplo, una red Wifi a través de la IP, entre máquinas y productos que se pueden conectar entre sí.

### **2.2.4. Ciberseguridad**

Con el creciente uso de dispositivos tecnológicos interconectados entre sí alrededor del mundo también se incrementa en igual medida la atención a la seguridad que se les debe dedicar con

la finalidad de satisfacer a los usuarios y poder garantizar la seguridad de su información privada. Debido a ello, es que surge la ciberseguridad.

Garrell y Guilera (2019) definen a la ciberseguridad como el conjunto de tecnologías, procesos y prácticas creadas para proteger a las redes interconectadas, los ordenadores y servidores, programas y la información en general, de cualquier ataque o daño de acceso no autorizado. Estos ataques se basan en dañar la integridad del sistema objetivo, como, por ejemplo, robo o destrucción de información, modificación de datos, perjudicar al sistema objetivo, transacciones fraudulentas y robo de identidades.

Conforme aumente la cantidad de dispositivos, máquinas y personas conectadas, las herramientas preventivas que permitan detectar, anticipar y neutralizar amenazas sobre los sistemas que las empresas quieren proteger, tendrán mucho más valor (Basco et al., 2019). El principal problema de esta tecnología es la constante evolución de los ataques hechos por profesionales, estas amenazas se actualizan constantemente y a un ritmo aún mayor que la evolución de la seguridad. Es por ello por lo que la mayoría de las empresas establecen un plan de ciberseguridad con los recursos propios de la empresa y con ayuda de especialistas.

#### **2.2.5. Blockchain**

En la actualidad, la globalización del comercio ha facilitado el consumismo de diferentes tipos de productos a lo largo del mundo. Obtener productos de cualquier parte del mundo se ha convertido en un proceso simple, lo cual si bien representa una ventaja para el consumidor también requiere de una garantía del producto que está recibiendo. De esta forma, se resalta la importancia de poder determinar cuál es el origen del producto y los insumos que se utilizaron para ello.

A partir de la problemática según Linares (2018), “la tecnología *Blockchain* nos permite identificar la trazabilidad de cada producto y de cada insumo al generar un registro inalterable de tiempos en cada etapa del producto o insumo”. Esto nos quiere decir que *Blockchain* nos permite tener un registro de la fabricación de los insumos desde el inicio hasta el final.

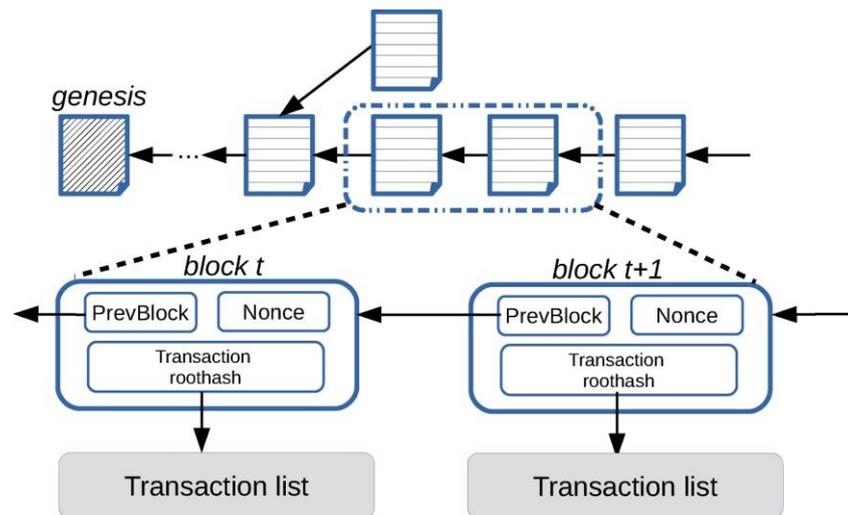


Figura 2. Estructura de la data en Blockchain. Las transacciones se agrupan en bloques los cuales están unidos a otros bloques.

Tomado de: “Untangling blockchain: A data processing view of blockchain systems. IEEE transactions on knowledge and data engineering, 30(7), 1366-1385.”, Dinh et al., 2018.

Uno de los campos de acción de *Blockchain* es la descentralización de las transacciones, mediante la cual se busca poder realizar este tipo de operaciones sin que exista un vínculo de confianza entre las dos partes. De esta forma, la plataforma en mención pretende eliminar la entidad que centraliza la información y quitar la autorización de transacciones con la finalidad de reducir procesos innecesarios que pueden repercutir en la demora de las mismas, como afirma Linares (2018), “se estima un ahorro de 6 billones de dólares en el mercado actual de capitales al eliminar el doble de esfuerzo en el gobierno de los datos”.

*Blockchain* se puede clasificar de acuerdo con las funciones que contiene, las cuales son tres: criptomonedas, digitalización de bienes y activos y las que extienden una mayor gama de procesos para diferentes aplicaciones. No obstante, la consideración más importante al

momento de definir qué tipo de *Blockchain* se utilizará es saber si es una red pública se podrá acceder a todos los nodos y con ello crear nuevos bloques de información, mientras que en una red privada se tiene una lista predefinida de los nodos que pertenecen a la misma, así como los accesos que tiene.

Por otro lado, como se había mencionado anteriormente *Blockchain* permite tener un control de la cadena de suministro de un producto. Generalmente los problemas más frecuentes son ruptura de stock, elevación de costos, falsificación de productos, entre otros. Por ello, se desarrollaron diferentes modelos para tratar de solucionar estos problemas, no obstante, muchos de estos modelos se enfocaron en la planificación de pedidos, así como el almacenamiento de los bienes dejando de lado la trazabilidad de la cadena de suministro. *Blockchain* permite realizar esta trazabilidad mediante la generación de bloques elaborados por nodos mineros, en los cuales se identifica la entidad y lo ofrece a la red para su validación.

Finalmente, *Blockchain* es una tecnología 4.0 que aún se encuentra en una etapa de implementación en los diferentes tipos de industrias. Asimismo, se puede observar que *Blockchain* tiene una gran variedad de utilidades para una empresa independientemente del sector que pertenezca, por lo que es importante poder analizar en qué medida puede traer beneficios a la empresa de acuerdo con el sector al que pertenezca. En el caso de este trabajo de investigación se desarrollará cuáles son sus principales funcionalidades en el sector construcción.

## CAPÍTULO 3: TECNOLOGÍAS 4.0 EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN

### 3.1. Impresión 3D

Una nueva tecnología que surgió desde el 2012 fue la impresión 3D, la cual, desde ese momento, ha tenido un crecimiento en su popularidad con el pasar de los años y parecía que en cuestión de pocos años cada persona tendría su propia impresora en casa. Luego de unos años, ese escenario ha cambiado y ahora las industrias son las que adquieren esta tecnología para poder fabricar sus productos. Este nuevo modelo ha logrado que las empresas e industrias puedan tener procesos de producción más eficientes y que sepan cómo utilizar los recursos adecuadamente, además que esta tecnología permite un mayor grado de personalización de los productos (Fernández, 2019).

De igual forma, el sector de la construcción el uso de esta nueva tecnología ha estado en aumento. La impresión 3D permite tener un mayor control y optimización en el uso de los materiales, reducir tiempos en las distintas fases de una edificación y tener una mayor precisión y personalización que repercute positivamente en el cliente (Fernández, 2019). Con su uso se vuelve a definir la forma de ejecución de los proyectos que se construyen hoy en día, logrando que se pueda visualizar la necesidad de un cambio, reducciones de tiempo y eficiencia en el uso de recursos económicos y ambientales. La impresión 3D llega a ser una tecnología que reduce el impacto de la construcción sobre el medio ambiente, permitiendo que se puedan reciclar materiales para usarlos como materia prima en la impresión (Medina, 2018).

Con respecto a las aplicaciones de esta estrategia, uno de los usos más populares en el sector es la creación de maquetas. La fabricación de maquetas es parte fundamental para el desarrollo de un proyecto, la impresión 3D permite reducir los tiempos de creación de forma notable, ya que se pueden fabricar los elementos más complejos con una mayor precisión y rapidez, además, el costo no dependerá de la dificultad de la pieza, sino de la cantidad de material que

se usó en la impresora. También, posibilita que se puedan crear borradores fase a fase de la edificación o realizar cambios en el mismo lugar rápidamente y de forma sencilla (Fernández, 2019).

Por otro lado, el ingeniero mecánico Robert Flysch de la universidad de Harvard diseñó una impresora 3D que se encarga de arreglar las fisuras que se crean en las carreteras con el pasar de los años. Este aparato lo nombro “Addibot”, en el cual la impresora se ubica encima de un robot, el cual se encarga de moverse por todo el lugar que se especifique, mientras se va llevando a cabo la impresión de los elementos a diferentes escalas, siempre que se encuentre en una superficie plana (Medina, 2018).

Otro de los ámbitos en donde la impresión 3D está aportando es en la restauración y rehabilitación de edificaciones históricas, donde esta estrategia permite crear piezas especiales de elementos históricos o crear moldes, con ello se podrán reducir los costos y tiempos de fabricación y aumentar la calidad (Fernández, 2019). Por otra parte, en Estados Unidos, el Doctor Behrock Koshnevis desarrolló la tecnología “*Contour Crafting*”, la cual se basa en una impresora 3D que se desplaza por medio de unos rieles para construir viviendas de aproximadamente 2000 pies cuadrados en menos de 24 horas usando un mortero especial. La fabricación se basa en la creación de múltiples capas colocadas una sobre la otra, esto se traduce en una opción para las viviendas de bajo costo y una solución para las personas que se encuentran en bajos niveles económicos (Medina, 2018).



Figura 3. Tecnología *Contour Crafting*

Tomado de: Contour Crafting la tecnología que imprimirá casas en la Tierra y en la Luna (Contreras, 2016).

Finalmente, en Italia, el grupo *World's Advanced Saving Project* desarrollo unas impresoras 3D que fabrican viviendas populares utilizando fibras y lodo como material principal. La impresora se llama Big Delta y fue fabricada con el fin de lograr crear impresiones de grandes dimensiones y, de igual forma, poder desarrollar la creación de las viviendas completas con materiales como la arcilla generando bajos costos de inversión y ahorro de tiempos durante la ejecución (Medina, 2018).



Figura 4. Impresora 3D Big Delta

Tomado de: Big Delta, la impresora 3D capaz de construir casas (Alonso, 2015).

### **3.2. Inteligencia artificial**

Inteligencia artificial aplicada al control de fisuras en elementos de concreto armado

El daño en los edificios por lo general es asociado a los desplazamientos obtenidos por estos durante su vida útil; los desplazamientos de las estructuras generalmente son físicamente palpables en grietas producidas o fisuraciones de estas; por lo tanto, realizar un estudio profundo sobre las fisuraciones conlleva a evaluarlas para un correcto análisis del daño en las estructuras.

El objetivo de muchas compañías de construcción y filosofías de trabajo es priorizar la mejora en la calidad de la construcción de sus edificaciones a un menor costo posible para ser una empresa competitiva; por lo tanto, resultaría lógico monitorear la condición de las estructuras, identificar los principales daños que la están afectando y plantear soluciones que no afecten la calidad de servicio y la seguridad de los usuarios que implicaría controlar una falla estructural crítica. La inteligencia artificial tiene un rol muy importante en la industria 4.0, donde los sistemas inteligentes y las tecnologías son usadas para crear una conexión entre los trabajos físicos y virtuales; una parte de la inteligencia artificial es la visión computacional, la cual se enfoca en extraer información sobre una escena al analizar sus imágenes que son sometidas a un proceso de evaluación y obteniendo al final un reconocimiento y/o descripción de la imagen original denotado como un principio básico de la visión computacional que es parte de la inteligencia artificial, y es ahí donde se observa una aplicación a las fisuras en el hormigón (Colpari, 2020).

Mas adelante se detallará el impacto de la inteligencia artificial en el control y estudio de las fisuraciones en las estructuras de concreto armado; cabe resaltar que las características en cuanto a los resultados de la inteligencia artificial aplicado al estudio de fisuración de este informe son cualitativas. Las principales causas de la fisuración en las estructuras de concreto

armado son por asentamiento plástico, retracción térmica, contracción térmica inicial, retracción hidráulica o fisuración por retracción autógena.

En el estudio de las fisuras en el concreto armado existen diversos métodos dentro de los cuales cada uno utiliza diferentes procedimientos para detección y algunos han desarrollado su base en la inteligencia artificial, otros métodos con el mismo fin aplican un reconocimiento de imágenes y/o la combinación de ambas formas; cada método utiliza sus propias fuentes en datos de entrada, calibración en caso aplique, implementaciones y sus respectiva muestra de resultados (Colpari, 2020).

- Metodología de Paglinawan

Este método proporciona una secuencia de análisis el cual contempla la forma de recolección de datos a través de la toma de imágenes, procesamiento de las mismas y el procedimiento de obtención final del espesor de la fisura; para ello, una única muestra de fisura en un muro es tomada a ciertas condiciones de distancia. Los resultados no son muy precisión dado que pueden presentar un 10% de resultados erróneos y un 20% de falsos positivos que se obtienen debido a sombras parciales y fallas en la pintura. A diferencia de otros métodos, Paglinawan proporciona un dispositivo de dron capaz de brindar información de lugares de poca accesibilidad (Colpari, 2020)

- Inteligencia artificial aplicada a la tasación de edificaciones

Por otro lado, la actualidad de la industria inmobiliaria ha experimentado un crecimiento significativo y a su vez la evaluación del valor económico de las edificaciones ha tomado mayor relevancia debido a que sectores económicos necesitan métodos objetivos para determinar con precisión la tasación de bienes inmuebles.

Entre los métodos más comunes que se han desarrollado con el fin de robustecer el ajuste de precios de viviendas con estimaciones más acertadas es el uso de algoritmos de aprendizaje automático dentro de los cuales resalta las Redes Neuronales Artificiales. El proceso de

estimación automática de precios de viviendas consiste en cuatro etapas que son análisis, selección de factores, estimación automática de precios (IA) y visualización de precios. De una experiencia publicada en la Sociedad Mexicana de Inteligencia artificial en la cual colaboraron con una empresa de bienes raíces ubicada en Ciudad Obregón, se realizó la estimación automática de precios con usos de RNAs para lo cual utilizaron una base de datos que contaba con 1474 datos para la fase de entrenamiento y prueba que posteriormente se evaluó el modelo con 368 datos; los resultados que se obtuvieron revelaron que es posible desarrollar la estimación automática de precios en viviendas dado que el error máximo permitido por la empresa era del 10% mientras que mediante el uso de la IA se obtuvo un error del 5% que es inferior al error permisible; otra ventaja que se obtuvo de la aplicación de la IA en la tasación de edificaciones es el tiempo de estimación que fue reducido (Rodríguez-González et al., 2020).

### **3.2.1. Machine Learning**

El termino *machine learning* se define como el subconjunto de la inteligencia artificial, es decir, se basa en que las máquinas tienen la capacidad de aprender de datos de un lugar en específico a través de una programación. Mientras los algoritmos reciban y procesen datos, se podrán producir modelos más precisos basados en esos datos. En modelo de *machine learning* es el resultado generado de entrenar su algoritmo de aprendizaje automático con información (Leal, 2019).

La aplicación de *machine learning* en el sector construcción permitiría que las empresas sean más ágiles, recopilando datos que deben transformarse en información importante y significativa con los descubrimientos de análisis de datos. De estos datos recopilados, se deben extraer valiosa información de los procesos constructivos y compararlos con otros sistemas similares para lograr identificar los puntos débiles de esos sistemas, y, además, encontrar potenciales de mejora y poder implementar la toma de decisiones de una empresa (Leal, 2019).

### **3.3. Robótica y automatización**

En la actualidad, a pesar de que se le considera conservador al sector construcción respecto a la aplicación de robots estos tienen un gran beneficio en el desarrollo de labores en obra que son más difíciles y que necesitan mayor cuidado por parte de los profesionales a cargo. La automatización mediante robots ha sido impulsada por los siguientes puntos como la eliminación de labores con riesgos de accidentes, facilidad para acceder a espacios dentro de las construcciones, mejorar la calidad y cronograma de los proyectos y en la disminución de los tiempos de ejecución de los proyectos de construcción (Ferreiro, 2014).

Algunos de los beneficios que permite la implementación de los robots en la industria de la construcción es mejorar la calidad del producto, es decir, el robot trabaja de manera repetitiva lo cual genera un producto con mayor calidad, y esto conlleva que los clientes estén a gusto con los proyectos entregados y permite el alza de las ventas (Ferreiro, 2014).

Por otro lado, la mejora de la calidad de vida de los trabajadores, el cual evita que el personal que trabaja pueda sufrir accidentes por las actividades riesgosas que se requiera en ciertas partidas de la obra. Por último, la disminución de costos es un aporte ya que a través de los robots no se requieren descansos a diferencia de los trabajadores lo cual genera mayor productividad y permite un menor involucramiento de personal (Ferreiro, 2014).

Un ejemplo de robot es empleado en las construcciones es el ARC Mate 120, el cual es un robot con 6 ejes que permite una mayor precisión y rapidez en la realización de soldadura y corte. Adicionalmente, existen otros robots que funcionan en las fábricas de materiales de la construcción como robots para el traslado de materiales y el uso de resinas, así como, los robots

que fabrica la empresa CREATON que realizan la producción de 60 tejas de barro por minuto, la cual es una tarea que se hace manualmente (Ferreiro, 2014).

### **3.4. Big data**

El manejo de grandes cantidades de datos se está desarrollando en varias industrias y una es el sector de la construcción, su uso se ha expandido y su implementación en estos tiempos es ilimitada. La información proveniente en el sector construcción abarca varias etapas del proceso como el anteproyecto, administración de los datos del personal involucrado y su ejecución. Debido a ello, surge la necesidad de organizar estos datos, ya que normalmente es estructurada de una forma tradicional, a través una gestión óptima que es el *big data* (Construyamos,2019).

En la fase del diseño, el *big data* puede aportar en el desarrollo del diseño del proyecto y esto abarca ingreso de los miembros interesados, medios de comunicación como el correo electrónico, datos del medio ambiente y datos históricos del proyecto. Esta información facilita que el personal involucrado pueda ubicar adecuadamente la obra y pronosticar futuros contratiempos que pueda afectar al desarrollo del proyecto de construcción.

Además, es importante su aplicación en la fase inicial de la obra ya que puede evitar sobrecostos y tiempo no contributivo, así como, la elaboración de presupuestos que reflejen verdaderamente los costos más exactos para los proyectos (Construyamos,2019).

En la fase de construcción, la implementación del *big data* representa un factor importante en el desarrollo óptimo del proyecto debido a que se aplica por ejemplo en el uso de sensores que detecta información sobre los tiempos de actividad y cese de las maquinarias de construcción lo que permite que el personal involucrado analice si se necesitará alquilar o comprar la

maquinaria. Otro uso de los sensores es para detectar el tráfico cerca de la construcción lo cual permite analizar en qué momento es adecuado iniciar actividades específicas en la obra. Por lo que el *big data* en esta fase, mediante el uso sensores y la metodología BIM pueden mejorar la productividad y la reducción de costos y desperdicios (Construyamos,2019).

Por último, en la fase operativa la colocación de los sensores mencionados anteriormente mediante el manejo de sus datos permite que se gestione mejor las instalaciones debido a que se haría un seguimiento operativo del tráfico peatonal, energía y la temperatura en el interior que se genere. Esta información podría usarse para desarrollar un modelo BIM preciso y aporte en la creación de un cronograma adecuado para el control y mantenimiento en las construcciones (Construyamos,2019).

### **3.5. Internet de las cosas (IoT) enfocado en la construcción**

En la actualidad el sector construcción está experimentando cambios radicales, como por ejemplo las “*Smart cities*” que tienen como principal objetivo mejorar la calidad de vida de las personas a través del uso de datos recopilados sobre el entorno a través del uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (Martin-Garin, Millan-Garcia, Sala-Lizarraga ,2018).

La aplicación más directa de esta tecnología es para la recepción de información de cualquier tipo de variable como por ejemplo la temperatura de un ambiente o la humedad del mismo, la cual es recibida mediante microcontroladores, permitiendo tener conocimiento de las condiciones interiores de los ambientes. Con la información recopilada es posible realizar una regulación de las condiciones del ambiente ya sea por la calidad del aire o por la temperatura, es decir permite tener una respuesta inmediata para solucionar problemas de forma automática. Un caso de estudio se realizó en la ciudad de Donostia- San Sebastián, en un edificio ubicado

en San Roke 32. El equipo utilizado desarrollado consistía en un microcontrolador que podía recibir información de temperatura, emisiones CO<sub>2</sub>, humedad, entre otros y a partir de ello brindar la mejor solución de acuerdo con la necesidad del ambiente, como por ejemplo abrir la ventana. En la figura 5 se muestra la idea que se tuvo al momento de diseñar el producto y en la figura 6 se muestra el desarrollo del prototipo.

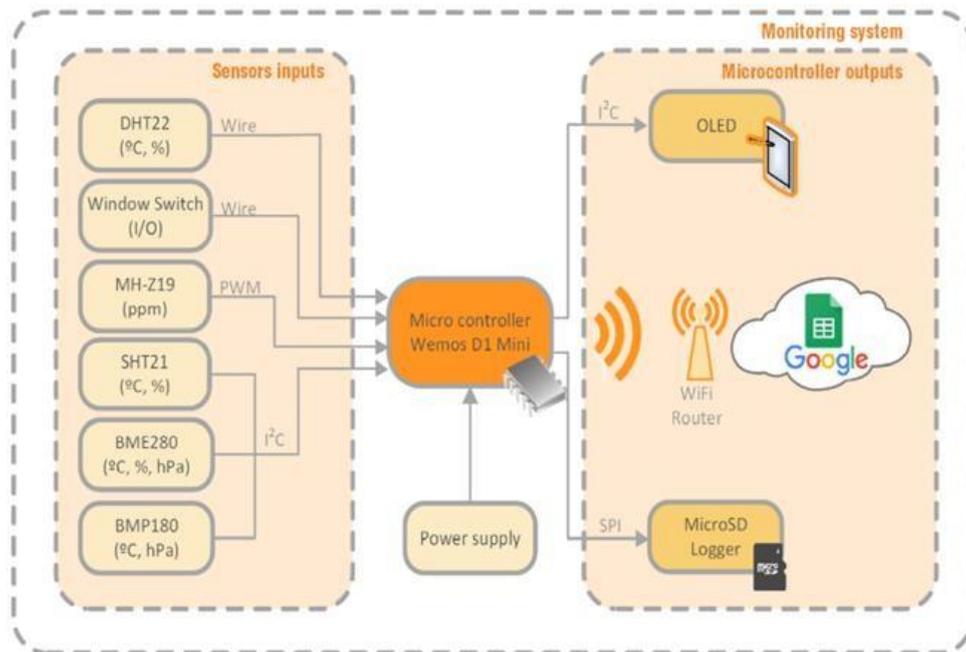


Figura 5. Desarrollo de idea del microcontrolador

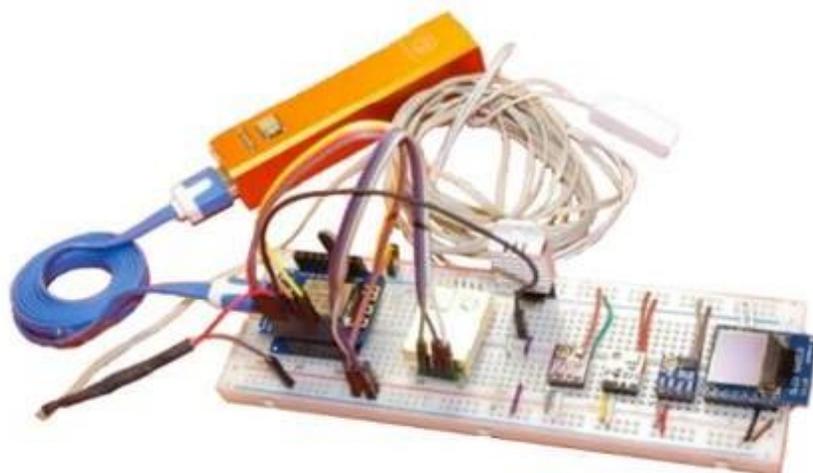


Figura 6. Producto desarrollado

Finalmente, el internet de las cosas se presenta como una alternativa para el sector construcción más que todo en el proceso de operación y mantenimiento, que está más relacionado hacia el uso de la edificación ya construida. Esta nueva tecnología permite tener un control automático de ciertas condiciones que se requiera para asegurar el confort de las edificaciones, así como la calidad de sus servicios, agua, luz, hvac entre otros, y es así como de esta forma se fomenta la realización de las “Smart Cities”.

### **3.6. Simulación**

En la industria de la construcción la planificación de actividades y gestión de recursos son actividades previas de carácter importante para asegurar el flujo de trabajo, así como la productividad de una determinada actividad o partida. No obstante, el método tradicional de planificación presenta varias falencias que tienen como resultado cambios en la planificación programada constantemente, falta de recursos, personal realizando trabajos no contributivos, entre otros. En vista de esta problemática la industria de la construcción ha ido evolucionando adaptando nuevas tecnologías y filosofías, entre ellas *Lean Construction*, la cual promueve nuevas metodologías e ideas para la planificación y ejecución, entre las cuales la simulación 4D de procesos constructivos.

La simulación 4D es una nueva metodología que actualmente se está empezando a utilizar en la industria de la construcción con diferentes objetivos, entre los cuales el que más destaca es promover un nuevo sistema de planificación que permita una mejor visualización de los procesos constructivos. Tradicionalmente la planificación se basaba en creencias en base a la experiencia de los expertos, así como ratios de otras obras, no obstante, se sabe que la naturaleza de cada obra es variable y por ende la planificación realizada no suele ser cumplida,

influyendo en el incremento de plazo de ejecución, así como de costos del proyecto. Por lo tanto, la simulación se coloca como la principal solución para la planificación tradicional.

La principal función de la simulación 4d es anticipar y resolver potenciales riesgos y conflictos entre las actividades y los elementos temporales en un entorno dinámico antes de que lleguen a producirse (Garrido, Pérez y Irastorza 2016). En efecto, la simulación supone una mejora en el proceso de planificación, pero esta también tiene una metodología a seguir si se quiere aplicar correctamente en un proyecto. Para la planificación 4d se requiere en primer lugar definir los parámetros que serán utilizados en la simulación como, por ejemplo: categorías, elementos, nivel, entre otros, luego de ello se debe definir las actividades y las dependencias entre ellas si es que existieran y finalmente se realiza la simulación 4d. Además, la simulación permite tener un control y seguimiento de las actividades planificadas ya que, una vez colocados los tiempos de duración de las partidas a ejecutar, así como las fechas, este se puede ir actualizando en caso se presente algún inconveniente por el cual no se haya podido realizar la actividad planificada obteniendo una mayor agilidad para los cambios.

En un trabajo de investigación realizado por el departamento de ingeniería de la universidad de Estremadura España se realizó una comparación entre la planificación tradicional y utilizando la simulación. En esta investigación se hizo una comparación entre ambas metodologías de planificación y se tuvo como principal resultado que la planificación tradicional supone un 20% menos de tiempo que la simulación 4d; sin embargo, la simulación 4d permite un 40% más de control de la evolución de los tiempos y una efectividad 40% mayor en el proceso de actualización de datos que la planificación convencional (Garrido, Pérez y Irastorza 2016).

Otro ejemplo de uso de simulación es para la toma de decisiones en cuanto a simulaciones realizadas sobre ciertos procesos constructivos. Esto se debe a que nos permite identificar cuáles son los factores principales que afectan la productividad en construcción y de esta

manera evaluar las diferentes alternativas de procesos constructivos que se podrían tener para una determinada partida. Asimismo, nos permite identificar incompatibilidades en el campo, es decir no solo en los softwares sino es posible visualizar el modelado en tiempo real, a través de aplicativos que se pueden instalar en los celulares, así como se muestra en la figura 7 y figura 8. En estas imágenes se aprecia la simulación de las instalaciones sanitarias con el fin de detectar incompatibilidades en campo en tiempo real. este proyecto está ubicado en Perú, cuyo nombre es Proyecto Aramburu 836, elaborado por la empresa VyV Bravo.



Figura 7. Instalaciones Sanitarias vistas en campo

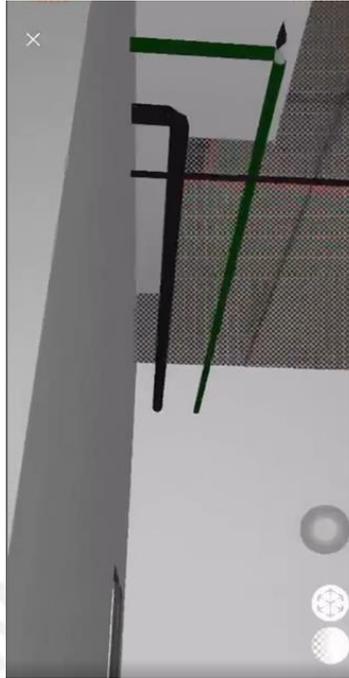


Figura 8. Simulación de tuberías de ACI y desagüe en tiempo real

Finalmente, la simulación es una herramienta de amplia aplicación en la industria que tiene como finalidad cambiar la idea de una planificación basada solo en la experiencia y plasmarla de forma más visual con el fin de observar ciertas condiciones que no se habían tenido en cuenta previamente. Asimismo, nos permite reducir los tiempos de ejecución, así como tener una programación más cercana a la ejecutada.

### **3.7. Building Information Modelling (BIM)**

El termino BIM tiene distintas definiciones en los diferentes textos, el *BIM Handbook* lo defino como el modelado tecnológico y un conjunto de procesos que comunican, producen y procesan el modelo de una edificación que cuenta con componentes que se representan por objetos paramétricos. Con BIM, al contar con un modelo en 3D, se pueden identificar rápida y fácilmente las incompatibilidades y errores para así corregirlos o evitarlos en el proyecto real (Farfán et al., 2016).

El trabajo colaborativo es un factor muy importante para el desarrollo de BIM en un proyecto de edificación, este trabajo se tiene que efectuar entre todas las partes involucradas del

proyecto, es decir, cliente, diseñadores y contratistas. Con ello se garantiza un correcto flujo de información para obtener el máximo beneficio de BIM. Esta metodología se puede implementar en distintas áreas a lo largo de la vida de un proyecto como en la planificación, visualización, diseño, simulación, gestión, etc. Finalmente, la metodología BIM permite visualizar un modelo en 3D del proyecto que se construirá, permite modelar la constructibilidad, logra cuantificar los metrados de las distintas partidas, permite integrar el modelo con la planificación de obra, logrando tener un registro de tiempos, y con los costos, además, permite mejorar la eficiencia con una correcta secuencia constructiva (Farfán et al., 2016).

### **3.8. Blockchain en la construcción**

Como ya se mencionó anteriormente, blockchain es una tecnología que se basa en la certidumbre y fiabilidad entre las distintas partes a través de lograr hacer la información inmutable y veraz. Es una tecnología de almacenamiento de información inalterable cuya estructura de datos son bloques interrelacionados entre si (Diéz, 2020).

Según ICE, *The Institution of Civil Engineers*, considera 3 ámbitos para las aplicaciones de blockchain en el sector construcción:

- Gestión de procesos y cadena de suministros.
- Pagos y gestión de proyectos.
- BIM y gestión de activos.

Según Diéz (2020) las siguientes aplicaciones son ejemplos que tienen el propósito de unir las ventajas que ofrece esta tecnología con los retos a los que se enfrenta la construcción.

- Automatización de certificaciones de proyecto y pagos/cobros según avance.

Con los *smart contracts*, los cuales son unos verificadores de información de lo que pasa a través de la blockchain, se logra automatizar la certificación del avance de obra con la metodología BIM para generar pagos o cobros de una manera automática.

- Acreditar rendimientos y aceleraciones de recursos en obra.

Lograr consolidar en una blockchain la información con respecto a la producción, avance y trazabilidad de los recursos en obra, puede ayudar a tener un sustento y defenderse ante el cliente de aceleraciones de los recursos de obra distintos a los pactados en un inicio.

- Seguridad en obra y reducción de accidentes.

Llevar un registro en una blockchain de la información relacionada con el cumplimiento de las normas de seguridad y salud dentro de obra logrará disponer de un sistema de prevención y alarma rápido con los *smart contracts* en caso que una persona realice alguna mala práctica o cometa una falta a la norma.

- Construcción sostenible

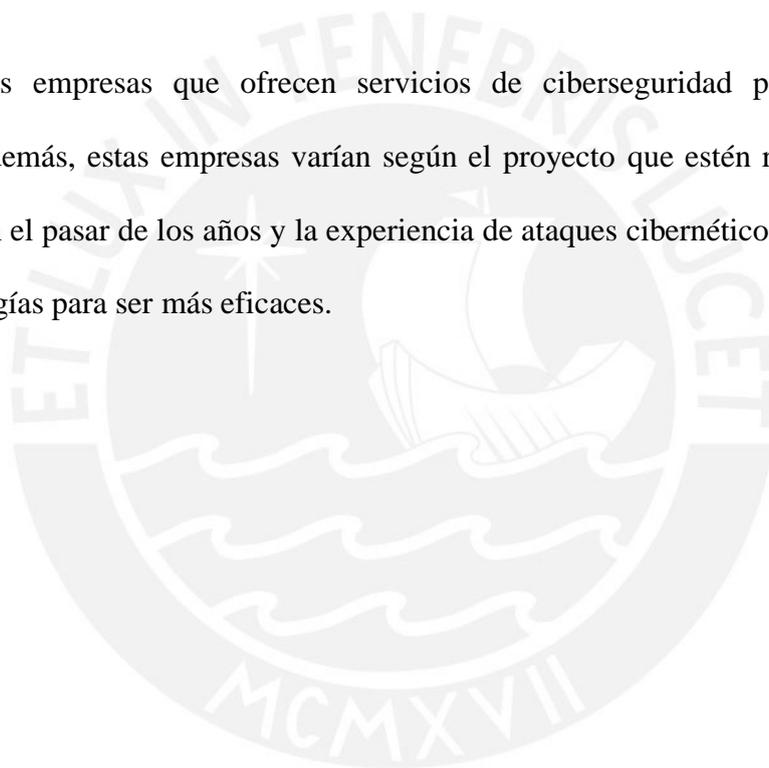
Una construcción sostenible se puede llevar a cabo fácilmente teniendo un registro en una blockchain con toda la información relacionada a los parámetros ambientales durante el ciclo de vida del proyecto, como pueden ser el índice de reciclaje o la huella de carbono, pueden ayudar a la política de la empresa.

### **3.9. Ciberseguridad en construcción**

Con respecto a la ciberseguridad en las empresas de construcción, lo primero es identificar los riesgos y posibles consecuencias a los que se está expuesto. A través de la herramienta de autodiagnóstico se puede determinar cuál es el estado actual de ciberseguridad de la empresa y los aspectos a mejorar. Pérdida de información, filtración de datos importantes, software vulnerables o espionaje son algunos de los riesgos a los que se está expuesto (INCIBE, 2017).

Una de las principales aplicaciones de la ciberseguridad sería el detectar las amenazas ya mencionadas, para ello se deben mantener todos los sistemas actualizados, tanto las herramientas usadas por los trabajadores como los empleados para dar un servicio de internet, como sería la página web de la empresa. Para ello la empresa INCIBE desarrollo dos servicios como serian la formación sectorial, que contiene información para proteger la compañía dependiendo del sector donde se ubique, y además permite entrenar a los empleados ante diferentes escenarios a los que las empresas están acostumbradas a ser atacadas (INCIBE, 2017).

Existen distintas empresas que ofrecen servicios de ciberseguridad para empresas de construcción, además, estas empresas varían según el proyecto que estén realizando, se han desarrollado con el pasar de los años y la experiencia de ataques cibernéticos, implementando mejores tecnologías para ser más eficaces.



## **CAPÍTULO 4: PROPUESTAS DE TECNOLOGÍAS 4.0 PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ**

La construcción es una de las industrias más importantes del Perú puesto que aporta el 5.6 % del Índice de Producción Nacional (MVCS, 2022); sin embargo, en cuanto a avances tecnológicos, se encuentra por detrás de otras industrias (Barbosa,2017).

En el presente capítulo se propondrán algunas tecnologías 4.0 que aportarían al desarrollo de la industria de la construcción en el Perú.

### **4.1. Uso de inteligencia artificial para la realización de cartas balance**

Las cartas balance tienen como objetivo principal analizar la eficiencia del método constructivo empleado mediante un estudio detallado de las labores de una cuadrilla (Serpell, 1990). Sin embargo, para la realización de estas se necesita destinar personal cualificado y este muchas veces es requerido para otras tareas que resulten más urgentes para el proyecto, por lo que en la práctica esta se realiza cuando los avances registrados resultan sustancialmente lejanos a los proyectados.

En la actualidad empresas como IronYun brinda, mediante su plataforma *Vaidio AI Vision Platform*, el servicio de control de acceso a empresas y monitoreo del correcto uso de equipos de protección personal dentro de esta (IronYun USA Inc, 2022). La compañía Cortexica desarrolló un sistema que mediante cámaras con IA verifican al ingreso de un centro de labores si la persona lleva sus implementos de seguridad y advierte al operario de lo que le esté faltando y, una vez cumplido el protocolo de seguridad, permite el ingreso (Peniak,2022). Este tipo de empresas han enfocado sus esfuerzos en el desarrollo de estas plataformas puesto que pueden realizar su trabajo de manera autónoma, siendo así más eficiente para las empresas su adquisición antes que disponer personal para la realización de esta labor.

Es por tal motivo que se propone la implementación de equipos de video que utilicen la inteligencia artificial (IA) para reconocer a cada una de las cuadrillas y en base a patrones, como los colores de los cascos o el reconocimiento facial, puedan calificar, de manera autónoma y en tiempo real, el trabajo como productivo, contributivo o no contributivo, describir la labor que realiza cada obrero, obtener información de los rendimientos de acuerdo al avance realizado y con toda la información obtenida pueda, en caso de ser necesario, plantear una dimensión adecuada para las cuadrillas. Teniendo en cuenta que la confiabilidad de los resultados obtenidos de este proceso depende de la cantidad de mediciones, este equipo con IA contribuiría a un desarrollo mucho más frecuente y eficiente de las cartas balance, puesto que el personal destinado a esta labor es bastante limitado y, por ende, evitarse los retrasos y sobrecostos.

#### **4.2. Utilización de tecnologías inmersivas para impulsar el desarrollo de la industria**

El sector de la construcción en el Perú se ha visto afectado negativamente durante los últimos años debido a la pandemia del covid-19 y la incertidumbre política. La producción del sector decayó un 5.8% en el último trimestre del 2021 respecto al lapso de tiempo similar del 2020 (IPE, 2022).

Ante esta problemática se propone la implementación de tecnologías inmersivas que contribuyan a un desarrollo más eficiente de la construcción, así como a una mayor dinamización de la comercialización de inmuebles. Esta clase de tecnologías brindaría recursos visuales que facilitarían la toma de decisiones en obra y la inspección de la misma por parte de clientes y el personal competente. Por otro lado, la industria de la construcción tiene como finalidad comercializar el bien que producen, por lo que esta tecnología permitiría tener un mayor alcance a personas interesadas en el proyecto sin tener que acudir al mismo, pudiendo

interactuar a través de una réplica digital con los diversos elementos que le constituyen. Se estima que el mercado de la realidad virtual en el sector inmobiliario superará los 2600 millones de dólares para el 2025 (Goldman Sachs, 2016). Esta cifra da muestra del interés del sector en invertir en estas tecnologías debido a los beneficios que ofrecen.

#### **4.3. Empleo de manufactura aditiva para combatir la problemática del acceso a la vivienda en el Perú**

La falta de planificación urbana y de fiscalización por parte de las entidades gubernamentales dieron origen a barrios urbanos vulnerables mediante la ocupación espontánea, informal y fragmentada. El 52 % de la población urbana total reside en estos lugares, algunas veces, sin contar con títulos de propiedad, acceso a infraestructura ni a servicios básicos (Espinoza, 2017). En el Perú, de acuerdo a la condición de tenencia, existe un 24% de viviendas que son alquiladas o han sido cedidas por el centro de labores, por otro hogar, institución u otros (INEI, 2017). Además, cerca de 140000 familias buscan viviendas cada año, de las cuales solo 40000 compra una formal y las demás recurren a traficantes de terrenos (El Peruano, 2022).

Debido a este problema que afecta a la mayoría de peruanos, se presenta como una gran alternativa el uso de la manufactura aditiva, este tipo de tecnología se encuentra muy asociada a la impresión 3D, la cual realiza procesos más eficientes y económicos. La fabricación in situ o en una planta de múltiples elementos que constituyan una edificación contribuirían de manera significativa a una mayor productividad, una mejor gestión de los recursos y, en caso de algún percance, un menor tiempo de respuesta. Todo lo previamente mencionado tendrá un efecto directo sobre el precio final de la vivienda y, por ende, será más accesible a familias de menores recursos.

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- La industria 4.0 busca agilizar y optimizar procesos, organizar las cadenas de valor industrial, tener una correcta monitorización y registro, y lograr una mejora en la toma de decisiones. Es decir, busca una producción más eficiente.
- Las principales ventajas de la aplicación de las tecnologías 4.0 en el sector de la construcción pueden ser que los procesos se llegan a optimizar correctamente mediante la seguridad, la calidad y la eficiencia, genera un aumento en la cantidad de oportunidades laborales en distintos puestos, detección y corrección de incompatibilidades e implementación en una nueva gama de maquinaria más precisa y eficiente para un mejor desempeño y calidad del producto.
- El sector construcción en el Perú está implementando lenta y gradualmente las tecnologías 4.0, debido a la incertidumbre que existe en cuanto al correcto uso de una estrategia en específico, además, la falta de capacitación de los profesionales y la costumbre por apearse a las tecnologías tradicionales logra que la adopción de nuevas tecnologías se retrase aún más. Una correcta transformación a la construcción 4.0 se dará cuando estas tecnologías se implementen a todos los procesos que se incluyen dentro del ciclo de vida de los proyectos con la ayuda de diferentes herramientas y aplicaciones.
- De acuerdo con lo presentado como propuestas de tecnologías 4.0 para proyectos de construcción en el Perú, se puede concluir que todas son aplicables, pero demandarán de una inversión inicial destinada a la capacitación de profesionales para su correcta implementación por lo que los réditos no se darán en un corto plazo.

- Entre las propuestas planteadas, el uso de tecnologías inmersivas para impulsar el desarrollo de la industria de la construcción sería aquella que podría aplicarse en un periodo de tiempo menor en comparación a las demás, puesto que la tecnología de realidad virtual tiene un mayor grado de madurez respecto a las demás.
- Las problemáticas identificadas no tendrán una solución inmediata, pero la implementación de tecnologías 4.0 contribuirá a que la producción sea más rápida y rentable, con una mejor gestión de los recursos y que haya una constante adaptación a la demanda creciente del sector.

## **5.2. Recomendaciones**

- A pesar de todos los avances tecnológicos existentes, el sector de la construcción se desarrolla, en gran medida, mediante procesos intensivos en mano de obra con un grado de digitalización bastante limitado, por lo que el proceso de adaptación a estas nuevas tecnologías tendrá que darse mediante una capacitación constante de todo el personal competente.
- Para poder llegar a un buen estado de implementación con respecto a las tecnologías 4.0 y estar a la par que el resto de industrias, se deben superar diferentes retos como lograr una industrialización de las empresas constructoras, brindar soluciones sostenibles a distintos problemas que se presenten en el ciclo de vida de proyectos, equiparar la tecnología y capacitación de acuerdo al nivel que se pide y finalmente promover, desde los institutos y centros académicos, el cambio y transición de industria a una nueva era de tecnología.

## CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

- IBM (2021). *¿Qué es la Industria 4.0?*. <https://www.ibm.com/pe-es/topics/industry-4-0>
- Villena Manzanares, F., Marçal Gonçalves, M., & Lucena González, C. (2020). La construcción 4.0: hacia la sostenibilidad en el sector de la construcción.
- Antolín Valero, B. (2020). El otro punto de mira de la construcción 4.0 del que nadie habla.
- Pacheco Sanchez, C. J. (2021). *Optimización en el manejo de proyectos de la construcción de VISR por medio de las herramientas de la industria 4.0.*
- Garrell, A., & Guilera, L. (2019). *La industria 4.0 en la sociedad digital*. Marge books.
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro* (Vol. 647). Inter-American Development Bank.
- Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. *Cadaten primaria*, 9, 76-78.
- Barbero, M. L. (2018). Trazabilidad con Blockchain. In Actas del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas (pp. 99-106). <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/8748>
- Dinh, T. T. A., Liu, R., Zhang, M., Chen, G., Ooi, B. C., & Wang, J. (2018). *Untangling blockchain: A data processing view of blockchain systems*. IEEE transactions on knowledge and data engineering, 30(7), 1366-1385.
- Garrell, A., & Guilera, L. (2019). *La industria 4.0 en la sociedad digital*. Marge books.
- Pacheco Sanchez, C. J. (2021). Optimización en el manejo de proyectos de la construcción de VISR por medio de las herramientas de la industria 4.0.

- Fernández Castillo, J. (2019). Impresoras 3D. La revolución industrial llega a la construcción. *Cercha: revista de la Arquitectura Técnica*, (142), 68-72.
- Medina Calderón, D. X. (2018). El uso de las Impresoras 3D como tecnología emergente en la ingeniería Civil, impacto en el desarrollo económico y sostenibilidad.
- Contreras, L (2016). Contour Crafting la tecnología que imprimira casas en la Tierra y Luna. 3D Natives.
- Alonso, J. (2015). Big Delta, la impresora 3D capaza de construir casas. Libertad Digital.
- Leal, A. (2019). Machine Learning en la construcción. Colombia Proptech.
- Eastman, Chuck y otros (2011) BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2 nd Ed. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Farfán Tataje, E. Z., & Chavil Pisfil, J. D. (2016). Análisis y evaluación de la implementación de la metodología BIM en empresas peruanas.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2022). *Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de Construcción): 2016 – 2022*.
- Barbosa, F., Woetzel, J., & Mischke, J. (2017). *Reinventing construction: A route of higher productivity*. McKinsey Global Institute.
- Serpell Bley, A. (1990). *Análisis de operaciones mediante cartas de balance*.
- IronYun USA Inc. (2022). *Vaidio for Security | VaidioTM by IronYun*.  
<https://www.ironyun.com/security>
- Peniak, Martin (2022). *Intel-Rrk-Safety*.  
<https://cortexica.github.io/intel-rrk-safety/>

- IPE. (2022). *Construcción acumularía cuatro meses en descenso*. Instituto Peruano de Economía. <https://www.ipe.org.pe/portal/construccion-acumularia-cuatro-meses-en-descenso/>
  
- Goldman Sachs. (2016). *Virtual & Augmented Reality: The Next Big Computing Platform?*. Goldman Sachs Global Investment Research. <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/virtual-and-augmented-reality-report.html>
  
- Espinoza, Alvaro & Ricardo Fort (2017). *Inversión sin planificación. La calidad de la inversión pública en los barrios vulnerables de Lima*. GRADE.
  
- INEI. (2017). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Inei.gob.pe. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/en-el-pais-existen-mas-de-diez-millones-de-viviendas-particulares-censadas-10893/#:~:text=De%20total%20de%20viviendas%20particulares%20censadas%20propias%2C%20el%2050%2C7,no%20cuentan%20con%20dicho%20documento.>
  
- El Peruano. (2022). *Cerca de 140,000 familias buscan vivienda cada año*. [https://elperuano.pe/noticia/117713-cerca-de-140000-familias-buscan-vivienda-cada-ano#:~:text=26%2F03%2F2021%20Cada%20a%C3%B1o,para%20el%20Desarrollo%20\(Grade\).](https://elperuano.pe/noticia/117713-cerca-de-140000-familias-buscan-vivienda-cada-ano#:~:text=26%2F03%2F2021%20Cada%20a%C3%B1o,para%20el%20Desarrollo%20(Grade).)
  
- Garin, A. M., Garcia, J. A. M., Lizarraga, J. M. S., Betanzos, J. M. H., & Bãiri, A. (2018). Internet de las cosas y plataformas de código abierto como herramientas de apoyo para la construcción 4.0. Internet of things and open source platforms as support tools for construction 4.0. *Anales de Edificación*, 4(2), 1-8.

- Cabrera, A. G., & Ovalle, A. R. O. (2014). Simulación digital como herramienta para la gestión del conocimiento en la construcción de edificaciones en concreto. *INGE CUC*, 10(1), 75-82.
- Reyes, A. *Spanish Journal of BIM*. Edición 1801
- Construyamos (2019). *How big data is the transforming the Construction industry*.
- Ferreiro Bello, N. (2014). Automatización y robótica en edificación.
- Colpari Pozzo, M. H. (2020). Uso de inteligencia artificial para la detección automatizada de fisuras en estructuras de hormigón armado.
- Díez, D. (2020). 10 Aplicaciones de blockchain para la construcción.
- Rodríguez-González, A. Y., Morales, E. F., & Sucar, L. E. (2020). COLDPower: el agente inteligente mexicano de mercadeo de energía. *COLDPower: el agente inteligente mexicano de mercadeo de energía*.
- INCIBE (2017). Construcción. Ciberseguridad para tu sector.