



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
(INGENIERÍA CIVIL) – (GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE LA CONSTRUCCIÓN)

***ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS RETOS DE LA INDUSTRIA DE LA
CONSTRUCCIÓN ANTE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA***

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
GABRIELA DICANDI MARTÍNEZ CASTILLO

TUTOR PRINCIPAL
M. C. ESTEBAN FIGUEROA PALACIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MEX. OCTUBRE 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente:	Dr. Meza Puesto Jesús Hugo
Secretario:	M. I. Mendoza Rosas Marco Tulio
1 ^{er.} Vocal:	M.C Figueroa Palacios Esteban
2 ^{do.} Vocal:	M. I. Díaz Infante Chapa Luis Armando
3 ^{er.} Vocal:	M. en I. Macuil Robles Sergio

TUTOR DE TESIS:

M.C Figueroa Palacios Esteban

FIRMA

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la oportunidad de mejorar mi formación profesional y orgullo de pertenecer a ella.

Al M.C. Esteban Figueroa Palacios, por sus enseñanzas como profesor y tutor, así como el apoyo brindado en la elaboración de esta tesis.

Al M.C. Mauricio Jessurun por inspirarme en elegir este tema de investigación, motivarme y guiarme para elaborar mi tesis.

A los honorables miembros del jurado:

Dr. Meza Puesto Jesús Hugo

M. I. Mendoza Rosas Marco Tulio

M. I. Díaz Infante Chapa Luis Armando

M. en I. Macuil Robles Sergio

Que también fueron mis profesores en este proceso, gracias a sus enseñanzas.

Dedicatorias:

A mi padre que siempre ha sido un ejemplo a seguir e inspiración, por su apoyo y amor incondicional.

A mi madre que me da alegría cada día, cuidados, amor y el ejemplo de fortaleza constante.

A Toño por los momentos complicado he te hecho pasar, por corregirme cuando me equivoco y cuidarme.

A Abril por ayudarme cuando te necesito a pesar de todo, ser incondicional.

A Ángel mi hermano el más generoso.

A Luis y a Sarita mis otros hermanos.

Índice

Índice.....	4
Resumen	6
Planteamiento del problema.....	7
Justificación	8
Alcance	8
1 Marco conceptual.....	9
1.1 Innovación Tecnológica	9
1.2 ¿IT que son?	10
1.3 ¿Qué es lo que sucede en las empresas frente a innovaciones tecnológicas que se pueden volver disruptivas?.....	12
1.4 Empresas que sufrieron y provocaron disruptivas	17
1.4.1 Blockbuster	17
1.4.2 Netflix.....	21
1.4.3 Kodak.....	25
1.4.4 Fuji.....	32
1.4.4.1 Imagen 20.....	34
1.5 Conclusión capitular.....	36
2. Situación actual de la construcción	37
2.1 Introducción	37
2.2 Evolución de la construcción.....	38
2.3 Productividad en la construcción y ¿Por qué?	41
2.3.1 Productividad en México.....	44
2.4 Situación actual de la construcción.....	46
2.5 Algunas razones de la baja productividad.....	49
2.6 Digitalización	57
2.7 Conclusión capitular.....	62
3. Construcción 4.0	63
3.1 Introducción	63
3.2 Construcción 4.0	66
3.3 Innovaciones en la Construcción 4.0	68
3.3.1 Building Information Modeling BIM	68
3.3.2 Realidad virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR)	73
3.3.3 Colaboración digital	75
3.3.3.1 Cloud	75

3.3.3.2 Big Data y Big Data Analytics	77
3.3.3.3 Block Chain	78
3.3.4 Alta definición de los alcances, topografía y geolocalización.....	80
3.3.4.1 Escáneres.....	80
3.3.4.2 Drones / Vehículos aéreos no tripulados (UAV)	81
3.3.5 Industrialización / Impresión 3D, prefabricado y robótica.....	83
3.3.5.1 Fabricación aditiva.....	83
3.3.5.2 Prefabricación y construcción modular	85
3.3.5.3 Robots	87
3.3.6 Internet de las Cosas IoT y RFID.....	89
3.3.7 Gemelo Digital bajo la metodología BIM Construcción 4.0	91
3.4 Educación 4.0	96
3.4.1 La educación ahora debe ser:	98
3.4.2 Innovaciones tecnológicas en educación:.....	99
3.6 Conclusión capitular	101
4. Conocer y Afrontar la disrupción	102
4.1 Disrupción	102
4.2 ¿La industria de la construcción está lista para la disrupción?	106
4.3 ¿Qué hacer para la adopción de tecnologías disruptivas en México?	108
4.4 Obtener ventaja ante la disruptividad tecnológica.....	111
4.5 Consecuencias.....	113
4.6 Conclusión Capitular	115
Anexo 1. Bibliografía.....	116
Anexo 2. Índice de figuras	118
Anexo 3. Índice de tablas.....	120

Resumen

La industria de la construcción se está quedando atrás, pues mantiene un crecimiento de productividad anual, desde hace dos décadas, de apenas 1%. Esta situación se ha venido agravando aceleradamente, pues el resto de la industria ha ido evolucionando, sin que la construcción sea participe de esta, en los últimos años en cuanto a la digitalización de sus actividades, a esta digitalización se le ha denominado Industria 4.0. Cabe mencionar que este proceso tuvo un visible inicio con la liberación de internet para uso comercial.

Este proyecto aborda los puntos que se consideran más importantes para entender cuál es la situación de la industria de la construcción en el contexto de las implementaciones tecnológicas de la industria 4.0 y brinda ideas acerca de cómo mejorar la productividad, los procesos y de cómo compensar varias ineficiencias, todo teniendo como directriz el beneficio de la sociedad en su conjunto. Quiero describir aquí, inicialmente, cuál es el contenido general de esta obra: en el Capítulo 1 se pretende explicar el concepto de innovación, se busca facilitar al lector la comprensión de esta idea, con ejemplos de empresas que no lograron asimilar, en su beneficio, el cómo la aparición de nuevas tecnologías (tecnologías disruptivas) las podrían afectar, en el Capítulo 2 se expone una investigación de la situación actual de la industria de la construcción, el análisis se centra en el tema de la productividad, de los avances tecnológicos adquiridos y de las estrategias en educación a nivel global, para permitir el desarrollo de habilidades y conocimientos en la sociedad que cubran con los requerimientos de nuestros de nuestro contexto industrial y social actual, también se hace un análisis más detallado de la situación, en particular, de México, en el Capítulo 3 se exponen y describen cuales son las características de la industria de la “construcción 4.0” y se mencionan algunos de los avances tecnológicos que se han desarrollado y se continúan desarrollando en esta rama de la industria, en el Capítulo 4 se responden preguntas acerca de cómo las empresas, países y profesionales pueden innovar sus actividades y obtener ventajas de ello, por último responde la pregunta ¿Qué hacer para la adopción de tecnologías disruptivas en México y que pasara de no hacerlo? Y se mencionan las conclusiones del trabajo.

Planteamiento del problema

La industria de la construcción se encuentra en un rezago tecnológico tanto en materiales, nuevos procesos, medios digitales y administrativos, ubicándose solo arriba del sector de la caza y la agricultura en cuanto a adopción de nueva tecnología, esto según un estudio realizado por Mckinsey Global Institute (febrero 2017).

Diversos factores influyen en la lentitud en que se adoptan los nuevos avances tecnológicos, entre estos están:

- Empresas conservadoras, temerosas a los riesgos
- Poca productividad
- Negación por parte de los CEO
- Falta de planificación
- Nula o mínima colaboración y comunicación
- Mínima adopción tecnológica, por falta de entendimiento

Es posible que con las implementaciones de técnicas modernas de producción y gestión se pueda mejorar la productividad de la industria, se pueda construir a menores costos y plazos, la pregunta es ¿Cómo hacer para facilitar la pronta adopción de tecnologías disruptivas en México y que pasara de no hacerlo a tiempo?

El objetivo general será dar una visión general de la situación actual con respecto a la innovación en el sector de la construcción, a nivel global y nacional. Explicar la importancia de transformarse.

Objetivos particulares:

1. Identificar los factores a nivel interno y externo que se deben considerar al implementar el concepto de innovación tecnológica.
2. Agrupar conocimiento con relación al sector de la construcción y la innovación, a partir de la revisión de literatura y aportes de entidades y gremios de importancia para la investigación.
3. Buscar explicar cómo algunas empresas buscan ser innovadoras y los factores externos e internos que las motivaron.
4. Analizar las implicaciones de política sectorial y gestión empresarial, a partir del análisis de los factores que determinan la formación de innovación en el sector de la construcción.
5. Promover la integración de la academia, el sector empresarial y gremial en torno a la innovación en el sector de la construcción.

Justificación

El trabajo duro no es lo mismo que el trabajo inteligente, antes de la llegada de las computadoras el trabajo se realizaba a mano, en ciertas actividades era requerida la participación de gran cantidad de ingenieros y ocurría en muchas ocasiones que los errores eran pasados de largo. La llegada de las computadoras aligeró el trabajo, pero se mantenían los errores y la discordancia, pese a eso la productividad aumentó y los costos en cantidad de personal se redujeron. Hoy en día los avances tecnológicos nos prometen ahorrar en tiempo, costos y errores, pese a eso muchas empresas no desean introducirse a estos nuevos entornos digitales, por la tranquilidad que les genera conocer (“plenamente”) sólo una forma de trabajo, la “extenuante”.

Pero esta tranquilidad no es duradera, y como ya les ha pasado a otras industrias y empresas, tan importantes como Kodak, el no actualizarse con respecto a las tecnologías de vanguardia, trae consigo, inevitablemente el rezago y la prematura desaparición.

Por lo anterior, hay que cambiar el temor y la negación, por una voluntariosa curiosidad y optimismo con respecto a las nuevas oportunidades que puede ofrecer este nuevo entorno que trae consigo la industria 4.0.

Alcance

Esta tesis pretende lograr dar una opinión y análisis de las oportunidades que pueden otorgar las tecnologías disruptivas, desde un panorama general, a la industria de la construcción.

1 Marco conceptual

1.1 Innovación Tecnológica

Muchas definiciones se han elaborado acerca de la innovación, algunas de las más utilizadas son:

“Una innovación es la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las practicas internas de la empresa, la organización del puesto de trabajo o las relaciones exteriores” (EUROSTAT y OCDE, 2005).

La innovación tecnología se entiende como la creación de un nuevo producto, proceso o servicio, que proviene de un desarrollo tecnológico, el cual se lanza al mercado, se inserta en la industria y en la sociedad. Dentro de la innovación, también entran las mejoras significativas de un producto, servicio o proceso existente. La innovación involucra un cambio.

Varios sectores están siendo impulsados por estas innovaciones, las cuales no necesariamente fueron desarrolladas especialmente para ellos, es decir, que cada sector ha tomado ventaja de las nuevas tecnologías y las ha adaptado según les conviene.

En este contexto, es quizá pertinente, considerar a internet uno de los aportes, en innovación, más disruptivos, puesto que, en términos prácticos, después de su implementación en el mundo la gran mayoría de los avances tecnológicos, en nuestro tiempo, han tenido una velocidad de desarrollo sin precedentes, es cada día más complicado estar actualizado y la información viaja a mayor velocidad, el mundo, ahora es un lugar más prolífico para la existencia de personas innovadoras, puesto que sus ideas, y las ideas de otros innovadores pueden congregarse para generar proyectos cada día más útiles para la comunidad y que permitan procesos más eficientes para las empresas.

Es importante que las empresas inviertan en innovación para poder mantenerse competitivas, generando nuevos y mejorados productos (líderes en el mercado) y en procesos (reduciendo sus gastos). Debemos tener en cuenta que invertir en innovación tecnológica en nuestra actualidad será más redituable, la llegada del internet ha provocado que nos adelantemos a cubrir nuevas necesidades de la sociedad.

1.2 ¿IT que son?

La computación es la tecnología que define nuestra época, al igual que la alfarería a la Antigüedad, el reloj a la Edad Media y la máquina de vapor a los hombres del siglo XIX. (Bolter David, 1999), a lo anterior yo agregaría que, como menciona Alec Ross, quien es un experto en política tecnológica de los Estados Unidos, los datos definen nuestra nueva era.

Alan M. Turing fue un matemático e informático teórico, que en el siglo XX realizó diversos estudios sobre la cibernética y, gracias a estos trabajos, ideó el concepto de "Máquina de Turing", que es el objeto de estudio de la teoría de la computación. Desde antes de que apareciera la primera computadora sencilla afirmaba que las computadoras podían "imitar perfectamente la inteligencia humana", en nuestra realidad eso no es un hecho, sin embargo, es común que la tecnología y las computadoras realicen trabajos que anteriormente eran exclusivos del ser humano, en algunos casos el ser humano se vuelve un simple operario.

Nuestra actualidad es diferente a la que vio Turing (aunque muy cercana en varios aspectos), y será diferente para nuestros hijos, puesto que los avances tecnológicos se presentan cada vez más rápido, y se vuelve complicado actualizarse a tal velocidad.

Desde la aparición de los ordenadores nacieron varios conceptos como hardware, software, sistemas operativos, bases de datos, redes, etc., los cuales eran de uso exclusivo en la industria, puesto que, en sí, el uso de computadores era implementado, casi únicamente, por las grandes empresas, quienes los utilizaban para el procesamiento de datos, ejemplo del tipo de máquinas que se utilizaban era la mainframe, una computadora costosa, grande y potente, que procesaba transacciones bancarias.

El gran cambio vino cuando empresas como IBM comercializaron las primeras computadoras personales en 1981, acompañado después, de la invención de internet que, desde 1995, estuvo disponible para ser comercializado masivamente, con lo cual fue iniciando una acelerada transformación tecnológica.

Ahora es frecuente hacer uso de estas tecnologías en nuestros hogares, trabajos, automóviles, escuelas, negocios, etc. La combinación de ordenadores y telecomunicaciones para llevar a cabo la recopilación, almacenamiento, transmisión y manipulación de datos para nuestro uso, nos lleva al término de "tecnologías de la información y telecomunicaciones", TIC.

Las TIC nos están llevando a un mundo digital, más conectado, libre, flexible y mejor en varios aspectos, un ejemplo es la facilidad de comunicarnos con amigos del otro lado del mundo por medio de una videollamada en tiempo real, una actividad como esta ya es parte de nuestra cotidianidad, pero no era creíble en el pasado. Los cambios que han impulsado las TIC también han implicado modificaciones en los modelos de negocio, elaboración de productos e implementación de servicios, que, a su vez, han provocado la bancarrota de diversas compañías que no han sabido

adaptarse y conseguir ventaja de ellas, no solo eso, hay muchos empleos que están en riesgo, un ejemplo práctico y actual ocurre en Singapur, en donde se emplean robots que vigilan el distanciamiento social en la crisis del Covid-19, un trabajo que podía realizar anteriormente un oficial de seguridad.

Han existido un sin número de innovadores a lo largo de nuestra historia como humanidad, quienes con sus innovaciones y dentro de las posibilidades que les ha permitido su contexto histórico y tecnológico, han provocado una serie de cambios, que han llevado a que se vea amenazada la supervivencia de varias empresas establecidas. Las empresas sufrieron cambios completos en algunos casos y bruscos “disruptivos”, dentro de sus modelos de negocio, de producción, de implementación, de servicios y de pensamiento.

Las nuevas tecnologías tienen un crecimiento exponencial y están alcanzando a los mercados tradicionales. La disrupción es evolución y, ni las grandes marcas internacionalmente conocidas, con años de experiencia, pero con modelos de negocio, productos o servicios viejos lo evitarán, simplemente se extinguirán si no se preparan.

1.3 ¿Qué es lo que sucede en las empresas frente a innovaciones tecnológicas que se pueden volver disruptivas?

Para poder explicar cómo y por qué actúan las empresas cuando se les presenta una nueva tecnología que puede volverse disruptiva para su sector, me he apoyado del modelo de supervivencia de Henry C. Lucas Jr. y del dilema de los innovadores de Clayton M. Christensen.

Ambos tratan de explicar por lo que pasa el manager, incumbente y los otros interesados dentro de una organización y por qué la razón de sus decisiones.

Clayton M. Christensen profesor en Harvard Business, publicó el libro “the innovator dilemma”, en 1992. En él explica que existen tecnologías de sostenimiento (incremental) y de punta o abrupta (radical).

Las tecnologías de sostenimiento normalmente son actualizaciones o mejoras a los productos, actualizaciones que se van modificando conforme a las solicitudes y necesidades de los clientes. Para afrontar estas tecnologías el desempeño de un buen manager es indispensable.

Pero cuando las empresas se enfrentan a tecnologías abruptas el “buen manager” normalmente, como lo comenta Clayton, lleva a la organización al fracaso. Escuchar a su cliente en este caso no es lo ideal, cuando surgen estas tecnologías los clientes aun no las necesitan o no saben de qué manera emplearlas, así que no las solicitan, lo cual influye de manera importante en los tipos de inversiones y los recursos que se les serán asignados.

Las tecnologías de punta son más simples y baratas, normalmente otorgan menores márgenes de ganancia, son adaptadas por un pequeño grupo y generan nuevos mercados. Cuando estas tecnologías surgen, se desconoce cómo emplearlas y comercializarlas, un ejemplo de ello fue el surgimiento de las tabletas de Apple, el iPad, la cual no es un lector de libros como Kindle, tampoco una netbook, no es un teléfono, fue un concepto nuevo de dispositivos que permiten realizar diversas funciones como en otros aparatos con una pantalla amplia y fácil de transportar y ocupar.

La primera PDA (Asistente Personal Digital) fue la Newton, en la cual se invirtieron millones de dólares para su desarrollo y un gran esfuerzo de marketing, pero la Newton estaba formando un mercado nuevo donde ni los fabricantes, ni los clientes sabían para qué podría ser utilizada.

Newton no cumplía con las necesidades que los usuarios de ordenadores requerían, su precio en 1992 era elevado, ascendiendo a los 700 dólares, con ventas en el año 1994 de 140,000 unidades, lo cual representó un fracaso para la compañía. (Campos, S., 2010). Pero centrando las bases para uno de los productos más importantes de Apple, Inc. en nuestros días como es el iPad.

Clayton nos dice que cuando una empresa se enfrenta a tecnologías de punta, invertir grandes sumas de dinero en ellas puede ser un error, ya que aún se desconoce el mercado donde se desarrollaran, esto implica que estas sean costosas para la empresa, todo lo contrario, a su definición de tecnología de punta per se. Invertir grandes sumas provoca que queden sin capital para seguir desarrollándola y haciendo complicado que recauden los beneficios para llegar a ser rentable. Dentro de las organizaciones que se enfrentan a una tecnología de punta surgen muchas reacciones y el CEO es el principal responsable de dirigir a la organización para afrontarlas.

Clayton nos habla de universos de valor, es el contexto donde se desenvuelve la compañía para responder a las necesidades de sus clientes, procura comentarios reaccionarios ante los competidores y pugna por obtener beneficios, lo cual la conduce a tener una estructura establecida con el fin de impulsar su producto dominante, haciéndola rígida y a su vez vulnerable cuando se presenta algún cambio. Las organizaciones buscan incrementar sus ganancias e ir creciendo, así que como nos dice Clayton buscan migrar a universos superiores, donde los beneficios son mayores, pero las tecnologías de punta surgen de universos inferiores.

Mientras más grandes son las empresas, es más complicado enfrentarse a estos cambios, ya que como se ha mencionado las tecnologías de punta no generan grandes márgenes de ganancia como los que requiere una gran compañía, así que cuando llegan a invertir grandes sumas de dinero en ellas sin conocer su futuro mercado, ni su tamaño final, puede ocurrir un fracaso total, como en el caso de Newton Apple, donde a pesar de la cantidad de unidades vendidas, no se satisfacían los márgenes que requería la compañía.

Pero también esperar a que estas tecnologías evolucionen, y querer introducirse en ellas cuando están maduras, llevara a las organizaciones a quedar rezagadas tanto con la competencia como con respecto a los requerimientos de desempeño que solicite su mercado, llevándolas a fusionarse o la quiebra, a diferencia de lo que ocurre al implementar las tecnologías de sostenimiento, donde introducirse a ellas posteriormente no ocasiona grandes repercusiones.

También puede ocurrir que estas tecnologías no lleguen a madurar, y es aquí donde es visible el dilema en el que viven crónicamente los CEO, puesto que existe una idea muy arraigada en la cultura empresarial, de que “los buenos CEO”, no tienen permitido fracasar.

Complementando lo dicho por Clayton, nos podemos apoyar del modelo de supervivencia de Henry C. Lucas, quien de igual manera ejemplifica la situación por la que pasan las empresas.

Estando de acuerdo los autores en que es el incumbente, es decir la empresa o CEO interesado, quien toma las decisiones que en muchas ocasiones son incomprensibles, complicadas y producen inconformidades. Es el, el incumbente, quien debe detectar el surgimiento de posibles tecnologías nuevas y desarrollar estrategias que redirijan el negocio y mejorar en la competencia, para lograrlo debe

actualizarse constantemente sobre nuevas tecnologías que surjan, tomando cursos, conferencias, realizando búsquedas en la web, en revistas y periódicos. Principalmente debe tener una mentalidad abierta y comprender que estas tecnologías generan nuevos mercados y clientes, que no se conocen.

Pero como ya lo mencionamos, el incumbente se desenvuelve en un contexto cuya situación es, para la toma de decisiones, desconocida o complicada, así que Henry sugiere una explicación en la que describe factores que limitan a los incumbentes, en su plena toma de decisiones, descrito esto en los siguientes motivos y actitudes:

1. **Negación.** Es el mayor enemigo, es una respuesta común a lo desconocido en este caso una nueva tecnología. Es más sencillo negar que averiguar cuál será el impacto que ocasionará.
2. **Historia.** Una historia de éxito puede generar una falsa calma, claro ejemplo de ello fue Kodak. El éxito pasado no garantiza el éxito futuro.
3. **Resistencia al cambio.** Cuando nos sentimos cómodos y exitosos con lo que se está haciendo, es complicado querer cambiarlo, "Si no está roto, no lo arregles". En varias empresas que hoy están en quiebra, se observa que los trabajadores y los gerentes impedían que se generara un cambio, el llevar trabajando años de la misma manera, les hacía pensar que la industria no cambiaría.
4. **Mentalidad.** La gerencia media puede ser muy resistente al cambio incluso si la alta gerencia reconoce que es necesario. La mentalidad de los empleados favorece el statu quo.
5. **Marca.** La marca produce que se asocie a la empresa con un proceso, servicio o producto, el caso más claro es Blockbuster, que se asocia con una tienda física. Una marca famosa no es garantía de éxito futuro.
6. **Costos hundidos.** Se entiende que cuando se llegan a tener, hay que prescindir de ellos, las decisiones no deben tomarse considerándolos, ello es muy complicado en la práctica. Blockbuster tuvo un enorme costo hundido en bienes raíces e inventario, cuando decidieron intentar entrar a la distribución de películas a través de internet, sin embargo, una de las razones, por las que no tuvieron éxito, fue que, en último momento, decidieron no desentenderse de este costo.
7. **Rentabilidad.** Las grandes ganancias pasadas generan efectivo y complacencia. Es difícil discutir con las ganancias, y el CEO que hace alarde del argumento de la rentabilidad gana, aunque, en algunas ocasiones solo a corto plazo. Como ejemplo, podemos considerar que la película fotográfica tenía grandes márgenes de ganancia y algunos analistas creen que Kodak se resistió a la fotografía digital durante tanto tiempo porque quería proteger esos

márgenes. Cuando llega una discontinuidad tecnológica, no hay garantía de que un negocio siga siendo rentable.

8. **Falta de imaginación.** Los incumbentes o interesados deben imaginar lo que podría ocurrir cuando aparezca una nueva tecnología y la oportunidad que tendría su organización si la aprovechara. El trabajo de la gerencia es detectar una discontinuidad tecnológica que se avecina y desarrollar la organización para responder con éxito, desarrollando una competencia de innovación.

Las organizaciones pasan por estos factores y son los CEO quienes deben tomar y ejecutar decisiones difíciles METD (Make and Execute Tough Decisions), donde muchos de los involucrados no estarán de acuerdo.

Modelo Henry C. Lucas:

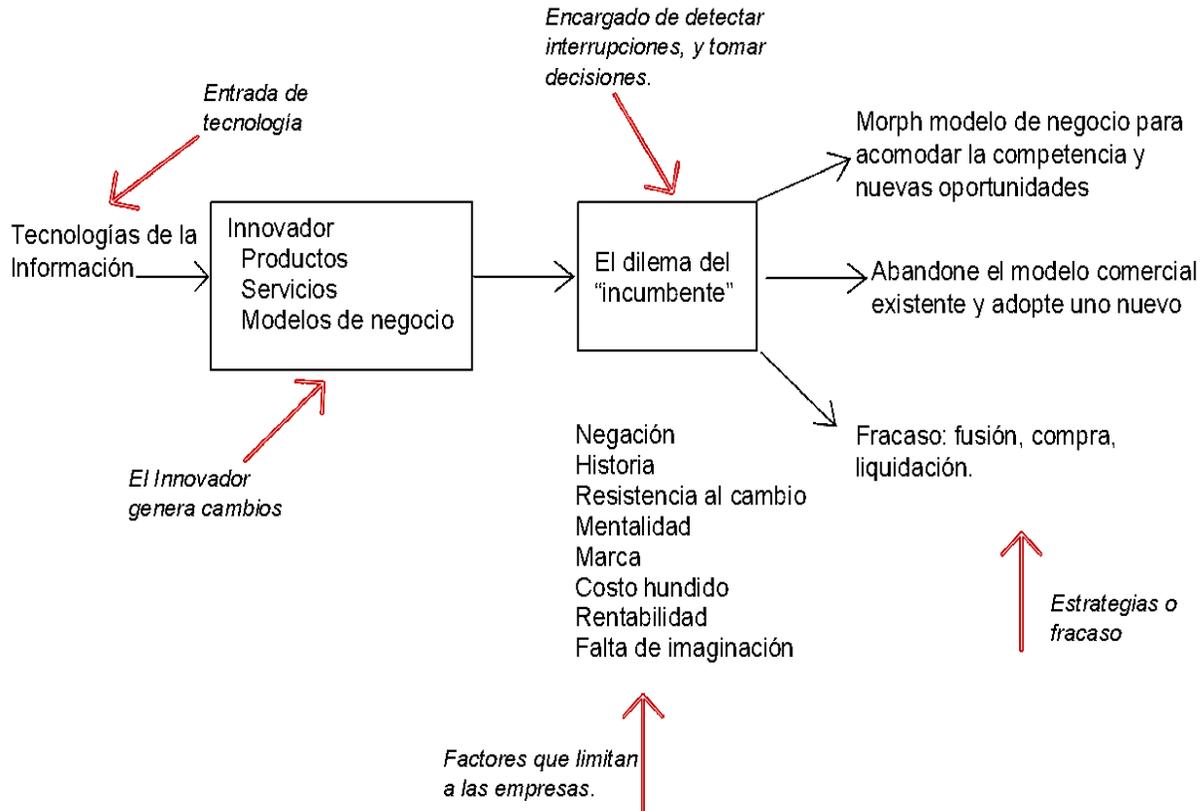


Figura 1. Modelo de supervivencia

Fuente: Elaboración propia modificado del modelo del libro *The search survival* de Henry C. Lucas Jr., 2012.

Presentándolo de manera distinta, pero coincidiendo en varios puntos, ambos autores nos dan una reflexión clara. El CEO debe cambiar su enfoque cuando se enfrenta a estas tecnologías, y debe reconocerse que estar en su situación no es fácil.

Las tecnologías disruptivas producen productos que suelen ser más baratos, pequeños y a menudo más convenientes de usar que los productos tradicionales, lo cual coloca al CEO y a la empresa en una elección imposible, si los ignoran y estas maduran y prevalecen, corren el riesgo de ser expulsados del mercado, pero si las promueven, canibalizan sus resultados.

Con todo lo anterior, podemos entender que las compañías, en específico, de las que se habló anteriormente no estaban preparadas para adoptar una tecnología disruptiva, porque no veían una demanda de sus clientes para dicha innovación y no existía un mercado para ella, ni los clientes, ni los fabricantes imaginaban en que ocuparlas, esto las llevo lógicamente a negar que este desarrollo, de alguna manera, las podría afectar.

Muchas de estas empresas tenían años en la industria, sabían cómo manejar su mercado y como dar respuesta a las solicitudes de sus clientes (los escuchaban), con lo cual muchas de ellas eran líderes en su sector, percibían grandes ganancias así que defendían los productos que las habían llevado a esa posición, las características que le habían dado respaldo a su marca, llevándolas a formar una estructura organizativa que a su vez las volvía rígidas.

¿Por qué una fórmula que les había funcionado y las había colocado como líderes, dejaría de funcionar? ¿Por qué deberían cambiar su estrategia, por una tecnología de la cual aún se desconocen sus efectos? Cambiar la mentalidad de los empleados, ejecutivos y toda la organización, es uno de los puntos más cruciales, es contraponer ganancias tangibles con respecto los posibles cambios, que podrían provocar nuevas tecnologías.

En muchos de los casos que ambos autores mencionan, la organización se resiste al cambio, llegando al punto de entorpecer, frenar o atrasar las nuevas estrategias que se desean implantar.

Para ejemplificar lo antes mencionado, se detallarán aquí, dos casos en los que las empresas Kodak y Blockbuster, tuvieron que afrontar el arribo de nuevas tecnologías, y tomar decisiones sobre cómo sería la interacción entre estas y sus propios procesos internos, en los dos casos las dos empresas no salieron triunfantes.

1.4 Empresas que sufrieron y provocaron disruptivas

1.4.1 Blockbuster

Blockbuster fue fundado por David Sandy Cook en 1985, David quería cambiar la imagen de las tiendas de renta de video, haciendo de blockbuster una tienda acogedora para las familias y cambiando el antiguo modo de alquiler, en el que solo se permitía permanecer con los videos un día, su idea de negocio tuvo éxito y logro expandirse a 19 tiendas ubicadas en Chicago, Atlanta y Detroit. En 1987 Wayne Huizenga, el transportista de residuos más grande del mundo, compro el 50% de la compañía, estaba a favor de una expansión agresiva, por lo que siete años después la empresa valía 4 mil millones de dólares, y contaba con 3,700 tiendas en 11 países. Habían expandido el negocio a estudios de televisión, tiendas de música y centros de juegos infantiles Discovery Zone. (Coughlan e Illes, 2004, como se citó en Henry C. Lucas Jr., 2012).

Según el Washington Post, Blockbuster fue tan popular en Estados Unidos que, en 1989, se abría una nueva tienda cada 17 horas. (Horton A., 2018).

En el año de 1994, se presentó una disminución en las acciones de Blockbuster, provocando temor entre los accionistas, así que se iniciaron negociaciones con Viacom, el cual termino comprando a Blockbuster por 8 mil millones de dólares.

Summer Redstone presidente de Viacom decidió solo preservar la industria del alquiler de videos.

En 1997 se integró como CEO John Antioco, presidente de Taco Bell, una cadena de comida rápida, poco después en 1999 Viacom vendió en 20% de la compañía, pero mantuvo el 95% del poder de voto.

A finales de ese mismo año 1999, Blockbuster comenzó a tener mayor competencia en su mercado, esto a pesar de que había superado la transición de cintas de video a DVD, se encontraba en dificultades, por la proyección de películas por satélite y cable, la venta de películas por empresas como Walmart y Best Buy a precio competitivo, los minoristas en línea como Amazon y el rápido aumento de servicios digitales como Netflix, dando como resultado pérdidas significativas.

Pero John continuo con la idea original de las tiendas físicas, agregando la renta de videojuegos, dando como resultado 8,000 tiendas en 27 países y 89,000 empleados en el año de 2001 (Henry C. Lucas Jr., 2012).

Existen algunas versiones sobre el acercamiento entre Blockbuster y Netflix, se menciona que durante este periodo Blockbuster tuvo la oportunidad de comprar Netflix, otras mencionan que Reed Hasting propuso una alianza, donde Netflix seria la marca online de Blockbuster (Infotechnology, 2019). Sin embargo, ambas versiones coinciden que fue en el año 2000, y que John Antioco rechazo la oferta. Antioco estaba advertido por muchas personas cercanas sobre como las nuevas tecnologías cambiarían la industria del alquiler de videos, aun así, el hecho de

haber incrementado las ganancias, las tiendas y el ser líder en el mercado, lo hizo pensar que el modelo de negocio que seguía era fuerte y el adecuado.

En 2004 Netflix supero el millón de suscriptores, en ese momento Blockbuster tenía 9,000 tiendas, liderando el mercado.

Sorpresivamente en el año 2005 un empresario e inversor estadounidense llamado Carl Icahn compro 10 millones en acciones de Blockbuster adquiriendo participación en ella.

Para afrontar la competencia con Netflix, John decidió quitar las multas por retrasos de entrega y apostar por la renta en línea, donde los clientes solicitaban el producto y esperaban unos días en recibir su entrega, para hacer factible la renta online se requerían recaudar 200 millones de dólares, obteniéndolos de la renta de videojuegos, reducción de gastos administrativos y conservar solo las tiendas más rentables. Estas acciones provocaron que Viacom vendiera su participación al público ya que significaba gran reducción de los ingresos.

En 2007 John Antioco se retiró, dejándole el lugar a Jim Keyes, esto por discusiones entre Antioco y Icahn, este último inconforme por cómo se estaba manejando la empresa.

Bajo el liderazgo de Keyes la compañía abandono la estrategia de la venta en línea, aumento los precios para los clientes en línea, redujo el marketing y regreso al alquiler de películas DVD en tienda, como principal recurso. Además, reinstauro las multas por retraso de devolución.

En el año 2010 Blockbuster cayo en quiebra y fue adquirido en 2011, en una subasta, por la compañía Dish Network, todas las tiendas del corporativo cerraron en 2013. Actualmente existe solo una tienda ubicada en Oregón, la cual se mantiene por los recuerdos que aun provoca en varias generaciones.

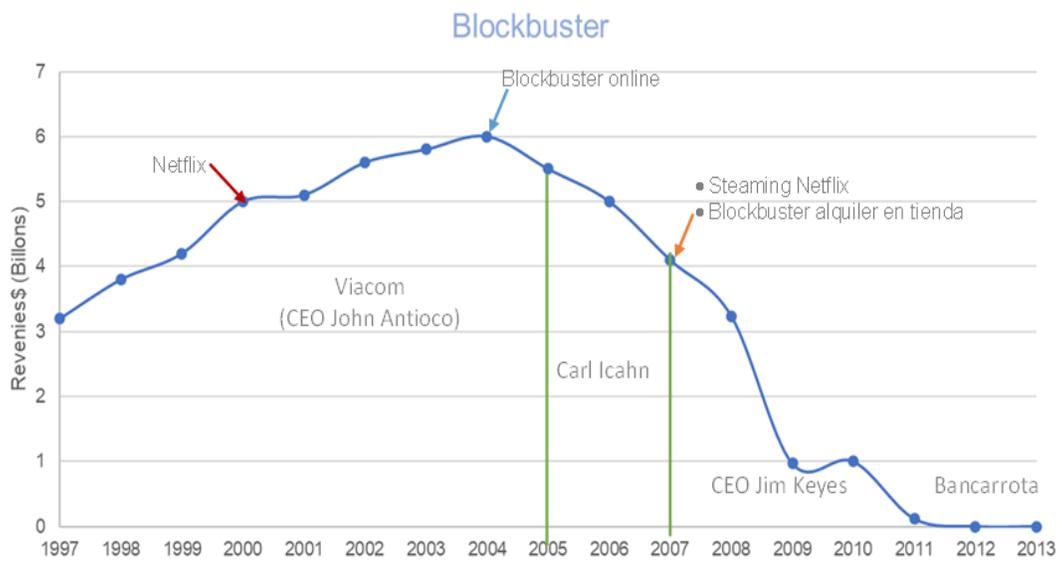


Figura 2. Ventas de Blockbuster

Fuente: Elaboración propia modificado del libro *The search survival* de Henry C. Lucas Jr., 2012.

Apoyándonos del modelo de Henry C.

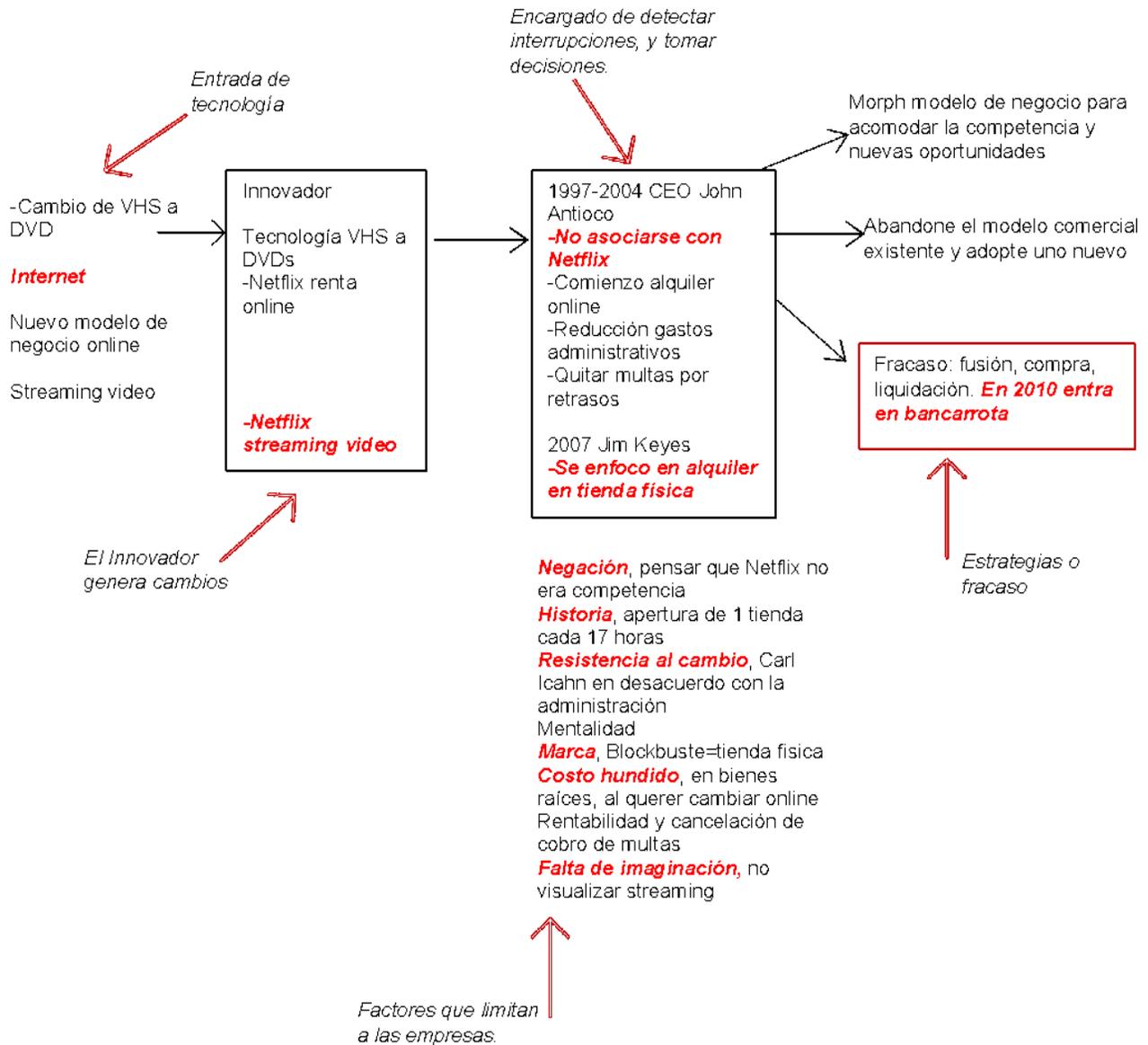


Figura 3. Modelo de supervivencia de blockbuster

Fuente: Elaboración propia modificado del modelo del libro *The search survival* de Henry C. Lucas Jr., 2012.

La tabla anterior nos permite observar como un momento clave, las decisiones tomadas por los “incumbentes”, pues definieron el camino que tomaría la empresa.

Hay varias razones por para que Blockbuster no exista hoy.

- Al parecer Blockbuster creía que vendía una experiencia familiar al asistir a sus tiendas, pero más allá de eso, ellos se dedicaban al entretenimiento a través del video, dejaron pasar por alto que las personas iban a sus tiendas por este tipo de producto.

- La estructura de la organización y los altos directivos que toman la decisión final pueden dificultar la toma de decisiones en las organizaciones, haciendo miope a quien estructura la organización. Ejemplo de ello es cuando Blockbuster decidió comenzar un cambio, elimino las multas por retraso y entro al mercado de renta en línea. Pero a los directivos no les agrado la inversión que esto implicaba.

- Las tecnologías de punta generan bajos márgenes de ganancia, principalmente cuando estas comienzas a desarrollarse, en el caso de Blockbuster las rentas en línea no otorgaban los beneficios que se requerían para cumplir con sus necesidades.

- Como lo menciona Clayton, introducirse tardíamente a las tecnologías de punta puso en desventaja a Blockbuster ante Netflix, que para el momento en el que este primero se quiso introducir, carecía de la experiencia.

- Blockbuster abría una sucursal cada 17 horas, era líder en su mercado, generando una falsa confianza, que la llevo al temor de cambiar el modelo de negocio que le había funcionado.

- La visión de un CEO que busca incrementar los beneficios aferrándose al modelo que ha funcionado, a pesar de la presencia de una tecnología abrupta que está impactando y aun así continuar con el modelo de negocio pasado, por razon de lo que representaba la marca y también rechazando oportunidades por falta de visión.

Se dice que el principal rival de Blockbuster fue Netflix, quien exploto los cambios tecnológicos que se estaban presentando y continúan innovando, pero el verdadero enemigo fue Blockbuster.

1.4.2 Netflix

Netflix es una plataforma de streaming que transmite películas, series y caricaturas de varias empresas productoras e incluso, actualmente, realiza sus propias producciones. Permite a sus usuarios ver contenido a través de diversos dispositivos, en cualquier momento, únicamente con el requerimiento de conexión a internet y suscripción mensual.

Fue fundada en 1997 en California, E.U. por Reed Hasting y Marc Randolph. Se dice que la inspiración le surgió a Hasting un día que fue a rentar la película de Apolo 13 en una sucursal de Blockbuster, al no realizar la devolución a tiempo, tuvo que pagar 40 dólares de sanción. Hasting comenzó a pensar en un sistema de alquiler de películas por correo, que no aplicara multas por retrasos de devolución (Shaw Lucas, 2015).

El problema inicial se presentó por el formato de VHS, este tipo de formato no permitía que el producto llegara en buen estado al cliente a través del correo ordinario, pero durante esta época se comenzaban a comercializar los discos DVD.

Hasting apostó por el formato DVD, realizando pruebas de envío y confirmando que llegaban en perfecto estado. En 1998 los usuarios, a través de un catálogo virtual, podían alquilar un DVD a la vez. Los consumidores pagaban los gastos de envío, sin embargo, estas características no permitieron a Netflix alcanzar sus objetivos de venta. Su modelo comercial cambió en 1999, haciendo ilimitado el número de discos DVD que un usuario podía rentar a la vez, esto implementando un cobro por suscripción mensual, sin recargos y con envío gratis.

Entre 1999 y 2000 Netflix pasaba por una caída en picada, por la competencia de Blockbuster, la venta de DVDs de Wal-Mart, Best-buy y minoristas como Amazon.

A inicios de 2000 los ingresos de Netflix eran de 5 millones de dólares en comparación con los 4,500 millones de dólares de Blockbuster, ese año Reed Hasting se reunió con el CEO de Blockbuster John Antioco, para proponer una alianza en donde Netflix participaría como marca online de Blockbuster, John Antioco rechazó la propuesta (Shaw Lucas, 2015).

Ese mismo año Netflix presentó un sistema personalizado de recomendación de películas, mejoró su servicio al cliente, haciendo el servicio más rápido, invirtiendo en un software que gestionaba el proceso de recepción y envíos de DVDs, y además estableció varios centros de distribución regionales, que le permitían realizar las entregas en un solo día.

El año 2002 Netflix comenzó a cotizar en la bolsa bajo NFLX con 600,000 suscriptores. (Netflix Inc., 2016). Continuó aumentando los suscriptores hasta 4.2 millones en 2005.

El gran giro surgió cuando Netflix presentó su servicio de video streaming en 2007, lo cual generó un cambio radical en toda la industria, era posible ver series de televisión y películas al instante desde un computador. En los dos años siguientes

Netflix se asoció con empresas de electrónica de consumo, para ofrecer video streaming desde diversos dispositivos, desde televisores, consolas y otros dispositivos conectados a internet.

En 2008 contaba con 8,4 millones de suscriptores y 140 millones en 2018.

Al momento de redactar esta tesis, Netflix se desenvuelve en un mercado competitivo, constituido por plataformas de video streaming como HBO, Amazon Prime, Hulu y otras en pleno surgimiento como Disney Plus, Apple TV, Warner, etc. Sin embargo, Netflix ha permanecido en estos años liderando el mercado, dejando atrás a sus rivales. Tan solo en Canada y Estados Unidos cuenta con 70 millones de usuarios contra, por ejemplo, 26.5 millones de Disney Plus (López A. y Viloria E., 2020).

La compañía pensaba alcanzar 7 millones de nuevos suscriptores, pero esta cifra se rompió con 15,77 millones de suscriptores en los primeros tres meses de 2020, analistas consideran que está relacionado a la nueva pandemia del Covid-19. De esto, actualmente, sus suscriptores suman un total de 183 millones a nivel mundial, manteniendo su primer lugar con más usuarios en el mundo, como plataforma de video streaming (Dinero, 2020).

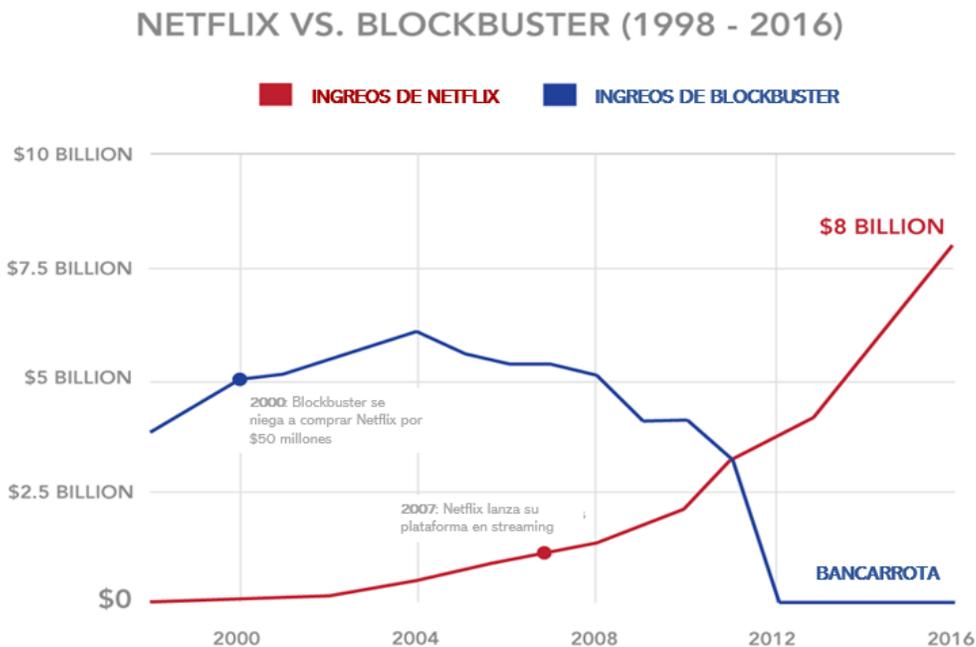


Figura 4. Fuente interrumpida o disruptor. ¿Cuál vas a ser?

Fuente: Cloud Technology Partners, 2017 como se citó en Stratability Academy, 2020



Figura 5. Línea del tiempo en Blockbuster contra Netflix

Fuente: *The Strategy Journey Stratability Academy, 2019 como se citó en Stratability Academy, 2020*

Una historia muy distinta la de Blockbuster y la de Netflix, podemos decir que, en el último caso, se ha asumido un modelo de negocio que se acopla a este siglo y se ha sabido manejar e innovar, puntualmente se observa que:

- Se adelantaron a los requisitos que los mercados en esos momentos solicitaban "videoclub online", creando uno nuevo y más adelantado, el video streaming.
- En un comienzo las solicitudes de sus servicios fueron bajas, así que pensaron vender a Blockbuster y ante la negativa de esta, Netflix continuó mejorando su servicio.
- Ahora en el 2020 cuenta con el servicio de recomendación y calificación, donde al consumidor se le permiten calificar las series y películas, sobre de esto ofrece mejoras continuas (sostenimiento), para sus clientes, explotando otros medios, como las redes sociales, para estar en contacto con sus consumidores.
- Maneja diferentes formas de pago y suscripciones.

Cambio la manera de ofrecer este servicio, dejó atrás la idea de “Las personas disfrutaban ir a las tiendas de videos”. Como sucede con estas innovaciones, las nuevas organizaciones que surgen no necesariamente necesitan tener años de experiencia, ahora pese a enfrentarse a una situación desfavorable por la pandemia de Covid-19, Netflix se encuentra posicionada en el segundo lugar como una de las empresas que aumento su valor bursátil a 16%, teniendo \$165,000 mdd de capitalización de mercado (PwC, 2020).



Figura 6. Lo que molesta y emociona a los clientes

Fuente: The Strategy Journey Stratability Academy, 2019 como se citó en Stratability Academy, 2020

No fue Netflix el responsable de la bancarrota de Blockbuster, fueron los “incumbentes” y los factores que ya mencionamos (CEO temerosos de innovar, directivos arraigados a la historia de éxito de la empresa, a las grandes ganancias que percibían, temor al costo hundido y toma de decisiones tardías), los que la llevaron a ella.

Cuando se decidió a innovar, fue deficiente el servicio, con un diseño poco atractivo y falta de publicidad. Es poco probable triunfar copiando al innovador después de que este es líder en el mercado.

1.4.3 Kodak

"You press the button we do the rest"

George Eastman (1885)

Kodak Company fue fundada en 1880 por George Eastman en Rochester New York. Kodak mejoro la fabricación de la placa seca e invento la película en rollo, lo que permitió que la fotografía se convirtiera en un pasatiempo de las masas.

Los márgenes de ganancia más grandes de la compañía procedían de los consumibles; venta de los rollos, substancias químicas y papel fotográfico, es por ello que las cámaras no necesitaban ser costosas.

En 1976 Kodak controlaba el 90% del mercado cinematográfico de EE.UU. y el 85% del de las cámaras fotograficas, Kodak era un nombre conocido, un monopolio de su época. Para 1981 la compañía alcanzo 10 mil millones de ventas (Salomon Brothers, 1994 como se citó en Gavetti G., *et al*, 2005).

En ese mismo año Fujifilm lanza su película negativa en color, a un precio muy accesible para el público. Seria esta empresa quien se volvería el mayor competidor de Kodak, esta empresa japonesa producía productos similares a precios menores.

Uno de los hechos más importantes en la historia de Kodak fue inventar la cámara digital, desarrollada por Steven J. Sasson en 1975. Pero en lugar de resultar un avance para la empresa, Sasson menciona que, la respuesta de la gerencia fue de consternación: "Era fotografía sin película, así que la reacción de la gerencia fue, 'eso es lindo, pero no se lo digas a nadie". "Mi prototipo era tan grande como una tostadora, pero a los técnicos les encantó", dijo Sasson (Deutsch, C. H. 2008).

A pesar de este desarrollo, Kodak decidió no desenvolverse en el desarrollo de la fotografía digital, por temor a que dañaría su negocio cinematográfico. Esto representaba "Matar al huevo de oro".

Fue en 1981 cuando Sony lanzó su primer cámara digital, llamada Mavica capaz de tomar fotografías sin película y mostrarlas en un televisor o imprimirlas en papel. Kodak no exploto tal innovación porque el CEO Colby Chandler, afirmo que los clientes preferían película en color (Nuñez F. J., 2012).

En el año de 1983 Kay Whitmore toma la presidencia, el creía que Kodak necesitaba diversificarse y se expandió a otros mercados, dedicando enormes recursos a la producción de medicamentos, máquinas de diagnóstico clínico e impresoras.

Kodak buscó apoyarse en tecnologías híbridas, que incorporaban tecnología analógica y digital, porque así se lograban imágenes de más alta calidad. Durante la gestión de Whitmore se introdujo, en 1990, el sistema Photo-CD, donde el consumidor llevaba un rollo de película a un estudio fotográfico y en lugar de imprimirse las imagenes, se guardaban en un disco (BBC News Mundo, 2012).

El mayor problema con el sistema Photo-CD era la necesidad de un lector de discos, con un costo aproximado de \$500, mientras que el disco costaba \$20. Además, era necesaria una computadora, para realizar el proceso de grabado.

En 1993, Kay Whitmore, fue reemplazado por George Fisher, el CEO que había dado la vuelta a Motorola.

Fisher quería reenfocar a la compañía, en su primer año de trabajo vendió las compañías de su segmento de salud como Sterling Winthrop, Clinical Diagnostics y otros negocios no relacionados con el mercado de la fotografía.

Las desinversiones representaron en total \$ 7.4 mil millones en las ventas de 1993, estos recursos se utilizaron principalmente para pagar la deuda de Kodak.

Fisher separo las divisiones de imagen digital y aplicada, estableció un modelo de redes y consumibles, por medio del cual quería implementar la captura, procesamiento y envío de imágenes usando quioscos, impresoras y papel kodak.

HP, Canon, Epson y otros competidores estaban produciendo impresoras de calidad fotográfica de menor costo, mientras Kodak se alejaba cada vez más de los clientes. "Kodak está tratando de que los clientes se ajusten a su antiguo modelo comercial, pero es probable que los consumidores prefieran un enfoque más directo", de imprimir fotografías en casa y jugar con ellas en su PC, dijo James F. Moore, presidente de GeoPartners Inc. en Cambridge, Mass (Smith Geoffrey, 1997).

A pesar de que, en un último esfuerzo, Kodak, bajo la dirección de Fisher intento apostar ahora por la fotografía digital, invirtiendo 500 millones de dólares al año en investigación y desarrollo de productos, las ganancias esperadas no llegaban, Kodak se enfrentaba a la feroz competencia de empresas japonesas como Sony y Canon, así como con la de Hewlett-Packard y otros rivales estadounidenses.

Dentro de Kodak, Fisher también estaba lidiando con una cultura arraigada de jerarquías y burocracia, de la que jamás había tenido referente durante sus días en Motorola. Pese a haber tomado medidas para cambiar las cosas, en cuanto al funcionamiento interno de la empresa, tales como instituir estándares de pago por desempeño, la cultura de fabricación antigua y los gerentes intermedios continuaron obstaculizando los esfuerzos para convertir a Kodak en una empresa de alta tecnología en crecimiento. "Fisher ha podido cambiar la cultura en la cima", dice un ejecutivo de la industria. "Pero no ha podido cambiar la enorme masa de gerentes intermedios, que simplemente no entienden este mundo [digital]" (Henry C. Lucas Jr., 2012; Smith Geoffrey, 1997).

Los críticos juzgaban cosas como que "Fisher ha tardado en abordar los problemas internos básicos de Kodak: una cultura corporativa atascada en una mentalidad remanente de una era de fabricación anterior y costos excesivos. En lugar de anunciar una nueva era con duros despidos hace cuatro años y traer un nuevo equipo para supervisar el negocio de la fotografía, decidió minimizar los recortes de costes en el negocio de películas tradicionales de Kodak con la esperanza de que los ingresos digitales crecieran lo suficiente como para respaldarlo. "Todo lo que

pudo salir mal, salió mal", sentencia un inversor institucional, con una gran participación en Kodak. "Es impactante y angustioso" (Smith Geoffrey, 1997).

La marea cambió a favor de Fujifilm, cuando retuvo la mayor parte del mercado, a partir de 1999. En particular, la competencia de precios instigada por Fujifilm con Kodak provocó una carrera por las ventas. Fisher vio arruinada su visión de crecimiento por una guerra de precios que cobro hasta 20.000 despidos (Dobbin B., 1999).

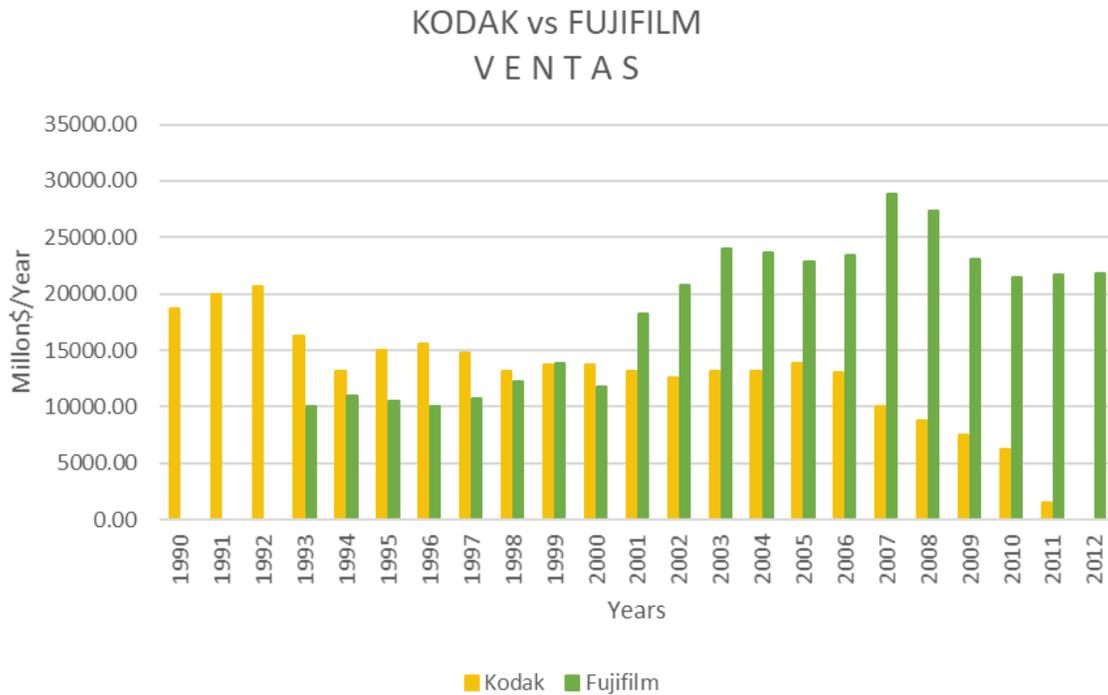


Figura 7. Gráfica comparativa de ventas de Kodak-Fujifilm
Fuente: Elaboración propia modificado del gráfico de Agün, 2010

En el año 2000 George Fisher dejó el cargo, vino a sustituirlo Daniel Carp, al año de su gestión las ventas de cámaras analógicas cayeron por primera vez. En 2002, Kodak compró Ofoto, un servicio de fotografía en línea, en cual los usuarios podían compartir imágenes y video entre sí, Kodak renombró a la compañía como Kodak Easy Share Gallery. Desafortunadamente, la empresa utilizó a esta plataforma para hacer que la gente imprimiera fotografías digitales. No se dieron cuenta de que compartir fotos en línea era el nuevo negocio, no solo una forma de expandir las ventas de impresión.

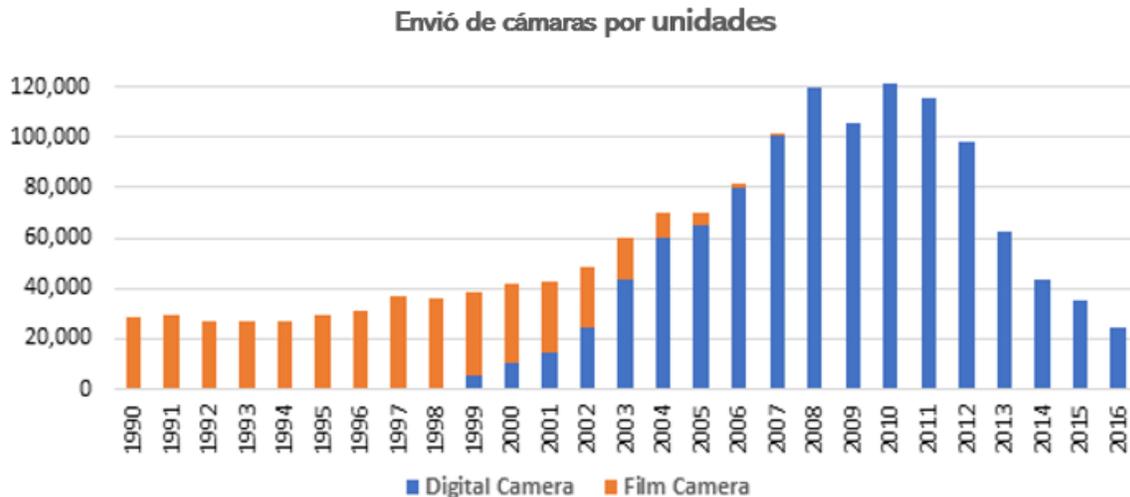


Figura 8. Adquisición de cámaras digitales contra cámaras analógicas
 Fuente: Televisory's research and CIPA Data como se citó en televisory, 2017

Otro golpe llegó a Kodak en 2003 cuando, según la Strategy Analytics, se registró que “se vendieron 25 millones de teléfonos con cámara en todo el mundo, en comparación con solo 20 millones de cámaras digitales fijas. Este evento fue el primer paso hacia el objetivo de la industria [de la telefonía móvil] de tener un teléfono con cámara en cada bolsillo. ” (Business wire, 2003)

En abril de 2005, Kodak anunció una pérdida trimestral masiva de \$ 142 millones, mientras que sus calificaciones de los bonos sufrieron una rebaja a estatus basura (Greene N. & Rich W.).

Kodak contrató a Antonio Pérez en 2005 quien aumentó los despidos en más de 15000 ese año, y argumentó que las ventas de productos y servicios fotográficos tradicionales estaban "cayendo más rápido de lo anticipado", lo que les obligaba a reducir costes "con más agresividad" (Pozzi S., 2005).

Kodak, que empleaba a 145.300 personas hace 20 años, finalizó 2007 con 26.900 empleados.

A comienzos de 2012 Kodak presentó un déficit mayor a 6,750 millones de dólares por concepto de pensiones, más 1,500 millones en deudas con acreedores como Amazon, Wal-Mart, Nokia o Disney. La empresa cerró 13 plantas de manufactura, 130 laboratorios de procesamiento, contando con 18,000 empleados en ese momento.

Hacia enero de 2012 las acciones de Kodak no alcanzan el valor de un dólar, cuando

en 1997 la acción alcanzaba casi 93 dólares. En 2004 la empresa sale del índice Dow

Jones y en diciembre de 2011 abandonó el índice S&P 500 de la Bolsa neoyorkina. Kodak perdió durante 2011 cerca del 90% de su capitalización (Pozzi S., 2012).

Kodak, que se declaró en quiebra por su incapacidad de competir en el mercado digital, para intentar reforzar su liquidez, rentabilizar la propiedad intelectual no estratégica, resolver la situación de los pasivos y concentrarse en negocios más competitivos, el 10 de enero del 2012 se acogió al Capítulo 11 de la Ley de Bancarrotas de EEUU.

Actualmente Kodak, una empresa con más 132 años de existencia, anunció que se convertiría en una compañía farmacéutica, su nueva misión impulsada por un préstamo de US\$765 millones del gobierno de los EE. UU. Para producir “materiales iniciales” para medicamentos genéricos en un esfuerzo por luchar contra Covid-19.

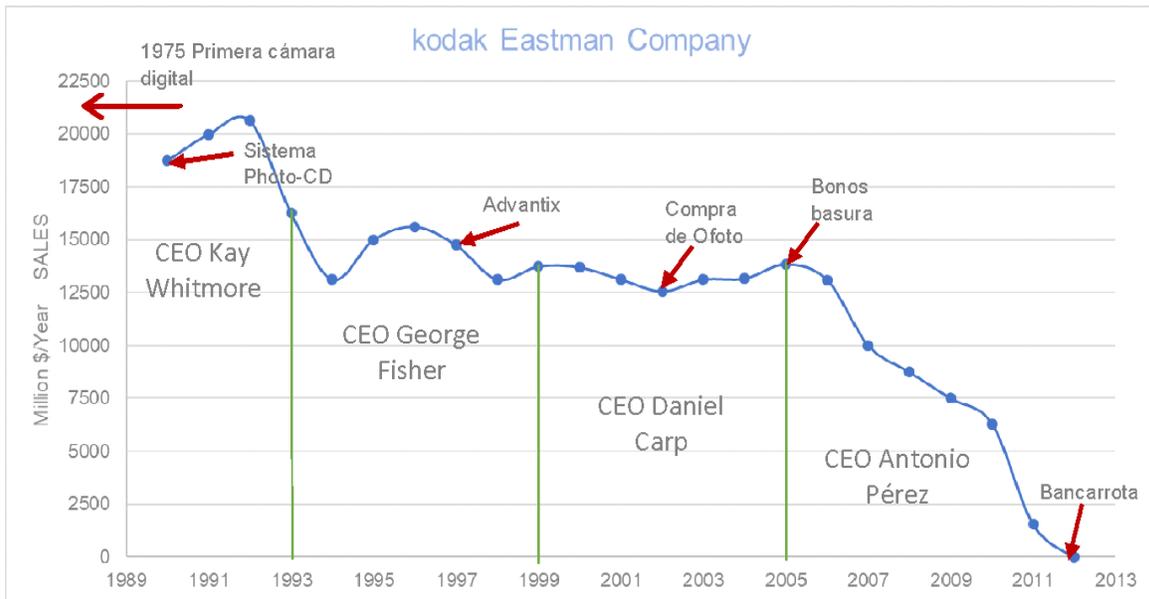


Figura 9. Ventas netas de Kodak y número de empleados.

Fuente: Elaboración propia con datos del libro Henry C. Lucas Jr., 2012, página 18.

Si queremos entender de alguna manera porque Kodak no reacciono ante los cambios que se avecinaban por las nuevas tecnologías, lo podemos hacer con ayuda del modelo de Henry y con la comprensión de Clayton M. Christensen:

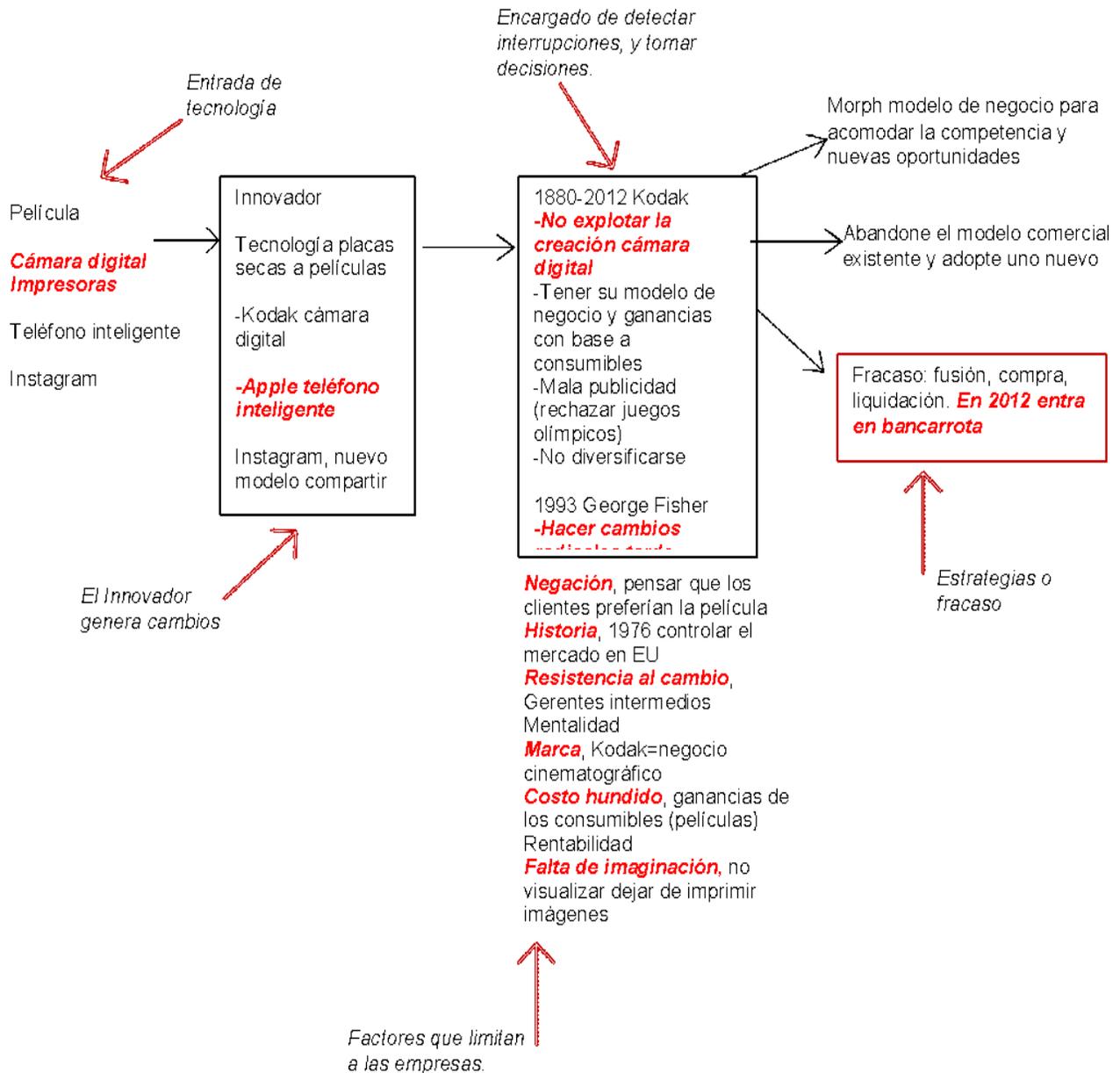


Figura 10. Modelo de supervivencia de blockbuster

Fuente: Elaboración propia modificado del modelo del libro *The search survival* de Henry C. Lucas Jr., 2012.

Kodak el gigante amarillo se volvió tan grande que fue un monopolio de su época, pero eso no fue suficiente, cuando se enfrentó a una tecnología que se volvió disruptiva.

- Directivos y CEO interesados en las ganancias, en lugar de en el negocio de la empresa, que era compartir recuerdos.
- Kodak subestimó seriamente la rapidez con la que aumentaría la demanda de esta nueva tecnología.
- Los procesos de asignación de recursos de las empresas, como menciona Clayton, se realizan según la demanda de los clientes, lo cual desalienta la inversión en tecnologías potencialmente disruptivas. Aunque Kodak invirtió 500 millones al año en I+D de imágenes digitales, los productos que se originaron de esta I+D, no se encaminaron en el interés inmediato de los consumidores.
- La cultura de Kodak era la de una empresa química (cinematográfica) con armonía, los directivos creían que el mercado de las cámaras digitales se centraría en fotógrafos profesionales y tardaría en madurar.
- En Kodak se valoraba la jerarquía y la autoridad, no se podía hablar en contracorriente de la palabra del gerente, aunque alguien se opusiera a la idea. En esta circunstancia los gerentes intermedios entorpecieron el trabajo de Fisher, no transmitían las ideas a toda la organización, negaban la idea de una transformación digital, ocasionando que se detuviera el progreso.
- Kodak se sentó en una montaña de efectivo y rentabilidad en su negocio de fotografía tradicional lo cual alimentó la idea sobre que la fotografía digital consumirá su negocio más rentable. En este caso, es posible pensar que Kodak no escuchó a sus consumidores, pero no para abrirse a este nuevo cambio tecnológico, lo hizo para defender el rollo de película. Al final esto no funcionó, ellos no estaban a cargo, los consumidores sí.
- Las cámaras digitales eran una curiosidad cara al principio, que carecía de un mercado llamativo, pero pronto los productores mejoraron su rendimiento y redujeron los precios constantemente. La falta de imaginación juega un factor altamente importante para una clientela que exige cada vez mayores mejoras y competencia que está dispuesta a entregárselas.

La fotografía digital no fue solo un producto, sino un cambio en todo el proceso de captura, exhibición y transmisión de imágenes.

Como se observó en las empresas analizadas, el no innovar representa la muerte cercana, además de que otros factores, como el desarrollo acelerado de las TIC y la competencia, hacen que la urgencia por hacerlo aumente.

Pudieron esas empresas prevenir su destino trágico y continuar siendo líderes en sus mercados, pero eso hubiera sucedido con un adecuado CEO, visionario, interesado por la empresa y los clientes, pudo orientarlas al éxito y aprovechar las disruptivas que se iban presentando.

1.4.4 Fuji

Mientras Kodak tenía gran éxito en el mercado de Estados Unidos, Fujifilm hacia lo mismo en su país de origen, Japón. Fundada en 1934, y dedicada a las imágenes, la empresa produjo películas fotográficas, películas cinematográficas y películas de rayos X (Sirk C., 2020).

La relevancia de revisar la historia de Fujifilm es que se convirtió en el mayor competidor de kodak, pero en lugar de seguir el mismo destino, Fujifilm se reinvento.

Desde mediados de la década de 1950, Fuji Photo aceleró el establecimiento de bases de ventas en el extranjero, provocando dolores de cabeza al gigante de kodak, fujifilm competía con sus películas de calidad similar, pero costos más bajos y no solo amenazaba a kodak con sus productos, también lo hacía con publicidad, en 1984 se convirtió en el patrocinador principal de los juegos olímpicos de los ángeles, con su muy representante aerostático blanco con verde.

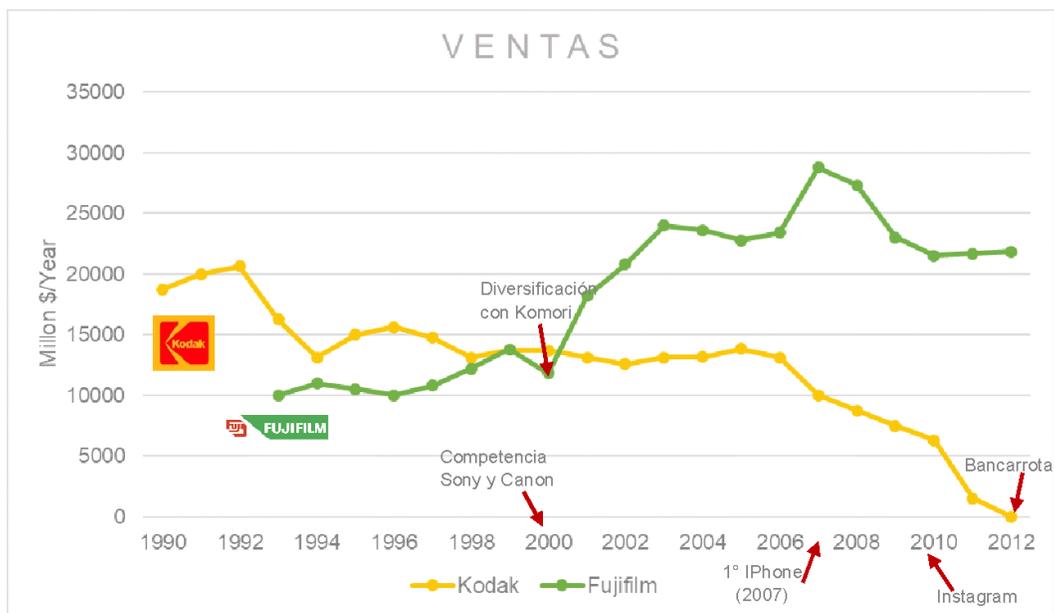


Figura 11. Ventas de Fujifilm

Fuente: Elaboración propia modificado con datos de Agün, 2010; Henry C. Lucas Jr., 2012.

Ese mismo año Fujifilm eligió un nuevo presidente, Shigetaka Komori, cuando asumió el cargo la película fotográfica aportaba el 75% del beneficio, pero se llevaban varios años encadenando caídas de entre el 20% y el 30%, su producto estrella, los rollos de película para cámara fotográfica, caía ante el auge de la fotografía digital y los teléfonos inteligentes con cámara incluida. "Es como si fuéramos Toyota y los automóviles fueran a desaparecer", les explicaba a sus subordinados. "Como si fuéramos Nippon Steel y el acero estuviera dejando de utilizarse".

Shigetaka Komori, presidente de Fujifilm, se ideó una estrategia de diversificación para mantener a flote la empresa, comenzó por ganarse a los empleados. "Éramos muy conscientes de que esto era muy difícil [para el personal], pero persuadimos a la gente de que, si no hacíamos lo que planeábamos hacer, no podríamos sobrevivir" (Neville, S., 2019).

Para evitar hundirse en poco tiempo, Komori supervisó la difícil decisión de cerrar la mayoría de las plantas de fabricación de películas y reducir el tamaño de la empresa. Fujifilm recortó más de 5000 puestos de trabajo y redujo los costos operativos en \$ 500 millones.

La decisión de Komori fue reunir todas las investigaciones con la que contaba Fujifilm y ver que nuevo mercado se podrían introducir y así compraron y se fusionaron con empresas dedicadas a las industrias de colorantes, partes para impresoras, farmacéutica, imagenología, sistemas de información atención médica y cosmética (Sirk C., 2020).



Figura 12. Portafolio de la compañía de Fujifilm
Fuente: Fujifilm Colombia como se citó en Acosta, J. 2017

A nivel global, la fotografía de Fujifilm sigue siendo la línea reconocida y permanece vigente en la imagen digital, aunque ya no es la que más ingresos le genera. Ahora, cuenta con otras divisiones como la de artes gráficas, que abarca offset, flexografía, de gran formato, digital, serigrafía y software.

La línea médica es otra de las áreas, y la que inyecta mayores ingresos a la empresa japonesa.

1.4.4.1 Imagen 20

Kodak y Fujifilm fueron importantes representantes de la fotografía y se volvieron monopolios de ello, pero muchos cambios tecnológicos provocaron una disruptiva que en el caso de Kodak no pudo superar, dejar de entender al cliente y que sería lo que el preferiría, comodidad, facilidad y compartir.

El punto de tomar una fotografía es compartir ese momento y poder recordarlo cuando, la llegada de los teléfonos inteligentes facilitó ello. Ahora cualquiera podría tomar fotografías y con los años de mejor calidad y a precios accesibles.

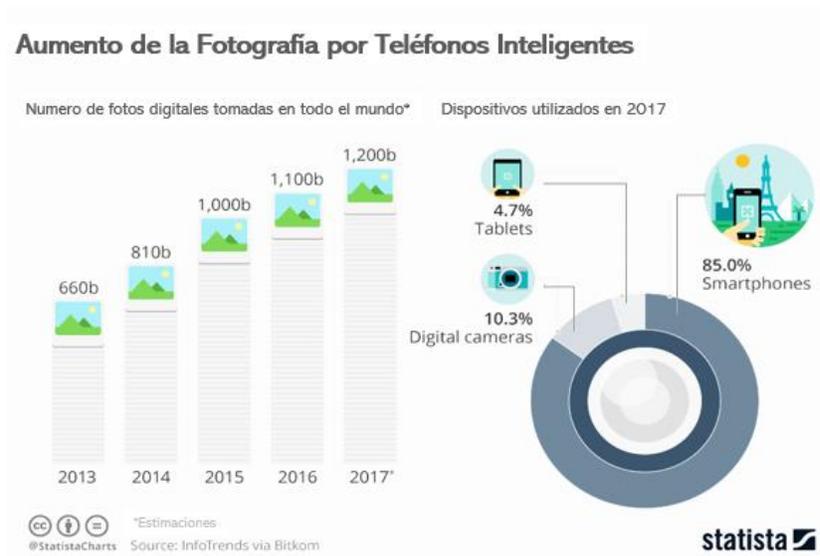


Figura 13. Los teléfonos inteligentes causan auge de la fotografía

Fuente: InfoTrends via Bitkom como se citó en Richter, F., 2017

Por todos lados recibieron bombardeos, cambios tecnológicos, llegada de internet y las redes sociales. Hoy en día la plataforma más importante que cumple el objetivo de las fotografías es Instagram, donde las personas crean sus perfiles, pueden seguir a otros usuarios, pueden editar sus fotografías y comentar y dar reacciones.

Hoy en día no existe la necesidad de cargar con una cámara, un teléfono o un reproductor, los teléfonos inteligentes con precios accesibles cumplen estas y más funciones. ¿Por qué comprarías una cámara?

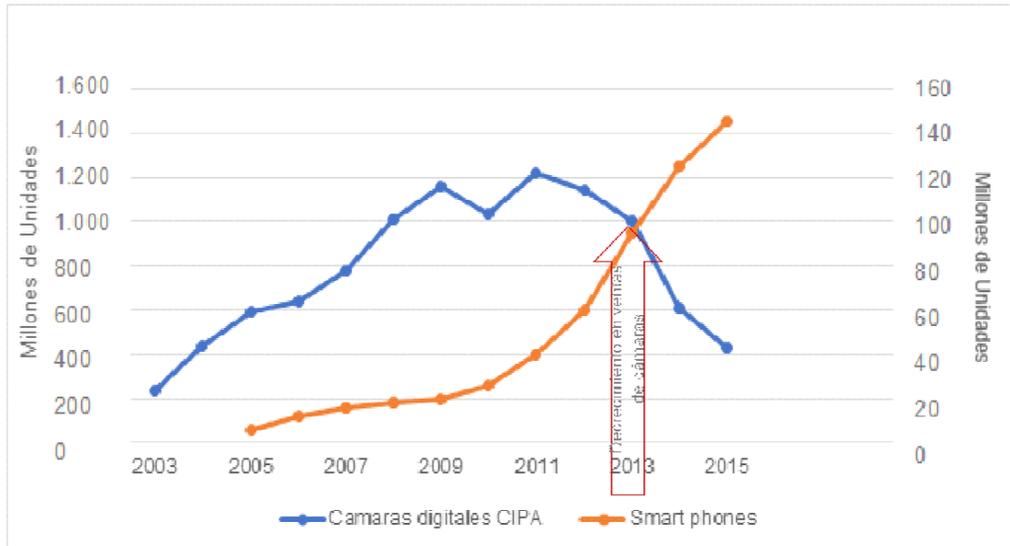


Figura 14. Gráfica comparativa de venta de cámaras contra la llegada de los teléfonos inteligentes

Fuente: Modificado de Puerto, K., 2015

A pesar de que Instagram no vende cámaras fotográficas, supo entender que su negocio era convertirse en una plataforma donde se compartieran los momentos, en un principio y actualmente a incrementado su valor a 2,300 millones de dólares dirigiendo su mercado también a la industria del marketing (Dan, A., 2013).

1.5 Conclusión capitular

Henry C. Lucas Jr., enlista ocho factores que limitan a las empresas a adentrarse en las innovaciones y cambios que se generan en sus sectores.

Presenta su modelo de supervivencia, donde expone los motivos por los cuales los incumbentes se enfrentan a un dilema complejo.

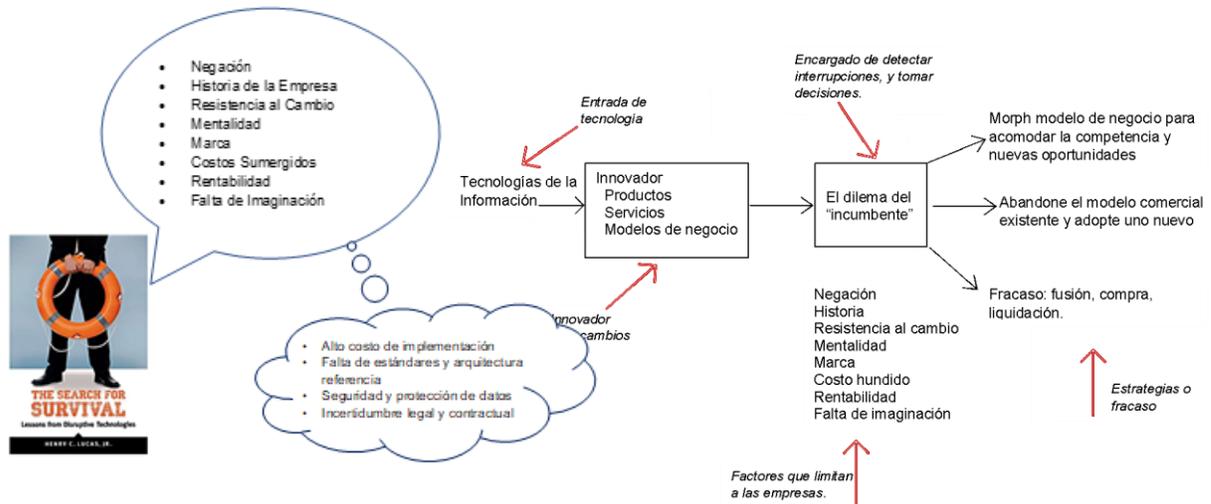


Figura15. Modelo de supervivencia Henry C. Lucas
 Fuente: *The search survival* de Henry C. Lucas Jr., 2012.

Clayton nos habla del riesgo de invertir incorrectamente en tecnologías de punta y los temores que pasan por la cabeza de los que toman las decisiones, “los buenos CEO, no se equivocan”.

Pero ambos autores coinciden en que la solución no es negar la tecnología, la solución es conocerla y saber cómo implementarla. Y que tecnologías adoptar para la situación particular de cada empresa.

2. Situación actual de la construcción

2.1 Introducción

La construcción se define como la combinación de materiales y servicios para la producción de bienes tangibles, una característica, singular, que la distingue de las demás industrias, es que la ejecución de sus actividades, no requiere, de instalaciones fijas, como una fábrica, o una planta, sin embargo su producto final se mantiene en una ubicación espacial fija, por lo tanto, se convierte en una generadora de bienes de capital fijo, indispensables para el sano crecimiento de la economía. (https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Perez_Estrada_Enrique_44605.pdf)

Otro hecho importante es que la construcción impacta en otras industrias, al requerir insumos provenientes de ellas, como es el acero, cemento, madera, entre otros. Según el INEGI, de las 263 actividades económicas en nuestro país, la industria de la construcción está relacionada, directamente e indirectamente en 183.

La creación de infraestructura, como caminos, plantas de energía eléctrica, presas, obras de irrigación, construcciones industriales y comerciales, instalaciones telefónicas, sistemas de agua potable, hospitales, escuelas y, principalmente, la creación de viviendas, siempre será necesaria para satisfacer las necesidades humanas, esto es innegable. La industria de la construcción se desenvuelve en un contexto que requiere de ella una constante evolución, si es que quiere cumplir con sus objetivos y perfeccionar sus procesos, desafortunadamente esto no ha ocurrido, la construcción no ha mantenido un ritmo de asimilación adecuado para adoptar nuevos procesos y técnicas a su actividad. En este capítulo se abordará, a grandes rasgos, parte de su historia, y se mencionarán algunos datos, que nos podrían ayudar a entender mejor esta problemática.

2.2 Evolución de la construcción

Las etapas históricas de la sociedad humana permiten observar, en cada una, necesidades, e invenciones desarrolladas para satisfacerlas. Pensemos en la prehistoria, es fácil imaginar la precariedad en la que se encontraban los primeros hombres, es fácil entender la necesidad de resguardarse en cuevas y cavernas, y modificarlas, con la intención de protegerse y sobrevivir.

Con el tiempo los humanos empezaron a asentarse, creando así sociedades, que eventualmente tuvieron necesidades más complejas, se requería de viviendas permanentes y cercanas, y de infraestructura que permitiera mantener las condiciones de sanidad y resguardo adecuadas para la vida humana. Algunos historiadores destacan que las construcciones y las técnicas de construcción comenzaron a tomar forma en el Antiguo Egipto y Mesopotamia.

Las construcciones se realizaban con piedra y ladrillos de barro cocido, los trabajos eran manuales, obra de la fuerza de trabajo de esclavos, en su mayoría.

Cambios significativos se generaron desde el año 1870 hasta la primera guerra mundial, cuando ocurrió la segunda revolución industrial, que daba entrada a la producción en masa, mejorando y haciendo crecer a las industrias, como la automotriz.

En estos periodos se comenzó a producir acero en masa, la disponibilidad del acero barato marcó el comienzo de proyectos de construcción, un ejemplo emblemático podría ser el Empire State Building, construido en 1931 en New York, con 85 plantas y 379 m de altura.

El uso del acero trajo consigo un nivel más alto de productividad en la industria de la construcción del siglo XIX.

Así como fue importante el acero para permitir la construcción de los primeros edificios verticales, con estructura independiente de los muros, el concreto armado fue, y es, uno de los principales, y más importantes, materiales empleados en la construcción. Pese a estas innovaciones, en cuanto a materiales, los procesos constructivos tuvieron cambios poco significativos. Las actividades continuaban siendo manuales en la obra, incluso a nivel de planeación, los ingenieros elaboraban planos a mano alzada, requiriendo hasta 5 ingenieros por plano, y padeciendo de varios problemas de corrección y visualización de la información (esto hasta la llegada de la tecnología CAD (dibujo asistido por computadora), con su primera aparición en 1982).

Hoy en día existen nuevas tendencias tecnológicas que generan cambios en el sitio de construcción, facilitan y hacen más seguras las tareas de los trabajadores. Para los ingenieros la llegada del modelado digital 3D, junto con otras herramientas complementarias a él, agiliza el trabajo en el área de diseño e ingenierías, previniendo errores, retrabajos y aumentando la creatividad y el control en la elaboración y ejecución de los proyectos.

Evolución de la construcción

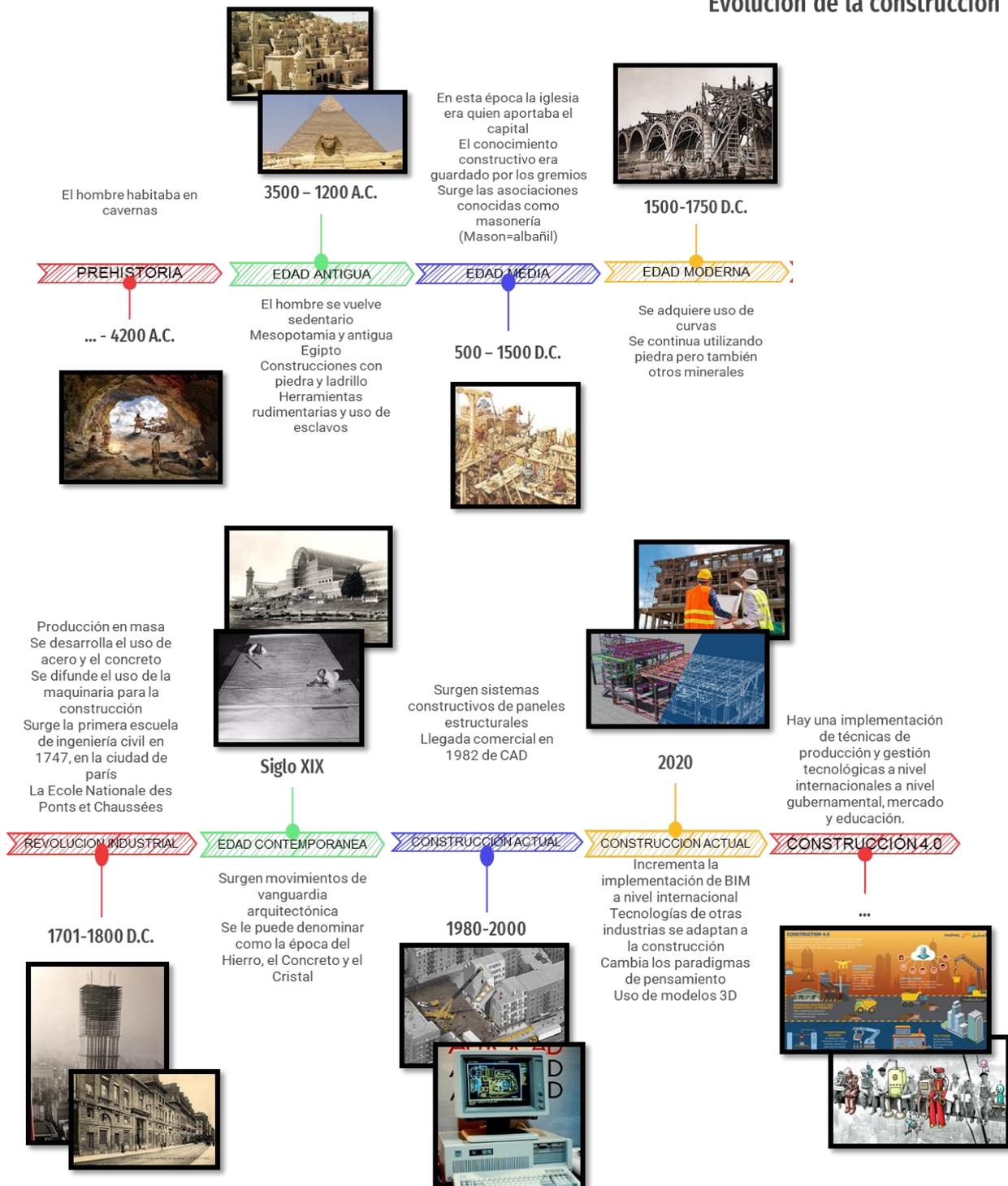


Figura 16. Gráfica comparativa de venta de cámaras contra la llegada de los teléfonos inteligentes

Fuente: Elaboración propia modificado de Línea de tiempo de sistemas constructivos, Palma, R 2019

Para entender dónde estamos, debemos reconocer cómo llegamos aquí. En muchos aspectos, la metodología actual para la entrega de proyectos no ha progresado mucho, esto es, desde la introducción de la gestión científica de Frederick Taylor, a principios del siglo XIX, hasta el advenimiento de la gestión formal de proyectos. Taylor basó su trabajo en la premisa de que los trabajadores intentaban asegurarse de ganar más dinero y obtener un empleo a largo plazo, trabajando más lento. Poco tiempo después, Daniel Hauer aplicó la gestión científica a la construcción.

La introducción de Taylor de roles funcionales, estudios de tiempo y movimiento, y la aplicación del gráfico de barras (contribución de Henry Gantt) todavía se utilizan ampliamente en la actualidad. En la década de 1950, ante la incapacidad de predecir de manera efectiva, el costo y las fechas de finalización de los proyectos de defensa de misión crítica, el Departamento de Defensa de EE. UU. estableció las bases de la gestión de proyectos de hoy en día, introduciendo métodos como la "Evaluación de Programas" y la "Técnica de Revisión Análisis de Valor". DuPont y Remington Rand Univac introdujeron la programación CPM durante la misma época.

La gestión de proyectos de hoy en día se basa, esencialmente, en el trabajo de Taylor, Hauer y el Departamento de Defensa de EE. UU. La industria de la construcción ha invertido poco en la comprensión y gestión del trabajo. Es solo hasta la actualidad, que el sector privado, ha comenzado a implementar y a mejorar metodologías y filosofías de administración innovadoras y probadas en su eficiencia, como BIM, PMP. Lean Construction, Prince 2, entre otras.

2.3 Productividad en la construcción y ¿Por qué?

Para entender la importancia de la industria de la construcción es adecuado destacar varios puntos:

- A nivel mundial esta industria genera millones de empleos.
- Impacta directa e indirectamente en varias ramas productivas, por ejemplo, en el sector primario, en la extracción de materiales y en el secundario, en cuanto a la infraestructura que el área de servicios requiere.
- Proporciona experiencia y práctica a los trabajadores, permitiéndoles especializarse en alguna actividad.
- La construcción se ha caracterizado por ser un mecanismo reactivador de la economía.
- Genera oportunidades e igualdad cuando se genera infraestructura en lugares poco desarrollados, beneficiando a las sociedades, permitiendo ayudar a cubrir necesidades básicas con hospitales, transporte, escuelas, sistemas de agua y electricidad, caminos, etc.

Según Mckinsey Global Institute(MGI) en su estudio “Reinventing Construction” la importancia de esta industria se refleja en el gasto relativo al sector a nivel mundial, que es del 13% del PIB Global.

Se gastan 10 trillones de dólares al año, en el mundo, para la construcción de edificios, de infraestructura y de instalaciones industriales, que representan la columna vertebral de la economía global, se prevé que esa cantidad aumente a 14 trillones de dólares en 2025.

El sector emplea al 7 por ciento de la población activa mundial.



Figura17. Porcentaje PIB mundial que aporta la industria de la construcción
Fuente: Imagen traducida tomada de Reinventing construction:a route to higher productivity.
McKinsey Global Instituto, 2017

A nivel mundial, el crecimiento de la productividad laboral del sector de la construcción promedió el 1% anual durante las últimas dos décadas, en comparación con el 2,8% de la economía mundial total y el 3,6% de la industria manufacturera.

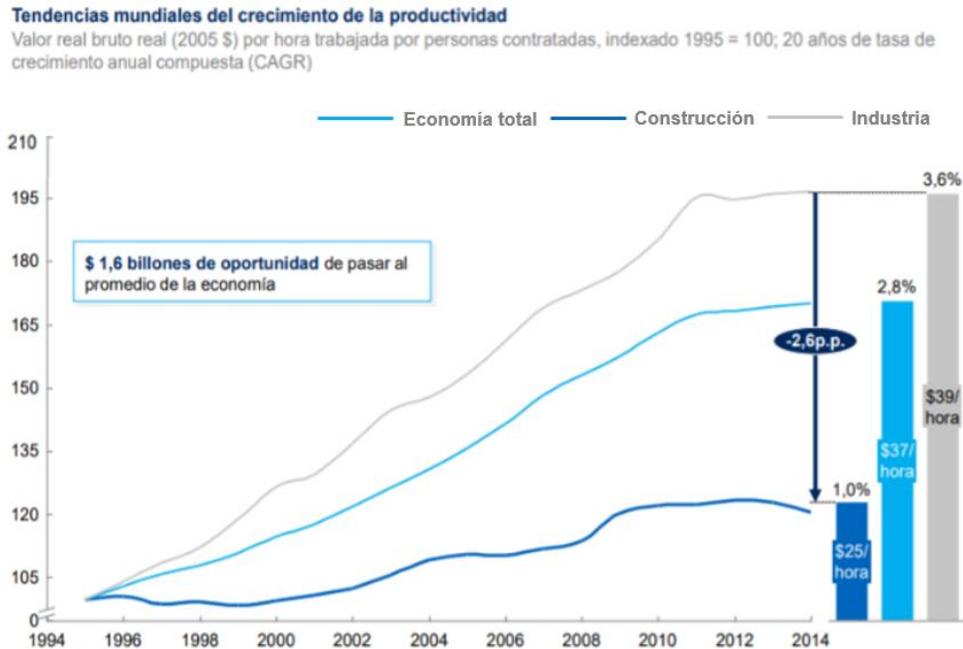


Figura18. A nivel mundial, el crecimiento de la productividad laboral está por detrás del de la manufactura y la economía total

Fuente: Imagen traducida tomada de *Reinventing construction: a route to higher productivity*, McKinsey Global Instituto, 2017

Pero esta comparativa no es del todo justa, la industria manufacturera requiere menos inversión en activo fijo, principalmente porque la construcción cuenta con proyectos únicos, los cuales no se pueden generar en serie, dado un mayor número de variables que requieren ser controladas al trabajar al exterior, entre otros factores, la industria de la construcción es muy volátil y tiene márgenes de beneficio del cuartil inferior en comparación con otros sectores, lo que limita la inversión en tecnología y digitalización.

Estas son algunas de las razones que podrían explicar la diferencia que existe entre la productividad de la industria de la construcción y la de la manufacturera, pero no son suficientes para justificar enteramente la situación.

La improductividad del sector implica aumento de costos, de riesgos y de desperdicio a lo largo de los ciclos de vida del proyecto, lo cual incluye, desde luego, también una pérdida de la competitividad.

El mismo estudio de MGI, afirma que sin cambios, será difícil satisfacer la necesidad global de infraestructura y vivienda. Si la productividad de la construcción alcanzará el nivel de la economía total, el valor agregado de la industria podría aumentar en 1,6 trillones de dólares al año. Eso cubriría aproximadamente la mitad de las necesidades anuales de infraestructura del mundo o impulsaría el PIB mundial en un 2 por ciento.

Pero esta productividad no es uniforme alrededor de todo el mundo, existen grandes diferencias entre ellas. En la Gráfica de MGI se muestra las grandes brechas que existen entre países desarrollados y los que se encuentran en proceso. También es importante destacar como la mayoría de los países latinoamericanos se encuentran rezagados, siendo México uno de ellos, teniendo un crecimiento negativo en productividad.

Un pequeño número de países ha logrado niveles de productividad y tasas de crecimiento saludables.

- El crecimiento de la productividad del sector va a la zaga de la economía total.
 - El crecimiento de la productividad del sector supera la economía total.
- El tamaño indica la inversión total en construcción por país, 2015
Mil millones de dólares

Productividad de la mano de obra de la construcción, 2015

2005 \$ por hora trabajada por personas empleadas, no ajustado por paridad de poder adquisitivo.

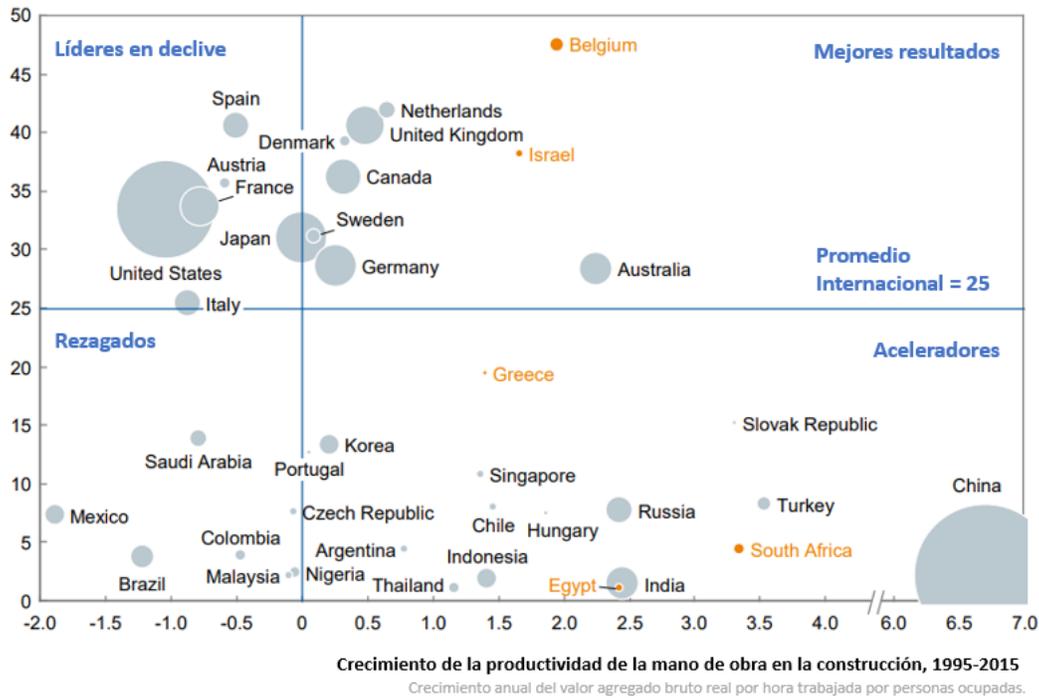


Figura19. Porcentaje PIB mundial que aporta la industria de la construcción
Fuente: Imagen traducida tomada de *Reinventing construction: a route to higher productivity*, McKinsey Global Instituto, 2017.

2.3.1 Productividad en México

Según el CICM, en referencia a datos del INEGI, en 2018 la industria de la construcción ocupó el cuarto lugar como sector económico a nivel nacional, aportando el 8 % al PIB total, sólo por detrás de las industrias de la manufactura, de comercio y de servicios inmobiliarios.

Adicionalmente, el CICM, menciona que en 2017 la facturación anual de la industria de la construcción alcanzó los 1.6 billones de pesos. Esto nos muestra la importancia que tiene la industria para el país.



Figura20. Participación % en el PIB Total 2018

Fuente: Imagen tomada de CICM, Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) de la CMIC con información del INEGI

Un dato adicional que respalda la afirmación, de que la industria de la construcción es una de las más importantes, es el hecho de que genera, en promedio, 6.1 millones de puestos de trabajo directo al año, por lo cual, puede considerarse que es la tercera actividad económica que crea más empleo.

Adicional a esto la industria de la construcción se destaca por la generación de empleos de manera indirecta. Se estima que por cada 4 empleos directos se generan 2 indirectos, en sectores relacionados.



Figura21. Participación % de empleo Total 2018

Fuente: Imagen tomada de CICM, Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) de la CMIC con información del INEGI de la CMIC con información del INEGI

La menor inversión en infraestructura, como se muestra en la siguiente gráfica, es por parte del sector público (en el año de 2018, 22.0% de la inversión fue pública y 78% privada), este contraste representa un problema para el desarrollo de la economía nacional, ya que la inversión pública en infraestructura es una condición para el el desarrollo de oportunidades equitativas entre los integrantes de una sociedad en general. Tomemos por ejemplo, la creación de caminos, que permitiría el intercambio de mercancías y bienes entre diferentes poblaciones.

PORCENTAJE DE INVERSIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN 2018

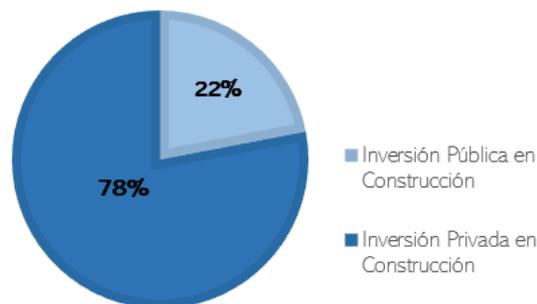


Figura22. Porcentaje de inversión en la industria de la construcción 2018

Fuente: Imagen tomada de CICM, Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI

*Cifras al 3er. Trimestre de 2018 datos del INEGI

2.4 Situación actual de la construcción

De acuerdo MGI en su artículo publicado en 2016 “Imagining construction’s digital future”, la productividad de la Industria de la Construcción se ha estancado por décadas. En promedio los grandes proyectos terminan 20% fuera del programa original y 80 veces fuera del presupuesto original.

En otro artículo llamado “The construction productivity imperative”, del año 2015, nos muestran otros datos que nos alertan de la problemática que existe, según en esta investigación se estima que el 98 por ciento de los megaproyectos sufren sobrecostos de más del 30 por ciento y el 77 por ciento tiene al menos un 40 por ciento de retraso.

(<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-construction-productivity-imperative>)

Pero no es la única consultora que alerta de esta situación, tenemos a KPMG quienes en su encuesta “Global Construction Survey 2015” afirma que sólo un 31% de los grandes proyectos de ingeniería civil, del mundo, ejecutados en los tres últimos años, concluyeron con una desviación presupuestaria inferior al 10%. Pero para los demás proyectos los datos son desalentadores:

El 38% se excedió entre un 10% y un 25% del importe de licitación de la obra, el 19% se excedió entre un 25% y un 50% y el 12% restante, se desvió en más del 50%.

Por otro lado, sólo un 25% de los proyectos logra cumplir con el cronograma establecido en un principio.

En otro estudio, de la constructora Alberta (COAA), se estableció un marco para las causas fundamentales de retrabajos en la construcción, dicho estudio reveló que la ingeniería y la revisión, fueron las causas principales del 55.41%, dentro de este porcentaje se analizó que el 34.48% fueron ocasionados por errores y omisiones, 6.39% por cambios de alcance y el 10% de cambios en diseño tardío.

Estas aseveraciones se comprueban en casos reales como:

En el canal de Panamá, según la propia empresa Sacyr (Ingeniería, Infraestructuras y Servicios), el valor del sobrecoste del canal rondará los 1.600 millones de dólares por lo que supone un 50% del precio original de la adjudicación (3.118 millones de dólares).

En la siguiente tabla, tomada del artículo “Las desviaciones en los proyectos y sus causas” de la revista IC, se muestran algunos ejemplos de grandes proyectos que han sufrido un incremento en sus costos y plazos de ejecución, las causas son diversas, pero es un hecho irrefutable que esto se sigue repitiendo.

Tabla 1. Proyectos con desviaciones en tiempo y costo en el mundo

Proyectos con desviaciones en tiempo y costo en el mundo				
Proyecto	Plazo original	Plazo final	Presupuesto	Inversión final
Ópera de Sidney	4 años	17 años	7 mdd austrialianos	102 mdd austrialianos
Aeropuerto de Berlín-Brandemburgo	5 años	14 años	2.25 mil mdd	8.20 mil mdd
Eurotúnel	5 años	7 años	4.5 mil millones de euros	15.0 mil millones de euros
Tren Hawái	6 años	14 años	5.0 mil mdd	9.0 mil mdd

Fuente: Esteban J. Figueroa Palacios, 2020, tabla proyectos con desviación en tiempo y costos en México y en el mundo, https://issuu.com/cicm_oficial/docs/ic606_final-m

En México la Auditoría Superior de la Federación (ASF) encontró en el año 2017 que, en obras realizadas en un periodo de 10 años, se identificaron modificaciones recurrentes respecto de las previstas originalmente, hubo incrementos en el monto de inversión, prórrogas en los plazos de ejecución y de puesta en operación. (datos de obras públicas 2017).

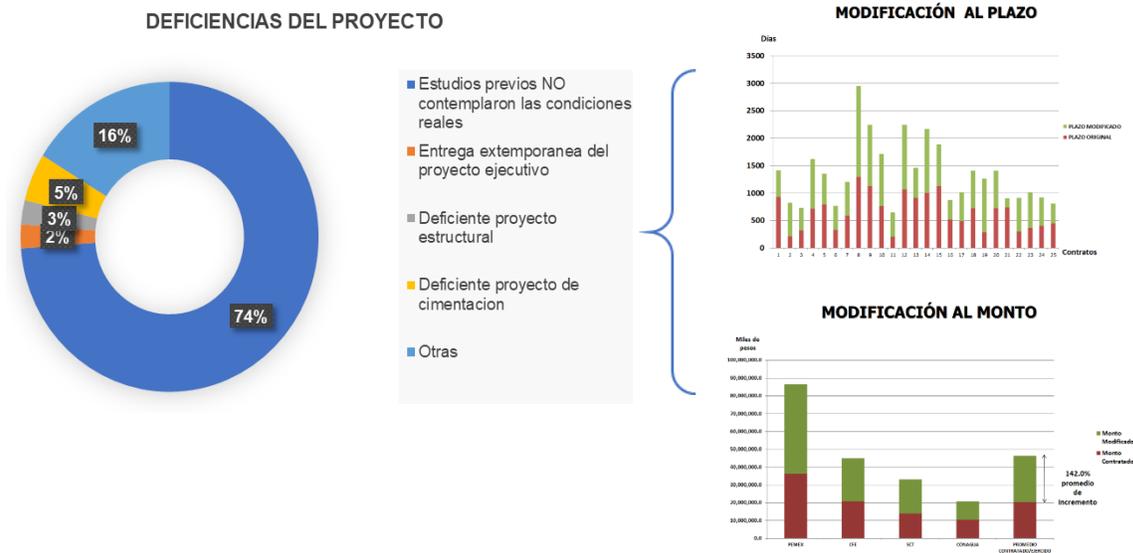


Figura23. Deficiencias de proyectos

Fuente: Estudio de la Auditoría Superior de la Federación

Tan solo en el sexenio de 2012 a 2018, varios de los proyectos tuvieron un 70% de sobrecostos, como se muestra en la tabla número.

A estos proyectos además se les encontraron problemas en materia de contratación y tuvieron 75% de retraso en el tiempo de entrega, según la organización México Evalúa.

"Hay deficiencias sistemáticas en la preparación de los proyectos de infraestructura, la construcción se está precipitando pues los contratos se presentan después de lo planeado-, cuidar los convenios con las dependencias, la adjudicación de contratos toma más tiempo de lo que se prevé", *Mariana Campos, coordinadora de gasto público de México Evalúa.*



Figura 24. Proyectos de sexenio (2012-2018)
 Fuente: El economista, 2019

2.5 Algunas razones de la baja productividad

Existen diversos diagnósticos acerca de factores que han provocado el estancamiento de los niveles de productividad en la construcción como COAA, Foro Económico, MGI, entre otros autores.

Factores importantes.

En el libro *construction 4.0*, de Anil Sawhney *et al.*, citando a Fergusson 1993 y Sheffer 2011, se nos muestra una explicación de la fragmentación que sufre la denominada industria AEC (The architecture, engineering and construction), la fragmentación se manifiesta en tres dimensiones; fragmentación vertical a lo largo de las fases del ciclo de vida del edificio (diseño-construcción-operaciones), fragmentación horizontal en todos los oficios y disciplinas (mecánica, eléctrica, etc.) y fragmentación longitudinal en todos los proyectos que reducen el intercambio de conocimientos.

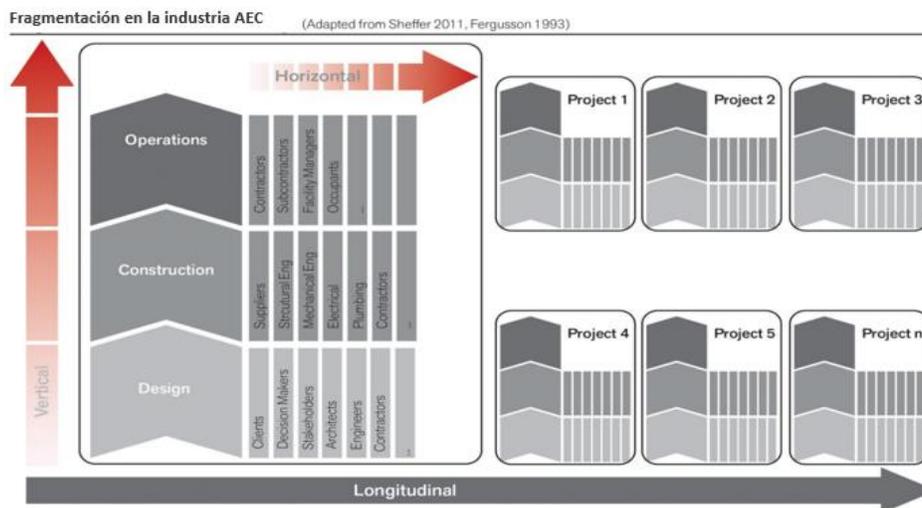


Figura25. Tres tipos de fragmentación en la industria de la construcción

Fuente: *Construction 4.0* de A. Sawhney, 2019

Según McKinsey Global Institute en su informe “Reinventing Construction” existen 10 principales causas de la improductividad en la construcción, que se muestra en la siguiente tabla:

Diez causas fundamentales de la baja productividad en la construcción

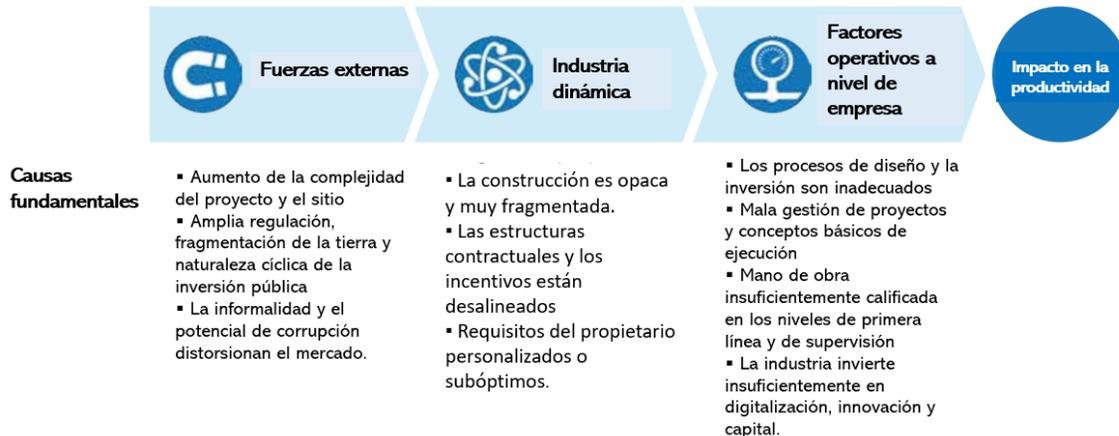


Figura26. Diez causas fundamentales de la baja productividad en la construcción
 Fuente: Imagen traducida tomada de Reinventing construction: a route to higher productivity, McKinsey Global Instituto, 2017

Este trabajo retoma las causas mencionadas por MGI, y plantea algunas adicionales:

- **Falta de comunicación:** Las inconsistencias en la información que poseen las diferentes partes involucradas en los proyectos, desde los integrantes de las áreas internas, como las ingenierías y diseño, hasta otros interesados como subcontratistas, contratistas y propietarios, provocan desalineación en la comprensión de requisitos, propuestas y alcances.
- **Gerencia empírica:** La mala administración generada por la falta de preparación teórica por parte de un gran número de gerentes (Un estudio de CEP encontró que cuatro de cada cinco gerentes, son 'accidentales' y carecen de la capacitación necesaria).
- **Contratos:** Sobresalen los contratos desalineados donde la asignación de sanciones, riesgos y recompensas afectan de manera distinta a cada participante, provocando una aversión al riesgo y baja colaboración, principalmente en los subcontratistas. En muchas ocasiones los propietarios se deslindan de responsabilidades.
- **Gestión del conocimiento:** Pocas organizaciones cuentan con un repositorio de lecciones aprendidas, de las que se les exija a los gerentes entrantes tener conocimiento.

- Falta de planificación: Muchos proyectos carecen de esta práctica en especial, lo que ocasiona que los equipos de trabajo no sepan en qué momento del proyecto están y que no tengan bien definidas sus actividades. No existe una alineación con el objetivo del proyecto.

- Gestión de talento limitada: En las empresas, usualmente, no se contrata tomando en cuenta algunos factores, como el nivel de profesionalización que poseen los candidatos, independientemente del lugar del que provengan, sino que se opta por integrar a la empresa a los individuos que son parte de los círculos cercanos, en los que se desenvuelven socialmente, los encargados de las contrataciones, sin que necesariamente, sus capacidades sean adecuadas para empleo para el que se les contrata. Otro problema es la escasez de talento joven, debido en parte a la mala imagen de la industria.

- Corrupción: Algunas de las causas raíz de la generación de este factor son la falta de agilidad y la excesiva regulación que existe en el trámite de documentación para permisos y autorizaciones, generando que los interesados participen en sobornos.

- Gestión de riesgos y alcances: En muchos proyectos la falta de visualización clara y definición ocasionan problemáticas a lo largo de los proyectos.

Además de lo anterior, la asignación de contratos directos, puede prestarse a prácticas de corrupción, ya que las decisiones pueden ser tomadas, de manera personal, por los funcionarios.

- Alta regulación: Según un informe del Banco Mundial el tiempo promedio global para obtener permisos y aprobaciones es de 160 días, habiendo países con más de 652 días.

- Falta de estándares: La falta de estandarización en los procesos es una de las razones de la fragmentación de la industria.

- Falta de colaboración: Desinterés por parte de los equipos de trabajo en las actividades de los proyectos de la empresa.

- Tecnología e innovación: Poca inversión en innovación e investigación tecnológica por parte de las empresas, limitará que logren acceder a ganancias indispensables para que se mantengan competitivas en el mercado.

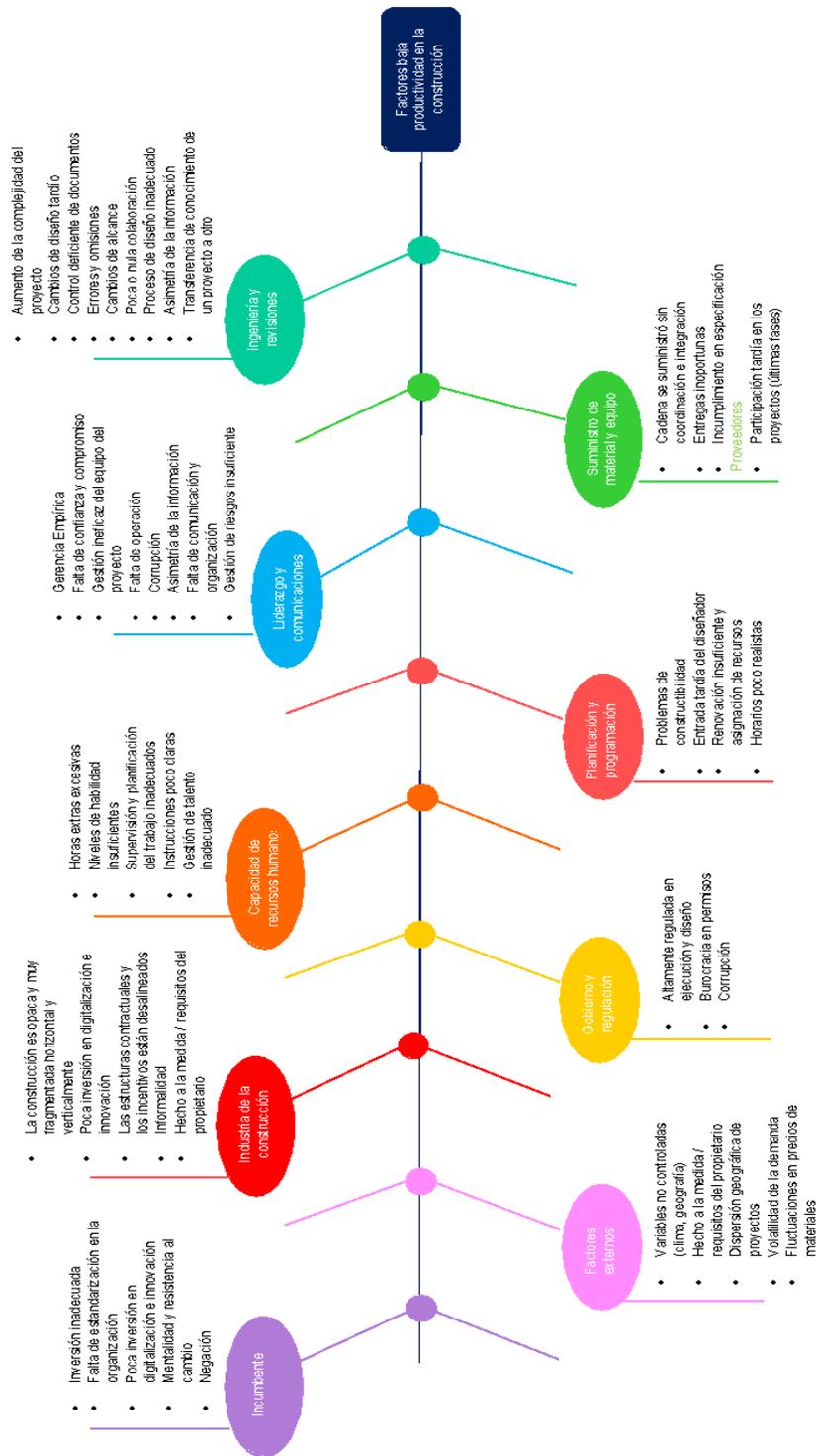


Figura27. Diez causas fundamentales de la baja productividad en la construcción
Fuente: Elaboración propia a partir de información de diversas publicaciones consultadas

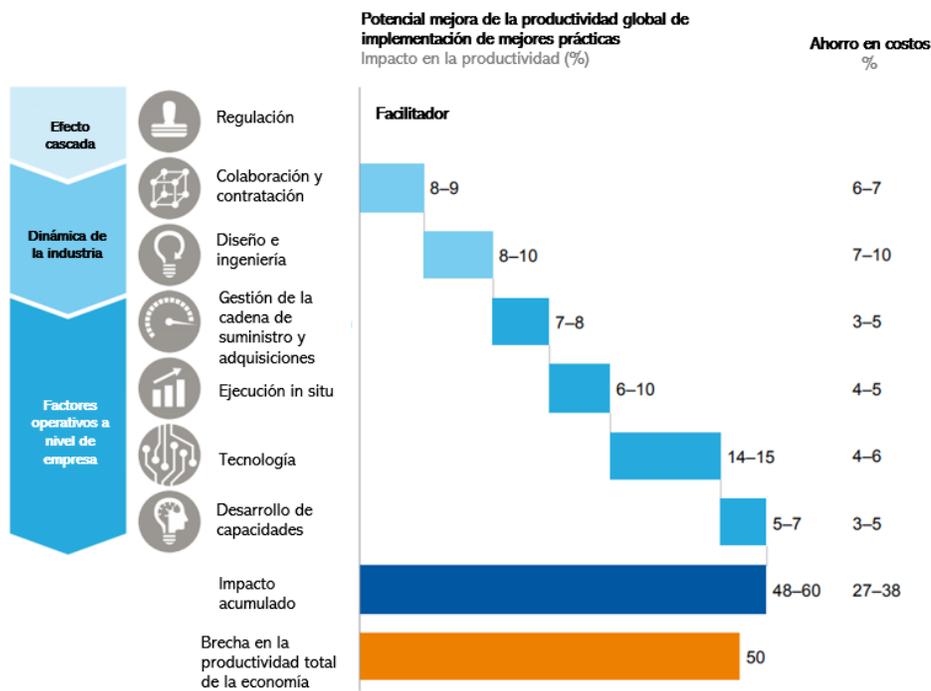
Mckensy en su informe “Reinventing-construction”, propone siete maneras para resolver los efectos de las, que según él, son las diez causas de la baja productividad.

Con la acción y la adopción generalizada de las mencionadas, siete propuestas, que hace MGI, la productividad del sector podría aumentar entre el 50 y el 60 por ciento. Estas propuestas son: reformar la regulación; reconfigurar el marco contractual, para remodelar la dinámica de la industria; repensar los procesos de diseño e ingeniería; mejorar la gestión de las adquisiciones y la cadena de suministro; mejorar la ejecución en el sitio; propiciar el uso de tecnología digital, de nuevos materiales y de automatización avanzada; y volver a capacitar a la fuerza laboral.

La construcción puede ponerse al día con la productividad total de la economía tomando medidas en siete áreas

Efecto cascada

Los cambios regulares facilitan los cambios en la dinámica de la industria que permiten palancas e impacto a nivel de empresa



1 Las cifras de impacto se han reducido de un número de proyecto en el mejor de los casos para reflejar los niveles actuales de adopción y aplicabilidad en todos los proyectos, según los encuestados de la Encuesta de productividad de la construcción de MGI que respondieron "de acuerdo" o "totalmente de acuerdo" a las preguntas sobre la implementación de las soluciones.
 2 El rango refleja la diferencia esperada en el impacto entre los mercados emergentes y desarrollados.

Figura28. Siete áreas para aumentar la productividad económica en la construcción
 Fuente: Imagen traducida tomada de Reinventing construction: a route to higher productivity, McKinsey Global Instituto, 2017

En este trabajo nos enfocamos en el punto referente a propiciar el uso de la "Tecnología", pues, como se observa en la tabla anterior, la implementación de este punto, puede generar mejoras de productividad de entre el 14 al 15 por ciento, y un ahorro en los costos de entre el 4 al 6 por ciento, aunque, por supuesto que este análisis se hace, sin dejar de considerar que las siete propuestas trabajan en conjunto.

Obtener una ventaja de la tecnología es factible en nuestra actualidad, la tecnología es accesible y el internet genera transferencia de información inmediata, hoy la industria debe aprovechar los avances que se están generando a su alrededor, y dentro de la misma industria, y aventurarse a implementarlos. Nos encontramos en una cuarta revolución industrial.

El progreso exponencial de la tecnología es un factor innegable, ocurren cambios acelerados en el contexto de nuestra realidad cotidiana. Consideremos los siguientes datos:

- El tráfico de Internet se duplica cada seis meses;
- La capacidad inalámbrica se duplica cada nueve meses;
- La capacidad óptica se duplica cada doce meses;
- El almacenamiento de información se duplica cada quince meses
- El rendimiento de los procesadores, de acuerdo a la Ley de Moore, se duplica cada 18 meses.

Este trabajo intenta abarcar los puntos más importantes, con respecto a las definiciones de la Industria 4.0. Pero nos enfocamos, en particular, en las adaptaciones que han sufrido para implementarse en nuestro sector, y así llamarse Construcción 4.0.

Los equipos ahora tienen la oportunidad de digitalizar todo su flujo de trabajo de adquisiciones, utilizando datos relevantes sobre estructuras de costos, disponibilidad de suministro, plazos de entrega, riesgos financieros y operativos, y métricas de servicio y calidad para posicionarse y poder negociar los mejores precios alcanzables.

Pese a los beneficios mencionados anteriormente, y al riesgo que representa, en cuanto a pérdida de competitividad y de recursos, el no adaptarse a los nuevos cambios tecnológicos, la construcción se encuentra solo por encima del sector de la caza, en cuanto a adopción tecnológica.

La industria no se ha atrevido a realizar una inversión inicial, incluso sabiendo que los beneficios a largo plazo son significativos (Gráfico 3). El gasto en I + D en la construcción está muy por debajo de otras industrias: es de menos del 1 por ciento de los ingresos, frente al que hacen otros sectores como el automotriz y el aeroespacial que está entre el 3.5 y el 4.5.

The construction industry is among the least digitized.

McKinsey Global Institute industry digitization index; 2015 or latest available data

Relatively low digitization  Relatively high digitization

● Digital leaders within relatively undigitized sectors



¹Based on a set of metrics to assess digitization of assets (8 metrics), usage (11 metrics), and labor (8 metrics).

²Information and communications technology.

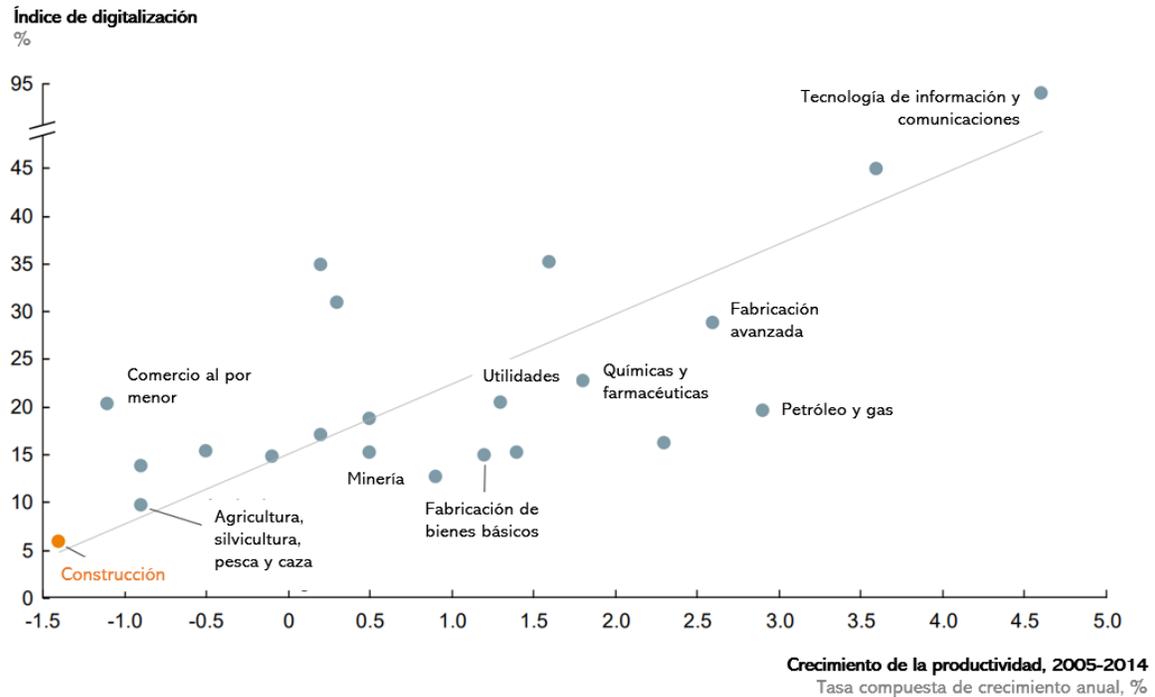
Source: AppBrain; Bluewolf; Computer Economics; eMarketer; Gartner; IDC Research; LiveChat; US Bureau of Economic Analysis; US Bureau of Labor Statistics; US Census Bureau; McKinsey Global Institute analysis

Figura29. La industria de la construcción se encuentra entre las menos digitalizadas
 Fuente: Reinventing construction: a route to higher productivity, McKinsey Global Instituto, 2017

Según el índice de digitalización de MGI (cuyo objeto es fomentar la expansión del uso de tecnología digital, en particular, su objetivo es la creación de una fuerza laboral capacitada en esta tecnología), que combina docenas de indicadores para proporcionar una imagen completa de dónde y cómo las empresas están desarrollando activos digitales, la Construcción se encuentra entre los sectores menos digitalizados del mundo.

En la gráfica de abajo, generada por la propia MGI, que contempla un periodo que va del año 2005 al 2014, se puede observar una fuerte correlación entre el nivel digitalización que hay en un sector y el crecimiento de su productividad.

La menor digitalización en la construcción en relación con otras industrias ha contribuido a la disminución de la productividad



1 Basado en un conjunto de métricas para evaluar la digitalización de activos (8 métricas), uso (11 métricas) y mano de obra (8 métricas); consulte el apéndice técnico para ver la lista completa de métricas y explicación de la metodología
 FUENTE: BEA; BLS; Censo de Estados Unidos; IDC; Gartner; Encuesta de tecnología social de McKinsey; Mapa de pagos de McKinsey; Informe de satisfacción del cliente de LiveChat; Appbrain; Guía para tomadores de decisiones del centro de contacto de EE. UU.; eMarketer; Lobo Azul; Economía informática; entrevistas con expertos de la industria; McKinsey Global Análisis del instituto

Figura30. Diez causas fundamentales de la baja productividad en la construcción
 Fuente: Imagen traducida de *Reinventing construction: a route to higher productivity*, McKinsey Global Instituto, 2017

2.6 Digitalización

En esta parte del documento explicaremos cómo es que las tareas de las organizaciones y sus procesos son automatizados y optimizados, por medio de su digitalización, lo cual es la base de la Transformación 4.0.

En todos los sectores la implementación de la digitalización está provocando cambios visibles, un ejemplo sencillo de esto, experimentable en la vida cotidiana, es el uso de códigos QR para la descarga, por parte de los comensales, de menús en los restaurantes, también lo es el uso de aplicaciones para realizar transacciones bancarias desde un teléfono celular (la banca móvil), que, además permiten la realización de las mismas las 24 Hrs. del día, luego tenemos el uso de plataformas que ofrecen servicios de transporte (Uber la más conocida) y vivienda (Airb&b), y por último, podríamos también mencionar, específicamente en el ámbito industrial, el uso de software para gestionar las relaciones con los clientes, programas contables que facilitan la captura, registro y contabilización de información fiscal y financiera; son ejemplos de revoluciones digitales que repercuten en la forma de hacer negocios.

Según un estudio, que explora la transformación de la Industria 4.0, aplicado a las 10 industrias principales, publicado y realizado por PwC, junto con Strategy &, y titulado 'Industria 4.0: Construyendo la empresa digital', la implementación de iniciativas de Industria 4.0 reduciría los costes operacionales de diferentes sectores industriales. La media es de un 3.6% anual hasta el año 2020, lo que implica un incremento de la eficiencia de un 4.1% anual. Así, por ejemplo, se prevé que la industria de la automoción pueda reducir costes a un ritmo de un 3.9% anual, o que la industria de la ingeniería y construcción lo haga a un ritmo de un 3.4% anual, con la adopción de sistemas de Industria conectada 4.0.

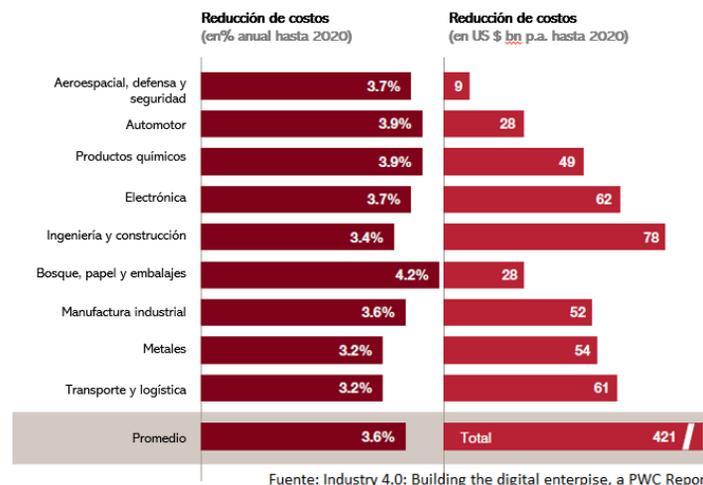


Figura31. Las empresas de todos los sectores industriales esperan importantes reducciones de costes

Fuente: Imagen traducida de Industry 4.0: Building the digital enterprise, de PWC, 2017

Es conveniente mencionar que, dicha investigación, involucra a ejecutivos de más de 2.000 empresas en 26 países, de los sectores más relevantes de la industria: Aeroespacial y de Defensa; Automoción; Química; Electrónica; Ingeniería y construcción; Productos forestales, papel y envases; Manufactura industrial; y Transporte y logística.

Los resultados están ponderados por el PIB del país para proporcionar una visión equilibrada de los totales mundiales. La fabricación industrial representa la mayor parte de los encuestados, con un 21%, seguida de ingeniería y construcción, con un 19%.

División de la industria de las empresas encuestadas

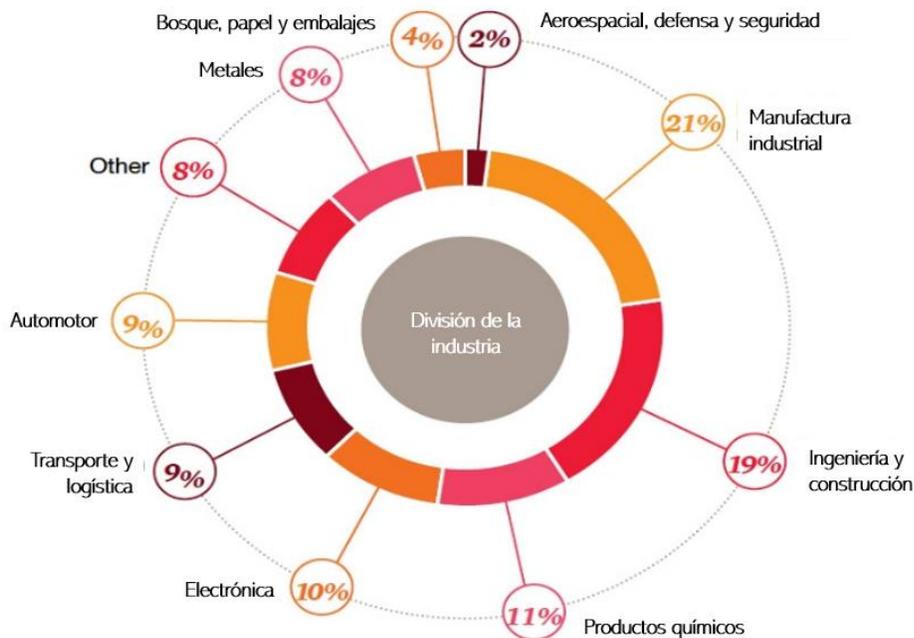


Figura32. División de la industria de las empresas encuestadas

Fuente: Imagen traducida de *Industry 4.0: Building the digital enterprise*, de PWC, 2017

La aplicación de herramientas y de avances tecnológicos en la industria de la construcción no será suficiente, si no se logra capacitar adecuadamente a los involucrados, para, realmente, incrementar la productividad, esto porque hay que considerar, entre otras cosas, que por su naturaleza, los conocimientos en el ámbito de la construcción, son multidimensionales y deben adaptarse al rol de los trabajadores. Ante ello, es útil guiarse por el Score de Conocimientos de Infraestructura, desarrollado por la Institución Brookings, del que se seleccionaron las 15 ocupaciones, con respecto a la construcción de infraestructura (de entre 95) que requieren la mayor cantidad de conocimiento.

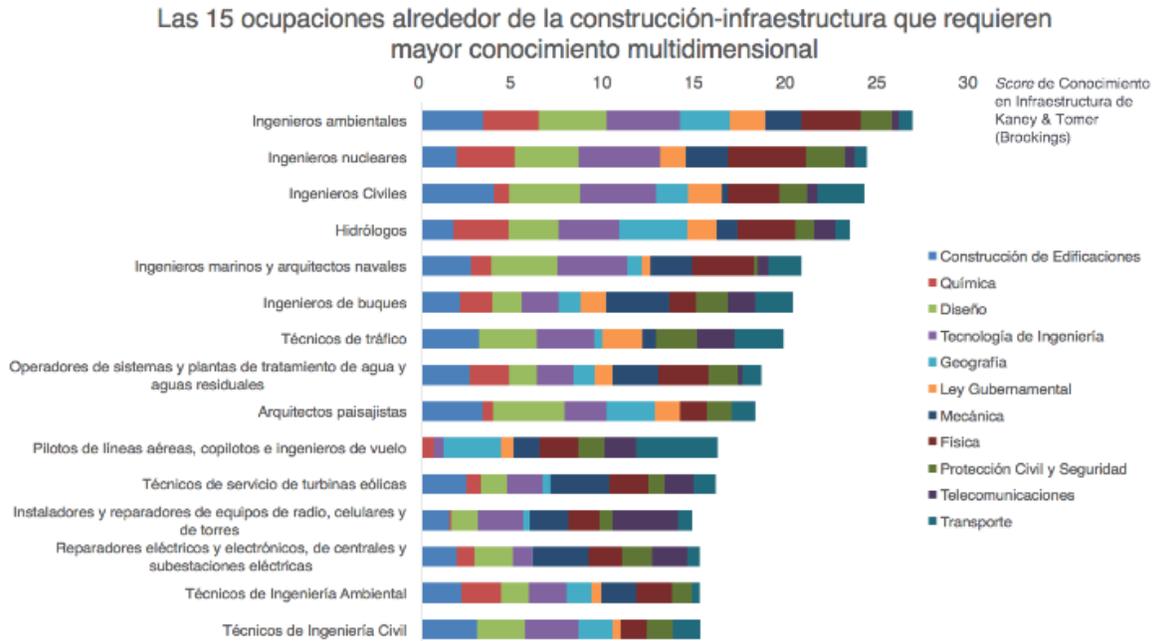


Figura33. Las 15 ocupaciones alrededor de la construcción-infraestructura que requieren mayor conocimiento multidimensional

Fuente: Imagen tomada del artículo *Incrementemos la productividad en la construcción en Latinoamérica* de WEF, 2018

Las principales tendencias en tecnología para la construcción van desde el software colaborativo, la creación de plataformas y mercados de comercialización de insumos, la creación de apps para la construcción e información de proyectos, para la gestión financiera, la automatización avanzada y el software de diseño, así como programas para recopilación y análisis de datos.

Una encuesta realizada por CONTPAQi en 2019, mostró el nivel de importancia de la digitalización para las PYMES en México:

Según ese estudio, las empresas invierten alrededor de 70 mil pesos al año en transformación digital; un 79% de los directivos entienden y ven los beneficios de digitalizar sus empresas; 80% planeaban ya entrar en el mundo digital para finales del 2019; solo 37% de las empresas buscan implementar mejoras continuas mediante la digitalización; las empresas medianas invierten hasta 60% más que las pequeñas en esta tarea.

9 de cada 10 de los negocios, que digitalizan sus procesos, tienen una mejora, a corto plazo, en su productividad, 89% de las empresas toman mejores y más rápidas decisiones, logran un 51% de ahorros monetarios y además 36% menciona tener un ahorro de tiempo en su trabajo.

A pesar de conocer estas ventajas, no se ha llevado a cabo, de manera general, una digitalización de los procesos en la mayoría de los sectores industriales. El artículo citado menciona algunos de los retos a los que se enfrentan las empresas para transformarse:

- **Presupuesto:** A veces no cuentan con los recursos necesarios.
- **Perspectiva:** Sólo 50% indicó la importancia de la transformación digital para mantener rentabilidad.
- **Mentalidad defensiva:** Existe una clara respuesta negativa a dejar de trabajar por medio de las viejas prácticas, ya que “han demostrado su eficacia durante mucho tiempo”.

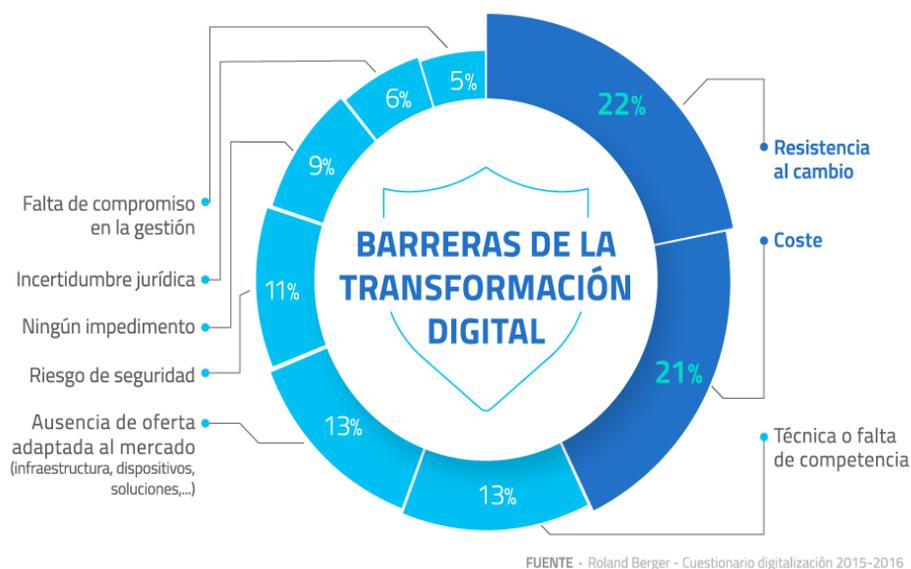
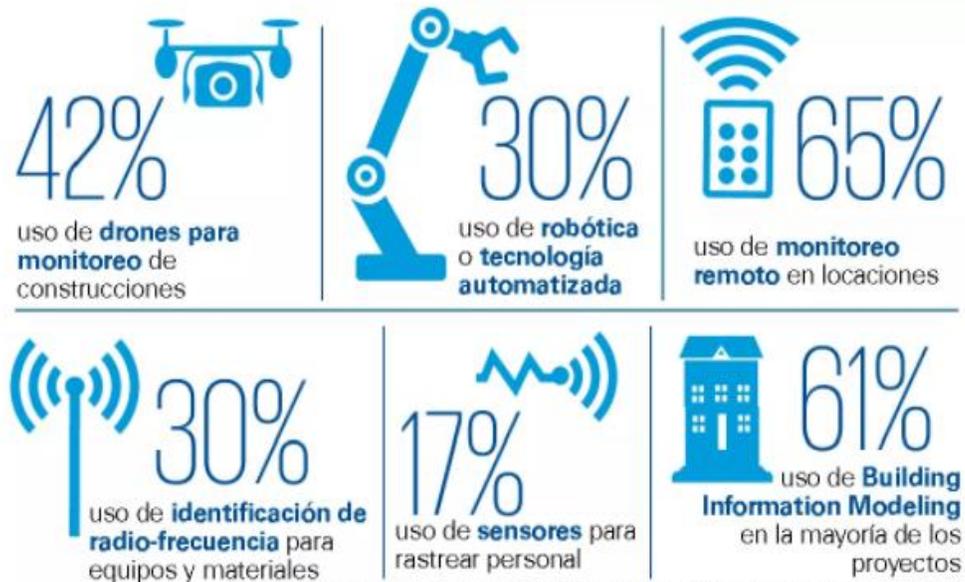


Figura34. Barreras de la transformación digital
Fuente: Roland Berger- Cuestionario digitalización, 2015-2016

Lo aquí mencionado puede considerarse como información complementaria a lo que se dice en el capítulo uno, donde se ejemplifica como varias compañías importantes fueron cegadas por la digitalización y como sus CEO tomaron una actitud defensiva, evitando que pudieran aprovechar los beneficios que ofrece esta tecnología.

La pandemia de COVID-19 generó que muchas empresas, de varios sectores, entendieran la importancia de la digitalización, y así buscarán acelerar su transición, pues tuvieron noción, de primera mano, sobre la necesidad de adoptar esta tecnología, para mejorar en puntos estratégicos como: la publicidad, la administración y cobranzas, la experiencia de los clientes, estrategias de negocio, seguimiento de embarques, compartir experiencias en el sector, facilitar sus actividades, automatizar sus procesos y para mejora de su imagen comercial, al aumentar su presencia en espacios digitales.

En una encuesta realizada por KPMG titulada “Building a technology advantage” y aplicada a 218 altos ejecutivos a nivel global, se muestra un panorama de la adopción de diversas innovaciones tecnológicas, en diferentes grados.



Fuente: Encuesta global de construcción 2016. Construyendo una ventaja tecnológica (Building a technology advantage – Global construction survey 2016).

Figura35. Adquisición tecnológica

Fuente: Encuesta global de construcción, 2016 de construyendo una ventaja tecnológica (Building a technology advantage- Global construction survey 2016)

Una mayoría significativa emplea el seguimiento remoto de los sitios en los que se realizan los proyectos y también hace uso de la tecnología de modelado en 3D. Es de destacar que esta última tecnología (BIM), es una de las principales herramientas empleadas en México, según la revista “Obras de expansión”.

Solo 27% de los directivos, a nivel global, consideran que sus controles son verdaderamente consistentes. Mientras que en México 29% considera que sí existe esta consistencia.

Los resultados de la encuesta también muestran que existe una gran cantidad de empresas (41% a nivel global y 56% en México) que no están utilizando herramientas de monitoreo de proyectos, del tipo “earned value management”, las cuales les ayuden a dar seguimiento al desempeño real del proyecto, en programación, como en costo, y en cuanto a contrastarlo con la planeación original.

2.7 Conclusión capitular

La falta de productividad de la construcción es algo conocido, como industria se encuentra muy rezagada, continúa efectuando las mismas prácticas obsoletas desde hace muchos años, los resultados de los estudios realizados por varias organizaciones nos pueden ayudar a ser conscientes de la situación. Este capítulo no pretende afirmar que la implementación de la tecnología digital es la solución, pues esta debe combinarse con otras acciones, pero sí busca mostrar cómo esta tecnología podría ayudar a la industria a mejorar en muchos aspectos.

Se mencionan algunos factores que se han encontrado como razones de la baja productividad de este sector y se hace alusión de algunos estudios que nos permiten tener noción de cómo la innovación tecnológica cambiará nuestro sector.

3. Construcción 4.0

3.1 Introducción

La industria de la construcción es indispensable, ya que crea la infraestructura que busca beneficiar a las sociedades, aumentando la calidad de vida cubriendo las necesidades como transporte, hospitales, escuelas, sistemas de agua, etc. La importancia de esta industria se refleja en la aportación del 13% al PIB mundial 2020, sin embargo, el crecimiento de su productividad en los últimos 20 años ha sido apenas del 1%, mostrando el gran rezago que sufre si se compara con otras industrias (Barbosa, F., *et al*, 2020).



Figura36. Evolución de la industria de la construcción
Fuente: Elaboración propia

Esta baja productividad se puede contrarrestar, como lo han hecho otras industrias evolucionando, la industria ha sido una de estas, colocándose ahora en la revolución digital.

La evolución de la industria ha pasado por cuatro principales revoluciones:

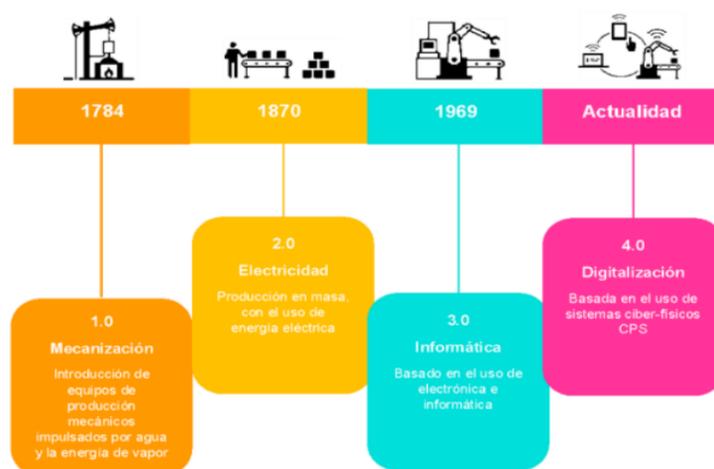


Figura37. Evolución de la industria manufacturera
Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes

La información que existe acerca de la industria 4.0, menciona que surge en el 2011, en la Feria de Hannover en Alemania, y se define como una fusión de lo físico y lo digital, las principales diferencias entre la industria 3.0 y la 4.0 son los sistemas ciber físicos.

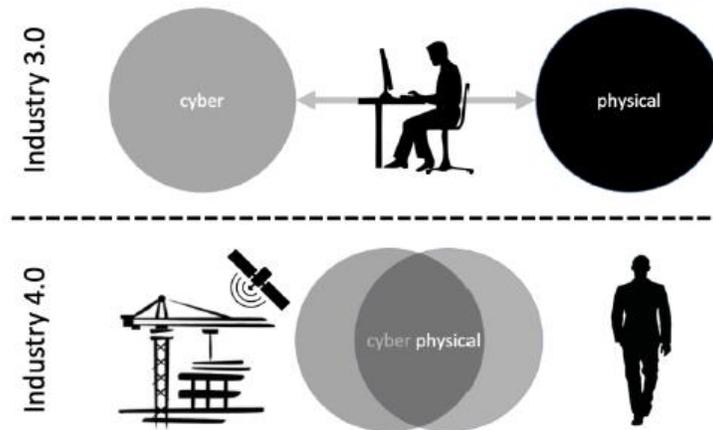


Figura 38. La diferencia entre la tercera y la cuarta ola de la revolución industrial
Fuente: Klinc, R. & Turk, Z., 2019.

En la industria 3.0 se tiene por un lado lo ciber (toda la información que se encuentra almacenada en la computadora) y por otro lo físico (personal o equipos que emplean/utilizan esta información), entre ambos existe un mediador (persona) que ingresa y analiza la información en la computadora para después aplicarla en el mundo físico y así obtener resultados.

En la industria 4.0 este intermediario (persona), deja de ser un mediador, para convertirse en un supervisor, quien buscara mejorar los procesos. El sistema se convierte entonteces en un sistema ciber físico donde se trabaja con una copia virtual del mundo real, apoyándose en componentes digitales como el internet de las cosas (IoT), Big Data, Internet de servicio y personas, Smart Factories y Advanced Manufacturing (Klinc, R. & Turk, Z., 2019).

Un sistema ciber físico es una conexión automática entre el mundo real y los componentes digitales desde los cuales se puede, percibir, dirigir y controlar el mundo real, esto con ayuda de Networking (redes), y va mejorando con forme surgen y maduran los desarrollos digitales. Un ejemplo simple es el poder controlar las luces de una residencia a través de un dispositivo móvil.

Existen cinco niveles de sistemas ciber físicos (5Cs)

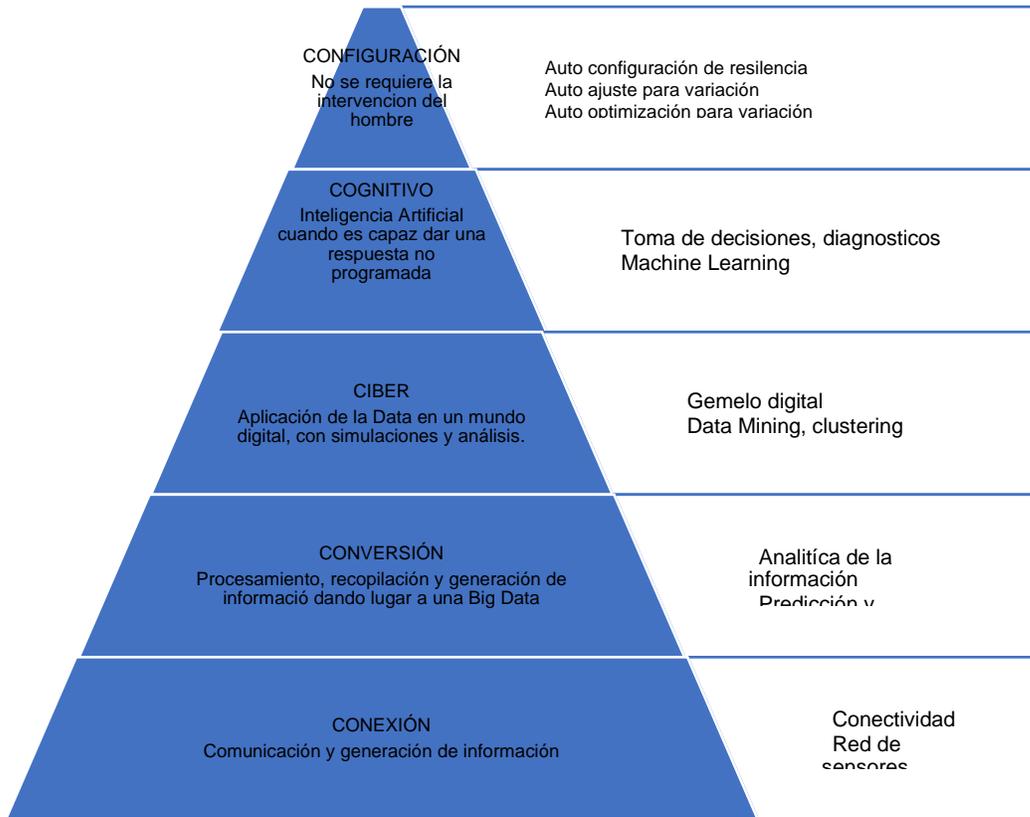


Figura 39. Niveles de sistemas ciber físicos

Fuente: Klinc, R. & Turk, Z., 2019

El desarrollo de estos sistemas ciber físicos, continuara difuminando la línea entre el mundo real y el digital, de tal manera que los procesos de la industria 4.0 sean capaces de planificarse, controlarse y optimizarse sin o con la mínima intervención humana.

3.2 Construcción 4.0

“Es proceso de toma de decisiones conjunta entre las partes interesadas involucradas en un proyecto a lo largo de la cadena de suministro de la construcción mediante el intercambio proactivo de información para cumplir con los desafíos continuos y cambiantes que se enfrentan en la ejecución del proyecto casi en tiempo real a fin de evitar tiempo y costos de manera proactiva”

Definición de construction 4.0, Adaptación de Gray (1991)

La construcción 4.0 se convierte en una adopción/adaptación de la industria 4.0 en la construcción, la federación europea de la industria de la construcción (FIEC, 2015a como se cito en Klinc, R. & Turk, Z., 2019) escribió en su manifiesto:

“Construcción 4.0 es nuestra rama de Industria 4.0. Usamos este término para referirnos a la digitalización de la industria de la construcción”.

Aun no existe mucha bibliografía acerca de la construcción 4.0 y su definición sigue evolucionando, así como sus componentes o pilares se han adoptado algunos de la Industria 4.0 como Internet de las Cosas (IoT), Simulación, Realidad Aumentada, Sistema Autónomo, Integración de Sistemas, Big Data y Fabricación Aditiva. La versión de construcción 4.0 consiste en Modelado de información de construcción (BIM), Gestión del ciclo de vida del producto (PLM), Computación móvil, RFID, Impresión 3D, robótica, interacción persona-computadora y modularización. Estas aplicaciones son específicas de la construcción y no se enumeran dentro de los pilares de Industria 4.0. Algunos de estos pilares, se han modificado y agregados nuevos, diferentes al de la industria 4.0, esto surge por la estructura unica y compleja de la propia industria (Sawhney, A., *et al*, 2020).

Muchos concuerdan en que BIM es clave en la construcción 4.0 el, junto con otros pilares, permitirán avanzar a una digitalización compleja, como se da el caso en los Digital Twins, en el contexto de la construcción.

Los Digital Twins son un modelo elaborado a partir de un vínculo completo, casi en tiempo real, de entre el mundo físico y el digital, esto permite la inclusión de patrones de comportamiento de las personas y del diseño del espacio, lo cual no podría hacerse solo con BIM, los Digital Twin son resultado de la integración con otros pilares de la Construcción 4.0 y de la Industria 4.0, como lo es el IoT. Una integración entre BIM e IoT podría servir para generar un sistema ciber físico, que permite el flujo y procesamiento de la información de manera bidireccional, esta información procesada se puede utilizar para monitorear el desempeño de los activos en tiempo real y alertar al sistema de cualquier problema, antes de que surja en el entorno físico.

La inmersión de la construcción en la Industria 4.0 permitiría a la industria avanzar hacia la optimización de sus procesos y con ello lograr aumentar su nivel de productividad, que por años ha estado rezagado. Aunque la industria de la

construcción tiene componentes que la hacen similar a la industria manufacturera, existen otros valores dentro de características como la complejidad y particularidad de los proyectos, su cadena de suministro fragmentada (se compone de diversos interesados), los sitios de ejecución particulares, las normativas y regulaciones, entre otros, que la convierten en un tipo especial de industrialización 4.0.

La industrialización permitirá optimizar la cadena de suministro, mientras que la integración con sistemas ciber físicos permite el seguimiento de procesos físicos, creando modelos virtuales, para así descentralizar la toma de decisiones.

3.3 Innovaciones en la Construcción 4.0

3.3.1 Building Information Modeling BIM

La construcción es una industria muy compleja, que a lo largo de los años ha permanecido con pocos cambios productivos, a diferencia de otras industrias. BIM, (Building Information Modeling), es un primer paso importante para cambiar eso. Es un proceso de trabajo colaborativo en el que todas las partes involucradas utilizan aplicaciones de diseño tridimensional, de programación, costos, gestión y mantenimiento, con todo ello se realiza el modelado virtual de un proyecto de construcción, con el cual se facilita la coordinación y flujo de información y la visualización anticipada de posibles problemáticas. BIM es una nueva metodología para Diseñar, Planificar, Supervisar y Controlar una obra de edificación o infraestructura (Sawhney, A., et al, 2020).

La manera tradicional de trabajo consistía de un flujo lineal, donde cada participante se preocupaba por cumplir con sus entregas y alcances, deslindándose de las problemáticas que surgen como son los cambios imprevistos, discrepancias, errores de diseño o calculo, entre otros. El flujo de trabajo con la metodología BIM es colaborativo, esto significa que hay una comunicación constante, temprana, ágil e iterativa, impulsada por un modelo digital 3D, con información de atributos, donde todos proporcionan información.



Figura 40. Flujo de información en proceso BIM
Fuente: Elaboración propia

BIM trabaja con niveles de detalle (LOD), los cuales evolucionan conforme a la cantidad y calidad de la información que se recolecta y a la evolución del elemento dibujado, algunos softwares también arrojan advertencias cuando encuentran interferencias o colisiones en el modelo, la detección temprana es una de las fuentes más importantes de ahorro en tiempo y costos.

Para poder lograr esta colaboración, BIM se apoya de softwares diseñados para trabajar con esta metodología y con la tecnología que tenemos disponible, como Cloud, a través de dispositivos móviles, pc o tabletas. Esta versatilidad, entre otras ventajas más nos puede permitir superar la resistencia y el temor al cambio.

La implementación de BIM se extiende a lo largo de las fases de los proyectos, desde su diseño y concepción, pasando por la construcción y mantenimiento, hasta su demolición. Actualmente existen 7 dimensiones BIM, cada una de ellas abarca las fases de los activos (BIMnD, 2019):



Figura 41. Las siete dimensiones de BIM

Fuente: BIMnD, 2019

Para propiciar el interés de la industria de la construcción en el uso de BIM, los gobiernos directamente deben incentivar la implementación de BIM. Un estudio realizado en EU por Cannistraro, muestra el impacto económico generado por BIM: Ocurre que proyectos realizados en 2D, por empresas que implementan BIM, pero aisladas de un ecosistema BIM generaron gastos más grandes en reajustes, generaron costos por cambios de entre 12%. Pero cuando se implementa BIM, dentro de un contexto BIM, los cambios son mínimos, y se reducen, junto con los costos, a menos de un 3%.

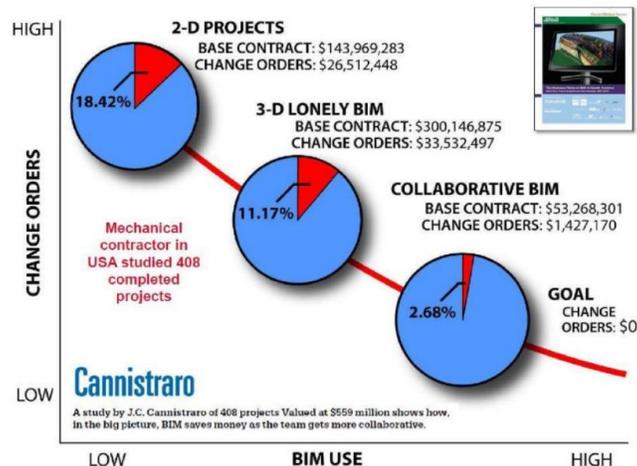


Figura 42. Comparación de uso y cambio de orden de BIM
 Fuente: Cannistraro M. P., 2010

Gobiernos como el de Reino Unido, Hong Kong y Corea del Sur han apostado por implementar BIM, obteniendo muy buenos resultados. Durante el periodo de 2011-2014 el Reino Unido logro una reducción de costos de entre 12 a 20%, con ahorros de 1.4 billones de euros, así como una disminución en los plazos.

Pese a esto la adopción de BIM ha sido lenta. A nivel mundial Estados Unidos es pionero en su implementación y en Corea del Sur y Australia, todos los proyectos públicos están obligados a utilizar la metodología BIM.

Según un artículo de Obras por Expansión, en México una de las herramientas que más se usa es BIM.

Según la revista Concreto, el ingeniero Oscar Serrano, gerente de producto Graphisoft, en México existe un 20% de implementación de la metodología BIM, la cual ha sido impulsada principalmente por el sector privado.

“SHCP se encuentra en la primera fase del programa de implementación. La segunda fase, la de aplicación, comienza en 2022 y finalizará en 2026. En ese año todos los proyectos tendrán que estar, de forma obligatoria, bajo plataformas BIM”, declaró Serrano.

México apenas comienza con esta transición, la SHCP y SCT iniciaron la reforma a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados la cual añadirá el artículo 10bis, que dictará y normará el uso de BIM y establecerá su uso obligatorio en 2026.

\ EL BIM A NIVEL INTERNACIONAL

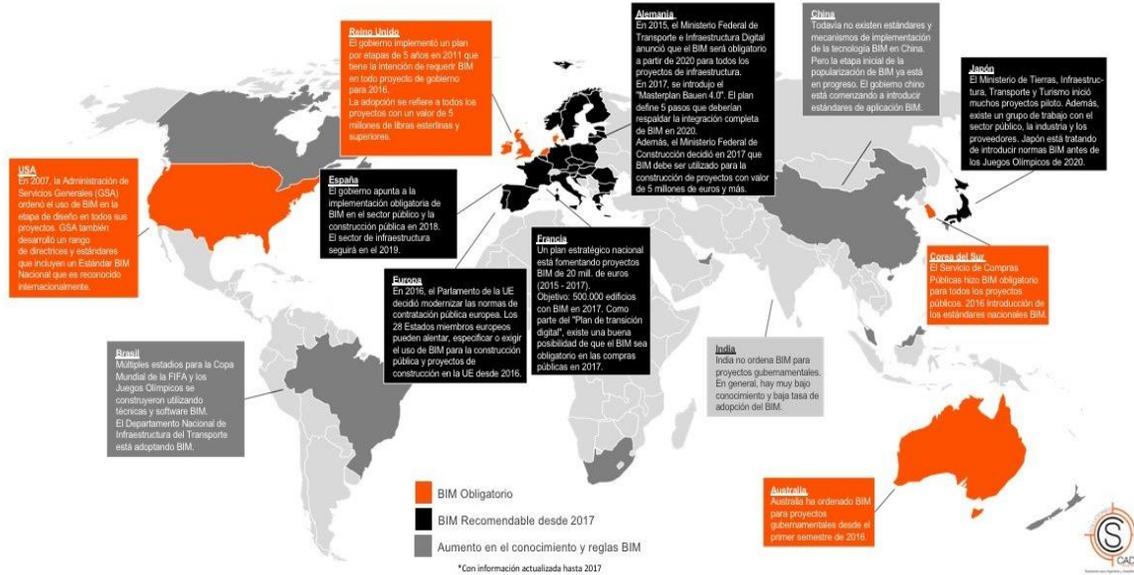


Figura 43. BIM a nivel internacional
Fuente: Crece Tu Negocio, 2018

La adopción de BIM no implica que este en una fase madura, el nivel de madurez implica valorar el desarrollo de procesos, tecnología, organización/colaboración, personal y los estándares que ha adoptado alguna empresa que se adentra a BIM.

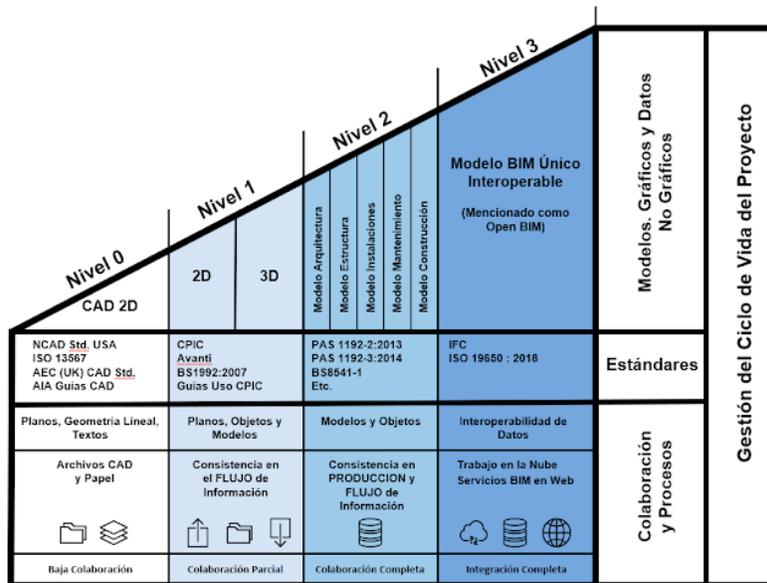


Figura 44. Gestión de ciclo de vida del proyecto
Fuente: Rodríguez, A., 2020

Cada grado de madurez corresponde a un nivel de detalle más logrado que el anterior, incorporando mejores prácticas colaborativas y de integración en pro de aumentar la eficiencia en el proceso Building Information Modelling.

BIM es la base para lograr la futura digitalización de los procesos de la industria de la construcción, las tecnologías requieren datos precisos y consistentes de diferentes partes del proyecto, BIM permite producir, recopilar, almacenar y compartir información sobre activos a las partes interesadas.

BIM se aplica a tecnologías como la prefabricación, donde se pueden producir objetos y datos de programación que permiten una producción precisa y la entrega en a tiempo de módulos, desde las fábricas hasta los sitios de construcción.

BIM puede reducir en tiempo la fase de diseño de un proyecto de construcción en un 30%, su costo en un 8%. Esto según un estudio de la Universidad de Maryland (WEF, 2018).

En el 2009 la ampliación del Canal de Panamá estuvo a cargo de la empresa MWH Global, la cual implemento tecnología BIM durante todas las etapas, su uso fue fundamental para poder verificar e integrar la inmensa cantidad de diseños involucrados. El nuevo diseño triplico la capacidad de trafico de barcos, con un costo de 600 millones de dólares. Durante el proyecto se requirieron más de 400 ingenieros de proyecto y se utilizó fundamentalmente software de la empresa Autodesk.

En México uno de los grandes megaproyectos que aplicaría metodología y tecnología BIM era el NAICM, pese a su cancelación, existen otros proyectos como Torre KOI y Pabellón M en Monterrey, la autopista urbana sur en la CDMX, el Estadio de futbol ¿del equipo “Chivas” en Guadalajara, entre otros.

Las empresas que deseen integrarse al mundo BIM deben capacitarse sobre las características y funcionamiento de esta tecnología a detalle, identificar oportunidades y riesgos en su modelo de negocio, y decidir su plan de acción según tiempos y metas específicos.

3.3.2 Realidad virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR)

Son tecnologías inmersivas que integran elementos virtuales y reales, para interactuar, visualizar y simular modelos en un entorno real, virtual o ambos.

Estas tecnologías no son únicamente visuales, también pueden producir estímulos auditivos.

En la realidad virtual el usuario se sumerge en un mundo completamente digital, generado por la computadora, con la intención de estimular una sensación de inmersión y pérdida de la percepción del entorno real. Con esta tecnología se pueden simular entornos alejados de la realidad, ofreciendo experiencias únicas, las cuales tendrán una conformación y alcances que dependerán, principalmente, del programador.

La industria de los videojuegos fue la primera en adoptar esta tecnología, pero hoy en día otras industrias la han asimilado, entre ellas la medicina, educación, negocios, marketing y, en menor medida, la construcción.

La realidad aumentada utiliza información digital como datos, imágenes, videos, objetos, los cuales se superpone en el contexto del mundo real. Nos aporta un nivel de abstracción que nos permite valorar de manera más clara, la información que emana de algunos elementos de nuestra realidad, esta tecnología se apoya de tabletas, teléfonos inteligentes, lentes o gafas AR.

La intención de esta tecnología al superponer objetos o imágenes en el mundo real no es hacerlas realistas mimetizándolas con el entorno, el propósito es que el usuario pueda contrastar estos elementos abstractos con los reales.

Como se mencionó, es común, hoy en día, el empleo de esta tecnología en muchas industrias, un ejemplo de ello es IKEA, una mueblería sueca que permite visualizar sus productos con dimensiones reales. Otros ejemplos los dan las guías virtuales para realizar tours en museos, las muestras interactivas para la venta de departamentos amueblados y hasta la visualización de proyectos en construcción.

Pero el avance más importante ha sido la combinación entre la tecnología en realidad virtual y la de realidad aumentada, dando como resultado la tecnología en Realidad Mixta. Con esta se puede interactuar en tiempo real con objetos virtuales que se muestran en el mundo real, los cuales responderán y reaccionarán ante el usuario como si fueran objetos reales. Quizá como un ejemplo práctico de esta tecnología, nos podemos referir a Windows Mixed Reality, que es una plataforma creada por Microsoft, para ofrecer un entorno de trabajo, en el que se se pueden crear diseños y objetos en un mundo virtual, superponiéndolos en uno real, se dispone de reconocimiento facial y de voz, hay interacción en tiempo real con otros usuarios, mostrándolos como seres virtuales y creando mundo de interacción interconectado. Microsoft tiene planeado desarrollar mucho más este concepto en sus próximas versiones del sistema operativo Windows.

Otro ejemplo actual de aplicación es el casco DAQRI Smart Helmet que es un dispositivo con gafas integradas, el cual incorpora Realidad Aumentada proporcionando una visión más exacta de lo que se construirá, capas de materiales, instalaciones, notas y alertas emergentes, todo mientras se recorre la construcción.

También podemos mencionar a “AR Sketchwalk”, que es un software que permite visualizar el diseño de un proyecto de construcción a través de un dispositivo móvil o tableta, sobre el sitio final, se puede recorrer y modificar (extruir muros), y así tener mejor idea de los espacios.

La visualización tridimensional (hologramas) interactiva de proyectos puede ayudar a los gerentes para toma de decisiones colaborativas y resolución de problemas, ayudar a comprender de manera más práctica el proyecto, por parte del resto de los interesados, desde el diseño hasta la colaboración entre áreas de ingeniería.

Entre otros usos que se les han dado a estas tecnologías, podemos mencionar su aplicación como guías de trabajo, donde los trabajadores pueden recibir instrucciones, desplegadas por medio de gráficos en 3D y en tamaño real de los proyectos a realizar, también podemos hablar de su uso de la realidad virtual para aumentar el nivel de seguridad, en cuanto a que se pueden colocar a los trabajadores en supuestos escenarios de riesgo e instruirlos en cómo reaccionar, por medio de simulaciones, en eventualidades que se presenten en los trabajos más sencillos hasta en los trabajos que impliquen el uso de maquinaria pesada.

3.3.3 Colaboración digital

3.3.3.1 Cloud

Los proyectos cada día son más complejos y grandes, pero sus presupuestos y tiempos son minuciosos y ajustados. La construcción siempre se ha conformado por una serie de participantes como proveedores, especialistas en ingenierías y construcción, propietarios particulares o instituciones públicas, entre otros, que contribuyen en diversas tareas. A este conjunto de actores, junto con el flujo de bienes, procesos, información y dinero se les denomina “Cadena de Suministro” (CSC). Este total de elementos hace que la cadena de suministros este fragmentada (Sawhney, A., *et al*, 2020).

La colaboración en la nube puede mejorar la interconexión entre partes, ya que elimina la latencia de la información, permitiendo distribuirla en tiempo real desde cualquier sitio en donde se encuentre, solo hay que cumplir el requisito de tener conexión a internet. Estudios han demostrado que los costos de comunicación y distribución de información representan casi el 5% del costo total de un proyecto.

Cloud es el almacenamiento y procesamiento de datos en internet, fuera de la computadora o de cualquier dispositivo, a través de un proveedor de informática. Este servicio se adquiere con un proveedor, quien posee y controla la capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos y los distribuye a través de una red (usualmente internet) con un modelo de pago de uso.

Para trabajar en la nube cada participante ingresa datos de acuerdo a su función y responsabilidad en el proyecto, de igual manera consume datos en función a sus necesidades y requisitos.

A pesar de que la nube soluciona la colaboración, el uso aun limitado de la tecnología por parte de muchos interesados, ocasiona que los datos e información que se proporcionan sean incompatibles con los tipos de programas que utilice cada uno, generando una falta de interoperabilidad entre tecnologías, regresando a la misma ineficiencia en la toma de decisiones.

Una manera de afrontar la interoperabilidad, en el caso de los proyectos realizados dentro del contexto de la Construcción 4.0, es utilizar plataformas colaborativas que implementen BIM, además esto permite:

- Generar un intercambio eficaz
- Actualización oportuna en tiempo real de la información disponible
- Reducción de errores y duplicidad de la información

Cabe señalar que también es deseable que el tipo de plataformas colaborativas que se utilicen estén basadas en sistemas abiertos. Este tipo de plataformas apoyaran en crear modelos BIM de cada especialidad, dentro de un único espacio de intercambio de datos (CDE). BIM emplea archivos IFC como una forma de estandarizar los datos y la relación entre ellos.

IFC es uno de los estándares de datos más importantes para la descripción e intercambio de información, para representar con ella el ciclo de vida del activo. Sus dos principales propósitos son:

- Como medio para intercambiar datos entre aplicaciones, formando un entorno común de datos.
- Como una forma de archivar datos fuera de sistemas propietarios.

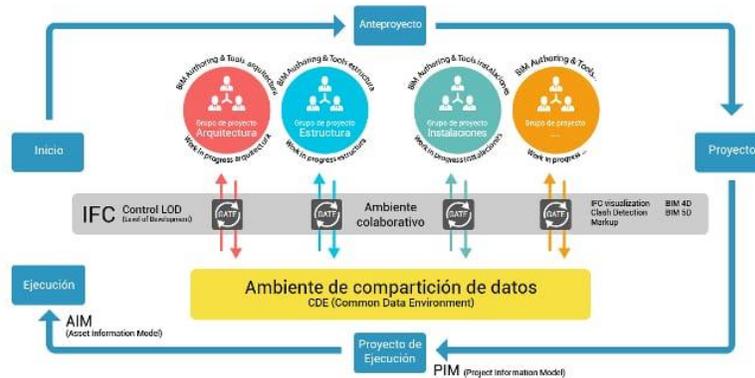


Figura 45. Ambiente de compartición de datos
Fuente: BibLus, 2019

Existen en el mercado diversas plataformas colaborativas, que en su gran mayoría se enfocan en resolver problemas de áreas particulares. Aquí se mencionan algunos ejemplos:

Plan Grid que permite compartir planos, fotos, reportes en tiempo real, dar seguimiento, examinar progresos, gestionar problemas e interactuar con otros usuarios en el chat.

usBIM.platform gestiona a partir de varias aplicaciones y funciones el ciclo de vida del activo en un entorno de intercambio de datos, adapta el estándar IFC cumpliendo con la norma ISO 19650.

Rhumbix gestiona tiempo y materiales, gestionando datos a nivel de campo, generando informes de construcciones diarios, gestión de nóminas, también recopilación, digitalización y extracción de información anterior. E integra diversos softwares de contabilidad y ERP.

Como ya se puede ver hay una variedad de herramientas de gestión de proyectos, todas basadas en la nube. La revisión de la información disponible, indica que no existe una aplicación que proporcione la mayoría de las características requeridas en la industria en general y esto puede explicarse, ya que estas plataformas obtienen ventajas competitivas enfocándose en áreas específicas.

Los beneficios son claros, mejorar la productividad y que las decisiones tomadas a través de estas tecnologías sean objetivas.

3.3.3.2 Big Data y Big Data Analytics

Los datos se han convertido en una parte invaluable de la vida cotidiana y en el caso del contexto de la industria no es diferente.

Big Data se refiere a las grandes cantidades de información que se han almacenado en el pasado y que se continúan registrando en la actualidad con ayuda de sensores, Cloud, plataformas colaborativas, personas y otras tecnologías la industria. Pero no es solo una recopilación de información en bruto, debe ser información útil que ayude a la toma de decisiones y a la elaboración de predicciones. La información, por tal motivo, debe pasar por un proceso de inspección, diferenciación y transformación (Big Data Analytics).

Big Data Analytics requiere que, además de que los datos sean relevantes y útiles, estos estén disponibles a través de la adopción mejorada de generadores de datos como IoT/IoS, RIFD, etc.

Algunos autores mencionan que una empresa puede tener dificultades para implementar el Big Data Analytics, en cuanto a que, para tener buenos resultados, es necesario poseer un registro amplio de datos de proyectos pasados que haya realizado la empresa, sin embargo, en muchos casos estos registros son muy escuetos, al menos, con respecto a las necesidades de implementación de Big Data, para obtener resultados que representen beneficios para la empresa. Otra dificultad es la poca la disposición de intercambio de datos en todo el sector y su fragmentación que la hace altamente competitiva.

Pero debemos entender el valor que generara el intercambio de información para las empresas, los beneficios que da Big Data a las personas van, desde una gestión mas eficiente, presupuestos cercanos a la realidad, optimizar rutas de embarques, rastrear el rendimiento de máquinas, mejora el desempeño de los empleados, menor riesgo en los proyectos utilizando simulaciones de análisis de datos y predicciones, hasta llegar a una toma de decisiones correcta.

El Open Data Institute (ODI) con sede en Londres, aboga por los datos abiertos, para cualquier propósito y sin costo, buscan facilitar el uso compartido, fomentar la innovación y la colaboración. Argumentan que lo anterior, no solo traerá beneficios sustanciales a las empresas, sino que, además la sociedad, en su conjunto, se beneficiará de una mayor transparencia del estado y posibilidad de participación (BIM Wiki, 2020).

Las empresas en colaboración con los gobiernos deben entender lo importante que es democratizar la información para poder innovar, pero ello se debe regular y normar a través de instrumentos legales que aseguren la protección, privacidad, seguridad y el buen uso de la información.

Un ejemplo de protección de datos implantado en Europa fue la introducción del Reglamento General de Datos (GDPR) en mayo de 2018, que incorporo una reorganización masiva de las leyes de privacidad de datos, para reflejar los avances tecnológicos.

Esto será beneficioso tanto a las empresas como a los gobiernos, pues permite que haya mayor claridad y transparencia en el manejo de presupuestos, licitaciones y concursos.

Es importante destacar que en la construcción 4.0 la integración de BIM con Big Data es imperativa, para aprovechar correctamente el análisis de los datos y así beneficiarse de la información generada.

3.3.3.3 Block Chain

La industria de la construcción se vuelve tan compleja por todos los componentes de la cadena de suministro, sus características la vuelven, hasta cierto punto, fragmentaria y difícil de coordinar por las diversas partes interesadas, lo que da como resultado la pérdida de productividad, reelaboración y retrasos en los procesos. En consecuencia, hay un aumento en los costos, si la gestión de esta industria fuera optimizada podríamos lograr más eficiencia, efectividad y confiabilidad. Una herramienta que nos permite mejorar estos aspectos sería Block Chain, que al fusionarse con otras tecnologías, nos da una base para gestionar los datos y transacciones de valor de manera segura.

En cualquier proyecto participan numerosos interesados a lo largo de la cadena de suministro y todos estos tienen intereses invertidos que se ven afectados por eventos adversos al proyecto, a menudo generados por una mala comunicación e información. La fragmentación de la información es un problema persistente que se plasma en una desconexión entre el diseño y la construcción (Inmoley, 2019).

Actualmente, los contratos de la construcción deben dar certeza de entrega, calidad y garantía de precios acordados. La tecnología Block Chain podría potencialmente manejar las relaciones contractuales a partir de contratos inteligentes, verificación electrónica, autenticación, autorización y certificación, todo esto apoyándose de BIM, el ayudara a fomentar la creación de información crítica del diseño, programación, logística y coordinación.

Un ejemplo práctico, y de relevancia, para entender su funcionamiento, a grandes rasgos, podrían ser los bitcoins: “Los sujetos A y B desean intercambiar bitcoins, así que comienzan una transacción, que es mandada junto con otras transacciones pendientes creando así un “bloque”, dicho bloque es enviado a la red de ordenadores que participan dentro del sistema, estos ordenadores valoraran las transacciones llegando a un consenso para ser verificadas. Cada bloque verificado recibe temporalmente un “hash” (número de identificación del bloque) criptográfico, todos los bloques contienen referencias al hash de bloques previos, formando así una cadena de registros (libro de cuentas). Así se ha generado el intercambio de los bitcoins” (Socialmood, 2020).

Los bloques de datos una cadena es interdependientes y se mantienen almacenados en una red, de manera descentralizada. Es por ello que Block Chain tiene la característica de brindar seguridad, anonimato, inmutabilidad de los datos y privacidad, pues ninguna organización de terceros controla las transacciones de datos.

Los contratos inteligentes podrán ayudar a signar y aclarar responsabilidades, asegurar y hacer cumplir los acuerdos registrados entre las partes.

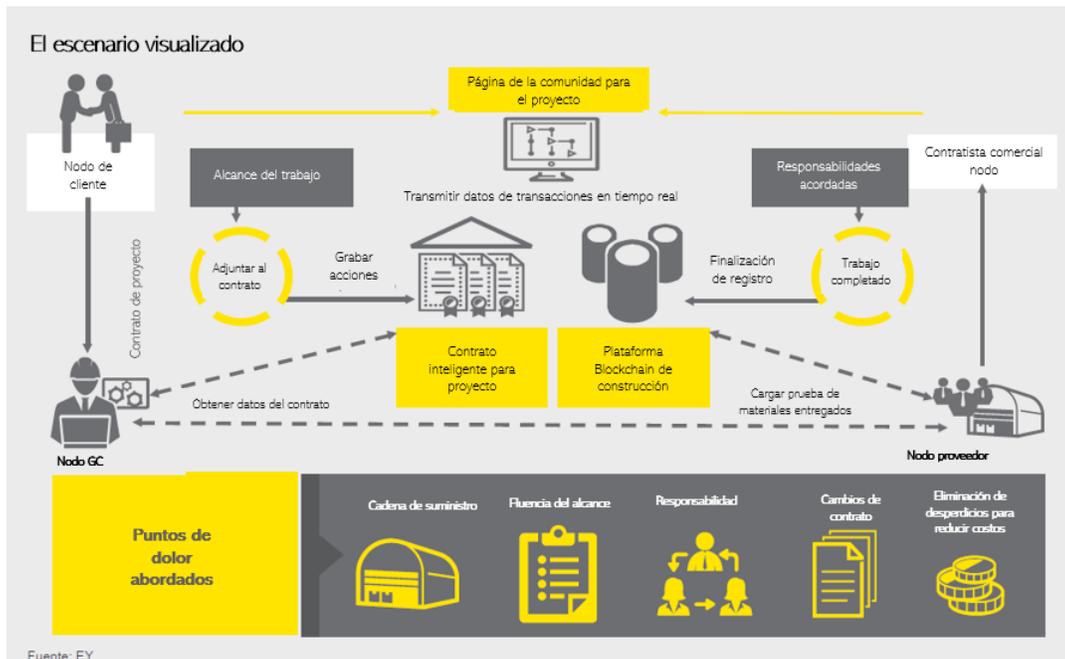


Figura 46. Ejemplificación de acuerdos con Block Chain
Fuente: Inmoley, 2019

Otras aplicaciones útiles de Block Chain que también podrían presentarse en la cadena de suministro, podría ser el seguimiento efectivo y confiable de materiales, aumentando la eficiencia y transparencia, lo más importante es que esto facilitaría el consenso, pues no habría disputas en la cadena con respecto a las transacciones, porque todas las entidades de la cadena tienen la misma versión del libro de cuentas. El software Better Supply Chain Management (SCM) es ejemplo de la implementación de Block Chain para esto (Sawhney, A., et al, 2020).

El libro contable inmutable que ofrece Block Chain, permitirá mapear y rastrear el progreso del proyecto en cada etapa, estableciendo la responsabilidad y propiedad de cada parte interesada, reduciendo la corrupción, ineficiencias y disputas contractuales. Para lograr esto, hace falta comprensión y confianza en la tecnología, es importante que los gobiernos promuevan la adopción, como en el caso del Consorcio de Blockchain de Construcción, con sede en el University College de Londres (CBC, 2019) Esta organización es utilizada por el gobierno inglés, para promover estándares a través de su serie de documentos técnicos, que brindan transferencia de conocimiento y ayudan al desarrollo de casos de uso.

3.3.4 Alta definición de los alcances, topografía y geolocalización

3.3.4.1 Escáneres

Las discrepancias entre las condiciones del sitio de trabajo y lo contemplado en el proyecto, que en ocasiones no percibimos y contemplamos, provocan que los presupuestos estimados se superen. Sobre todo, en megaproyectos requerimos detalles topográficos para que los gerentes puedan visualizar y proponer soluciones constructivas adecuadas.

Actualmente existen técnicas de fotografía de alta definición, escaneo laser 3-D y sistemas de información geográfica, que ayudaran a prever y visualizar las condiciones del área de trabajo. Es posible, con esta tecnología, realizar levantamientos de activos ya existentes o del área donde se ejecutará algún nuevo proyecto.

La fotogrametría proporciona imágenes de alta calidad y definición, lo cual permite obtener información métrica y geográfica. La mayor complicación que representa es el tiempo que tarda en transformarse en un formato utilizable.

Sistemas de pulso laser que miden los tiempos de transmisión y retorno, se utilizan para entornos que requieren mayor mapeo. Sus principales ventajas son los altos niveles de precisión, incluso en formas irregulares, capturan grandes cantidades de datos muy rápidamente y crean la nube de puntos directamente sin tener que procesarlos. Su uso es limitado, por ser costosos, pesados, menos portátiles y principalmente, porque no proporcionan una buena representación de textura.

La tecnología optoelectrónica se refiere a dispositivos electrónicos, que se utilizan para emitir, modular, transmitir y detectar luz, estos dispositivos también tienen la capacidad de recopilar, almacenar, procesar y mostrar toda la información registrada (Sawhney, A., *et al*, 2020). Esta tecnología se puede emplear en el seguimiento del progreso, control de calidad y evaluación.

La optoelectrónica se encuentra en dispositivos de distancia y alcance laser 3D (LADAR), estos son más rápidos que la fotogrametría y generan nubes de puntos para medir grandes volúmenes de elementos del sitio, entre algunas de sus limitaciones son los altos costos del equipo, discrepancia de la información espacial, exceso de tiempo en el procesamiento de datos en la nube de puntos y captura de puntos oclusiones.

Todas estas tecnologías se pueden apoyar del escaneo aéreo, empleando vehículos aéreos no tripulados (UAV), también llamados Drones o dispositivos de escaneo laser aerotransportado (ALS).

Debe existir una integración de los datos de nubes de puntos con BIM. En el método 'Scan-to-BIM', se incorpora un software de posprocesamiento semiautomático que permite tiempos de reproducción de modelos más rápidos. Si bien BIM representa un 'centro de información central', no puede convertirse en un repositorio de

información estático, de lo contrario se vuelve 'ciego' a los cambios en curso del sitio.

Empresas como Bentley Systems fundada en Estados Unidos y STGO con sede en España, utilizan estos avances para otorgar gemelos digitales y simulaciones como las que ya se emplean en la industria 4.0.



Figura 47. Digitalización de nubes de puntos BIM
Fuente: STGO BIM, 2020

3.3.4.2 Drones / Vehículos aéreos no tripulados (UAV)

En los últimos años el uso de los drones se ha incrementado, por la disminución de los precios y los avances en el software de control de vuelo. Los diseños comunes de estos equipos son aeronaves de ala fija (avión), rotor (hélicoptero) o de múltiples rotores, generalmente están equipados con cámaras de alta resolución y sistemas de posicionamiento Global (GPS) (Sawhney, A., *et al*, 2020).

Algunas aplicaciones que se les dan son:

- Control del progreso de los proyectos: inspección y seguimiento de la construcción, realizando un monitoreo efectivo y constante.
- Investigación y rescates cuando ocurren desastres naturales
- Topografía y medición: capturando imágenes detalladas y realizando mediciones de distancias precisas.
- Gestión de la seguridad: monitoreo las actividades del personal, control de condiciones inseguras y su advertencia temprana.
- Escaneo 3D: generador de nube de puntos, y su eventual implementación para construir modelos.
- Transporte: un UAS típico puede soportar peso de hasta 5 libras (2.3 Kg), permitiendo que pueda apoyar con el transporte de herramientas y equipos pequeños.
- Construcción: Con la guía de algoritmos matemáticos, una flota de UAS debería poder construir estructuras altas sin la ayuda de grúas o andamios.

- Herramienta de inspección: Inspección de deformaciones menores o notables en grandes estructuras, para corrección constructiva o revisar estructuras en riesgo de derrumbe, con precisión.

Estos pueden ser controlados manualmente, semiautónomo o completamente autónomo. Cada una de ellas tienen sus pros y contras:

En el modo manual, la mayor complicación es que el operador debe poder visualizar en todo momento el dron, en cambio en el autónomo se programa el rumbo a través de coordenadas o por medio de sensores y retroalimentación de circuito cerrado.

El manejo de estos equipos está regulado, la normativa exige que todos los vuelos deben ser controlados por un piloto certificado.

En los EE. UU. La institución encargada de esta regulación y supervisión es la Administración Federal de Aviación (FAA); en el reino unido, la Autoridad de Aviación Civil del Reino Unido (CAAUK) regula el uso de drones bajo la regulación CAP722; y en México, desde el 2017, el uso de drones es regulado por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), el uso debe ser en horas oficiales de salida y puesta de sol, además para el uso de drones comerciales, se debe contar con una póliza de seguro de responsabilidad civil por daños a terceros y el dron debe estar registrado y cumplir con los requerimientos de la NOM-107-SCT3-2019. Los pilotos deben contar con una certificación (Gandaria, M., 2020).

Todas estas regulaciones clasifican los UAS en tres categorías según su peso.

3.3.5 Industrialización / Impresión 3D, prefabricado y robótica

También se puede abarcar como automatización, la cual puede habilitar el crecimiento de productividad y potencializarlos, en un artículo CEMEX resume algunas áreas donde pueden existir mejoras en la construcción. Según una investigación del McKinsey Global Institute, se puede tener un aumento de la productividad entre 6-10X veces esto pasando a una producción con estilo de fábrica.

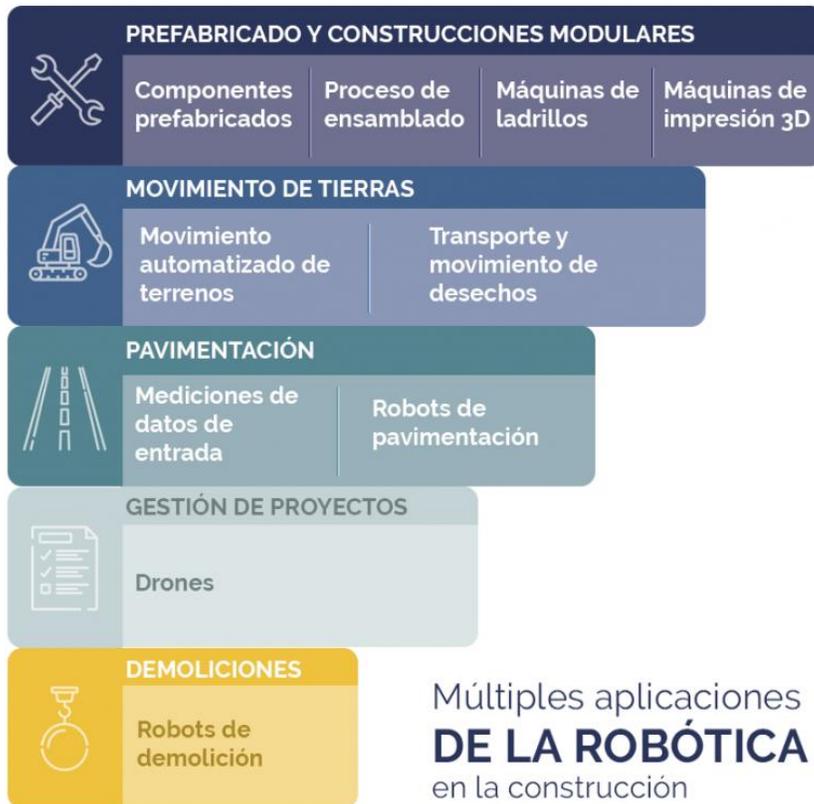


Figura 48. Múltiples aplicaciones de la robótica en la construcción

Fuente: Robótica en la industria de la construcción: principales soluciones de CEMEX, 2019

3.3.5.1 Fabricación aditiva

La industria de la construcción es primordial para cualquier sociedad, es un motor económico, pero también es uno de los mayores consumidores de recursos y energía.

El sector de la construcción comercial y residencial contribuye con el 39% del dióxido de carbono (CO₂) emitido a la atmósfera, con el 30% de los residuos sólidos y con el 20% de la contaminación de aguas. La tecnología de fabricación aditiva

(FA), también conocida como impresión 3D, tiene el potencial de ayudar a la industria a reducir la generación de contaminantes, al minimizar la cadena de suministro mediante la producción autónoma de componentes de construcción directamente a partir de modelos digitales, sin cimbrados y con mínima intervención humana (Growing Buildings, 2020).

Entre muchas tecnologías de FA, la automatización de la extrucción ha sido la más asequible y establecida, produce tiras continuas de cuerpos impresos autosostenibles, logrando moldear diferentes formas, a través de sistemas de bombeo de material sincronizado y boquillas de deposición de ubicación precisa. Los principales sistemas que se emplean en la impresión 3D: sistemas de pórtico o brazos robóticos mecánicos.

Los materiales empleados más comunes en la industria de la construcción son cementosos, conformados por formulas combinadas entre materiales a granel, mezclados con aglutinantes y aditivos, algunos otros son resinas fotopolímeras (no se eligen con frecuencia por la degradación del polímero con el tiempo, dificultad de imprimir grandes piezas y el costoso equipo requerido, metales y aleaciones).

WinSun, una empresa de construcción China, imprimió en 3D una oficina de 250 metros cuadrados en los Emiratos Árabes Unidos (EAU). El edificio se imprimió utilizando un sistema de pórtico, la empresa señaló que tardó 17 días en imprimirse y el costo laboral se redujo en más de 50%, en comparación con edificios similares de construcción convencional.

“The Bridge” es el primer puente construido en acero inoxidable, por la compañía de robótica holandesa MX3D. Pensado para que cruce unos de los canales más antiguos en Ámsterdam, el Oudezijds Achterburgwal, con 12 metros de longitud, empleo el sistema de brazo robot, cuenta con sensores que advierten de cualquier deformidad que se presente.

En el estado de Tabasco, México se construyeron las primeras dos casas con esta tecnología, de 200 m². Se otorgó el permiso a las empresas Starup ICON en conjunto con New Story.

La impresión 3D nos ayudara a combatir la necesidad de vivienda requerida por la sobrepoblación y el desplazamiento ocasionado por factores ambientales.

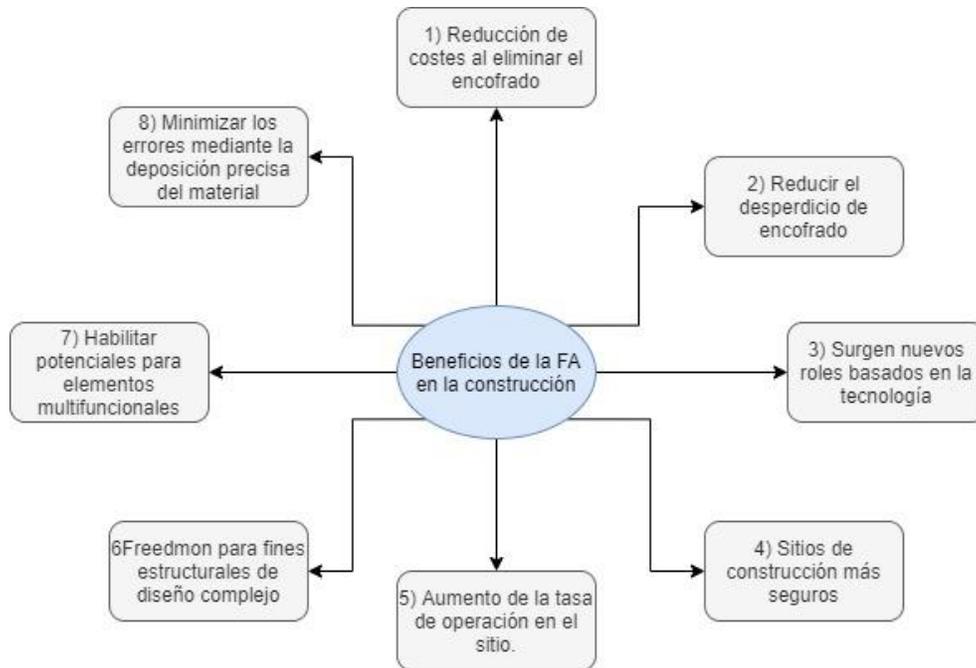


Figura 49. Las oportunidades que presenta FA para la industria de la construcción
 Fuente: *Construction 4.0* de Sawhney, A., et al, 2020

Una encuesta resumida en el Informe del Foro Económico Mundial 'Shaping the Future of Construction' (2019) indica que los líderes de la industria aún no están convencidos, no consideran que proporcione un beneficio significativo.

Aun no existen estudios contundentes del ahorro que genera la FA y que tan competitivo es en comparación a la construcción convencional, pero siguen mostrando precios adecuados, estos se perciben desde la reducción de mano de obra.

3.3.5.2 Prefabricación y construcción modular

La prefabricación es uno de los pasos más importantes para industrializar a la construcción, los elementos estructurales y no estructurales se fabrican en entornos controlados. En términos generales, implica producir componentes estandarizados de una estructura en una fábrica fuera del sitio y luego ensamblar el sitio.

Las construcciones prefabricadas y modulares en ocasiones difieren y en otras no.

Los activos que se construyen con tecnologías de prefabricación podrían ayudar a combatir la escasez de vivienda, reducir la fragmentación en la industria, mejorar los costos para los compradores finales, mayor certeza en cronogramas y

presupuestos, afrontar la falta de mano de obra calificada y principalmente mejorar la productividad de la industria.

Muchos consideran que esta tecnología es limitada en diseño, porque el punto fuerte de la prefabricación es la repetibilidad y un tamaño adecuado para ser transportada, por lo que, el diseño, está limitado por el número de variaciones diferentes solicitadas. Es importante destacar que la prefabricación puede cumplir con las necesidades de la sociedad como escuelas, hospitales, hoteles, viviendas que sean asequibles y cumplan con los requisitos, a pesar de esto la prefabricación continúa trabajando para abordar sus limitantes de diseño.

Los materiales que se pueden emplear para la estructura principal son madera, concreto, acero y PVC

Cada material tiene sus ventajas y desventajas, con respecto a las necesidades de las empresas y de los clientes, por ejemplo, la madera además de ser duradera y ligera, en comparación con el metal, también otorga ambientes más naturales, en el caso del PVC, material derivado del plástico, otorga mayor aislamiento térmico y es de los más económicos de adquirir.

En México podemos encontrar empresas y páginas web que realizan casas prefabricadas, es fácil poder observar la reducción de los costos, en comparación con la oferta de otras empresas.

Tabla 2. Precios de construir una casa prefabricada

Precios de construir casa prefabricada

Tipos de casas prefabricadas	Costo	Dimensiones
Casa prefabricada de madera	\$850.000 MXN	120 m ²
Casa prefabricada de concreto	\$1.000.000 MXN	120 m ²
Casa prefabricada modular	\$900.000 MXN	120 m ²
Casa prefabricada de PVC	\$300.000 MXN	30 m ²

Fuente: Habitissimo, 2020

Un artículo de Mckinsey menciona que los proyectos modulares pueden reducir el cronograma entre un 20% y 50% y en costos de construcción en un 20%.

Entre las principales ventajas encontramos:

- La fabricación fuera del sitio, industrializada, cerrada y controlada permite estandarizar y generar menores retrabajos, mayor calidad y duplicar la productividad
- La fabricación utiliza adquisición directa, eliminando intermediarios
- Control en optimización, reduciendo costos de logística
- Hasta el 80% de la actividad laboral tradicional puede trasladarse fuera del sitio a la planta de fabricación. Reducción de mano de obra requerida.

Dada la crisis de pandemia Covid-19 que se vive durante la formulación de este trabajo, la infraestructura sanitaria de diversos países se vio superada, en Wuhan, China, por ejemplo, lugar en el que se originó el virus, se fabricó el Hospital Huoshenshan de 34,000 metros cuadrados, de dos pisos, de paneles metálicos, logrando su construcción en 10 días.

Es de destacar de la prefabricación, la gran ventaja que nos da para afrontar desastres ya sea epidemiológicos o naturales. En otras palabras, la impresión 3D, en combinación con la prefabricación, permite una construcción eficiente y segura en un período de tiempo relativamente corto con un control de costos razonable (Wedawatta, G., *et al*, 2019).

Uno de los principales obstáculos para tener una transición exitosa es que se requiere de una inversión significativa en instalaciones, los beneficios son grandes, pero sin duda las empresas solo realizarán esta inversión cuando tengan la certeza de que existe una sólida cartera de proyectos para mantener la instalación funcionando a largo plazo.

Los clientes se pueden motivar en adquirir viviendas fabricadas con esta tecnología por los estándares y garantías certificadas de calidad para otorgarles confianza. Los gobiernos pueden impulsar la adopción, al incluirlos en proyectos públicos como viviendas de interés social, hospitales, escuelas, etc.

Un ejemplo claro es Ikea y Skanska empresas constructoras que llegaron a un acuerdo con el ayuntamiento de Worthing, situada al sur de Inglaterra, para levantar 162 casas prefabricadas en terrenos públicos. Se espera que estén disponibles a principio del año 2021.

3.3.5.3 Robots

Las primeras investigaciones y publicaciones sobre robótica de la construcción se remontan a la década de 1970 en la ex Unión Soviética (Arakysan y Volkov, 1985; Frenkel, 1987, 1988; Vilman, 1989). Desde estas primeras investigaciones para la implementación de la robótica, algunos beneficios que se buscaban eran: obtener

mayores ganancias económicas al mejorar la productividad, reducir la mano de obra, el tiempo de ejecución, mejorar la calidad, hacer menos riesgosas las condiciones de laborales y facilitar el trabajo (Sawhney, A., *et al*, 2020).

En estos primeros años la adquisición de tecnología era costosa, por ende, su aplicación y desarrollo eran limitados, hoy en día estamos experimentando un cambio radical, la tecnología evoluciona más rápidamente y es más asequible, el internet fomenta la innovación al permitir interconectar datos, personas y cosas, pese a ello en la industria de la construcción los avances tecnológicos aún están limitados, por otros factores.

Los robots de construcción varían en sofisticación. Van desde herramientas sencillas hasta dispositivos totalmente automatizados.

Hadrian X inventada por Fastbrick Robotics, empresa australiana. Es un robot que coloca hasta 1,000 ladrillos en una hora, cuenta con un brazo mecánico integrado a un camión, un sensor y un láser. Es capaz de construir las paredes de una casa, respetando los huecos de ventanas, puertas e instalaciones, dependiendo de la programación.

La empresa Boston Dynamics crea robots con destreza e inteligencia para afrontar actividades como supervisión, traslado de material y ejecución de actividades, estas características hacen posible que varios de estos robots pudieran emplearse en la industria de la construcción. "Spot" es un robot móvil que puede apoyar en inspecciones y operaciones remotas, transmitiendo la información en forma de datos e imágenes al área de supervisión.

Al igual que Boston Dynamics, investigadores del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de Industrias Avanzadas (AIST) de Japón, han desarrollado un robot humanoide, pero enfocado en la industria de la construcción, HRP-5P, realiza trabajos pesados o trabajos en entornos peligrosos.

Un ejemplo del trabajo de HRP-5P es la colocación de placas de yeso, para lo cual genera un mapa 3d para el reconocimiento de su entorno, recoge las placas de yeso, y utilizando marcadores de realidad aumentada, selecciona las herramientas necesarias para su colocación.

Aunque algunos expertos en robótica consideran que los robots humanoides no serán realistas (no podrán abordar problemas de precisión y seguridad en condiciones reales) en al menos durante los próximos 30 años.

Se prevé que la implementación de sistemas robóticos y la automatización afrontara tareas inseguras y poco atractivas para los trabajadores. La construcción 4.0 conllevara un cambio radical en la relación hombre-maquina, es por ello que la percepción de las personas hacia la tecnología debe comenzar a cambiar gradualmente, de lo contrario la colaboración podría fracasar o ser sabotada. Actualmente se tiene una percepción generalizada de superioridad de los robots y su impacto en el futuro de los trabajos.

3.3.6 Internet de las Cosas IoT y RFID

La liberación de internet para uso comercial trajo grandes avances a nuestra sociedad actual, hoy en día existe ya la red 5G, que ofrece baja latencia, mayor densidad de conexiones y mayor velocidad de transferencia de datos, dando la oportunidad a mayores avances tecnológicos y mejoras como internet de las cosas IoT.

En 2005, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) publicó un informe titulado "Informes de Internet de la UIT 2005: Internet de las cosas" (UIT 2005). Según la última definición proporcionada por la UIT (2012), "IoT es una infraestructura global para la sociedad de la información, que permite servicios avanzados mediante la interconexión de elementos (físicos y virtuales) basados en tecnologías de la información y la comunicación interoperables existentes y en evolución" (ITU, 2020).

El internet de las cosas se puede describir como la extensión de internet y otras conexiones de red a sensores, actuadores, RFID (etiquetas) y escáneres laser colocados en objetos físicos, logrando una conexión ubicua de comunicación, visibilidad, interacción, reconocimiento y control del proceso físico. La esencia de IoT es facilitar la inteligencia y la conexión de las cosas.

Existen varios tipos de sensores, algunos pueden percibir temperatura, luz, movimiento, hay otros más especiales que tienen la capacidad de reconocimiento, todos estos sensores recolectan grandes cantidades de datos y los analizan automáticamente, también intercambian información entre sí, esto permite evaluar desempeños, optimizar recursos, monitorear riesgos, conservar (ahorro) energía, reducción de emisiones y ejecución de proyectos.

Se puede colocar una etiqueta RFID (identificación por radiofrecuencia) en el equipo de uso personal como cascos o chalecos, para identificar y localizar trabajadores o para conocer su estado vital, lo anterior es un ejemplo de cómo garantizar la seguridad de los empleados.

Otro empleo de los sensores y de las etiquetas RFID puede establecerse en la cadena de suministro, aquí la implementación del IoT puede ayudar a gestionar los materiales, calculando el stock y emitiendo notificaciones de compra cuando se requiera. Además, en los equipos de construcción se pueden monitorear las condiciones, controlar situaciones anormales y emitir alertas para mantenimiento.

Los edificios inteligentes se apoyan del IoT, para controlar el aire acondicionado, los sistemas de seguridad o de prevención de incendios, y hasta para gestionar el uso de la luz eléctrica en las áreas donde se requiera, lo cual significa un ahorro significativo en el consumo energético. La recopilación de datos por parte de los sensores se utiliza para establecer patrones y determinar el funcionamiento óptimo del edificio.

En México un edificio inteligente es la Torre BBVA Bancomer que reduce un 40% en consumo energía y en 25% el de agua, en caso de sismos se adapta a los movimientos neutralizando la ocurrencia de daños (Alcántara, C., 2014).

T-Systems asociado a BS2 Sicherheitssysteme empresa alemana, desarrollaron un sistema de alerta temprana que monitoriza la temperatura, humedad y corrosión de puentes, túneles, edificio y otras infraestructuras. El sistema consiste en una implantación de sensores que detectan estas señales de alarma, esto ayuda a minimizar el trabajo y los costos de reparación.

Como se mencionó al inicio de este capítulo BIM es una parte primordial de la construcción 4.0, la integración de BIM e IoT establece una reproducción virtual de proyectos de construcción en la que IoT proporciona información dinámica de personas, instalaciones, activos y estado del área de trabajo, BIM proporciona el marco para la información de IoT, marco donde puede integrarse sistemáticamente y demostrarse espacialmente.

3.3.7 Gemelo Digital bajo la metodología BIM Construcción 4.0

La industria de la construcción genera una gran cantidad de información, y la conectividad a través de internet ofrece la capacidad de recopilación, esto no significa que toda la información sea útil, para esto debe ser precisa, completa, oportuna y compresible para los interesados. Como ya se explicó a grandes rasgos, el uso de BIM nos ayuda en el manejo de datos e información de manera segura y estructurada, construido en un ambiente colaborativo y centrado en el ciclo de vida del proyecto y de la futura obra de infraestructura.

Un gemelo digital es una réplica dinámica y actualizada en tiempo real de un activo físico, que reúne datos de diseño, construcción y de operación. Con la adición de datos de operación en tiempo real, los gemelos digitales adquieren la conciencia conductual necesaria para simular, predecir y tomar decisiones basadas en condiciones reales.

Los gemelos digitales permiten a la Construcción 4.0 alcanzar su meta de integración de los sistemas y datos en todas las fases del proyecto, BIM es el camino mas eficiente y preciso hacia la creación de un gemelo digital de alto valor.

Un gemelo digital incluye los activos de ingeniería (representación tridimensional), levantamientos de información (sensores, drones, nube de puntos) y un análisis de la información (predicciones, registros, etiquetas).

El gemelo digital supone un cambio de pensamiento, comenzamos a diseñar pensando en la operación, mantenimiento, auditoría del activo.

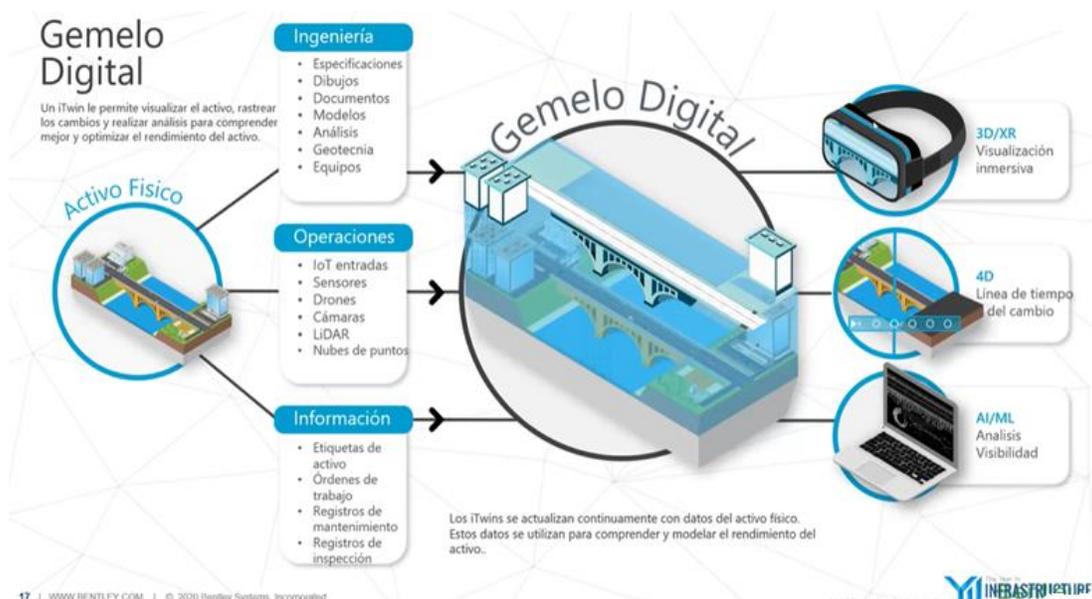


Figura 50. Gemelo Digital
Fuente: Bentley Systems, 2020

Los principios Gemini publicados por el Center for Digital Built Britain en 2018 proponen principios para la estandarización de conceptos utilizados en el desarrollo de la tecnología de gemelo digital. Estos principios son la conciencia del marco de gestión de la información y el gemelo digital. para garantizar que estas dos iniciativas sean, y sigan siendo, para el bien público, necesitan sólidos valores fundamentales que las guíen.

Incluyen 9 principios agrupados en 3 ejes:

- Propósito: Bien público, creación de valor, visión
- Confianza: seguridad, apertura, calidad.
- Función: federación, curación, evolución,

Los Principios de Gemini



Figura 51. Los Principios de Gemini
Fuente: *The Gemini Principles de cdbb, 2018*

El proceso de trabajo del gemelo digital requiere integrarse a diversas tecnologías en cada una de sus etapas:

- **Planeación**

Los levantamientos topográficos/captura de la realidad se alimentan de múltiples fuentes como drones, cámaras fijas o móviles, la captura de detalles se realizará según lo requerido.

En este apartado también entra el matching learning, que nos permitira identificar objetos que hayan sido capturados, según la información con la que la estemos alimentando. (identificación de grietas)

- **Diseño y Análisis**

La colaboración que supone la metodología BIM, requiere que se involucren activamente las partes interesadas.

Las herramientas de diseño podrán apoyar con el diseño e información de los activos tan a detalle cómo se requiera, y permitirán corregir los errores y discrepancias que surjan entre ingenierías en la elaboración del modelo. También permitirán realizar interacciones de supervisión con los clientes más prácticas y comprensibles.

- **Construcción**

La simulación 4D y realidad aumentada, se presentan como tecnologías que pueden proporcionar grandes ventajas, por ejemplo la de poder suponer el proceso de construcción con el uso de grúas u otras maquinarias y como comenzaran a trabajar suponiendo zonas de riesgo, se puede modelar la logística, colocando el activo en un ambiente virtual con un entorno definido (edificios colindantes, calles), además se puede conocer cómo van a interactuar para maniobra en llegadas de embarques o llegadas de concreto. Se reducen sustancialmente los costos, al suponer eventualidades y evitar contratiempos.

También se puede llevar un control de materiales, estimaciones y nomina, que mostrara donde se está aplicando, que porcentaje del proyecto total se ha utilizado y sobre todo conocer si existe algún sobre costo.

- **Operación y mantenimiento**

El gemelo digital dicta como se está operando el edificio, integrando los diferentes servicios del activo como sistema de calefacción y climatización, sistema de iluminación, consumo energético de diferentes fuentes, control de ascensores, control de acceso y seguridad, entre otros.

Por lo tanto, el gemelo digital tomara las acciones basado en el mejor desempeño.

El edificio con suficiente información puede llegar a predecir qué días se utilizan algunas áreas del activo, así que proporcionara la climatización y luz requerida, coaccionando ahorros energéticos.

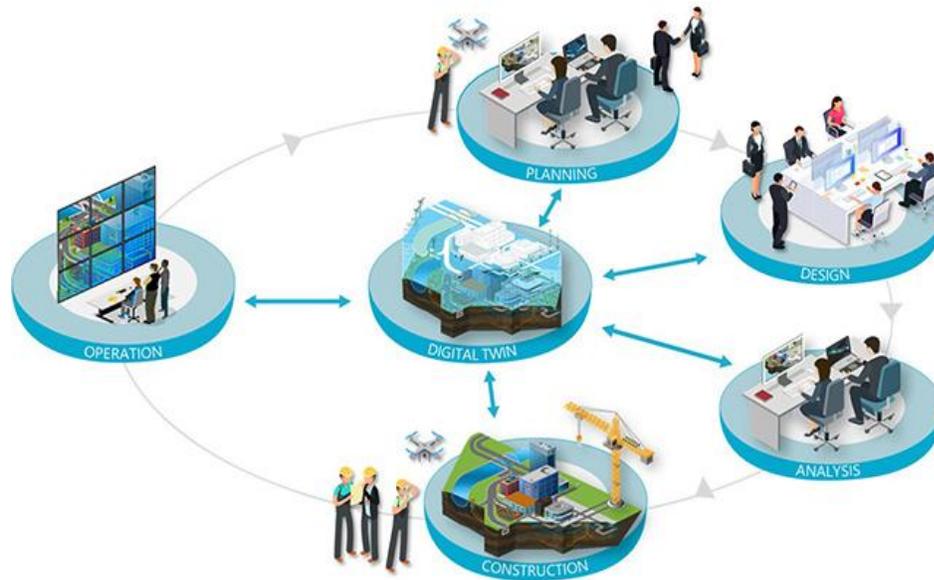


Figura 52. Procesos de trabajo del gemelo digital

Fuente: Imagen tomada de internet, 2020

Existen compañías que ya trabajan en la creación de gemelos digitales como es el caso de Bentley Systems, con su plataforma iTwin, y Autodesk, con Tandem.

Ambas pretenden unificar la información, generar una colaboración y compartir los gemelos ya creados. Las plataformas son abiertas para colaborar integralmente, mediante traductores como IFC y por medio de la nube (donde se unificara la información), con programas de otros fabricantes.

La empresa Ternalia, creó Kubik 4.0 que es un gemelo digital que es alimentado mediante una infraestructura compleja, hipersensibilizada con dispositivos de distintas tecnologías y protocolos de comunicación.

Kubik 4.0 utiliza para su conformación:

- 500 sensores y actuadores
- Simulación de escenarios de entornos
- Noto IoT de interconexión de datos
- Sistemas de monitorización y control de instalaciones

El Kubik permite dar un salto tanto cualitativo como cuantitativo en la gestión y explotación de edificios, permitiendo alcanzar avances muy significativos tanto en eficiencia energética como mantenimiento predictivo.

Nota:

Cabe aclarar que la simple aplicación de estas innovaciones tecnológicas en procesos, maquinaria o metodologías no hará que la industria ahorre en costos y mejore su productividad.

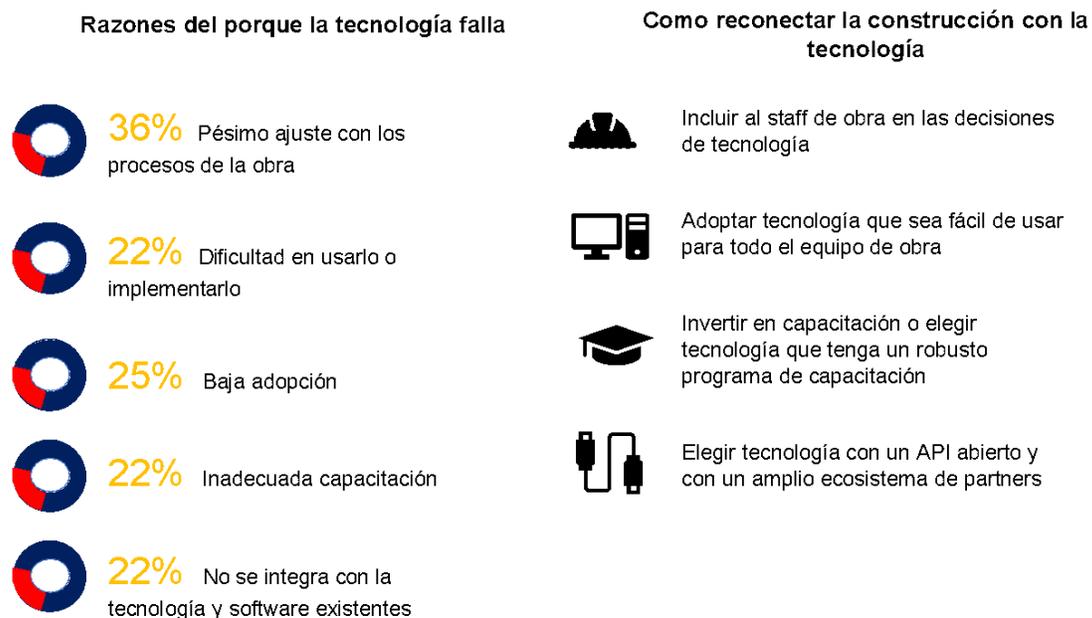


Figura 53. Razones del por qué la tecnología falla
Fuente: Imagen obtenida de internet, 2020

Se puede perder mucho dinero y tiempo en tecnología, especialmente por su uso inadecuado o por la subutilización de las herramientas.

3.4 Educación 4.0

La globalización y la tecnología permitieron borrar las líneas fronterizas y físicas que dividen al mundo, lo que conlleva a cambios en la vida de todos, desde diferentes formas de entretenimiento, de comunicación, llegando a tocar aspectos políticos y sociales. Aunque también es importante destacar que la globalización y la tecnología han arrastrado mayores desigualdades, que continuaran en aumento, por catalizadores como la cuarta revolución industrial, donde según investigaciones de Mckinsey Digital hasta el 60% de las ocupaciones podrían tener al menos un tercio de sus actividades automatizadas, lo que generara que muchos trabajos de hoy desaparezcan, pero a su vez nuevas ocupaciones se creen, un punto importante para esto es la educación que servirá como puente para que los niños y estudiantes de hoy tengan las habilidades de afrontar trabajos del futuro.

La pandemia de Covid -19 que afecta al mundo al momento de escribir este trabajo, acelero estos cambios, dejando al descubierto la carencia educativa en torno a la transformación digital que estamos viviendo.

La educación 4.0 generada por este nuevo entorno de acelerado desarrollo tecnológico, responde a las nuevas necesidades de la industria 4.0, su intención es formar estudiantes con habilidades, herramientas y capacidades suficientes para que logren ser competitivos en un futuro.

El uso de las TIC ha supuesto una mejora en el desempeño de la vida académica, en procesos y desarrollo de tareas, la forma de enseñar y transferir información. Fueron estas tecnologías las que permitieron evadir obstáculos a la impartición de la enseñanza en la pandemia actual, adaptando la forma de evaluar y transmitir la información.

El foro económico mundial ha identificado ocho características críticas para definir la educación 4.0, y promover una actualización de los sistemas educativos en todo el mundo:

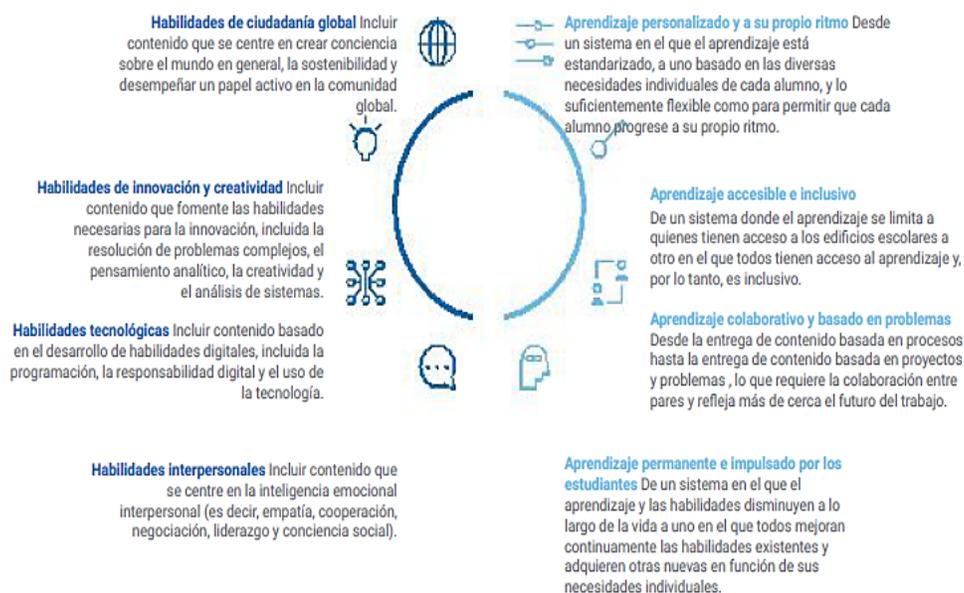


Figura 54. Educación 4.0
Fuente: Educación 4.0 de WEF, 2019

La iniciativa del foro económico tiene como objetivo movilizar a las partes interesadas clave en la transición a la Educación 4.0, mediante la implementación de nuevas políticas educativas nacionales, que incorporen estos cambios en el contenido y las experiencias en los sistemas educativos públicos; apoyar a los maestros en la implementación de esta nueva visión a través de la capacitación y perfeccionamiento; participar en un intercambio continuo de mejores prácticas a nivel mundial entre las escuelas y los sistemas escolares; y la creación de mecanismos para evaluar el progreso en relación con estos objetivos. (WEF_Schools_of_the_Future_Report_2019)

3.4.1 La educación ahora debe ser:

- Educación personalizada a las necesidades y talentos de cada estudiante, como lo es la industria 4.0 con sus clientes, promoviendo y reforzando experiencias positivas para aumentar la confianza en los estudiantes sobre sus propias habilidades.
- Aprendizaje basado en proyectos, donde puedan generar habilidades organizativas, colaborativas y de gestión del tiempo que serán útiles en su vida profesional.
- Aprendizaje practico, se debe promover la colaboración de las escuelas con la industria para aplicar en pasantías, proyectos de tutoría y proyectos de colaboración. El avance tecnológico permite el aprendizaje de diversos dominios y participar con diversas empresas sin la necesidad de una intervención cara a cara todo el tiempo.
- Habilidades de investigación, la búsqueda de información ya no está limitada a las bibliotecas, ni a los libros, pero esto no necesariamente significa que toda la información es útil o valiosa, se debe capacitar al estudiante para que sepa realizar investigaciones en sitios web, y como complemento, se le debe enseñar a excluir información utilizando sus conocimientos teóricos y habilidades de razonamiento. Esto debe promoverse desde los primeros niveles educativos.
- Evaluación, la evaluación con exámenes, adquiriendo información de forma memorizada cambiara, se debe evaluar el conocimiento factico durante el proceso de aprendizaje y las aplicaciones del conocimiento se pueden probar en proyectos en campo.
- Planes de estudio, todas las áreas académicas deben contemplar materias como análisis de datos, ciberseguridad, innovaciones tecnológicas existentes y nuevas, desde lo teórico hasta su aplicación, entre otras cosas importantes, los estudiantes, docentes y las empresas del sector incumbente deben colaborar en su diseño y actualización, lo que ayudara en su constante actualización y utilidad.
- Docentes, la educación se volverá mas autónoma, haciendo a los estudiantes, ases independientes de su propio aprendizaje, lo que obligara a los docentes a asumir el nuevo rol de facilitadores que guiaran a los estudiantes en su proceso de aprendizaje. La educación 4.0 traslada la responsabilidad de aprendizaje a los alumnos.
- Redes sociales, promover su uso, pues ademas de implementarse como medios de comunicación y colaboración rápida, pueden ser utilizados como foros de opinión más objetivos y didácticos, es posible notar que, por ejemplo, plataformas como tik tok han tenido gran éxito por la generación de videos cortos, y pues esta podría ser una forma de capturar la atención de los estudiantes con videos educativos.
- Colaboración internacional, las mentes brillantes deben unirse para impulsar la investigación entre universidades y gobiernos, compartiendo conocimiento y experiencias a través de foros, charlas o cursos.

3.4.2 Innovaciones tecnológicas en educación:



Figura 55. Innovaciones tecnológicas Educación 4.0

Fuente: Elaboración propia a partir de información de diversas publicaciones consultadas

Con estas tecnologías podemos pasar de la teoría a la práctica.

HBX Live es un proyecto de la Universidad de Harvard, donde se puede observar al ponente (investigador, profesor o académico) en medio de una sala rodeado de 60 monitores donde se han conectado los alumnos o interesados en tiempo real, reemplaza el concepto de asistir a las aulas.



Figura 56. Proyecto Harvard HBX Live

Fuente: digitalavmagazine, 2020

Este proyecto cambia la modalidad internacional, que es tan fructuosa para quienes tienen la oportunidad de tomar clases de universidades muy prestigiosas, con este proyecto se abren las puertas a que más estudiantes tengan esta posibilidad.

Las escuelas, universidades y gobiernos deben comenzar a preparar a los futuros ingenieros en nuevas tecnologías, porque ahora se requieren personas que sepan de diseño e impresión 3D, automatización, ciberseguridad, análisis y uso de datos, programación, robótica, mecatrónica, especialistas en Big Data e Internet de las cosas.

La interacción entre las universidades, la industria y la sociedad debe concentrarse en difundir ideas, conocimiento y necesidades que sean requeridas y sustentadas mutuamente.

3.6 Conclusión capitular

Hay diferentes maneras de abordar las innovaciones tecnológicas que afectan a la construcción, por ejemplo, la WFT expone, de manera separada, 10 tendencias tecnológicas, otro punto de vista es el de MGI que conjunta y vincula solo 5 tendencias. Y, por último, otro enfoque diferente considera los pilares de la industria 4.0 para adaptarlos a la construcción, llamándose construcción 4.0, este último es el que se sopesa en la redacción del presente trabajo.

La construcción 4.0 mezcla y hace partícipe a todas las partes interesadas y a los distintos tipos de innovaciones tecnológicas existentes. La consideración que se hace de las cosas, como se puede ver, es en conjunto, con la intención de lograr mejores desempeños.

Las innovaciones que conlleva la construcción 4.0, ya se están empleando en diferentes partes del mundo a diferentes grados, ejemplo de esto es la impresión 3D, que junto con la construcción modular reduce, en gran medida los tiempos de construcción y esto es de gran ayuda en contextos tan críticos, como en que se encuentra la sociedad humana, al momento de escribir este trabajo.

Por otra parte se mencionan algunas propuestas diferentes, planteadas desde el punto de vista de la educación 4.0 y de la necesidad del uso de herramientas de comunicación, estas propuestas, sin embargo, requieren de una planeación estructurada para su aplicación, y para el aprovechamiento de sus ventajas.

4. Conocer y Afrontar la disrupción

4.1 Disrupción

Podemos comenzar este último capítulo definiendo que es disrupción: Esta se entiende como un cambio radical en una industria o modelo de negocio, a partir del surgimiento de un producto o servicio. En este trabajo nos enfocamos en las disrupciones que ocasiona la tecnología.

En términos de Clayton M. Christensen, en su libro “El dilema de los innovadores”, la disrupción surge a partir de un nuevo producto o servicio que crea un nuevo mercado y eventualmente desplaza a firmas líderes de un determinado sector. Este producto no necesariamente debe estar muy asociado con la industria a la que afectará, y también suele ser más económico que los productos existentes, aunque en inicio, para los grandes líderes del mercado, genera márgenes brutos muy bajos, los mercados objetivos son pequeños y se presentan soluciones más simples que pueden no parecer tan atractivas como las existentes, estos factores pueden provocar que los productos, que generan disrupción, puedan parecer poco atractivos para los principales líderes de la industria.

En su libro Clayton M. nos menciona algunos ejemplos claros y que han afectado a diferentes industrias. A continuación, se muestra una tabla general de esto:

Figura 3. Disruptores que interrumpieron un mercado

Disruptor	Interrumpido
Computadoras personales	Computadoras centrales y mini
Mini molinos	Acerías integradas
Teléfonos celulares	Telefonía de línea fija
Colegios comunitarios	Universidades de cuatro años
Minoristas de descuento	Grandes almacenes de servicio completo
Clínicas médicas minoristas	Consultorios médicos tradicionales

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de libro “El dilema de los innovadores” de Clayton M., 2020

Actualmente han surgido empresas que han cambiado radicalmente los modelos de negocio que estuvieron establecidos por muchos años y que han desbancado a empresas que, por mucho tiempo, fueron líderes en su sector. Esto gracias a la apertura y expansión del mercado que permite internet. En el primer capítulo se

muestro el ejemplo claro de Netflix, la cual es una empresa que corresponde al tipo de las denominadas como “inmateriales”, su modelo de negocio se conoce como “compartido”, pues estas empresas permiten conectar a usuarios que desean ofrecer un servicio/producto (“vendedores”), con usuarios que aprovecharán estos servicios/productos (“clientes”). El nombre “compartido” sugiere que los “vendedores”, no venden un producto, sino que tienen un bien que no utilizan, y lo comparten con otros usuarios, pero es obvio que esto no es gratis.



Instagram:
La compañía
fotografía
mas valiosa no
vende cámaras



Uber:
La compañía de
taxis mas grande
del mundo no
posee vehículos



Airbnb:
La compañía
de alojamiento
mas grande no
posee terrenos



Facebook:
El mas grande
influenciador
mediático no
crea contenido



Netflix:
La red televisiva
de más alto
crecimiento no
utiliza cables



Alibaba:
El vendedor
por mayoreo
más valioso no
tiene inventario

Figura 57. Empresas inmateriales

Fuente: Imagen obtenida de la presentación de Mauricio Jesserum, de presentación de German Escorcía en evento de Amcham y México Exponencial

Estos nuevos modelos de negocio han cambiado toda nuestra vida, desde el cómo nos entretenemos, hasta la manera en cómo hacemos las compras y también han generado nuevos “empleos”, como el que “realizan” los así llamados “Creadores de contenido”, de las redes sociales, donde por tener un determinado número de “seguidores”, puedes monetizar tu perfil a partir de publicidad.

O los repartidores, donde cualquier persona que lo desee se puede inscribir en la plataforma y realizar los envíos de restaurantes a sus clientes por medio de una bicicleta o a pie.

Es importante destacar que estos nuevos trabajos, que se supone hacen más “libres” a las personas, puesto que además de permitirles que “controlen” sus horarios, les permiten “regular” la intensidad de su trabajo, sin embargo, las dejan por su cuenta en cuestiones como la salud y el acceso a la seguridad social.

Alec Ross, menciona en su libro "The industries of the future", que a principios del siglo XX su ciudad natal Charleston, en Virginia, experimentó el auge de los productos químicos, esto ya que Estados Unidos se adentraba participando en la segunda guerra mundial y requería cantidades masivas de caucho sintético. Durante esa época el empleo floreció, las familias llegaron a tener tan buenos ingresos que sus hijos a menudo iban a las mejores universidades del país, en esa época las profesiones más confiables y estables se relacionaban con la fabricación de productos químicos.

Cuando la guerra terminó, las plantas químicas comenzaron a irse en declive, por otro lado, en la misma ciudad, la industria minera se comenzó a mecanizar, eliminando la necesidad de extracción manual. En ese momento los mineros, en lugar de recoger y paliar, operaban máquinas que sustituyen el trabajo que realizaban cientos de humanos.

Pero la ciudad de Charleston asumía cambios adicionales, como el que representaba el proceso de globalización, el cual provocó que industrias, como la química, mudaron sus plantas a países con mano de obra más barata como México.

La globalización desató olas de cambios, provocando que las personas que se dedicaban a las actividades relacionadas con la industria minera y química, tuvieran que buscar nuevos empleos, como se menciona en el capítulo dos, que trata de la evolución de la industria.

Los mineros vieron modificados sus empleos con la entrada de la mecanización, y entonces buscaron refugiarse en industrias como la automotriz, sin embargo, al poco tiempo, en esta industria se desarrolló, la denominada línea de ensamble, que permitió realizar el mismo trabajo, pero utilizando menos mano de obra, varios años después de esto, en esta misma industria se automatizaron los procesos, por medio de las tecnologías de la información y la electrónica, lo cual redujo, aún más, los puestos de trabajo. Ahora, ¿en dónde podrían buscar refugio estas personas? Pues en el mercado de servicios, trabajando como taxistas, meseros, cajeros o albañiles, sin embargo hoy corren un riesgo predecible con la llegada de productos inteligentes, como autos autónomos, servicios a domicilio por medio de drones o uso de robots de servicios y plataformas que implementan Big data e inteligencia artificial.

Las personas que hoy en día realizan tareas repetitivas, complicadas o pesadas, serán reemplazadas, en sus actividades, por robots. Ahora las personas se dedicarán a trabajos más complejos mentalmente, y se apoyarán de sus contrapartes robots para hacer su labor más fácil.

Según investigaciones de Mckinsey Digital, hasta el 60% de las ocupaciones podrían tener al menos un tercio de sus actividades automatizadas, lo que generará que muchos trabajos de hoy desaparezcan, pero que a su vez nuevas ocupaciones se creen. Un punto importante en este sentido es la educación, que servirá como puente para que los niños y estudiantes de hoy tengan las habilidades para afrontar los trabajos del futuro.

Con la tecnología actual se podría reemplazar el 45% de las actividades dentro de un empleo. Además de esto, hay que mencionar que 5% de los empleos en total, podrían ser reemplazados en un 100%. Ahora los productos con mayor valor son los datos.

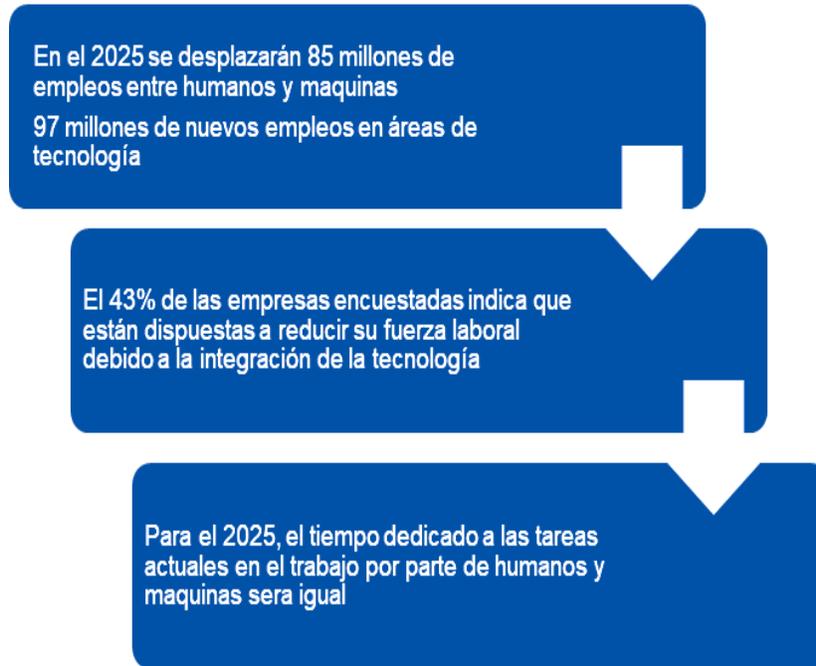


Figura 58. Porcentajes de empleos desplazados

Fuentes: Elaboración propia a partir de *Reinventing construction: a route to higher productivity*.
McKinsey Global Instituto, 2017

4.2 ¿La industria de la construcción está lista para la disrupción?

Considero que es difícil dar una respuesta contundente a esta pregunta, es un hecho que se debe comenzar a incorporar tecnología a los procesos y actividades de esta industria, pero aún falta afrontar muchas otras limitantes que son externas al sector, como son los gobiernos, las regulaciones existentes, los contratos desalineados y los pocos o nulos incentivos (subsidios) por parte del gobierno.

Por otro lado, los tomadores de decisiones en las empresas, en este sector, de manera habitual, se resisten a un cambio y niegan que estos puedan traer, en general, algún beneficio significativo para su sector. Peor aún, se desentienden del riesgo que puede significar para su nivel de productividad y de competencia, el que no implementen, de manera continua, nuevas innovaciones tecnológicas en sus procesos de producción, creen que la manera de trabajar, que han mantenido durante muchos años, funciona y seguirá funcionando, y temen adentrarse a algo desconocido. Ya decía Henry C. Lucas, “los buenos gerentes no tienen permitido equivocarse”.

Otros interesados son los ingenieros y proyectistas, los cuales padecen del mismo desinterés, con respecto renovar sus formas de trabajo, una forma, en la que estos podrían comenzar a asimilar las nuevas tecnologías sería el que buscarán formas más creativas e innovadoras de realizar su trabajo, lo cual implicaría que se capacitaran, con el objetivo de adquirir nuevas habilidades.

Por último, podría mencionar a los clientes, que, al no ser tan partícipes de los proyectos que ellos mismo financian y solicitan, tienden a ser intransigentes, con respecto a si en sus proyectos se utilizan nuevas, y más eficientes, herramientas tecnológicas, o no, desconocen las ventajas que les podrían brindar, por tal motivo, no creen que es justificable el gasto que se requiere.

Todo lo mencionado anteriormente está relacionado también con la educación, en el sentido de que, puesto que si la industria no desarrolla nuevos requerimientos para sus actividades, las universidades no tendrán una referencia para cambiar sus planes de estudio y así capacitar y proporcionar nuevas habilidades a sus estudiantes, no podrán formar a nuevos profesionistas, competentes en la industria nacional e internacional.

Para que la industria esté en sincronía con las disrupciones que ya existen, en nuestro país y en otras naciones, y, en lugares específicos, es necesario que todas las partes interesadas trabajen en conjunto, de lo contrario la situación de nuestro sector continuará, como lo ha hecho por años, en una constante obsolescencia, con respecto los procesos y técnicas que utiliza, para cumplir con sus objetivos como disciplina. Y entonces, si las empresas que sepan asimilar las ventajas de las, en un futuro, constantes disrupciones tecnológicas son pocas, estas mismas empresas no verán beneficios lo suficientemente significativos para continuar.

En el caso específico de México, la reforma a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, en donde se añade el artículo 10bis, pretende

incentivar la implementación de BIM en la implementación de los proyectos públicos, como se estaba realizando en el extinto “Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México”, y ahora en el proyecto del “Tren Maya”. Se pretende que los proyectos públicos sirvan para catalizar y normalizar el uso de BIM a nivel nacional (en proyectos públicos y privados) y así se puedan realizar adecuadamente a través de estándares, buscando la mejora del sector.

Considero que en México se requiere un cambio de pensamiento, dentro de los círculos de toma de decisión de nuestro sector, y, en particular, en cada uno de los demás individuos involucrados directa e indirectamente. Creo que la promulgación y aplicación de la mencionada reforma al artículo 10 Bis, es solo el comienzo, ya que aún existen muchos problemas por subsanar, estos problemas muestran sus consecuencias en, por ejemplo: la regulación excesiva, que lleva a muchos involucrados a adentrarse realizar malas prácticas, como la corrupción, el otorgamiento de proyectos por asignación directa, que pone a merced de intereses particulares el presupuesto y proyectos públicos o el requerimiento de que los proyectos se ajusten al tiempo en el que un gobierno, en turno, estará en el cargo, lo cual provoca su falta de continuidad, y deficiencia de calidad.

4.3 ¿Qué hacer para la adopción de tecnologías disruptivas en México?

La propuesta de este trabajo se centra en lo que deben cumplir los roles de tres actores principales, los cuales necesariamente deben colaborar, para que la transición del sector sea exitosa y lo menos turbulenta posible, esto considerando que, según lo planteado anteriormente, no debería haber manera de negarse a los cambios que ya se afrontan.

A continuación, se enlista a los actores y las respectivas propuestas. Toda la información que se desarrolla aquí se hace considerando los puntos de vista y propuestas de grandes organismos, instituciones y expertos que expusieron sus ideas en reconocidos foros:

Empresa

- Formar “academias internas” dentro de las empresas, conformadas por los trabajadores veteranos y con más experiencia, estos veteranos se dedicarán a: entrenar a gerentes y trabajadores jóvenes, a actualizar manuales y a apoyar a estudiantes que realicen sus prácticas profesionales.
- Fomentar los sistemas de producción en masa con modularizaciones y estandarizaciones, buscando impulsar la productividad en órdenes de magnitud, a través de la automatización.
- Mejorar la gestión de la cadena de suministro y la de las adquisiciones digitalizándolas.
- Crear un área de innovación tecnológica, con un director de tecnología o un director de innovación, quien tenga por objetivo buscar las tendencias tecnológicas existentes, que podrían afectar a la empresa, este revisará y valorará el nivel de afectación y la factibilidad, así como el proceso de adquisición.
- Aplicar el uso obligatorio de BIM en toda la empresa, fomentando la colaboración entre las áreas y así reduciendo las interferencias entre ingenierías.
- Asociarse o adquirir con otras organizaciones para lograr una rápida adopción tecnológica, sin tener que afrontar una curva de aprendizaje que podrían volverse desafiante.
- Capacitar constantemente al personal para mantener actualizado el “Know How” en la empresa, buscando mejorar las prácticas constantemente y también así evitar la fuga de cerebros de la organización.
- Fomentar la colaboración entre empresas (compartir información), ayudará a mejorar la inteligencia artificial y otras tecnologías, siempre cuidando la propiedad intelectual.
- Buscar la transparencia y reparto de riesgos en los contratos a partir de un control digital por medio de Block Chain (contratos inteligentes)
- Generar un área enfocada en supervisar y alimentar la presencia en redes sociales. El marketing ahora se encuentra en las redes sociales (videos, blogs,

post, etc), puesto que es una de las maneras más rápidas de llegar a posibles clientes.

Gobierno

- Reformar la regulación y aumentar la transparencia. Esto se puede lograr obligando a las empresas privadas y públicas al uso de cierta tecnología (por ejemplo, BIM en todos los proyectos del sector público), a través del establecimiento de contratos y de la digitalización de toda la información de las secretarías públicas, teniendo información en la nube y manteniendo una recopilación y análisis, constantes, de información por medio de Big data, como, por ejemplo, referente a los usos de suelo.
- Optimizar los procesos de solicitud y autorización de permisos, mediante la digitalización.
- Introducir incentivos financieros para que las empresas participen en inversiones sostenibles e inclusivas, las cuales les permitan y las motivan a adquirir tecnología.
- Apoyo a las empresas que capaciten y certifiquen a sus empleados, buscando de manera indirecta apoyar a los trabajadores para adquirir habilidades necesarias para afrontar las necesidades del mercado.
- Ampliar programas de capacitación, actualización y certificaciones internacionales, de manera directa para apoyar a los trabajadores.
- Ampliar la inversión pública en investigación y desarrollo (I + D), desde centros educativos y desde el sector privado, a través del otorgamiento de créditos fiscales, buscando la colaboración y la difusión de la información y de las investigaciones, todo esto respetando las respectivas restricciones de propiedad intelectual.
- Replantear las leyes laborales y la protección social para la nueva economía y las nuevas necesidades de la fuerza laboral.

Educación

- Fortalecer la educación técnica, para enfrentar la demanda de capital humano altamente especializado.
- Integrar en los planes de estudio certificaciones de habilidades, que formen estudiantes más competentes para el mercado laboral.
- Promover la transparencia con respecto a la información de las estadísticas de egresados, para aumentar la capacidad de toma de decisiones de los nuevos estudiantes.
- Involucrar a la industria activamente, en la formación de capital humano, a través de becas y pasantías.
- Colaboración entre estudiantes, docentes y empresas, para la elaboración y modificación de los planes de estudio que se requerirán para las nuevas necesidades laborales.

Empresa

- Formar Academias interna, donde los trabajadores veteranos con mas experiencia entrenen a gerentes y trabajadores mas jóvenes.
- Fomentando los sistemas de producción en masa con modularizaciones
- Mejorar la gestión de la cadena de suministro y las adquisiciones digitalizándola
- Crear un área de innovación tecnológica con un director de tecnología o un director de innovación
- Aplicar el uso obligatorio de BIM en toda la empresa
- Asociarse con otras organizaciones permite una rápida adopción tecnológica
- Recapacitar al personal para estar en constante actualización.
- Colaboración entre empresas (compartir información), ayudara a mejorar la inteligencia artificial
- Transparencia y reparto de riesgos en los contratos (Control digital)
- El marketing ahora se encuentra en las redes sociales

Gobierno

- Reformar la regulación y aumentar la transparencia
- Uso obligatorio de tecnología (por ejemplo, BIM en todos los proyectos del sector público)
- Optimizar los procesos de permisos y aprobaciones, mediante la digitalización
- Introducir incentivos financieros para que las empresas participen en inversiones sostenibles e inclusivas
- Apoyo a las empresas que capaciten y certifiquen a sus empleados
- Ampliar programas de capacitación, actualización y certificaciones internacionales
- Ampliar la inversión pública en investigación y desarrollo (I + D)
- Repensar las leyes laborales y la protección social para la nueva economía y las nuevas necesidades de la fuerza laboral

Educación

- Fortalecer la educación técnica, para enfrentar la demanda de capital humano altamente especializado
- Integrar en los planes de estudio certificaciones de habilidades que formen estudiantes mas competitivos para el mercado laboral
- Transparencia en estadísticas de egresados, para aumentar la capacidad de toma de decisiones en los nuevos estudiantes
- Involucrar a la industria activamente a través de becas y pasantías
- Colaboración entre estudiantes, docentes y empresas para elaboraciones de plan de estudios que se requerirán para la nuevas necesidades laborales

Figura 59. Propuestas para la adopción tecnológica

Fuente: Elaboración propia a partir de información de diversas publicaciones consultadas

4.4 Obtener ventaja ante la disruptividad tecnológica

Existen empresas a las que se les considera líderes en sus respectivos sectores, dentro de la industria, puesto que su desarrollo y crecimiento, con base en el uso de tecnología moderna, del aprovechamiento de los avances en conectividad, en automatización de procesos y de las ventajas del uso de la inteligencia artificial, es acelerado. Mckinsey & Company denomina a estas empresas con el nombre de "lighthouse" (faros), y afirma que serán y son ellas las que determinan las reglas y las tendencias en sus respectivas industrias.

Henry C. Lucas afirma, por medio de ejemplos, que las empresas que logran posicionarse como líderes de sus respectivos sectores, son aquellas que toman la decisión de implementar intensivamente el uso de tecnología, porque esto les permite establecer nuevos y exitosos modelos de negocio, e, incluso, generar nuevas necesidades para los usuarios.

Son claros los beneficios que se obtienen, para un sector, como el de la construcción, con prácticas tan arraigadas, es difícil entender estos beneficios. En el capítulo anterior se muestran datos sobre la forma en que ocurre una mejora en el nivel de productividad, esto cuando se realiza la implementación de esas tecnologías, Mckinsey dice que estas mejoras pueden desde un 14 hasta un 15 por ciento y los ahorros en los costos pueden ser de entre 4 a un 6 por ciento.

Adicionalmente, muchos autores concuerdan en que las primeras empresas en reaccionar y actuar cuando se presenta un cambio tecnológico, tienen más posibilidades de convertirse en líderes del mercado, las empresas que innovan podrán generar nuevos mercados, pero las organizaciones que niegan estos cambios están destinadas a desaparecer.

Hoy en día los proyectos son más grandes y complejos en todo el mundo, lo cual significa un mayor número de riesgos. La aplicación de soluciones relacionadas con el uso de tecnología innovadora, podrían reducir las incertidumbres.

3D	Prefabricado	Robotica	Escaneres	UAV	VR,AR y MR	Block Chain	Big Data	Cloud	IoT	BIM	Construcción 4.0	
Impresión en obra	Reduccion en plazos de ejecución	Robotización de operaciones	Generación de nube de puntos	Levantamiento topográfico	Toma de decisiones en tiempo real (control de calidad de obra, replanteos, etc.) Modelos predictivos						Optimización de procesos: maquinaria, mano de obra, materiales...	Mejora de Productividad
Reduccion en uso de materiales	Reduccion en uso de materiales	Automatizar operaciones sencillas		Supervision de actividades en la obra	Simulación de procesos de construcción	Gestión de la información	Mantenimiento predictivo: sensorización, parametros clave, patrones de falla			Reduccion de paradas: adelanto a fallas, alargar vida de equipos		
Herramientas para mejorar el desempeño de los trabajadores: Gafas AR para ejecución de obra, formación inmersiva, maquinaria y equipos auxiliares, información en tiempo real para toma de decisiones, compartición de información.						Consenso de responsabilidades con contratos inteligentes	Predicción de accidentes	Control y coordinación de información del proyecto		Mejorar el desempeño: proveedores, trabajadores		
Ahorros en uso de mano de obra		Robotización de tareas peligrosas			Mejoramiento en creación de diseños arquitectónicos		Mejora de eficiencia de procesos: diseño de proyectos, presupuestos, cronogramas, selección de materiales			Minización de errores		
					Mejora en venta de inmuebles		Selección de proveedores y trabajadores	Teleoperación de tareas peligrosas	Reduccion en reelaboración y errores en proyecto	Reduccion de consumos: materiales, combustible, energía	Reduccion del impacto ambiental	
							Gestión de riesgos			Reaprovechamiento: reciclaje de energía y materiales		
							Datos para mejora de inteligencia Artificial		Colaboración y comunicación	Reduccion de riesgos y minimización de la exposición de los trabajadores en zonas de peligro	Mejora de ambiente laboral	
	Reducir el cronograma entre un 20%-50% y en costos de construcción en un 20%. (McKinsey Global Institute)								Reduccion de costos 33% Reduccion de plazos 50% Aumento de productividad 20%. (Construction 2025 en Reino Unido)	Porcentajes de reducciones y mejoras que apoyan a la productividad	Mejora de productividad	

Figura 60. Tecnologías de la Construcción 4.0

Fuente: Elaboración propia a partir de información de diversas publicaciones consultadas

En la encuesta realizada por KPMG, titulada “Construyendo tecnología”, y aplicada a 200 directivos del mundo, de los cuales 19 de ellos trabajan en México, se expone que menos del 20 por ciento de los directivos está cambiando de manera profunda su modelo de negocio. El 26 por ciento de los entrevistados a nivel global y el 33 por ciento en México, cuentan con la capacidad de obtener información fácilmente de sus propios proyectos, a través de una infraestructura automatizada de software y hardware, sin embargo poco menos de un 20 por ciento tiene un sistema de gestión de proyectos a todo lo largo de su organización.

4.5 Consecuencias

Este apartado surge por recomendación de mis profesores, que me hicieron ver un punto que en este trabajo no se ha tocado con mayor profundidad, considero que es importante abordarlo y que podría volverse una línea de investigación más profunda.

Se han mencionado cualitativa y cuantitativamente las ventajas de la adopción de las innovaciones tecnológicas, de su aplicación, y a grandes rasgos, como de manera general, comenzar a adentrarse en la tarea que representa su implementación industrial. Pero no se ha hablado acerca de cómo esta podría afectar, a nivel humano, a los trabajadores de este sector, superficialmente podríamos hablar de la problemática que podría representar para una persona, el que consiga o no accesos a los recursos educativos necesarios, para que ella pueda obtener habilidades indispensables para desempeñarse dignamente en esta nueva sociedad de "innovaciones tecnológicas" y también podríamos hablar sobre los millones de trabajadores que, en un futuro, terminarán en el desempleo, debido a que ya no serán requeridos, puesto que serán reemplazados, en sus actividades, por máquinas.

Alec Ross en su libro "The industries of the future", nos habla de cambios tecnológicos que ya están impactando, laboralmente, en la actualidad, a varios sectores, como el de la medicina, la agricultura y el del comercio, entre otros. Explica en su obra como varios trabajadores están siendo reemplazados puesto que los nuevos procesos automatizados, son más eficientes y generan mayor plusvalía para los dueños del capital. Estas tendencias afectan, además, a los patrones económicos, políticos y sociales.

El mismo autor, Alec Ross, menciona como ejemplo claro a la compañía, de origen taiwanés, Foxconn, que fabrica el iPhone y otros dispositivos, de marcas reconocidas, como Microsoft y Samsung. Su complejo de fábricas más grande se encuentra ubicado cerca de Hong Kong, en donde emplea a un millón de trabajadores. La empresa tomó la decisión de comprar un millón de robots, con el propósito de que trabajaran en conjunto con sus contrapartes humanas y así evitar la contratación de más trabajadores humanos, terminando así la creación de empleos en sus fábricas.

Estos robots están programados para realizar trabajos rutinarios como pintura, soldadura, ensamblaje básico. El presidente de Foxconn, Terry Gou, pretende tener la primera planta totalmente automatizada, en sus propias palabras: "Cómo los seres humanos también son animales, manejar un millón de animales me da dolor de cabeza". Los robots no realizan huelgas, no exigen prestaciones, ni aumentos salariales, los robots no se cansan, no se enferman, solo requieren gastos de operativos menores e iniciales. Los robots no reciben salarios.

Pero esto no es caso aislado, muchos trabajadores serán desplazados, los taxistas o conductores de Uber, que conocemos hoy, serán sustituidos por autos autónomos, el trabajo de los repartidores será reemplazado con el uso de drones, la IA podría sustituir parte de los trabajos de abogados y periodistas, los

teleoperadores o asistentes de servicio ya se han visto afectados por la implementación de “chatbots”, los albañiles perderán materia de trabajo por el uso de robots que colocan ladrillos, para una construcción, en menos de un día, los operadores de maquinaria pesada se verán afectados, puesto que mucha de la maquinaria será controlada por medio del internet de las cosas, entre muchas otras afectaciones que recibirá la clase trabajadora, esa que solo depende de su propia fuerza de trabajo para sobrevivir, a nivel mundial.

Los gobiernos en todo el mundo deben estar a la expectativa de estos cambios y generar soluciones en conjunto, para evitar el desamparo de miles de millones de trabajadores, una posible, y quizá, lejana solución (puesto que se tendría que cambiar el modo de producción), podría ser el otorgamiento de un salario universal.

Por otro lado, un artículo de la BBC, titulado “Los nativos digitales son los primeros niños con un coeficiente intelectual más bajo que sus padres”, hace referencia a las investigaciones del neurocientífico Michel Desmurger, director del INS de Francia, en estas investigaciones, explica el reportero de la BBC, Desmurger describe cómo es que la exposición y el uso de manera temprana y prolongada de pantallas por parte de los niños, ha generado una reducción en el coeficiente intelectual de los mismos. La idea común, acerca de que estas nuevas generaciones son “conocedores” del desarrollo y uso de las nuevas tecnologías, puesto que “nacieron y crecieron con ellas”, él la refuta tajantemente, demostrando que la exposición a estos dispositivos no los hace buenos con las computadoras.

Desmurger cree que no se debería prohibir el uso, sino que se deberían enfocar a los estudiantes ha adquirir habilidades y herramientas informáticas relevantes, con proyectos educativos estructurados que promuevan la transmisión eficaz.

Y, por último, Desmurger asegura, pesimistamente, que el futuro se parecerá a la trama del libro “Un mundo feliz”, existirán, como en el libro, los Alpha, que asistirán a escuelas privadas con maestros humanos “verdaderos” y los Gamma que se “educarán” en escuelas públicas virtuales, con apoyo humano limitado, en donde se les “enseñarán” las habilidades básicas de nivel técnico medio o bajo requeridas por la “creciente industria”.

“Un mundo en el que, a través del acceso constante y debilitante al entretenimiento, aprenderán a amar su servidumbre.”

*Irene Hernández Velasco
Especial para BBC News Mundo
28 octubre 2020*

4.6 Conclusión Capitular

La situación en la industria de la construcción ha sido precaria, en cuanto a la implementación de nuevos avances tecnológicos, por varios años, lo que, necesariamente ha resultado en una productividad insuficiente y una pobre gestión de sus actividades. Esto ha generado errores costosos por años.

Pero como lo ha demostrado, la experiencia en otras industrias, todo lo anterior puede cambiar, con una adopción adecuada de la tecnología y con la participación colaborativa de todas las partes interesadas.

México está muy a la zaga en el desarrollo de su industria de la construcción, a diferencia de otras naciones. Pensar en que es posible continuar trabajando de la manera en cómo lo hemos hecho o creer que los cambios que se avecinan no nos afectarán sería un error catastrófico.

Si los actores que participan en la industria de la construcción no asimilan las ventajas que le ofrece la industrialización 4.0, evidentemente el avance tecnológico hará que la creación de infraestructura relativamente sea menor.

La digitalización nos permite generar más con la misma cantidad de recursos que poseemos. Se requiere el diseño de una política pública para este fin.

Sería interesante lanzar pruebas por medio de proyectos piloto, desde la iniciativa pública, para observar qué modificaciones regulatorias necesita nuestro país en este aspecto.

Y con respecto a la educación, se podrían lanzar programas enfocados en capacitar a “los ingenieros y arquitectos del futuro”, ayudándose de la experiencia de otros países conocidos por implementar modelos de educación exitosos, como en es el caso de España.

Anexo 1. Bibliografía

- Oficina de Estadística de las Comunidades Europeas (EUROSTAT) y Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), (2005). *Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*, tercera edición, grupo Tragsa, ISBN 84611-2781-1, pp. 56. [Recuperado el 23 de enero de 2020].
- Bolter David. (1999). *El lenguaje electrónico*. México, primera edición, Fondo 2000 cultura para todos. ISBN 968-16-5788-8. [Recuperado el 23 de enero de 2020].
- Henry C. Lucas Jr., (2012). *The Search for Survival: Lessons from Disruptive Technologies* (Illustrated ed.). Editorial Praeger. ISBN 978-1-4408-0277-5. [Recuperado el 23 de enero de 2020].
- Alec Ross. (2016). *The industries of the future*. Editorial Simonand Schuster paperbacks. ISB 978-1-4767-5366-9. [Recuperado el 23 de enero de 2020].
- Clayton M. Christensen., (1997). *The innovator dilema*. Editorial Granica. ISBN 978-950-641-293-7. [Recuperado el 23 de enero de 2020].
- World Economic Forum. (2018, febrero). *An Action Plan to solve the Industry's Talent Gap*. [Web site] Committed to improving the state of the word en colaboración con The Boston Consulting Group.
- Fuchs, S., Nowicke, J., & Strube, G. (2017). *Navigating the digital future: the disruption of capital projects*. [online] McKinsey & Company.
- Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M. J., Sridhar, M., Parsons, M., Bertram, N., & Brown, S. (2020, 20 octubre). *Reinventing construction through a productivity revolution*. McKinsey & Company, Operations. Recuperado de: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution> [Recuperado el 03 de marzo de 2020].
- WEF (World Economic Forum). (2018, febrero). *An Action Plan to Accelerate Building Information Modeling (BIM) Adoption*. [Web site] Committed to improving the state of the word en colaboración con The Boston Consulting Group.
- Klinc, R., & Turk, Ž. (2019). *CONSTRUCTION 4.0-DIGITAL TRANSFORMATION OF ONE OF THE OLDEST INDUSTRIES*. *Economic & Business Review*, 21(3). [Recuperado el 03 de marzo de 2020].
- Weforum. (2018). *Future Scenarios and Implications for the Industry*. Committed to improving the state of the word en colaboración con The Boston Consulting Group. World Economic Forum.
- Sawhney, A., Riley, M., & Irizarry, J. (2020). *Construction 4.0: An innovation platform for the built environment*. Routledge. [Recuperado el 03 de marzo de 2020].
- Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G. & Woetzel J. (2019, june). *Modular construction: From projects to products*. Editorial McKinsey & Company. Recuperado de: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/modular%20construction%20from%20projects%20to%20products%20new/modular-construction-from-projects-to-products-full-report-new.pdf> [Recuperado el 03 de marzo de 2020].

Foros

- “La educación superior ante tiempos de cambio: avances hacia la educación 4.0”, Instituto Politecnico Nacional, 2020 (digital)
- Primer Foro de Tecnologías para la Infraestructura, CICM 2020 (digital)

Diplomado

- *Diplomado en BIM 4ºgeneracion, Faculta de ingeniería UNAM, 2020 (digital) con 240 hrs.*

Anexo 2. Índice de figuras

Figura 1. Modelo de supervivencia.....	15
Figura 2. Ventas de Blockbuster.....	18
Figura 3. Modelo de supervivencia de blockbuster	19
Figura 4. Fuente interrumpida o disruptor. ¿Cuál vas a ser?.....	22
Figura 5. Línea del tiempo en blockbuster contra Netflix.....	23
Figura 6. Lo que molesta y emociona a los clientes	24
Figura 8. Adquisición de cámaras digitales contra cámaras analógicas	28
Figura 9. Ventas netas de Kodak y número de empleados.	29
Figura 10. Modelo de supervivencia de blockbuster	30
Figura 11. Ventas de Fujifilm.....	32
Figura 12. Portafolio de la compañía de Fujifilm	33
Figura 13. Los teléfonos inteligentes causan auge de la fotografía	34
Figura 14. Gráfica comparativa de venta de cámaras contra la llegada de los teléfonos inteligentes	35
Figura15. Modelo de supervivencia Henry C. Lucas	36
Figura 16. Gráfica comparativa de venta de cámaras contra la llegada de los teléfonos inteligentes	39
Figura17. Porcentaje PIB mundial que aporta la industria de la construcción	41
Figura18. A nivel mundial, el crecimiento de la productividad laboral está por detrás del de la manufactura y la economía total.....	42
Figura19. Porcentaje PIB mundial que aporta la industria de la construcción	43
Figura20. Participación % en el PIB Total 2018	44
Figura21. Participación % de empleo Total 2018.....	45
Figura22. Porcentaje de inversión en la industria de la construcción 2018 ..	45
Figura23. Deficiencias de proyectos	47
Figura24. Proyectos de sexenio (2012-2018)	48
Figura25. Tres tipos de fragmentación en la industria de la construcción....	49
Figura26. Diez causas fundamentales de la baja productividad en la construcción.....	50
Figura27. Diez causas fundamentales de la baja productividad en la construcción.....	52

Figura28. Siete áreas para aumentar la productividad económica en la construcción.....	53
Figura29. La industria de la construcción se encuentra entre las menos digitalizadas.....	55
Figura30. Diez causas fundamentales de la baja productividad en la construcción.....	56
Figura31. Las empresas de todos los sectores industriales esperan importantes reducciones de costes	57
Figura32. División de la industria de las empresas encuestadas.....	58
Figura33. Las 15 ocupaciones alrededor de la construcción-infraestructura que requieren mayor conocimiento multidimensional	59
Figura34. Barreras de la transformación digital	60
Figura35. Adquisición tecnológica	61
Figura36. Evolución de la industria de la construcción.....	63
Figura37. Evolución de la industria manufacturera	63
Figura 38. La diferencia entre la tercera y la cuarta ola de la revolución industrial	64
Figura 39. Niveles de sistemas ciber físicos.....	65
Figura 40. Flujo de información en proceso BIM.....	68
Figura 41. Las siete dimensiones de BIM.....	69
Figura 42. Comparación de uso y cambio de orden de BIM.....	70
Figura 43. BIM a nivel internacional	71
Figura 44. Gestión de ciclo de vida del proyecto	71
Figura 45. Ambiente de compartición de datos.....	76
Figura 46. Ejemplificación de acuerdos con Block Chain	79
Figura 47. Digitalización de nubes de puntos BIM.....	81
Figura 48. Múltiples aplicaciones de la robótica en la construcción.....	83
Figura 49. Las oportunidades que presenta FA para la industria de la construcción.....	85
Figura 50. Gemelo Digital	91
Figura 51. Los Principios de Gemini	92
Figura 52. Procesos de trabajo del gemelo digital	94
Figura 53. Precios de construir una casa prefabricada	95
Figura 54. Precios de construir una casa prefabricada	97
Figura 55. Innovaciones tecnológicas Educación 4.0.....	99
Figura 56. Proyecto Harvard HBX Live.....	100

Figura 57. Empresas inmateriales	103
Figura 58. Porcentajes de empleos desplazados	105
Figura 59. Propuestas para la adopción tecnológica.....	110
Figura 60. Tecnologías de la Construcción 4.0	112

Anexo 3. Índice de tablas

Tabla 1. Proyectos con desviaciones en tiempo y costo en el mundo	47
Tabla 2. Precios de construir una casa prefabricada.....	86
Figura 3. Disruptores que interrumpieron un mercado	102