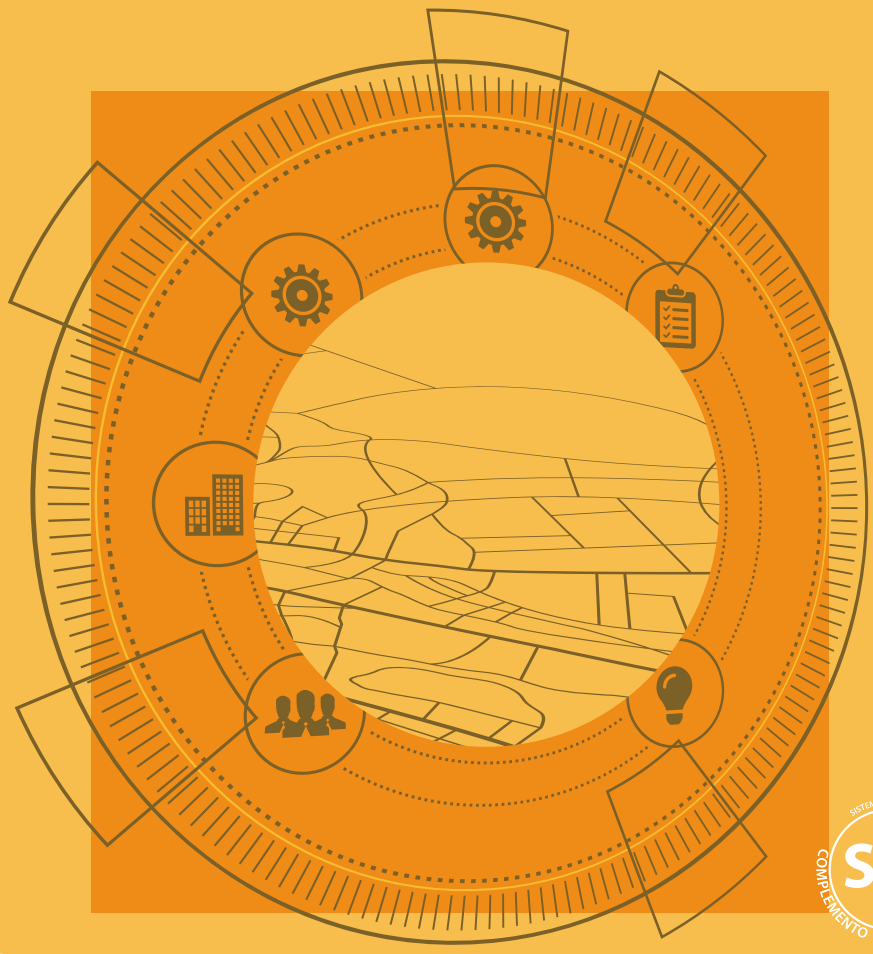
METODOLOGÍA BIM

Conceptos y su aplicación en proyectos de infraestructura vial



SIL
SISTEMA DE INFORMACIÓN EN LÍNEA
COMPLEMENTO VIRTUAL

ECOE EDICIONES

Elkin Darío Cañón Buitrago
Wilson Ernesto Vargas Vargas
Adriana Marcela Benavides Zambrano

METODOLOGÍA BIM

CONCEPTOS Y SU APLICACIÓN EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Elkin Darío Cañón Buitrago
Wilson Ernesto Vargas Vargas
Adriana Marcela Benavides Zambrano

Catalogación en la publicación - Biblioteca Nacional de Colombia

Cañón Buitrago, Elkin Darío, autor
Metodología BIM : conceptos y su aplicación en proyectos de infraestructura vial / Elkin Darío Cañón Buitrago, Wilson Ernesto Vargas Vargas, Adriana Marcela Benavides Zambrano -- Primera edición -- Bogotá : Ecoe Ediciones, 2023.
306 páginas. -- (Ingeniería y afines. Ingeniería civil)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-958-503-611-6 -- 978-958-503-612-3 (e-book)

1. Infraestructura vial - Diseño y construcción 2. Carreteras - Diseño y construcción 3. Ingeniería civil I. Vargas Vargas, Wilson Ernesto, autor II. Benavides Zambrano, Adriana Marcela, autor

CDD: 629.047 ed. 23 CO-BoBN– a1112407

Área: *Ingeniería y afines*
Subárea: *Ingeniería civil*

ECOE
EDICIONES

© Elkin Darío Cañón Buitrago
© Wilson Ernesto Vargas Vargas
© Adriana Marcela Benavides Zambrano

© Ecoe Ediciones S.A.S.
info@ecoeediciones.com
www.ecoeediciones.com
Carrera 19 # 63 C 32
Teléfono: (+57) 321 226 46 09
Bogotá, Colombia

Primera edición: Bogotá, marzo del 2023

ISBN: 978-958-503-611-6
e-ISBN: 978-958-503-612-3

Directora editorial: Claudia Garay Castro
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.
Editora júnior de adquisiciones:
Alejandra Cely R.
Corrección de estilo: David E. Mora Camargo
Diagramación: Magda Rocío Barrero
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz
Impresión: Xpress Estudio Gráfico y digital
Carrera 69 H # 77 - 40

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados

CONTENIDO

Capítulo 1. Introducción 1
1.1 Historia del CAD y su evolución 2
1.2 Diferencias entre CAD y BIM 9
1.3 La industria de la construcción y su transformación 12
1.4 ¿Qué es BIM? 14
1.5 De los *BIM levels* a las etapas de madurez BIM 17

Capítulo 2. Estado actual del BIM en la industria AECO 21
2.1 Europa 23
2.1.1 España 23
2.1.2 Francia 25
2.1.3 Reino Unido 26
2.1.4 Alemania 27
2.2 Asia 28
2.2.1 China 28
2.2.2 Singapur 29
2.2.3 Emiratos Árabes Unidos 30
2.3 América del Sur 31
2.3.1 Perú 32
2.3.2 Chile 33
2.3.3 Colombia 34
2.3.4 Brasil 36
2.3.5 Argentina 37
2.3.6 Red BIM de gobiernos latinoamericanos 40

2.4 América del Norte 40
2.4.1 Estados Unidos de América 41
2.4.2 Canadá 42
2.5 Desafíos por afrontar 42
2.6 Tendencias del BIM 45

CAPÍTULO 3. ESTÁNDARES BIM Y LA NTC-ISO 19650 53
3.1 Estandarización ISO – NTC-ISO19650 54
3.2 Introducción ISO 19650 55
3.2.1. Ciclo de la información 59
3.2.2. Estándar OpenBIM 60
3.2.3. BuildingSmart Data Dictionary - bSDD 65
3.2.4. IFC y BCF 66
3.2.5. Requisitos de información según la ISO 19650 72
3.2.6. Ciclo de entrega de la información 74

CAPÍTULO 4. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN-FASE ENTREGA DE LOS ACTIVOS 77
4.1 CDE (Entorno Común de Datos) 80
4.2 BEP (Plan de Ejecución BIM) 91
4.3 Matriz de responsabilidad 100
4.4 LIN (Nivel de Información Necesaria) 103
4.4.1. Nivel de desarrollo vs. Nivel de detalle 106
4.4.2. Nivel de desarrollo y sus definiciones 107
4.4.3. Nivel de detalle – Nivel de definición 109
4.5 Seguridad de la información 113
4.5.1 NTC-ISO 19650-5:2021 114

CAPÍTULO 5. CICLO DE VIDA DEL ACTIVO/PROYECTO 117
5.1 Fases del ciclo de vida de un activo 118
5.1.1 Planificación o proyecto básico 120
5.1.2 Diseño o proyecto ejecutivo 125
5.1.3 Construcción 130
5.1.4 Operación, mantenimiento y reformas 131
5.2 Dimensiones BIM 135
5.3 Usos BIM 138
5.4 Roles BIM 148
5.4.1 Tareas generales 151

CAPÍTULO 6. HERRAMIENTAS BIM 153
6.1 Diseño de procesos 153
6.2 Programación visual 155
6.3 Programación clásica 156
6.4 Diseño paramétrico 157
6.4.1 Datadriven Design 157
6.4.2 Diseño paramétrico 158
6.4.3 Diseño algorítmico 158

6.4.4 Diseño biomórfico 159
6.4.5 Diseño generativo 160
6.4.6 Diseño genético 161

Capítulo 7. Aplicación de la metodología BIM a proyectos de infraestructura vial 163
7.1 Planificación de infraestructura 163
7.1.1 Trabajo bajo un CDE de gestión documental 164
7.1.2 Trabajo bajo un CDE de la industria de la construcción en el proceso de planificación 169
7.2 Diseño de infraestructura 192
7.2.1 Trabajo bajo un CDE de la industria de la construcción en el proceso de diseño de detalle 192
7.2.2 Documentación y exportación de modelos 239
7.2.3 Coordinación y revisión de modelos BIM 265
7.3 Construcción 271
7.4 Mantenimiento 295

Referencias 299

Acerca de los autores 305

Sistema de Información en Línea



Al final del libro encontrará el código para ingresar al **Sistema de información en Línea** - SIL - donde podrá descargar archivos base para el desarrollo de los ejercicios propuestos en el libro, documentación adicional como estándares internacionales, papers y demás información clave para entender el estado y desarrollo de los conceptos y la metodología BIM.

ecoeediciones.com

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Esta es una guía para estudiantes y para aquellas personas que, en general, hacen uso de la metodología BIM (Building Information Modelling), la cual está experimentando una implementación no solo en la industria sino en todos los sectores de la construcción.

El uso de las herramientas colaborativas ha permitido mejorar significativamente el trabajo en innumerables proyectos de consultoría y de construcción de infraestructuras, lo cual genera incidencias directas en las economías locales y globales, fomentando los beneficios y la productividad. La infraestructura vial es todo aquello que permite el funcionamiento de un país, un territorio, una ciudad, y es fundamental a la hora de generar intercambios de información, bienes y/o servicios. La inclusión de esta metodología en los diseños de infraestructura, aunque no ha sido totalmente implementada, en aquellos proyectos donde sí, ha propiciado avances significativos en el desarrollo y ejecución de proyectos, logrando optimizar recursos que pueden ser empleados en otras fases del mismo proyecto. Este documento tiene por objeto actualizar y especializar a técnicos, tecnólogos e ingenieros, dedicados al diseño y cálculo de infraestructura vial, enfocándolos a las nuevas metodologías y requerimientos que el sector de la construcción demanda, enmarcados en el uso y aplicación de la metodología BIM.

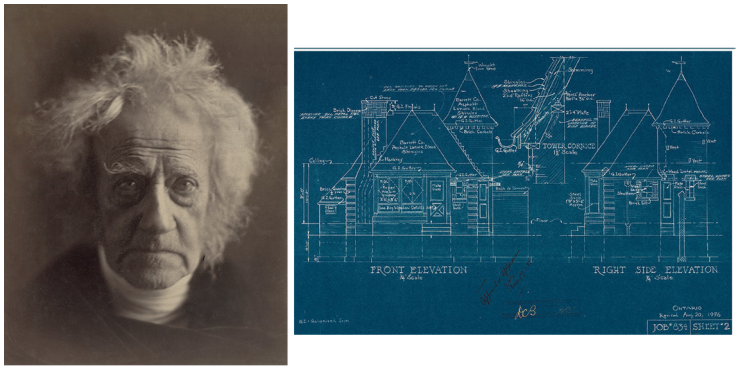
La gran mayoría de proyectos de infraestructura vial requiere hacer particiones cuando de realizar los diseños y posterior construcción se trata, esto debido a su gran extensión y al uso de grandes cantidades de información, equipos y especialidades, lo que hace necesario que todos los elementos involucrados durante el ciclo de vida de un proyecto estén debidamente geolocalizados y coordinados, garantizando la optimización de los recursos y, sobre todo, los tiempos. Las recomendaciones y flujos de trabajo descritas en este documento no garantizan el éxito o la utilidad sobre un proyecto en particular, simplemente se brindarán lineamientos encaminados a cumplir los requisitos o solicitudes

hechas por las entidades en la estructuración de pliegos de condiciones para la ejecución de proyectos de infraestructura vial.

1.1 Historia del CAD y su evolución

Desde mediados del siglo XIX, a raíz de la necesidad de generar copias de documentos y planos e "impresiones" en papel, aparece el químico, astrónomo y fotógrafo británico John Frederick William Herschel, como uno de los primeros personajes en la historia del CAD, quien desarrolló el concepto y posteriormente el proceso del cianotipo (Figura 1), que consistía básicamente en dibujar en papel semitransparente en su parte superior y luego realizar un revestimiento del papel con una fórmula química bastante peligrosa (citrato de amonio férrico). Luego, este era expuesto a la luz, retornando un color azul a las partes expuestas, mientras que las líneas del dibujo bloqueaban dicha exposición y permanecían blancas.

Figura 1. John Frederick William Herschel (Izquierda), cianotipo Joy Gas Service Station Elevation drawings (derecha)



Fuente: Wikipedia (s.f.).

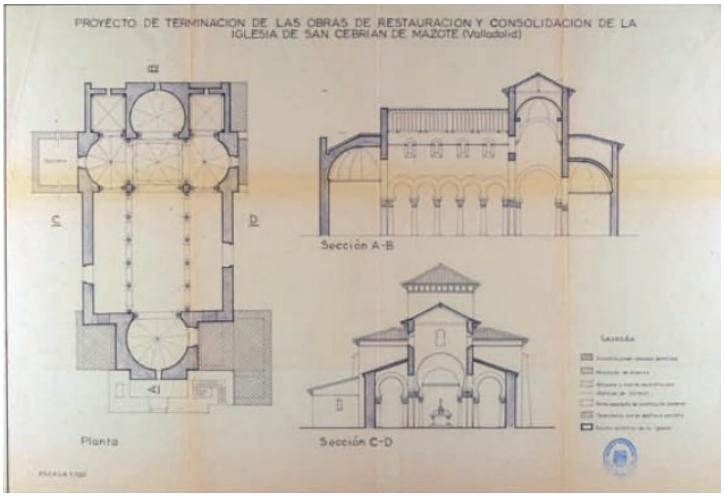
Esta técnica fue bastante empleada sobre telas y maderas. No obstante, su principal uso fue para la generación de copias de planos. Es importante resaltar que esta técnica era bastante costosa, por lo que se estudió en la época la forma de mejorarla, no solo económicamente sino en los resultados obtenidos.

En 1861 el investigador y fotógrafo francés Louis Alphonse Poitevin desarrolló un método de copia similar al cianotipo, pero con un costo cercano a una décima parte del costo de tener a alguien dibujando planos originales. Este avance ayudó a explotar la popularidad de los planos. Con el proceso de generación de planos se eliminó el gasto que causaba la reproducción fotográfica y litográfica, así como la necesidad de trazar a mano dibujos originales. Hacia 1890 la gran mayoría de las oficinas de arquitectura estadounidenses producían en menor tiempo y a menor costo los planos, en comparación con los planos hechos a mano.

Con el pasar del tiempo, en la década de 1940, estos modelos de cianotipo o *blueprint* fueron reemplazados por la diazotipia o *whiteprint* (Figura 2), técnica que consistía en impresiones de líneas azules sobre un fondo blanco. Este tipo de impresión reproduce de manera exacta el original en tamaño; sin embargo, no reproduce los tonos continuos. Otra

característica era que la impresión no era de manera permanente, y con el paso del tiempo se desvanecía si era expuesta a la luz. Este proceso en su mayoría ha sido reemplazado por métodos modernos de impresión y copia.

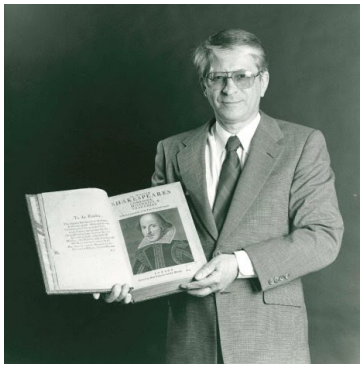
Figura 2. Modelo de diazotipia – Proyecto de terminación de las obras de restauración y consolidación de la iglesia de San Cebrián de Mazote (Valladolid)



Fuente: Alcaraz (2016).

En la década de 1955 la empresa International Business Machines Corporation (IBM), fundada en 1911, se transforma en una compañía específicamente informática, lo que sin duda marcó un paso determinante en la historia y el desarrollo social de la época, generando una vinculación y una relación directa entre la sociedad y la tecnología, incluyéndose en los proyectos adelantados por la NASA, desarrollando componentes electrónicos para ser incorporados en las misiones aeroespaciales. En el contexto de esta gran burbuja informática aparece un personaje a quien se le considera hoy en día como el padre del CAD/CAM (diseño y fabricación asistidos por computador) (Figura 3).

Figura 3. Dr. Patrick J. Hanratty



Fuente: Universidad de California en Irvine-UCI (1986).

Fue el creador de dos de los hitos más importantes de la informática. El primero de ellos PRONTO, en 1957, que fue el primer lenguaje de programación de control numérico comercial, y que luego se convertiría en fabricación asistida por computador. El segundo, el diseño automatizado por computador (DAC), en 1961, que se convirtió en el primer sistema CAD en emplear gráficos interactivos. Este sistema fue empleado para el desarrollo de los complejos moldes de matrices empleados en la General Motors en la industria automotriz. No obstante, dicho sistema únicamente se podía ejecutar en maquinaria comercial de la General, lo que lo hizo un lenguaje impopular.

Más adelante, en 1962, aparecería un documento denominado *Augmenting Human Intellect: A conceptual Framework*, en el que se concebía la idea del arquitecto del futuro, el cual sugería que los diseños se basarían en objetos con parámetros y bases de datos necesarios e interconectados a los objetos, y que cada vez debía ser más detallada, lo que representaba un pensamiento maduro detrás del diseño real. Este documento fue escrito por Douglas C. Engelbart, conocido por la invención del *mouse* (ratón) (Figura 4), lo cual generó, a su vez, la interacción del hombre con la computadora.

Figura 4. Primer prototipo de *mouse*



Fuente: Wikipedia (s.f.).

Luego, en 1963, se da paso al primer diseño de CAD con interfaz gráfica, desarrollada en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) por el científico estadounidense Iván Edward Sutherland. Sutherland es también conocido como el padre de la computación gráfica. Esta interfaz cambió la forma de interacción con la computadora y, por supuesto, aportó grandes desarrollos al avance de gráficos. Fue un gran avance en términos tecnológicos. Sutherland fue el creador del Sketchpad (Figura 5), el cual permitió la manipulación directa de objetos gráficos, creando la concepción de hacer uso del computador como una extensión de la mente humana. Este avance dio paso a la modelación de sólidos y la representación de geometrías, e incrementó la capacidad de mostrar y registrar la información de objetos y formas.

Figura 5. Sutherland y el Sketchpad



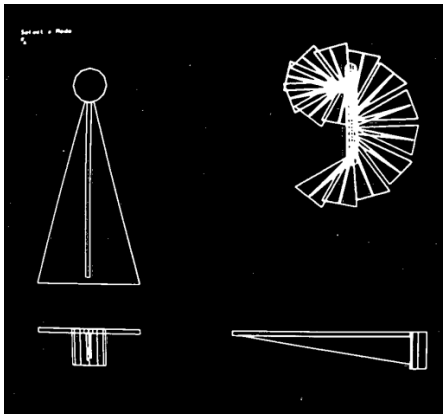
Fuente: Wikipedia (s.f.).

Con las influencias arquitectónicas de la época, como la del británico Cedric Price, en 1970 se introdujo el concepto según el cual el "ordenador diseña y no dibuja", que abre un mundo a favor del diseño y utilización de la informática para el diseño y no solo para el dibujo y la copia de planos. Un año más tarde nuevamente aparece el Dr. Patrick Hanratty con la creación de ADAM (elaboración de dibujos mecanizados y automatizados), que era un diseño gráfico interactivo de enorme éxito, ya que fue escrito en lenguaje Fortran (lenguaje desarrollado por IBM). ADAM se diseñó para ser usado en cualquier tipo de máquina y hoy en día se dice que aproximadamente el 80 % de las plataformas CAD tienen raíces en ADAM.

A mediados de 1975, Charles M. Eastman publicó un documento resumen denominado "Un esquema del sistema de descripción del edificio", donde manifestaba que muchos de los costos de diseño, construcción y edificación derivaban de la dependencia de los dibujos y la descripción del registro del edificio. Su documento describe el diseño de un sistema informático que permite manipular y almacenar información de diseño que hace posible desarrollar de manera más ágil el diseño, el análisis operativo y la construcción. Consideraba al edificio como un conjunto de partes con una componente espacial. El sistema BDS (Building Description System) tiene asociado elementos como lenguaje gráfico interactivo con el fin de editar componentes, entrada gráfica fácil de formas complejas, producción de dibujos en perspectiva, y con una calidad alta y la capacidad de clasificar una base de datos por atributos. Estas características permiten discriminar e identificar, hoy en día, entre una aplicación BIM y otra no BIM.

Dos años más tarde, continuando con su investigación, Eastman creó GLIDE (lenguaje gráfico para diseño interactivo). Se trató del primer paso de lo que conocemos hoy en día como la creación de objetos paramétricos. GLIDE combina las ventajas de un lenguaje de comandos interpretado para diseño interactivo, con los de un procedimiento de lenguaje de programación. No proporciona muchos programas especializados para aplicaciones particulares, sino que es un lenguaje general, con capacidades de modelado en un entorno de base de datos que incorpora funciones de gestión y esquemas de acceso especializados. Está destinado a formar una base conveniente para la construcción de una nueva generación de aplicaciones CAD más potentes.

Figura 6. Escalera de caracol con código GLIDE



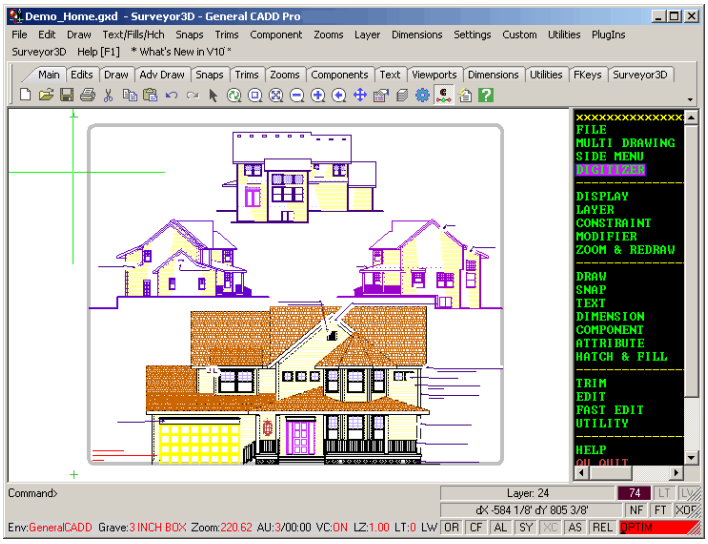
Fuente: Henrion y Eastman (1977).

A partir de este lenguaje, se desarrollaron diferentes sistemas de datos que fueron utilizados en proyectos de construcción. Uno de ellos fue RUCAPS, empleado para la renovación de la terminal No. 3 del aeropuerto londinense de Heathrow. Es importante subrayar que dicho programa fue el primer CAD empleado en la construcción con elementos prefabricados.

Sin duda, los años 80 marcaron una gran revolución desde la parte informática a gran escala, vinculando la computadora personal o portátil. En 1983 se crea el primer computador portátil con interfaz gráfico denominado Lisa, diseñado y fabricado por Apple. Aunque no tuvo un éxito comercial y desapareció al poco tiempo del mercado, fue pionero en la integración de estándares en la industria de la computación, como lo fue un mouse, pantalla con fondo blanco, disco duro, entre otros.

A pesar de todo esto, los 80 también se vieron marcados por la escasez y el ingenio de múltiples programas 2D, en donde se desarrollaban aplicaciones básicas que les facilitaban a los arquitectos e ingenieros el desarrollo de elementos estructurales y necesarios para la modelación de componentes ingenieriles tales como pórticos. Aparecen los primeros CAD gratuitos como Generic CADD (Figura 7), que permitían a los delineantes a partir de escalas y el uso del ordenador personal producir los planos para la construcción de los proyectos.

Figura 7. Generic CADD



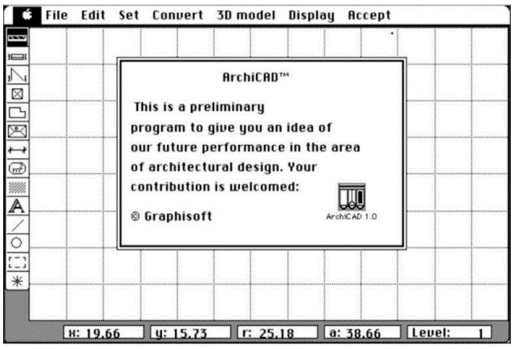
Fuente: General CADD Pro (s.f.).

En 1982 se lanzó la primera versión de CAD estándar. El producto estrella de Autodesk fue AutoCAD, lanzado en marzo de 1986. Se trató del programa más empleado en el mundo. Era un *software* derivado de un programa que se creó en 1977 y, posteriormente, se lanzó en 1979 el llamado InteractCAD, conocido comúnmente como MicroCAD. La versión 2022 fue la 36a para el sistema operativo Windows.

Fue en 1982 cuando se desarrolló la primera aplicación BIM y mediante el uso de computadoras Apple lanzó en 1984 el *software* Radar CH, producido por Graphisoft en Europa. Este *software* fue diseñado para ser funcional únicamente en el sistema operativo

de Apple; sin embargo, en 1987 fue relanzado como ArchiCAD (Figura 8), que fue el primer *software* BIM disponible para ordenadores portátiles.

Figura 8. ArchiCAD

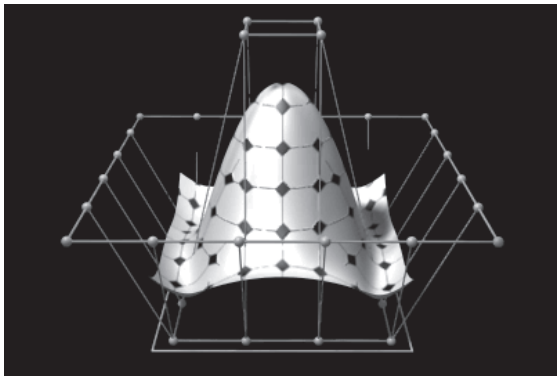


Fuente: PAZ Academy (s.f.).

Por otra parte, en Estados Unidos se desarrollaba la aplicación denominada Vectorworks, uno de los pilares de la modelación 3D y con esto marcó el camino a la primera aplicación de CAD multiplataforma. Al mismo tiempo era fundada (1985) la empresa Parametric Technology Corporation (PTC), que lanzaría en 1988 el programa Pro/Engineer, considerado uno de los primeros softwares de diseño y modelado paramétrico que se comercializó.

Posteriormente, en 1993, se creó el primer modelador NURBS (Figura 9) en ordenador portátil, que permitía representar de forma interactiva y en tiempo real curvas y superficies. Este fue comercializado por primera vez en 1989 en las computadoras de Silicon Graphics. Muchos de los diseños arquitectónicos y soluciones a figuras complejas son desarrollados con base en este sistema.

Figura 9. Superficie tridimensional NURBS



Fuente: Wikipedia (s.f.).

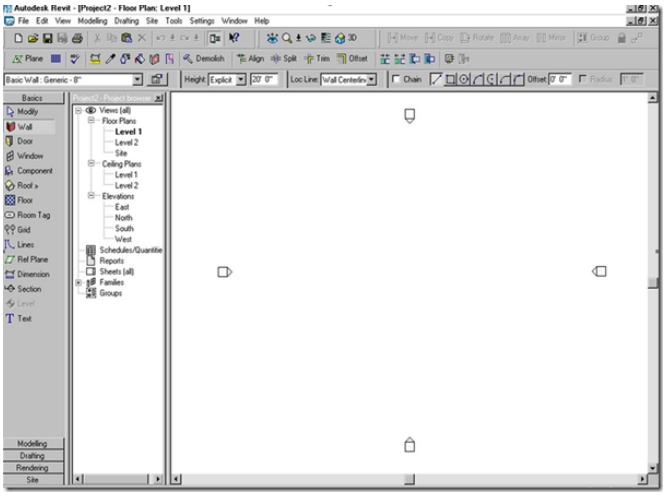
En 1993 se desarrolló en Estados Unidos el Building Design Advisor, un *software* que permitía realizar simulaciones y, a su vez, proporcionaba soluciones basadas en un modelo específico, lo que hoy en día podemos considerar como análisis de costos o estructurales.

Mientras tanto, en Australia la empresa MapSoft diseñaba el *software* CAD enfocado a encuestas y formularios con el fin de ser ejecutados en computadoras de mano utilizando el sistema operativo DOS. Hoy en día aún perduran para sistemas operativos Windows, Palms, PDA y otras computadoras de bolsillo.

En 1994 surge lo que hoy en día conocemos como la BuildingSMART (desde 2005), asociación sin ánimo de lucro encargada de documentar y promover procesos más eficientes en el sector de la construcción mediante estándares, flujos de trabajo y procedimientos para modelar la información de edificios. Esta organización es conocida principalmente por el estándar OPENBIM. Los estándares BuildingSMART proveen a aquellos propietarios de activos y a todos los implicados en la cadena de suministro a trabajar de manera más colaborativa y eficiente durante todo el ciclo de vida de un activo o proyecto.

Continuando con la línea del tiempo, en 1997 la empresa Charles River Software, fundada por Leonid Raiz e Irwin Jungreis, se interesa en modelar elementos paramétricos, cada vez más usados en la industria de la construcción con el fin de permitir a los profesionales de la construcción documentar dicho modelo no solo desde la parte geométrica sino también desde lo no geométrico. En enero de 2000, la compañía pasó a llamarse Revit Technology Corporation. Esta compañía lanzó la primera versión de Revit (Figura 10) en abril 5 del mismo año. Su nombre hace alusión a la revisión y la velocidad que se tiene en los modelos, ya que estaba enfocado en el diseño de objetos paramétricos programados utilizando el lenguaje C++. Este programa tenía dos claves principales: una era que se podían crear componentes paramétricos en un "editor de familias" gráfico, en vez de un lenguaje de programación, y la segunda era que todas las vistas, anotaciones y cambios que tuvieran los modelos se propagaran automáticamente con el fin de mantener los modelos actualizados y consistentes. En 2002, Revit fue comprado por Autodesk por una suma aproximada de 133 millones de dólares.

Figura 10. Revit v 1.0



Fuente: Hurley (2002).

En 1988 la compañía estadounidense McNeel, lanzó al mercado la primera versión del *software* comercial Rhinoceros (Rhino), una aplicación de diseño de gráficos por ordenador

3D y diseño asistido por computador. Dicha aplicación inicialmente surgió para AutoCAD, basada en modelos matemáticos NURBS, y principalmente se centraba en representar matemáticamente las curvas y superficies en gráficos de computadora.

En 2004 se incorpora Bentley Architecture como una evolución de MicroStation. Al igual que Digital Project de Gehry Technologies para la industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción).

Existen muchos más autores y precursores del BIM en la historia. No obstante, en este capítulo fueron expuestos los exponentes más icónicos que hasta la fecha siguen aportando beneficios a la industria AEC.

1.2 Diferencias entre CAD y BIM

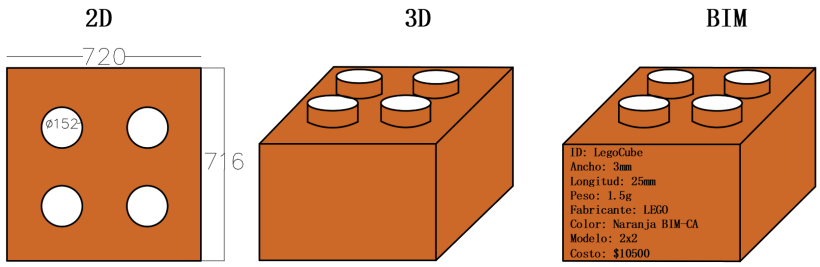
Una vez analizada la parte histórica y la evolución del CAD, es importante entender las diferencias existentes entre el BIM y el CAD. Para entender la metodología BIM es necesario comprender cómo un sistema CAD tradicional evoluciona a un sistema orientado a objetos y cómo funciona este.

BIM está orientado a objetos y que cada objeto representa un elemento de la construcción con una serie de parámetros y este, a su vez, tiene relaciones con otros elementos, estas relaciones son dinámicas; por ejemplo, si hay un muro y dicho muro requiere moverse, también lo hacen las ventanas y todos los elementos asociados a ese muro. Asimismo, si aumentamos la altura existente entre placas, los muros entre estas y su altura se pueden ajustar de manera dinámica. Lo más importante del proceso es que cada elemento de construcción tiene propiedades que describen su naturaleza, tales como dimensiones físicas, materiales, función, costo, estado de aprobación, entre otros atributos.

De hecho, las propiedades que pueden ser asociadas a un objeto son prácticamente ilimitadas.

Uno de los ejemplos más simples de emplear para entender la diferencia entre un modelo CAD y uno BIM, es la figura de Lego, como se observa en la Figura 11.

Figura 11. CAD vs. BIM



Fuente: elaboración propia.

Es importante entender que un modelo CAD puede ser en 3D, donde se puede definir geométricamente la pieza y las dimensiones para poder fabricarla. Por otro lado, en el modelo BIM, además de los parámetros de las dimensiones proporcionadas por el modelo CAD, tenemos una información no gráfica, la inclusión de nuevos parámetros que están asociados a unos objetos que permiten conocer con mayor detalle todo lo relacionado con dicho elemento.

Es posible usar las propiedades de los objetos como fuente de identificación. Dentro del modelo se pueden seleccionar de manera rápida todas las componentes de un objeto y posteriormente visualizarlas. Por ejemplo, las propiedades de cualquier objeto pueden permitir consultas a partir de filtros de vista para determinar una cuantificación de estos de manera rápida. Es más, se puede ser tan específico como se necesite si, por ejemplo, buscamos un material o una referencia específica dentro del modelo.

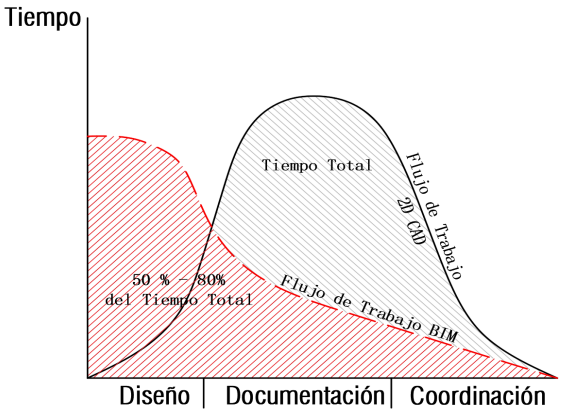
También es posible emplear búsquedas basadas en la lógica con el fin de identificar todos los elementos entre paredes que tengan una clasificación en particular, para comprobar si dichos elementos cumplen con dicha especificación. Estas formas de búsqueda detalladas permiten a los usuarios identificar deficiencias de diseño y corregirlas durante esta etapa y no durante la construcción.

A continuación, mencionaremos algunas diferencias importantes entre CAD y BIM:

1. El CAD se debe actualizar al momento de realizar un cambio; por otro lado, en BIM al modificar cualquier elemento, automáticamente se actualiza todo el proyecto.
2. En CAD es posible extraer volumetrías de manera manual, mientras que en BIM estas son generadas de manera automática.
3. En el mercado hay soluciones CAD que permiten realizar algún tipo de renderizado. No obstante, son bastante complejas y en su mayoría se requiere de un *software* adicional para crearlas, mientras que todos los *softwares* BIM traen incluido un motor de renderizado que permite obtener resultados bastante aceptables.
4. Los formatos de exportación de un modelo CAD son bastante limitados; sin embargo, los *softwares* BIM permiten exportar los modelos con gran calidad de detalles a un *software* de renderizado especializado y en variedad de formatos.
5. El uso del BIM permite la integración entre disciplinas como estructuras, MEP, presupuestos, instalaciones, análisis energético, entre otras.

Por último, y no menos importante, es necesario hablar de la diferencia en cuanto a la distribución del trabajo. Para ello, haremos uso de la siguiente gráfica (Figura 12), que nos permite evidenciar esa fase en la cual deberíamos aplicar el mayor esfuerzo.

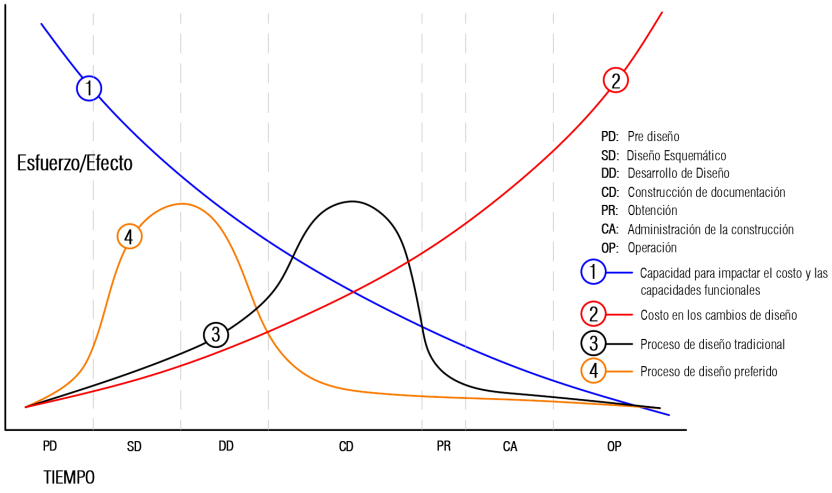
Figura 12. Distribución de trabajo



Fuente: elaboración propia con base en Zigurat (2019).

Por un lado, el 2D y 3D del CAD en su mayor parte es manual y estático, mientras que el BIM está orientado a objetos, elementos paramétricos dinámicos e involucran todas las disciplinas a lo largo del ciclo de vida y en el que evidentemente hay un mayor esfuerzo en la etapa de diseño (punteada) con el fin de reducir tiempo y costos en esa etapa de documentación y coordinación, frente a lo que sería la curva de CAD (continua) en la que, para realizar de manera manual la documentación, es necesario mayor esfuerzo en la etapa de documentación y coordinación, lo que implica mayor tiempo y mayores costos.

Figura 13. Curva de McLeamy



Fuente: adaptado de Davis (s.f.).

Sin duda, es necesario mencionar la famosa curva de McLeamy (Figura 13), que nos permite identificar cómo es el desarrollo del diseño tradicional que actualmente trabajamos (3) donde empleamos la mayor parte el tiempo en la etapa de la construcción de la documentación. No obstante, también nos ilustra hacia dónde debe tender la industria con la implementación de la metodología BIM (4), que no es más que la optimización del tiempo en las primeras fases del diseño. Esas etapas de prediseño, diseño esquemático y desarrollo del diseño requieren un mayor esfuerzo y sus cambios implicarían bajos costos; por otra parte, se pretende dejar de perder tanto tiempo en documentar, delinear y/o dibujar. Adicional a ello, esta gráfica simplemente respalda la figura anterior, donde se evidencia que sí se deben realizar cambios en las primeras fases, es mucho más fácil y menos costoso, ya que no hay una implicación real o constructiva y conforme a esto va avanzando, de modo que si se es necesario incorporar cambios en etapas de construcción es mucho más difícil y costoso, por cuanto hacerlo implica condiciones adicionales *in situ*.

Es importante entender el efecto que trae la contratación y las nuevas formas de contratar con el fin de utilizar de la mejor manera las nuevas tecnologías. Actualmente, en la industria de la construcción el modo de contratación se encuentra muy secuencial, es decir, de conformidad al avance en las diferentes fases de un proyecto (anteproyecto, proyecto, construcción y operación) los diferentes especialistas, interventores, promotores, financieros, constructores, entre otros, se van incorporando al proyecto en la fase correspondiente, de

forma que, cada vez que un proyecto avanza en sus fases, se van cambiando y vinculando los implicados. Hay contratación nueva y definitivamente la información se está perdiendo. Esta es la razón más fuerte para pensar en otra forma de contratación, evitar pérdida de información entre fases del proyecto, y si de una u otra manera se requiere recuperar dicha información, es necesario invertir no solo tiempo sino dinero. Por esta razón, la mejor forma de gestionar la información es buscar contrataciones integrales, pensando siempre en la vida del proyecto o activo, ya que conforme transcurre el tiempo no se tiene dicha pérdida de información.

Y la mejor forma de hacerlo es involucrando a los diferentes agentes (ingenieros, especialistas, constructores, promotores, etc.) desde el inicio del proyecto y a lo largo de su ciclo de vida, lo que garantiza un trabajo colaborativo y "empapa" a todos los implicados de las condiciones iniciales, y pasando por cada una de las fases, entendiendo la concepción y lo que se concibió como tal del proyecto, teniendo siempre en cuenta la opinión de todos y buscando un mayor nivel de eficiencia.

1.3 La industria de la construcción y su transformación

Como dato importante, el sector de la construcción es uno de los más importantes de la economía a nivel mundial, representando casi un 10 % del PIB. De igual manera, emplea cerca del 7 % de la fuerza laboral a nivel mundial, lo que posiciona al sector por encima de otras industrias como la minería, el transporte y la agricultura. No obstante, es uno de los sectores que más problemas enfrenta, lo que hace que presente baja tasa de productividad y de especialización frente a otras industrias. Por mencionar algunos de los problemas más notorios, se encuentra el bajo nivel de investigación y desarrollo, procesos informales y falta de estandarización, condiciones de cooperación limitadas, transferencia insuficiente de conocimiento, fragmentación entre etapas y procesos. Todo ello acarrea pérdida de información, problemas durante la ejecución de la obra, entre otros.

A partir de estas premisas, se dice que la industria de la construcción es compleja y variable, dado que en pleno siglo XXI, los proyectos de construcción son cada vez más demandantes, las arquitecturas presentan un nivel de complejidad bastante alta, al igual que las necesidades que se necesitan suplir.

Un estudio de la reconocida compañía McKinsey, evalúa el nivel de digitalización de la industria de la construcción frente a otras industrias, revela que se ubica en el penúltimo lugar, superando únicamente a la agricultura (Figura 14), lo que implica una falta de innovación tecnológica en este sector.

Figura 14. Nivel de digitalización del sector de la construcción



Fuente: McKinsey (s.f.).

Derivado de las tecnologías actuales surge la Industria 4.0, la cual implica la promesa de una nueva revolución que combina técnicas avanzadas de producción y operaciones con tecnologías inteligentes que se integran en las organizaciones, las personas y los activos.

Esta industria está marcada por la aparición de nuevas tecnologías, tales como la robótica, la analítica, Big Data, la inteligencia artificial, la realidad virtual, las tecnologías cognitivas, la nanotecnología y la Internet de las Cosas (IoT). De igual manera, está impulsada por el continuo flujo de información y acciones entre el mundo físico y el digital.

Es a partir de esta industria 4.0 que se crea el concepto de la Construcción 4.0, que es una variedad de tecnologías interdisciplinarias que digitalizan, automatizan e integran el proceso de la construcción. Básicamente, se basa en una confluencia de tendencias y tecnologías no solo físicas sino también digitales que buscan remodelar la forma en que se diseñan y construyen los activos del entorno construido.

La Construcción 4.0 se presenta como una oportunidad para las empresas de la industria AECO (Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operación) que llevan años operando sin aplicar tecnologías de fabricación ni procesos digitales a los procesos de construcción. La construcción 4.0 significa tomar una nueva perspectiva tecnológica, aplicar

la industrialización al proceso de y usar herramientas digitales para optimizar y mejorar el concepto de construcción en modelos virtuales digitales 3D.

Aplicar la industrialización y la digitalización al campo de la construcción significa que la infraestructura que se desee construir se desarrolla como un proceso de fabricación en lugar de un proyecto independiente. La aplicación tecnológica de la Construcción 4.0 se refiere a contar con herramientas como la Internet de las Cosas (IoT), big data, la robótica, el uso de drones, el uso de escáneres 3D, entre otros, con el fin de generar modelos de información usando varios *softwares* de modelado 3D, en pro de la construcción de un modelo BIM y de igual manera generar interoperabilidad entre diferentes disciplinas y modelos BIM, nuevas formas de trabajar juntos en la nube, etc., para poder tomar decisiones en tiempo real antes del proceso constructivo.

1.4 ¿Qué es BIM?

Existen en el medio muchas definiciones del concepto de la metodología BIM (Building Information Modelling). No obstante, la gran mayoría de estas coinciden en características como trabajo colaborativo, gestión del activo, modelos inteligentes, entre otras. A continuación, veremos algunas definiciones provistas por algunos de los principales representantes en la industria AEC.

Figura 15. The American Institute of Architects



Fuente: American Institute of Architects (AIA) (s.f.).

El American Institute of Architects (AIA), define BIM como "una representación digital de las características físicas y funcionales del proyecto". El término *Model* puede describirse como uno o varios modelos usados en conjunto. BIM se refiere al proceso y tecnología usados para crear el modelo (American Institute of Architects, 2015).

Figura 16. National BIM Standard United States



Fuente: National BIM Standard-United States (s.f.).

National BIM Estándar (NBS), la define como "una representación de las características físicas y funcionales de una infraestructura. Un modelo BIM es una fuente compartida de información acerca de la infraestructura" (NBS, 2015, p.1), que forma una base confiable para la toma de decisiones durante su ciclo de vida (desde la concepción hasta su demolición).

Figura 17. Plan BIM Chile



Fuente: Planbim, (s.f.).

Plan BIM Chile menciona "conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual" (Colegio de ingenieros de Chile A.G, 2021, p. 2).

El proceso de desarrollo de un modelo de información virtual en 3D implica mucho más que la habilidad necesaria para ejecutar el *software* de modelado. BIM implica la colaboración de propietarios, planificadores, ingenieros, topógrafos y contratistas. A través de esta colaboración, se desarrollan las necesidades y se forma una comprensión de la información contenida en el modelo y cómo se debe aplicar. Sin este entendimiento común, la información del modelo puede ser mal utilizada o tergiversada. Cada paso en el ciclo de vida de un modelo de información se basa en esta comprensión común del uso previsto del modelo según lo determinado por la fase anterior.

Figura 18. Building SMART



Fuente: BuildingSMART International (s.f.).

La BuildingSMART define el BIM como "metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes" (BuildingSMART, s.f., p.1).

Figura 19. Autodesk



Fuente: Wikipedia (s.f.).

Finalmente, la gran compañía norteamericana Autodesk la define como "un proceso basado en el modelo inteligente que proporciona una visión para ayudar a planificar, diseñar construir y gestionar edificios e infraestructura" (Autodesk, 2015, p. 1).

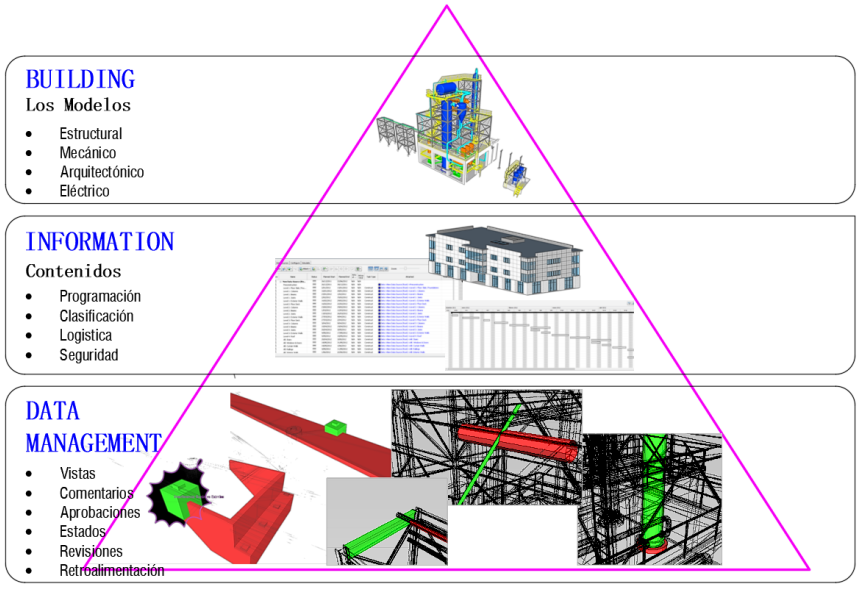
Sin duda, aunque existen muchas definiciones, es claro el enfoque que conlleva la metodología BIM centrada en modelos colaborativos que permitan canalizar la información gráfica y no gráfica de los elementos y modelarla en un entorno virtual.

Algunas otras definiciones se presentan a continuación:

- BIM es un modelo de información de construcción de un activo, llámese edificación o infraestructura independientemente de su naturaleza.
- También podemos indicar que consiste en crear un modelo virtual de un activo o un prototipo que representa una forma virtual de un proyecto, una réplica digital del activo.
- Una metodología de gestión de información más eficiente que se va generando a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.
- Una cultura de colaboración y de compartición de información, que involucra procesos de intercambio, creación y gestión de información, con el fin de anticipar la toma de decisiones con el propósito de ser más eficientes en nuestros proyectos.

En la Figura 20 se resumen las tres partes más importantes de lo que es un modelo BIM. Por un lado, en la parte superior tenemos los modelos de todas las disciplinas (estructuras, mecánicas, eléctricas, arquitectura, entre otras). En la parte media encontramos la información que se puede asociar a dichos modelos (programación de obra, logística, seguridad), y en la parte inferior encontramos la gestión de la información, todos los procesos que se requieren para la producción de los modelos (vistas, comentarios, retroalimentación, aprobaciones, estados, entre otros).

Figura 20. Pirámide BIM



Fuente: elaboración propia con base en Zigurat (2019).

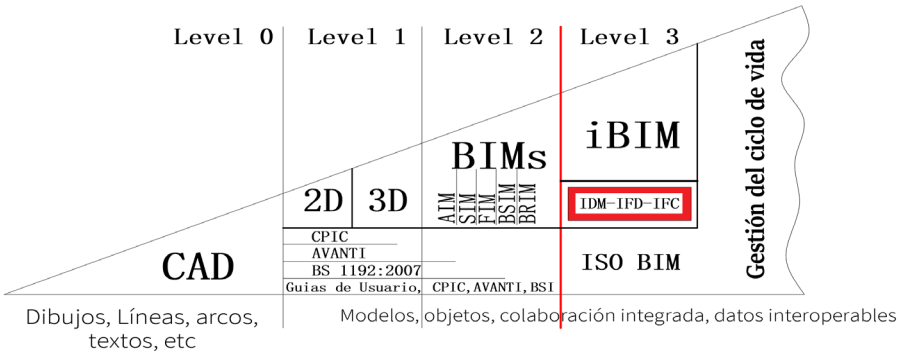
1.5 De los *BIM levels* a las etapas de madurez BIM

De la famosa gráfica de los *BIM levels* del gobierno británico del año 2008, se puede establecer esta evolución desde el CAD o en el nivel 0 donde, por supuesto, se inicia el camino hacia ese objetivo BIM (Figura 21). Lo que caracteriza a este nivel es la ausencia de la colaboración, la forma tradicional, trabajar con dibujos donde se representan los elementos mediante líneas, arcos y textos. Por otro lado, tenemos el nivel 1 en el que existe una mezcla de modelos 2D y 3D y donde se dispone de algunas normativas y guías de usuario para el desarrollo de la documentación; sin embargo, es importante entender que existe una compartición de datos que, por lo general, se lleva a cabo en la nube, pero no implica que el modelo esté directamente compartido entre los miembros del equipo de una manera simultánea. Se generan geometrías tridimensionales arquitectónicas, estructurales, redes, infraestructura, entre otras. Es básicamente lo que hoy en día hacen los especialistas con programas de modelación actual.

En el nivel 2 se enmarca el inicio de la colaboración ya que, aunque todos tienen sus propios modelos, es posible compartir la información, la cual hará parte del flujo de trabajo colaborativo. En este punto es importante escoger el tipo de plataforma o *software* que se va a emplear, por cuanto todos los *softwares* BIM que se utilicen deben estar en capacidad de exportar la información a otros formatos comunes para ser empleados por otros miembros de la organización. Se caracteriza también por contar con una serie de requerimientos en pro del trabajo colaborativo. Son características de este nivel la dimensión 4D y 5D, donde es posible realizar simulación de procesos constructivos y extracción de información para elaboración de presupuestos.

El nivel 3 marca ese salto que exige la industria del nivel 2 al nivel 3, garantizando una producción colaborativa en la que exista interoperabilidad y las disciplinas trabajan integradas y con datos interoperables. En este nivel el trabajo se realiza sobre un único modelo asequible por todos los miembros de la organización. De esta manera, se elimina el riesgo por conflictos en la información que podía suceder en los niveles anteriores. Este nivel 3 es el exigible a cualquier empresa de la construcción y el diseño en el Reino Unido. Es característico las dimensiones 6D y 7D.

Figura 21. ***BIM Levels***



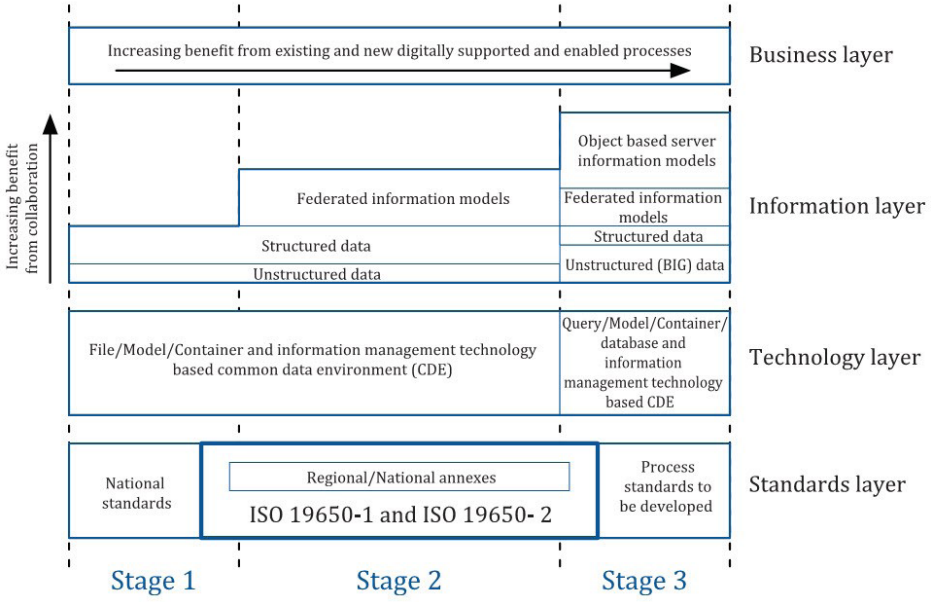
Fuente: adaptado del Modelo UK.

Más allá de forjar un camino hacia la madurez BIM, estos niveles permiten a las empresas y a los profesionales en la industria AEC tener una referencia útil al momento de colaborar en proyectos para que no existan problemas durante el flujo de trabajo establecido para cada uno, lo cual impone la necesidad de disminuir los plazos de entrega y optimizar sus costos.

Ahora bien, existen algunas recomendaciones y ciertos requisitos mínimos para lograr la gestión de la información de conformidad con lo establecido en la ISO 19650 y que, por supuesto, están contenidos en la NTC-ISO 19650-1:2021. Estas normas muestran la gestión de la información en tres etapas. En la Figura 22 se detalla la etapa del desarrollo de normas, avances tecnológicos y las formas más avanzadas de gestión de la información, las cuales, al ser combinadas, aumentan los beneficios empresariales. Es importante resaltar que, aunque la ISO tiene una mayor aplicación en la etapa 2, es posible su aplicación en todas las etapas.

Según la NTC-ISO 19650-1:2021, la etapa de madurez número dos se denomina como "BIM según la serie de normas ISO 19650" (Icontec, 2021, p. 3), donde se combinan procesos manuales y automatizados de gestión de información necesarios para producir un modelo de información federado (Figura 22). Este modelo encierra todos los contenedores de información provistos por los equipos de tareas relacionados con un activo o un proyecto.

Figura 22. Etapas de madurez según ISO 19650



Fuente: ISO 19650-1 (2018).

A manera de resumen, entendemos la etapa No. 1 cuando ciertos agentes comienzan a desarrollar modelos BIM basados en objetos, empleando estándares nacionales o propios y colaborando de forma mínima. En la etapa No. 2 encontramos que el desarrollo de modelos BIM basados en objetos se encuentran bajo entornos colaborativos con el fin de proporcionar información sujeta a estándares internacionales y su adaptación a un contexto nacional, creando modelos federados y compartiendo información entre los diferentes agentes, mejorando ese beneficio de la colaboración. Adicionalmente, una capa tecnológica

que se basa en el entorno común de datos (CDE) y que gestiona la información y cómo deberá desarrollarse esa capa en la etapa No. 3. Esta etapa final representa la situación futura y deseada, en donde toda la información ya se encuentra en la nube y existirá capacidad de consulta dinámica de la información y, posteriormente, implementar otros sistemas para acceder a la información que puede estar o no estructurada. La capa de normas deberá propender por crear nuevas metodologías, nuevas normativas en pro de la gestión de la información. Igualmente, la capa tecnológica deberá evolucionar en ese modelo de bases de datos de información, mejorando la colaboración y logrando en el tiempo mayor beneficio en procesos digitales. La capa de la información a partir de esos datos estructurados y no estructurados de los modelos deberá trabajar con modelos de información federados en la etapa No. 2, buscando que en la etapa No. 3 se cuente con modelos de información basados en objetos, datos estructurados y propendiendo por la utilización del big data.

Finalmente, se entiende que la mayor capa de colaboración será llegar a la capa de negocio en la que, a medida que se van superando las etapas, se obtiene un mayor beneficio en los procesos digitales nuevos, se mejorarán aquellos existentes, buscando mejorar la globalidad del uso de la información en el sector.