

## **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **TITULO**

Aportes y retos de las nuevas tecnologías bajo metodologías SIG, BIM y CIM al Desarrollo de territorios informados e inteligentes que optimicen la toma de decisiones.

### **ESTUDIANTE**

JORGE DIEGO RAMIREZ AGUDELO

### **DIRECTOR DE TESIS**

JUAN ALBERTO RESTREPO

### **MAESTRÍA**

**ESTUDIOS DEL TERRITORIO**

**FACULTAD ARQUITECTURA**

**UNIVERSIDAD**

**SANTO TOMAS SEDE MEDELLÍN**

**2021**

***Dedicatoria mis padres.***

*A la memoria de mi padre, quien para la fecha de entrega de esta tesis ya había fallecido, pero quien a su vez estaba orgulloso por el deber cumplido reflejado en mi existencia, mis logros y mis sueños. Igualmente, a mi madre, quien pacientemente supo esperar, alentar y ayudar en cada proceso de mi vida, tanto personal como profesional y solo puedo dar gracias, por tanto.*

*Los ordenadores nos ayudarán a mejorar nuestras vidas, pero jamás reemplazarán la inteligencia humana.*

*En otras palabras, los ordenadores super rápidos del futuro serán como sabios autistas, es decir, podrán memorizar amplias cantidades de información, pero no podrán hacer mucho más y serán incapaces de sobrevivir por sus propios medios en el mundo real.*

**(Michio Kaku)**

## **AGRADECIMIENTOS**

La motivación para emprender este camino de formación surge de la necesidad de ampliar la base de conocimiento, que me permita comprender mejor el territorio, sus fenómenos y sus posibilidades de captura digital, para optimizar y complementar los procesos tradicionales de planificación y diseño urbano. En primer lugar, debo agradecer a mi familia, quienes, con total paciencia y entrega, me han brindado su apoyo incondicional. En segundo lugar, a la Empresa de Desarrollo Urbano EDU, por apostarle a procesos de innovación y desarrollo que permiten la exploración continua y expanden los límites conocidos tradicionalmente. En tercer lugar, al director de tesis, quien, con su constancia, disciplina, rigor metodológico y académico contribuyó al correcto desarrollo del trabajo de investigación. Y, por último, pero no menos importante a mis compañeros de maestría, quienes, con sus aportes a través de las discusiones y debates, han contribuido a fortalecer una visión más holística e integral del territorio.

**TITULO**

Aportes y retos de las nuevas tecnologías bajo metodologías SIG, BIM y CIM al Desarrollo de territorios informados e inteligentes que optimicen la toma de decisiones.

**PERTINENCIA**

Fenómenos como la temporalidad, las dinámicas cambiantes, las relaciones y conexiones multi escalares y multi temporales, exigen nuevas maneras de abordar los procesos de análisis, diagnóstico y formulación del ejercicio de la planificación territorial, mediante el uso de nuevos flujos de trabajo entre las diferentes metodologías propias del entendimiento del territorio. El poder comprender el funcionamiento real de las ciudades, su estructura, sus dinámicas cambiantes y evolutivas, así como la posible inserción de procesos tecnológicos, como estrategias para entender y predecir futuros comportamientos de las urbes, son algunos de los temas que la cuarta revolución industrial plantea como retos y oportunidades para los territorios y su eficiente gestión.

## RESUMEN

La cuarta revolución industrial, llamada también la era de la digitalización, busca mediante la generación de datos informáticos, y el procesamiento de grandes volúmenes de información, analizar, comprender y predecir comportamientos de fenómenos físico espaciales que afectan en general cualquier proceso del ser humano en relación con su contexto territorial. En términos de planificación, diseño y construcción de ciudades, el urbanismo y la arquitectura, no son ajenos a estas intenciones, es por esto que surgen metodologías de trabajo, como SIG, BIM y CIM, que ayudan a optimizar en diferentes escalas la comprensión de los fenómenos asociados a los territorios, permitiendo minimizar la subjetividad de la toma de decisiones, y mejorando considerablemente los tiempos de respuesta. La investigación busca a partir de reconocer los potenciales y retos de las nuevas tecnologías propias del entendimiento e interpretación territorial, mediante la identificación de procesos de análisis correlacionales de estudios de caso locales e internacionales de proyectos reales que emplean metodologías SIG, BIM y CIM, posibles flujos de trabajo con temporalidades y escalas múltiples, permitiendo evidenciar los potenciales y retos planteados por estas implementaciones en sus múltiples escalas de aplicación en el territorio, y esto a su vez como aporta a los modelos de información de ciudad CIM con miras a complementar una ciudad inteligente. Lo que facilita la optimización de la comprensión y comunicación de los fenómenos físico espaciales a la hora de tomar decisiones en tiempo real y crea modelos de información de ciudad asemejándose a un gemelo digital, que ayuda a disminuir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones, y se convierte en un insumo potencial más, para alimentar el concepto de ciudad inteligente. Así mismo se logra hallar una clara diferencia entre gemelos digitales de territorios parciales y gemelos digitales de modelos de información de ciudad general, lo que permite comprender mejor los potenciales a la hora de implementar metodologías como CIM, buscando el mayor aprovechamiento de la información de los

diferentes sub sistemas urbanos, para el estudio y comprensión físico espacial del territorio, enmarcado en los retos que supone llevar a cabo la cuarta revolución industrial.

## **ABSTRACT**

The fourth industrial revolution, also called the era of digitization, seeks through the generation of computer data, and the processing of large volumes of information, to analyze, understand and predict behaviors of physical-spatial phenomena that generally affect any process of the human being in relationship with its territorial context. In terms of planning, design and construction of cities, urban planning and architecture, are not alien to these intentions, that is why work methodologies emerge, such as GIS, BIM and CIM, which help to optimize the understanding of the phenomena associated with the territories, allowing to minimize the subjectivity of decision-making, and considerably improving response times. The research seeks from recognizing the potentials and challenges of the new technologies of territorial understanding and interpretation, through the identification of correlational analysis processes of local and international case studies of real projects that use GIS, BIM and CIM methodologies, possible workflows with multiple temporalities and scales, allowing to show the potentials and challenges posed by these implementations in their multiple application scales in the territory, and this in turn contributes to the CIM city information models with a view to complementing a city smart. This facilitates the optimization of the understanding and communication of the spatial physical phenomena when making decisions in real time and creates city information models resembling a digital twin, which helps reduce uncertainty when making decisions, and it becomes one more potential input to feed the smart city concept. Likewise, it is possible to find a clear difference between digital twins of partial territories and digital twins of general city information models, which allows a better understanding of the potentials when implementing methodologies such as CIM, seeking the best use of the information of the different

urban sub-systems, for the study and physical spatial understanding of the territory, framed in the challenges of carrying out the fourth industrial revolution.

**PALABRAS CLAVE:**

Ciudad inteligente, cuarta revolución industrial, globalización, SIG, BIM, CIM, gemelos digitales, Planificación urbana 4.0.



**CONTENIDO**

**RESUMEN** ..... 6

**ILUSTRACIONES** ..... 12

**TABLAS** ..... 18

**INTRODUCCIÓN** ..... 19

**JUSTIFICACIÓN** ..... 22

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA** ..... 24

**HIPÓTESIS I** ..... 25

**HIPÓTESIS II** ..... 25

**OBJETIVOS** ..... 25

**OBJETIVO GENERAL** ..... 25

**OBJETIVOS ESPECIFICOS** ..... 26

**CAPITULO 1** ..... 27

**1. MARCO TEÓRICO CONTEXTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA** .....27

**1.1. ANTECEDENTES GLOBALIZACIÓN Y REVOLUCIONES INDUSTRIALES** .....27

**1.2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO CONTEXTUAL** .....36

**CAPITULO 2** ..... 46

**2. MARCO REFERENCIAL** .....46

**2.1. CITY INFORMATION MODELING CIM COMO BASE ARTICULADORA SIG Y BIM** .....46

2.2. CONCEPTUALIZACIÓN ACERCA DE LA CIUDAD INTELIGENTE .....	57
<b>CAPITULO 3 .....</b>	<b>81</b>
<b>3. ANALISIS Y CORRELACIÓN .....</b>	<b>81</b>
3.1. MATRIZ DE EVALUACIÓN CUALITATIVA DE CASOS DE ESTUDIO GLOBALES Y LOCALES	81
3.2. DEFINICIÓN DE MATRIZ ANALÍTICA DE SELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO .....	89
3.3. ANALISIS Y CORRELACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO LOCALES Y GLOBALES .....	92
3.3.1.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN .....	110
3.3.1.1.1. SIMILITUD .....	110
3.3.1.1.2. DIFERENCIACIÓN .....	110
3.3.1.1.3. RETOS.....	111
3.3.2. CASO DE ESTUDIO 2 .....	112
3.3.2.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN .....	130
3.3.2.1.1. SIMILITUD .....	130
3.3.2.1.2. DIFERENCIACIÓN .....	131
3.3.2.1.3. RETOS.....	131
3.3.3. ESTUDIO DE CASO 3 .....	132
3.3.3.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN .....	156
3.3.3.1.1. SIMILITUD .....	156
3.3.3.1.2. DIFERENCIACIÓN .....	157
3.3.3.1.3. RETOS.....	157

<b>3.3.4. ESTUDIO DE CASO 4 .....</b>	<b>159</b>
<b>3.3.4.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN .....</b>	<b>180</b>
<b>3.3.4.1.1. SIMILITUD .....</b>	<b>180</b>
<b>3.3.4.1.2. DIFERENCIACIÓN .....</b>	<b>181</b>
<b>3.3.4.1.3. RETOS.....</b>	<b>181</b>
<b>3.4. SINTESIS INTERPRETATIVA .....</b>	<b>182</b>
<b>3.5. PILOTO DE DESARROLLO DE MODELO DE INFORMACIÓN DE CIUDAD EMPLEANDO METODOLOGÍA CIM .....</b>	<b>186</b>
<b>4. HALLAZGOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>191</b>
<b>4.1. RESULTADOS .....</b>	<b>199</b>
<b>4.1.1. POTENCIALIDADES .....</b>	<b>199</b>
<b>4.1.2. RETOS.....</b>	<b>201</b>
<b>4.1.3. IDENTIFICACIÓN DE FLUJOS DE TRABAJO .....</b>	<b>203</b>
<b>CAPITULO 5 .....</b>	<b>206</b>
<b>5. REVISIÓN CRITICA .....</b>	<b>206</b>
<b>5.1. PLAUSIBILIDAD.....</b>	<b>206</b>
<b>5.2. VALIDEZ.....</b>	<b>207</b>
<b>5.3. RIGOR.....</b>	<b>208</b>
<b>5.3.1. VALOR DE VERDAD .....</b>	<b>208</b>
<b>5.3.2. APLICABILIDAD .....</b>	<b>209</b>

<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	210
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	213
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	214

## ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1</i> Evolución de la forma urbana en Estados Unidos de Norte América (Soja,1989). .....	29
<i>Ilustración 2</i> Influencia de las instituciones y el capital social sobre los procesos de innovación urbana (Méndez, 2007).....	31
<i>Ilustración 3</i> Internet de las cosas: cuota del mercado mundial, según área de aplicación, 2017 (En porcentaje) (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018).....	33
<i>Ilustración 4</i> Evolución geoinformática. Desde el papel a la realidad virtual (Fuenzalida, M. Buzai, G. D. Moreno J. A. Garccia de Leon, 2015). .....	37
<i>Ilustración 5</i> Componentes SIG elaboración propia .....	39
<i>Ilustración 6</i> Ciclo de vida del proyecto metodología BIM fuente Autodesk. ....	41
<i>Ilustración 7</i> La superposición entre los campos de SIG y BIM (Liu et al., 2017). ....	45
<i>Ilustración 8</i> Gemelo digital de ciudad CIM software Infracworks París modelo base y con temáticos aplicado a las construcciones <a href="https://www.bim42.com/2017/01/modeling-paris-with-infracworks/">https://www.bim42.com/2017/01/modeling-paris-with-infracworks/</a> . .....	52
<i>Ilustración 9</i> Bentley Opencities planner temático sobre construcciones fuente <a href="https://www.slideshare.net/hengman/bentleys-opencities-planner-excityplanner-at-scewc">https://www.slideshare.net/hengman/bentleys-opencities-planner-excityplanner-at-scewc</a> .....	54
<i>Ilustración 10</i> Gemelo digital urbano con City engine, comparativo de gemelo digital base + temático aplicado a las construcciones fuente <a href="https://www.aeroterra.com/es-ar/productos/esri-cityengine/introduccion">https://www.aeroterra.com/es-ar/productos/esri-cityengine/introduccion</a> .....	55

Ilustración 11 Ciudad virtual integración CIM + Smart city fuente (A. L. Amorim, 2015). .....	57
Ilustración 12 Los Pilares que sustentan la Smart City y su Gobernanza fuente (Murgante & Borruso, 2014). .....	65
Ilustración 13 AGM - Zonas de activación plan maestro fuente Real Estate at Dholera Smart City and SIR .....	67
Ilustración 14 Plan maestro Songdo fuente In habitat .....	69
Ilustración 15 Esquema protocolo de ciudad fuente (Governance, 2015). .....	74
Ilustración 16 Índice de implementación digital en los sectores productivos fuente Mckinsey y Camacol 2017. ....	75
Ilustración 17 Diagrama de flujo de trabajo interno implementación metodológica CIM en organizaciones fuente elaboración propia.....	79
Ilustración 18 Diagrama de flujo metodológico de la evolución de los sistemas de representación y comprensión territorial bajo implementaciones tecnológicas, fuente elaboración propia .....	80
Ilustración 19 Diagrama de flujos de trabajo Smacef fuente (Pribyl et al., 2017). .....	83
Ilustración 20 problemática de fusión entre modelos 3d y el terreno en el cual se implantan fuente (Yan et al., 2019).....	95
Ilustración 21 Enfoque 1, para hallar el TIC fuente (Yan et al., 2019). .....	96
Ilustración 22 Enfoque 2, para hallar el TIC fuente (Yan et al., 2019). .....	97
Ilustración 23 Enfoque 3, para hallar el TIC fuente (Yan et al., 2019). .....	98
Ilustración 24 Enfoque 4, para hallar el TIC fuente (Yan et al., 2019). .....	99
Ilustración 25 Localización y planta de afectaciones normativas fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU- .....	103
Ilustración 26 Gemelo digital con condicionantes fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-104	

Ilustración 27 Escenario 1 análisis de trazado vehicular fuente Centro de modelación urbana CMU - EDU- .....	105
Ilustración 28 Escenario 2 análisis de trazado vehicular fuente Centro de modelación urbana CMU - EDU- .....	105
Ilustración 29 Escenario 3 análisis de trazado vehicular fuente Centro de modelación urbana CMU - EDU- .....	106
Ilustración 30 Escenario 4 análisis de trazado vehicular fuente Centro de modelación urbana CMU - EDU- .....	106
Ilustración 31 Escenario 4 con implantación del programa arquitectónico fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU- .....	107
Ilustración 32 Diagrama metodológico fuente (Chowdhury & Schnabel, 2018) .....	116
Ilustración 33 Visualización de Karori Mall con el costo de construcción por metro cuadrado cambiando el ancho y la altura del edificio. Fuente (Chowdhury & Schnabel, 2018) .....	118
Ilustración 34 interfaz gráfica de usuario para generar tipos de alojamiento y visualizar en línea fuente (Chowdhury & Schnabel, 2018) .....	118
Ilustración 35 plataforma de colaboración en línea para visualizar múltiples escenarios, con costo de construcción por metro cuadrado fuente (Chowdhury & Schnabel, 2018). .....	119
Ilustración 36 Diagrama metodológico fuente elaboración propia .....	124
Ilustración 37 Definición de polígono de intervención fuente informe de avance de instrumentos Plan de Ordenamiento Territorial Departamento de Planeación Municipal .....	125
Ilustración 38 Programación visual con Dynamo para Revit, para controlar parámetros de geometría fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	126

Ilustración 39 Interfaz de visualización del gemelo digital en tiempo real con tabla maestra, para tomar decisiones fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	126
Ilustración 40 Geo visor 3d web, para realizar procesos de socialización, con la comunidad fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-.....	127
Ilustración 41 Estilo de representación definitiva, para mayor comprensión de promotores e inversionistas fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	127
Ilustración 42 Diagrama de intercambio de datos integrado o flujos de trabajo fuente (Bröcker et al., 2017). .....	135
Ilustración 43 Integración de datos BIM y datos de planificación medioambiental GIS fuente (Bröcker et al., 2017).....	136
Ilustración 44 Flujo de trabajo de BIM a GIS con la extensión de interoperabilidad de datos de Esr fuente .....	138
Ilustración 45 Integración de datos BIM de Autobahn A99 (puente en círculo) en 3D GIS y entorno modelo de datos de planificación ambiental fuente (Bröcker et al., 2017).....	139
Ilustración 46 Tramos del trazado del proyecto fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .	145
Ilustración 47 Pasos generales metodológicos fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- ...	145
Ilustración 48 Repositorio y estructura documental de insumos a modelar fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	146
Ilustración 49 Definición del sistema coordenado, para georreferenciar la planimetría del proyecto fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	147
Ilustración 50 Visualización de levantamiento LIDAR fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	147

Ilustración 51 Rectificación de levantamiento arbóreo fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	148
Ilustración 52 Modelamiento de infraestructura bajo metodología BIM fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-.....	149
Ilustración 53 Gestión de tramos del proyecto fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-... 149	
Ilustración 54 Generación de script de programación visual, para integrar información XML a Revit fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	150
Ilustración 55 Generación de familias paramétricas de árboles, para gestionar la caracterización de individuos arbóreos fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-.....	151
Ilustración 56 plataforma de afectaciones y gestión catastra fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU- .....	152
Ilustración 57 Reporte de hallazgos e incidencias fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-	152
Ilustración 58 Tablero de control de reportes, hallazgos e incidencias fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-.....	153
Ilustración 59 Representación final del proyecto fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-	153
Ilustración 60 Modelos de datos 3D y tareas de planificación espacial. Fuente (Sabri et al., 2019)... 161	
Ilustración 61 Medición de los impactos del desarrollo de la combinación de usos del suelo en los entornos urbanos futuros. Fuente (Sabri et al., 2019). .....	162
Ilustración 62 Diseño conceptual e interrelaciones del proyecto fuente (Sabri et al., 2019). .....	164
Ilustración 63 La interfaz de usuario para la configuración de escenarios 3d fuente (Sabri et al., 2019). .....	167
Ilustración 64 Plataforma de análisis de transitabilidad fuente (Sabri et al., 2019).....	167



Ilustración 65 Comparativo de digitalización territorial comuna 8 Cerro Pan de Azúcar Medellín fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU- .....	173
Ilustración 66 proceso de construcción de gemelo digital de diagnóstico territorial fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU- .....	175
Ilustración 67 Gemelo digital de diagnóstico territorial fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU- .....	176
Ilustración 68 Gemelo digital de formulación territorial fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU- .....	176
Ilustración 69 Comparativo de escenarios diagnóstico y formulación polígona de mejoramiento integral de barrio 13 de noviembre fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU- .....	177
Ilustración 70 Gemelo digital CIM de escala macro, articulando los 4 casos de estudio locales fuente elaboración propia .....	188
Ilustración 71 Integración del caso de estudio 1 en el modelo de información de ciudad CIM de escala macro fuente elaboración propia .....	189
Ilustración 72 Integración del caso de estudio 2 en el modelo de información de ciudad CIM de escala macro fuente elaboración propia .....	189
Ilustración 73 Integración del caso de estudio 3 en el modelo de información de ciudad CIM de escala macro fuente elaboración propia .....	190
Ilustración 74 Integración del caso de estudio 4 en el modelo de información de ciudad CIM de escala macro fuente elaboración propia .....	190
Ilustración 75 Diagrama de priorización de criterios y variables fuente elaboración propia .....	197
Ilustración 76 Diagrama de flujo de trabajo integración de modelos de territorios parciales articulados en el modelo de información de ciudad de escala macro fuente Elaboración propia .....	198

**TABLAS**

Tabla 1 Modelo de análisis cualitativo para iniciativas de implementación tecnológica territorial, fuente elaboración propia.....	88
Tabla 2 Matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio 1, fuente elaboración propia.....	90
Tabla 3 Matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio 2, fuente elaboración propia.....	91
Tabla 4 Matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio 3, fuente elaboración propia.....	91
Tabla 5 Matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio 4, fuente elaboración propia.....	91
Tabla 6 Matriz de evaluación de madurez y validez caso de estudio 1 fuente elaboración propia ....	109
Tabla 7 Matriz de evaluación de madurez y validez caso de estudio 2 fuente elaboración propia ....	129
Tabla 8 Matriz de evaluación de madurez y validez caso de estudio 3 fuente elaboración propia ....	155
Tabla 9 Matriz de evaluación de madurez y validez caso de estudio 4 fuente elaboración propia ....	179
Tabla 10 Matriz resumen de análisis correlacional de casos de estudio fuente elaboración propia. .	183

## INTRODUCCIÓN

A finales de la década de los 80s, la reestructuración industrial en Estados Unidos caracterizada por una mayor flexibilidad en las prácticas económico-espaciales que fomentaran mayor rentabilidad, permitió, la internacionalización con el fin de explorar distintas variantes globales del tema de la producción y la espacialización flexible, haciendo énfasis en el modelo japonés e italiano. Es así como las nuevas tecnologías de la informática como la electrónica moderna, la informática y la robótica fortalecen y apalancan la economía transaccional emergente (Soja, 2008). Permitiendo dar paso a la idea de la globalización como se conoce hoy en día, la cual busca como principal objetivo la conectividad de los territorios, culturas y costumbres, a través de plataformas de hiper conexión virtual que permite la interacción en tiempo real. Todo esto soportado bajo modelos económicos de aglomeración, que buscan ampliar y consolidar redes de intercambio transnacionales e intercontinentales, optimizando lo que en palabras de Michael Storper se define como la Sagrada trinidad compuesta por (Organizaciones, tecnologías y territorios), base fundamental del capitalismo contemporáneo (Soja, 2008).

En palabras de George Orwell "El progreso no es una ilusión; ocurre, pero es lento e inevitablemente decepcionante" es así como el ser humano está absorbido por los avances de sobre estimulación tecnológica, hiper conectividad y afán de alcanzar los niveles de desarrollo y aceptación social propuestos por los modelos económicos, en especial el capitalismo contemporáneo, base inductora fundamental de la cuarta revolución industrial, llamada también la era de la digitalización o virtualización, que busca mediante la generación de datos informáticos, el procesamiento de grandes volúmenes de información, para analizar, comprender y predecir comportamientos de fenómenos físico espaciales que afectan en general cualquier proceso del ser humano en relación con su contexto territorial.

Coyunturas históricas, como la pandemia iniciada en 2020, están acelerando los procesos de cambio y adaptación que la globalización en el marco de la cuarta revolución industrial, plantea para cada disciplina

del conocimiento humano, es así como la virtualidad ha permitido continuar con nuestras actividades productivas guardando un distanciamiento social, para evitar agudizar aún más las problemáticas de salud pública generadas.

En términos de planificación, diseño y construcción de ciudades, el urbanismo y la arquitectura, no son ajenos a estas intenciones, es por esto que surgen metodologías de trabajo, como SIG<sup>1</sup>, BIM<sup>2</sup> y CIM<sup>3</sup>, que ayudan a optimizar en diferentes escalas la comprensión de los fenómenos asociados a los territorios, permitiendo minimizar la subjetividad de la toma de decisiones, y mejorando considerablemente los tiempos de respuesta. La investigación busca comprender los potenciales y retos planteados en sus múltiples escalas de aplicación en el territorio, y esto como aporta a los modelos de información de ciudad CIM con miras a complementar una ciudad inteligente por medio de la identificación de posibles flujos de trabajo, Lo que facilita la optimización de la comprensión y comunicación de los fenómenos físico espaciales a la hora de tomar decisiones en tiempo real y crea modelos de información de ciudad asemejándose a un gemelo digital, que ayuda a disminuir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones, y se convierte en un insumo potencial más, para alimentar el concepto de ciudad inteligente, enmarcado en los retos que supone llevar a cabo la cuarta revolución industrial, la cual exige nuevas maneras de abordar los ejercicios de análisis y comprensión de las dinámicas establecidas entre los sujetos y los objetos que habitan el territorio.

De igual manera la investigación por medio de la descripción casuística local, busca describir como este fenómeno de pandemia, se convierte en una oportunidad, para estudiar un caso específico desarrollado antes y durante la emergencia sanitaria, logrando identificar las ventajas, retos e impactos, que las tecnologías propias del entendimiento y comprensión territorial mediante las metodologías SIG, BIM y

---

<sup>1</sup> Sistemas de información geográfica

<sup>2</sup> Building information modeling

<sup>3</sup> City information modeling

CIM, representan como una opción para afrontar la adaptación a dichos cambios, y su correcta implementación en los flujos de trabajos coordinados, que ayuden a generar oportunidades de colaboración transdisciplinaria sin importar las condiciones fenomenológicas que afecten el entorno de los actores que intervienen en el desarrollo de los proyectos, pero a su vez supone retos de conectividad, acceso a los datos y conocimiento de herramientas tecnológicas que faciliten esta colaboración remota.

## JUSTIFICACIÓN

El interés particular de identificar los posibles flujos de trabajo entre las escalas y temporalidades múltiples, con las metodologías SIG, BIM y CIM, obedece en gran medida a la experiencia profesional del ejercicio de la planificación urbana, el diseño urbano arquitectónico y la construcción, disciplinas que interactúan de forma directa con el territorio, y que según un estudio realizado por McKinsey<sup>4</sup> y Camacol<sup>5</sup> en 2017 el sector de la construcción y sus disciplinas complementarias se encontraban en el último renglón de la implementación de desarrollos tecnológicos, como buenas prácticas, para potencializar la productividad económica.

La necesidad de entender el territorio como un espacio tangible, que es susceptibles de virtualizar, mediante la captura remota de datos, para generar información que sea útil para diferentes sectores del conocimiento, creando redes de cooperación, y transferencia de datos, que busquen cada día fortalecer el concepto de ciudades inteligentes, es una de las principales metas que plantea la cuarta revolución industrial, para las ciudades contemporáneas.

A nivel nacional el DNP (Departamento Nacional de Planeación) dentro de sus objetivos principales busca hacer evolucionar los instrumentos normativos territoriales, a instrumentos modernos, que ayude a optimizar el control y administración de los municipios para aumentar la eficiencia, disminuir el factor de riesgo, fomentar procesos de planificación coherentes y continuados en el tiempo que superen los tiempos políticos, garantizando una gestión pública más efectiva y equitativa.

Así mismo busca incentivar a la concientización del valor de la información y los retos a los que se verá enfrentado para administrarla correctamente. Medellín a través de varias iniciativas ha realizado un proceso de innovación tecnológico, que le ha permitido implementar procesos y metodologías disruptivas

---

<sup>4</sup> McKinsey & Company, Inc

<sup>5</sup> Cámara Colombiana de la Construcción

en varios sectores productivos tomando la delantera frente a otras ciudades de Colombia en temas de innovación e implementación tecnológica, y siendo seleccionada como la sede para la cuarta revolución industrial para Latinoamérica.

Es por esto que, está obligada a implementar nuevas tecnologías basadas en la utilización de datos informáticos, y la identificación de estrategias y metodologías, que ayuden a la planificación y gestión más eficiente de los procesos de desarrollo de la ciudad. Para ello las metodologías SIG, BIM y CIM pueden aportar al modelamiento territorial 3d, como base digital, para graficar, espacializar, comprender y comunicar los diferentes fenómenos que intervienen en el territorio, con miras a consolidar modelos de información de ciudad que complemente la idea de una ciudad inteligente. A su vez La implementación de normas y estándares, para las metodologías SIG, BIM y CIM permiten unificar criterios para la recolección, depuración y construcción de datos informáticos, que contribuyan a la transparencia de la información territorial.

En Colombia y concretamente en Medellín al no existir aún dicha normatividad y estándares, no somos aún conscientes de los retos a los que nos enfrentamos con el uso de la información territorial y sus consecuencias a futuro. Si a esto le sumamos los efectos generados por la pandemia, se hace imperante pensar en términos de interdisciplinariedad y transdisciplinariedad como base para identificar los flujos de trabajo entre las diferentes disciplinas propias del entendimiento territorial sus escalas de trabajo y temporalidades que pueden contribuir a la construcción colectiva de una ciudad inteligente basada en constructos parciales de territorios inteligentes.

De esta manera, a través de la investigación se busca entender como mediante la implementación de metodologías y nuevas tecnologías, es posible complementar los cimientos necesarios para construir modelos de ciudades informacionales, más inteligentes y acordes con las exigencias que plantea la nueva

evolución de la industria. Adicionalmente supone un reto de toma de conciencia sobre la importancia de administrar correctamente la información, pues de ello depende la transparencia, equidad y justicia a la hora de reportar resultados producto de los datos, y esto se ve reflejado en la falta de trazabilidad y entendimiento de como surgen los resultados de análisis geoespaciales, para comprender los fenómenos que afectan el territorio.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El ordenamiento del territorio de Medellín presenta desactualización en protocolos de trabajo entre las diferentes escalas territoriales, así como desconocimiento en procesos de captura, gestión, almacenamiento y utilidad de la información, para diferentes campos del conocimiento humano y su entorno físico. Esto es un claro síntoma de la falta de la articulación e interoperabilidad de los flujos de trabajo mediante metodologías propias del entendimiento y la interpretación territorial de carácter de escalas y temporalidades múltiples que, en el marco de la cuarta revolución industrial, permitan digitalizar los procesos de planificación, diseño y construcción. Lo anterior supone un problema que afecta la optimización en tiempos, recursos y minimización de la incertidumbre a la hora de tomar decisiones en tiempo real.

### **PREGUNTA**

En el marco de la cuarta revolución industrial y en el contexto local, las nuevas tecnologías propias del entendimiento e interpretación territorial ¿qué potenciales y retos plantean en sus múltiples escalas de aplicación en el territorio, y esto como aporta a los modelos de información de ciudad CIM con miras a complementar una ciudad inteligente?



## **HIPÓTESIS I**

Los flujos de trabajo entre metodologías propias del entendimiento territorial, supone un gran avance en la optimización de la comprensión y comunicación de los fenómenos físico espaciales a la hora de tomar decisiones en tiempo real, pero a su vez implican retos en términos de evitar la obsolescencia de la información, la adquisición de hardware, software, personal calificado y la minimización del sesgo del resultado favoreciendo un sector u otro de la población, que permite una correcta y eficiente gestión de los territorios.

## **HIPÓTESIS II**

Las nuevas tecnologías bajo metodologías SIG, BIM y CIM permite crear modelos de información de ciudad asemejándose a un gemelo digital, que ayudan a disminuir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones, y se convierte en un insumo potencial más, para alimentar el concepto de ciudad inteligente, pero a su vez supone un reto al desmitificar la interdependencia única y absoluta de los dispositivos tecnológicos, como fuente de captura de datos para alimentar dichos territorios inteligentes.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Reconocer los potenciales y retos de las nuevas tecnologías propias del entendimiento e interpretación territorial, para lograr una gestión más eficiente en los territorios. Identificando como el concepto de modelo de información de ciudad complementa el termino de ciudad inteligente, correlacionando el ámbito global y el local, sus requerimientos e implicaciones comprendiendo las nuevas tecnologías como un medio más no un fin.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Describir los flujos de trabajo a través de metodologías propias del entendimiento y comprensión territorial, definiendo las prácticas tradicionales de Planificación urbana y diseño urbano arquitectónico mediante el análisis de casos en diversas escalas, estableciendo, cómo mediante el uso de las nuevas tecnologías y los flujos de trabajo transdisciplinarios de metodologías propias del entendimiento territorial, se puede ampliar las ventajas para comprender los fenómenos asociados al territorio, con miras a reducir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones.
2. Identificar las ventajas potenciales y los retos que supone la implementación de estos flujos de trabajo mediante la implementación de las nuevas tecnologías bajo metodologías SIG, BIM y CIM, a través de la captura, administración y actualización de la información, definiendo la importancia que representan los datos a la hora crear modelos de información de ciudad.
3. Especificar y valorar los impactos potenciales y retos que suponen la implementación local de los modelos de información de ciudad, con miras a cualificar y ampliar el concepto de ciudad inteligente.

## **CAPITULO 1**

### **1. MARCO TEÓRICO CONTEXTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA**

#### **1.1. ANTECEDENTES GLOBALIZACIÓN Y REVOLUCIONES INDUSTRIALES**

El neoliberalismo en el siglo XX y concretamente en la década de los 70s promueve con eficacia el proceso de globalización y la creciente globalidad de la producción industrial, el intercambio comercial, la integración financiera y el flujo de información que ayudan a promover las condiciones para facilitar las libertades del capitalismo global. Esto permite la desaparición de los límites del espacio urbano, lo que complejiza notablemente variables económicas, sociales, culturales, políticas, psicológicas entre otros fenómenos que ocurren localmente dentro de las fronteras definidas (Soja, 2008). Para Edward Soja geógrafo estadounidense, quien, ampliando las ideas de Henri Lefebvre, en su obra "El derecho a la ciudad", desde una óptica postmodernista busca ampliar la relación intrínseca entre economía y poder en las urbes, afirmando que la construcción social del espacio en el capitalismo posee relaciones más densas basados en acciones culturales y políticas que ayudan a complejizar mucho más la comprensión de las ciudades (Molano Camargo, 2016). Esta complejidad no es ajena al ser humano, al contrario, a lo largo de la historia se ha demostrado que es un ser dependiente de la sociedad, y para ello debe cambiar hábitos y comportamientos individuales, por estructuras complejas de normas y condiciones que adopta como requisitos, para ser aceptado socialmente. Este entramado complejo de relaciones entre deberes y derechos, se le ha dado forma conforme ha evolucionado la civilización humana, a tal punto que el reconocimiento de la noción de Estado, la cual le confiere autonomía territorial, para ejercer control sobre un territorio y dictaminar las leyes y normas, que garanticen una sana convivencia entre los sujetos y objetos que la conforman, es una clara

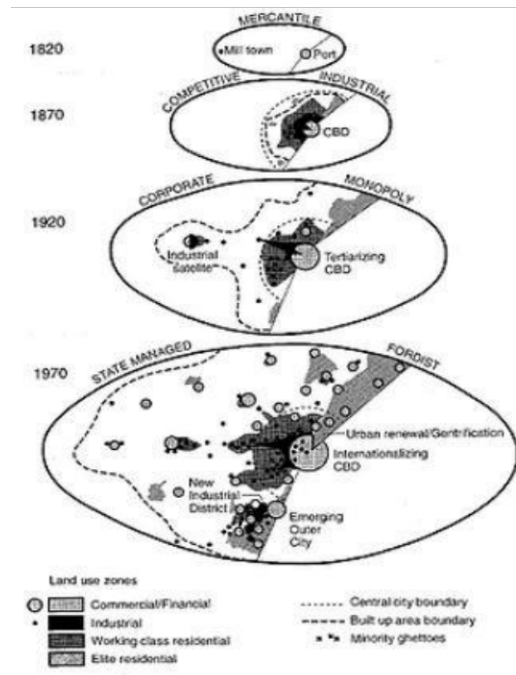
expresión de cómo ha evolucionado las estructuras sociales y sus canales de comunicación e intercambio.

### **Globalización**

Para David Harvey geógrafo estadounidense la década de los 70's en el siglo XX, marca un cambio profundo en la concepción de la acumulación de capitales, la cual evoluciona mediante el capital financiero buscando destruir los capitales pequeños por medio de la figura canibalista del asistencialismo financiero, es decir se pasa del régimen Keynesiano al flexible. Comandado por los grandes capitales privados, que someten a los estados, mediante situaciones como el incremento de la subordinación de países ante las imposiciones de la deuda externa, la mayor depredación de la naturaleza sometida a formas intensivas de explotación y la privatización a gran escala de los servicios sociales urbanos. Esto ha generado La reducción de la capacidad del Estado-nación para controlar los flujos multinacionales de dinero permitiendo que el capital financiero internacional busque negociar con los poderes locales, dando origen así a la eliminación de las barreras físicas, para ejercer control y poder sobre territorios ajenos mediante el capital financiero, lo que se podría conocer hoy como globalización (Molano Camargo, 2016).

La noción de estado nación según Edward Soja constituía tanto una expansión material de la cultura territorial de la ciudad-estado como una abstracción y consolidación de su control más tangible sobre la trama del espacio, el conocimiento y el poder. Dicha evolución social ha evidenciado la necesidad de consolidar relaciones entre naciones y estados, de manera que los intercambios de carácter cultural, social, político y comercial fortalezcan cada vez más esa noción de interconexión sistémica. La cual posteriormente fue evolucionando motivada en gran medida por la necesidad de fortalecer el modelo económico mediante el aumento productivo, dando paso

así a la revolución industrial, la cual desde sus inicios en 1876, se ha optimizado mediante diferentes visiones, hasta llegar a la década de los años 80s donde según Soja, se da lugar a una reestructuración y reindustrialización de la visión Post-Fordista denominada flexibilidad, que planteaba la eliminación de las barreras físicas, para generar una economía comercial mucho más rentable.



*Ilustración 1 Evolución de la forma urbana en Estados Unidos de Norte América (Soja, 1989).*

Esta visión flexible termina consolidando el concepto de internacionalización, tan estudiado por geógrafos, como Milton Santos, quien en su libro metamorfosis del espacio plantea lo siguiente *“Ciertamente, lo que estamos viviendo ahora ha sido largamente preparado y el proceso de internacionalización viene de lejos. El proyecto de mundializar las relaciones económicas, sociales y políticas empieza con la extensión de las fronteras del comercio a comienzos del siglo XVI, avanza intermitentemente a través de los siglos de expansión capitalista para finalmente ganar cuerpo en el momento en que se impone una nueva revolución científica y técnica y en que las formas de vida en el Planeta sufren una repentina*

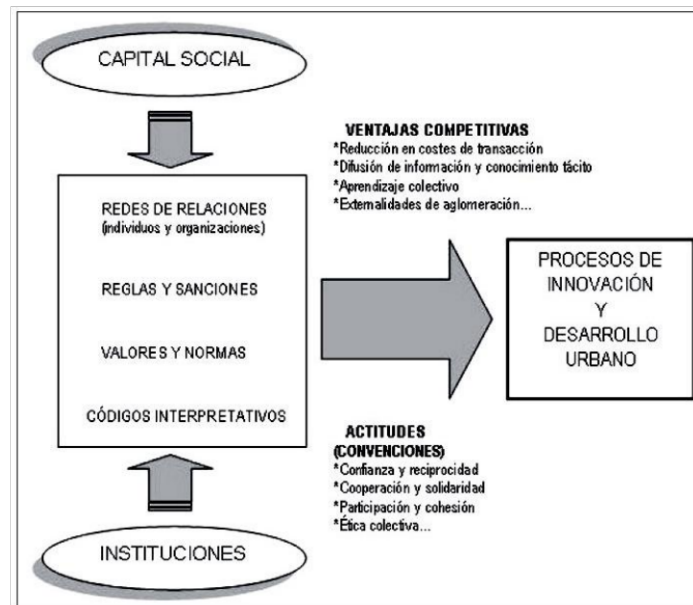
*transformación. Las relaciones del hombre con la naturaleza conllevan una transformación, gracias a los formidables medios puestos a disposición del primero.”*

Así pues, la internacionalización posteriormente evolucionará al concepto de globalización, el cual desde la década de los 90s comenzó a tomar fuerza como un fenómeno ampliamente estudiado por la comunidad científica de las ciencias sociales, realmente no es un tema únicamente propio de finales del siglo XX, más bien se pueden definir en cuatro momentos de evolución en la historia del ser humano.

Un primer momento está asociado con el cambio del ser nómada y recolector, quien estaban orientado a la supervivencia mediante la caza, recolección de frutos y refugio en cuevas, y pasa a ser agricultor, quien descubre en los procesos agrícolas una forma de sustento más auto sostenible, y es allí donde surge la primera codependencia del ser humano con el territorio, pues esto le implica asentarse cerca de las fuentes de agua, para llevar a cabo los riegos de los cultivos, lo que lo deja expuesto a los peligros de los depredadores, y es por esto que surgen las primeras estructuras físicas de conformación de comunidad.

Un segundo momento se puede situar en el renacimiento, en donde la incursión de nuevos conocimientos, como la matemática, la perspectiva, la geometría dictaminan nuevas formas de planificar las ciudades y concebir las edificaciones representativas, además de resaltar la consolidación de la navegación como método principal de intercambio comercial entre las monarquías de la época. Un tercer momento se puede asociar con la revolución industrial, la cual mediante la invención de la maquina a vapor, logra dinamizar por completo la producción de bienes y servicios, desmitifica la noción de distancia y barreras físicas como limitantes de relacionamiento social, cultural, político y comercial, e introduce el factor tiempo, como un determinante de eficiencia.

Finalmente se puede asociar con finales del siglo XX y la consolidación del modelo capitalista a través de su expansión a escala mundial mediante la implementación de las tecnologías de la información y las comunicaciones, lo que ha permitido fortalecer mucho más la adaptación del ser humano a una visión globalizante que supera las delimitaciones político administrativas y fomenta el intercambio a todo nivel de información en tiempo real (Martín-Cabello, 2013).



*Ilustración 2 Influencia de las instituciones y el capital social sobre los procesos de innovación urbana (Méndez, 2007).*

La globalización trae consigo disrupciones que se materializan en innovaciones en los modelos de negocios y sistemas productivos, la reconfiguración de sectores económicos, las nuevas dinámicas en el mundo del trabajo, la oferta de bienes y servicios inteligentes y las nuevas condiciones de competitividad. Cabe presumir que esta dinámica tendrá efectos en los flujos de inversiones y en la estructura productiva de los países, lo que repercutirá en el orden geopolítico prevaeciente en la nueva revolución industrial (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018).

## **Revoluciones industriales**

Para comprender mejor la cuarta revolución industrial, es importante entender sus orígenes, y cómo ha evolucionado, pues influye directamente en los procesos económicos, sociales y culturales de carácter mundial sobre aquellos de carácter nacional o regional. Aunque no se trata de un proceso nuevo, sus raíces históricas son profundas, los drásticos cambios en los espacios y tiempos generados por la revolución de las comunicaciones y la información le han dado nuevas dimensiones, que representan transformaciones cualitativas con respecto al pasado (Soja, 2008).

La primera revolución industrial 1774-1870 surge con los avances tecnológicos en los motores a vapor, el telégrafo, el teléfono, el ferrocarril, el barco a vapor y la industria a vapor, los cuales dinamizaron por completo las dinámicas de la sociedad, pues el factor tiempo empezó a tener relevancia en términos de eficiencia, y la concepción de distancias se reduce producto de eliminar barreras físicas y temporales para trasladarse de un lugar a otro.

La segunda revolución industrial 1870-1969 surge con la creación de la producción en serie que se alcanza gracias al concepto de división de tareas y el uso de la energía eléctrica, de esta manera las cintas transportadoras revolucionan por completo los flujos de trabajo de la industria.

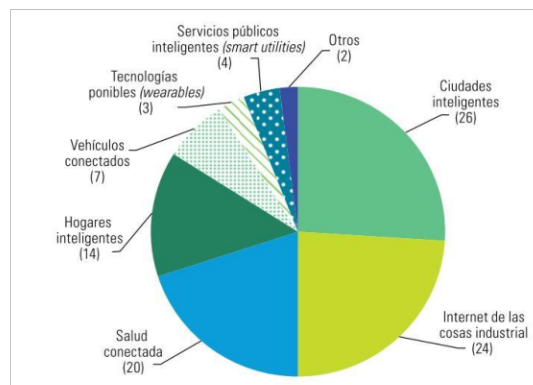
La tercera revolución industrial 1969-2000 se caracteriza por la inclusión del uso de la electrónica y la informática (IT), para promover una producción industrial automatizada, es así como los controladores lógicos programables (PLC), permitía planificar tareas en la cadena de producción.

Y finalmente la cuarta revolución industrial la cual promueve la utilización de infraestructura digital en la nube, para procesamiento, almacenamiento y transferencia de información de todo tipo. De allí que los datos informáticos, cobran tanta relevancia, a tal punto, que ya cada individuo



produce cientos de datos al día a través de sus dispositivos inteligentes, el solo hecho de navegar en la red, utilizar sus redes sociales o realizar compras digitales, genera información que es útil, para comprender como se comportan los mercados, las transacciones financieras, las demandas de productos y servicios y hasta se puede construir perfiles psicológicos de cada individuo para identificar hábitos y costumbres.

En palabras del geógrafo y planificador urbano Michael Batty “Las tecnologías digitales lo han consolidado todo al alcance de cualquiera, en cualquier lugar, configurándose Todo verdaderamente global. (Batty, 2016).



*Ilustración 3 Internet de las cosas: cuota del mercado mundial, según área de aplicación, 2017 (En porcentaje) (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018).*

La gestión, procesamiento y transferencia de este gran volumen de datos solo es posible mediante el uso de redes de alta velocidad de comunicación, y es allí donde la red LPWAN<sup>6</sup> 5G cobra importancia, pues de ello depende la efectividad de cobertura y tiempos de respuesta de conectividad, lo que finalmente hace posible la virtualización de muchas actividades productivas del ser humano, mediante la consolidación de grandes redes inalámbricas e invisibles, que

<sup>6</sup> Low-Power Wide-Area (Área amplia de baja potencia)

---

garantizan la hiper conectividad y los tiempos de respuesta inmediatos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018)

Esta hiper conectividad en tiempo real, permite consolidar la visión globalista impulsada por el capitalismo contemporáneo, en donde la tecnología juega un papel preponderante, para generar un cambio disruptivo en la sociedad. Uno de los grandes ideales planteados por la globalización, es la eliminación de las barreras nacionalistas, para consolidar redes de cooperación a toda escala, fortaleciendo cada vez más los intercambios comerciales, y permitiendo fomentar las redes de cooperación entre naciones, ciudades e instituciones.

### **IOT (Internet de las cosas)**

Si a esto se le suma el IOT<sup>7</sup> el cual consiste en adaptar dispositivos remotos que capturan, digitalizan y estructuran datos físicos en repositorios tipo bases de datos, las cuales almacenan reportes por minutos, horas, días y hasta años, representando una gran cantidad de datos informáticos que se deben procesar y almacenar en algún sitio. Dando lugar a los repositorios de datos llamados Big data, que, mediante algoritmos de procesamiento, gestión y búsqueda de datos, se convierte en una herramienta muy potente y en cuestión de minutos puede realizar búsquedas complejas, que al ser humano le tomaría mayor tiempo poder desarrollar.

### **Iniciativas, prácticas y experiencias**

De esta manera se crean iniciativas como el City protocol, que busca resignificar el concepto de ciudad como un sistema de sistemas fomentado por los comportamientos del ser humano que la habita. Este protocolo evidencia que las divisiones sociales, culturales, políticas y

---

<sup>7</sup> Internet of things (internet de las cosas)

económicas en el marco de la era de la globalización, son ambiguas y porosas, y por tal motivo la gobernanza se realiza pragmática y colaborativamente a nivel local. Dando lugar a la necesidad de generar plataformas comunes que brinden soluciones colaborativas que puedan ser compartidas tanto al interior de cada ciudad, como con las otras ciudades conectadas de manera global.

De igual manera el grupo C40, que tiene como objetivo principal, buscar mecanismo para contrarrestar los efectos de cambio climático, mediante la cooperación de intercambio de buenas prácticas entre las ciudades que lo conforman. Actualmente son 97 ciudades las que pertenecen a este grupo, y establece una red de cooperación internacional, con cinco líneas estratégicas de intercambio, entre las cuales temas como las prácticas de buena gobernanza, energía limpia, edificaciones sostenibles y eficientes, transporte eficiente y sostenible, tratamiento de residuos, manejo consiente del agua y los alimentos, calidad del aire y la implementación y adaptación sostenible son algunas de las temáticas que se trabajan colaborativamente en esta iniciativa, de la cual la ciudad de Medellín hace parte desde el año 2016.

### **Globalización y revolución tecnológica en el contexto local**

Medellín en los últimos 18 años, ha venido buscando el objetivo de cambiar la imagen de ciudad violenta, y ha apostado a los procesos de cooperación internacional, para generar alternativas de cambio efectivas en el tiempo. Es así como alianzas de cooperación como las entabladas entre la ciudad de Barcelona y Medellín son un claro ejemplo del potencial de desarrollo que representan estos pactos de intercambio bilateral. Este en particular le permitió a la ciudad de Medellín, acceder al conocimiento en temas relacionados con la planificación urbana, como una herramienta muy potente, para gestionar y administrar las dinámicas de la ciudad. Medellín logró asimilar el conocimiento que se le compartía, pero a su vez lo internalizaba, para

adaptarlo a las condiciones particulares de su territorio, y garantizar de esta manera una correcta implementación, que permita impactar positivamente sus comunidades, pero a la vez que posibilitara la replicabilidad en el tiempo en otros territorios.

Es importante resaltar que uno de los riesgos de la cooperación bilateral, es que dicha colaboración se genere en una sola dirección, es decir de la ciudad desarrollada hacia la ciudad en procesos de desarrollo más no existe retroalimentación en el sentido contrario.

El caso Medellín permite evidenciar que al generar una adaptación del conocimiento recibido, logra transformar mediante metodologías propias las estrategias foráneas, generando así un nuevo conocimiento que puede ser de interés, para otras ciudades en vía de desarrollo, es así como el urbanismo social ejecutado por Medellín, convierte a esta ciudad en un referente latinoamericano, que es estudiado por otras ciudades de la región, consolidando así un intercambio entre pares que permite seguir cultivando relaciones de ayuda y cooperativismo en favor de la región (Franco, 2020).

## **1.2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO CONTEXTUAL**

A finales del siglo XX, la globalización y la cuarta revolución industrial mediante la implementación de la tecnología, ayudó a la ciencia de la geografía a generar una línea de profundización denominada geografía automatizada, esta última basada en la geo tecnología es decir en los profundos desarrollos de la tecnología al servicio de la ciencia (Buzai D., 2001), esta línea de profundización tiene por antecedente posturas frente al análisis de la realidad geográfica que fueron evolucionando de manera paralela, la primera se denominó ecología del paisaje y la segunda geografía postmoderna.

Esta automatización de la geografía centra su principal sustento en los análisis cuantitativos elaborados por sistemas de cómputo, que generan una nueva visión de la noción de complejidad, temporalidad y diversidad a la hora de realizar análisis e investigaciones. Con la inserción de la metodología SIG<sup>8</sup> en el campo de la geografía a partir de mediados de la década de los años 60s, surgen las primeras automatizaciones, las cuales evolucionaron hasta convertirse en una influencia creciente en la sociedad a tal punto que para inicios de la década de los 90s la comunidad científica de geógrafos reconoció un nuevo campo de estudio denominado la geo informática. En palabras de Gustavo Buzzai “Un mundo real que se transforma en un modelo digital, presenta posibilidades de un manejo de la información geográfica hasta hace poco tiempo insospechado”(Buzzai D., 2001).

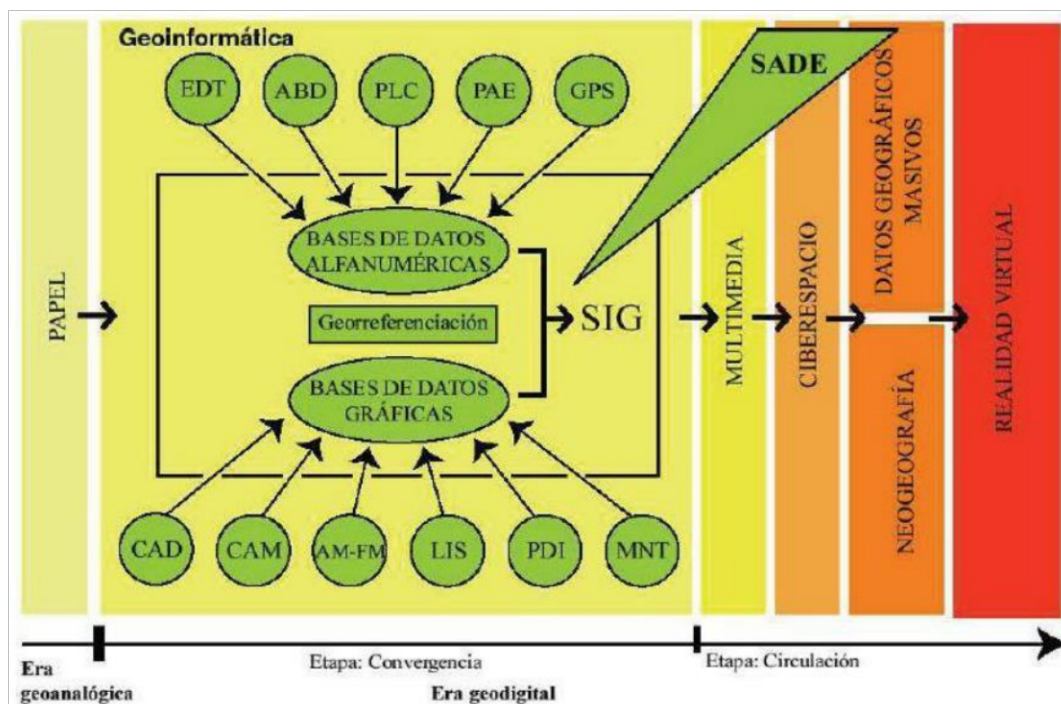


Ilustración 4 Evolución geoinformática. Desde el papel a la realidad virtual (Fuenzalida, M. Buzzai, G. D. Moreno J. A. Garcia de Leon, 2015).

<sup>8</sup> Sistemas de Información Geográfica

Se puede entonces hablar de una “geo tecnología”(Buzai, 2001) que, genera una nueva visión del espacio geográfico que plantean nuevos modos de ver la realidad en el análisis espacial digital. De allí que la mayoría de saberes del ser humano que son susceptibles de geo espacializar, se apoyen en estas herramientas, para una comunicación y complementariedad analítica mucho más eficiente.

Los sistemas CAD<sup>9</sup>, SIG<sup>10</sup>, PDI<sup>11</sup>, LIS<sup>12</sup> y GPS<sup>13</sup> han revolucionado por completo las metodologías tradicionales de elaboración de estudios relacionados con el territorio. A tal punto que las relaciones interdisciplinarias entre geografía y otras ciencias que comenzaban a ver la gran utilidad de incluir en sus análisis y estudios la variable espacial, se presenta como un nuevo potencial ámbito de exploración.

Para comprender mejor los sistemas de información geográfica (SIG), es importante entender primero el concepto de sistema, como una colección estructurada de elementos que están relacionados unos con otros, las relaciones están organizadas de tal forma que deben funcionar efectivamente. Así mismo los sistemas de Información se entiende como el conjunto de métodos, actividades, personas y herramientas que una organización necesita para satisfacer su demanda de información. Finalmente se puede decir que SIG es una herramienta computacional formada por hardware, software, procedimientos, datos y recursos humanos organizados para la generación de información relevante sobre la superficie terrestre como soporte a la planeación y toma de decisiones.

---

<sup>9</sup> Diseño asistido por computador

<sup>10</sup> Sistemas de información geográfica

<sup>11</sup> Procesamiento digital de imágenes

<sup>12</sup> Sistemas catastrales (Land information systems)

<sup>13</sup> Sistemas de posicionamiento global



*Ilustración 5 Componentes SIG elaboración propia*

La industria de los SIG constituye hoy un sector multimillonario en el que se invierte muchos recursos en la adquisición, difusión de datos, el desarrollo de software y de aplicaciones. Ha permeado virtualmente en todas las disciplinas que tratan de alguna forma con la superficie o con las proximidades a la superficie de la tierra, desde la ciencia atmosférica y la oceanográfica a la criminología y la historia. En los últimos años se han registrado grandes progresos para apoyar la representación de variaciones en el espacio-tiempo y en las tres dimensiones, sumando la variable tridimensional que ayuda a comprender desde otros puntos de vista los análisis y sus complejidades.

Paralelamente el término Diseño asistido por ordenador CAD fue acuñado por Douglas Ross y Dwight Baumann en 1959, surgiendo por primera vez en 1960, en un anteproyecto del MIT<sup>14</sup>, titulado 'Computer-Aided Design Project'. Para la época ya se había comenzado a trabajar en la utilización de sistemas informáticos en el diseño, fundamentalmente de curvas y superficies. Estos trabajos se desarrollaron en la industria automovilística, naval y aeronáutica principalmente.

Hay un gran número de aplicaciones que de uno u otro modo automatizan parte de un proceso de diseño. Actualmente, para casi cualquier proceso de fabricación o elaboración se dispone de herramientas informáticas que soportan este proceso. En ingeniería civil podemos encontrar aplicaciones 2D, y especialmente en arquitectura, aplicaciones 3D.

<sup>14</sup> Massachusetts Institute of Technology

A mediados de la década de los 80s en el siglo XX, se generó el primer software que planteaba la metodología BIM, el cual superaba el concepto de dibujo asistido por computador CAD 2d, e implementa el concepto de diseño paramétrico, en el cual cada componente de un proyecto, es una entidad que posee propiedades informativas de carácter cualitativo y cuantitativo.

Este avance suponía una revolución en los procesos metodológicos tradicionales de planificar, diseñar y construir los proyectos arquitectónicos, pues la plataforma permitía diseñar y modelar en tres dimensiones al mismo tiempo, optimizando los procesos de elaboración planimétrica de los proyectos y reduciendo considerablemente los reprocesos originados por cambios en el desarrollo proyectual.

Building information modeling (BIM) es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual, que, mediante flujos de trabajo integrados basados en la coordinación e información fiable sobre un proyecto desde el diseño hasta la construcción, permiten optimizar cada una de las etapas de desarrollo del proyecto, buscando minimizar los reprocesos, incidencias y hallazgos, que contribuyan a tomar decisiones más acertadas.





*Ilustración 6 Ciclo de vida del proyecto metodología BIM fuente Autodesk.*

Se podría decir pues, que tanto la metodología SIG, que abarca el componente territorial de múltiples escalas y temporalidades, como la metodología BIM que cubre en gran medida el componente de escala micro o puntual, han tenido un proceso de maduración y consolidación bastante importante en los sectores y disciplinas de implementación.

En la actualidad SIG viene trabajando en el aprovechamiento de los avances en dispositivos de captura remota tipo IOT<sup>15</sup>, para sensoramiento remoto, levantamientos de nubes de puntos, que permitan agregar mayor detalle y precisión a las cartografías, modelos y análisis que se desarrollen.

Así mismo la aglutinación de múltiples aplicativos tanto de analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva, así como la representación 2d, 3d y la comunicación en la web, mediante geo visores 2d y

<sup>15</sup> Internet de las cosas

3d, facilitan la interacción con los usuarios, transformando constantemente los métodos tradicionales de análisis, representación, divulgación y consolidando flujos de trabajo transdisciplinarios entre los diferentes campos del conocimiento y su interacción con el territorio.

Por otra parte, la metodología BIM ha evolucionado comprendiendo la necesidad de concatenar diferentes disciplinas propias del desarrollo de infraestructura urbana y arquitectónica en un flujo de trabajo sincronizado, lo que facilita la coordinación, gestión y administración de la información de cada proyecto. En la actualidad dicha metodología ha avanzado en el desarrollo de plataformas colaborativas en línea, que fortalezcan la gestión y administración de los procesos de desarrollo de los proyectos, permitiendo generar seguimientos, reportes y trazabilidad en tiempo real de la ejecución de las diferentes etapas de la cadena de desarrollo proyectual.

Así mismo buscando fortalecer la eficiencia y disminución de reprocesos, se avanza en la automatización de pasos metodológicos propios del desarrollo de los proyectos, implementando el concepto de programación visual, el cual potencializa mucho más las posibilidades de conectividad con múltiples fuentes informáticas, así como aumentar las posibilidades de generación de geometrías complejas, extracción de datos, automatización de procesos rutinarios y la creación de escenarios propositivos múltiples, que ayudan a reducir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones y aumenta el radio de interacción metodológica con disciplinas complementarias propias del entendimiento territorial.

Si bien ambas metodologías por si solas han avanzado cada una en su campo de interés con gran acierto, no se puede desconocer el entorno físico que contiene ambas metodologías, siendo el espacio geográfico la unidad territorial que los une. Es allí donde surge la necesidad de pensar en los posibles flujos de trabajo multi escalares y multi temporales que permitan trabajar los proyectos de

---

manera más holística, comprendiendo que las ciudades son complejos ecosistemas de elementos o partes conectadas, donde las actividades humanas están enlazadas por comunicaciones que interactúan en tanto el conjunto sistémico evoluciona dinámicamente. En este sistema, cualquier alteración espacial o estructural en una de sus partes modifica las otras partes del sistema (Fernández Güell, 2015).

Buscando comprender mejor como se pueden generar los flujos de trabajo entre las metodologías anteriormente descritas, es necesario comprender que ambas poseen estándares y protocolos metodológicos de ámbito internacional, que les permiten homologar los criterios de intercambio y aplicabilidad en cualquier territorio, el estándar para la metodología SIG será el ISO 19100, el cual, al tener mayor tiempo de desarrollo e implementación, ha generado mayor número de normas y protocolos específicos, que ayudan a definir la correcta aplicación metodológica a nivel de espacialización, análisis y representación 2d y 3d, tanto en cartografías impresas, como en modelos digitales.

Y para, la metodología BIM, está regida por el estándar ISO 19650, la cual, al ser más reciente, aún no tiene el nivel de madurez y consolidación que posee el estándar SIG. Esto se ve igualmente reflejado en el nivel de implementación de ambas metodologías a nivel global, donde claramente SIG se encuentra consolidado en la mayoría de los países, como plataformas de apoyo en la captura, generación, gestión, almacenamiento, depuración, actualización, análisis, espacialización y representación de la información.

Así mismo es importante comprender que existe un estándar, para fortalecer el flujo de trabajo en tercera dimensión, concretamente cuando se habla de territorios urbanos, CityGML<sup>16</sup> es un modelo

---

<sup>16</sup> modelo de información común para la representación de conjuntos de objetos urbanos en 3D.

de datos abiertos de vectores 3D basado en el formato XML<sup>17</sup> que permite almacenar e intercambiar modelos de ciudades y paisajes tridimensionales basados en el lenguaje de marcado de geografía (GML) producido por el Consorcio Geoespacial Abierto (OGC) y la Organización de Estándares Internacionales (ISO TC211).

Este estándar define los objetos, propiedades, agregaciones y relaciones contenidos en los modelos, lo que permite compararlos fácilmente y reutilizar los datos correctamente clasificados. La plataforma permite tareas de análisis sofisticadas y consultas temáticas relevantes para la mayoría de las profesiones urbanas y funciones de gestión.

CityGML evoluciona continuamente para mejorar el modelado de ciudades en 3D y 4D. Las variaciones dinámicas de las propiedades de un objeto de ciudad se pueden representar utilizando el tipo de función Dynamizer<sup>18</sup>. Esto permite vincular objetos específicos del modelo 3D con simulaciones o datos de series de tiempo. Esto se puede utilizar para desencadenar comportamientos dinámicos como la transformación de la geometría, los datos temáticos o la apariencia de un objeto específico. Esta sensibilidad dinámica impulsada por eventos de un modelo de ciudad es una base para promover el hermanamiento digital del mundo físico (Çöltekin et al., 2020).

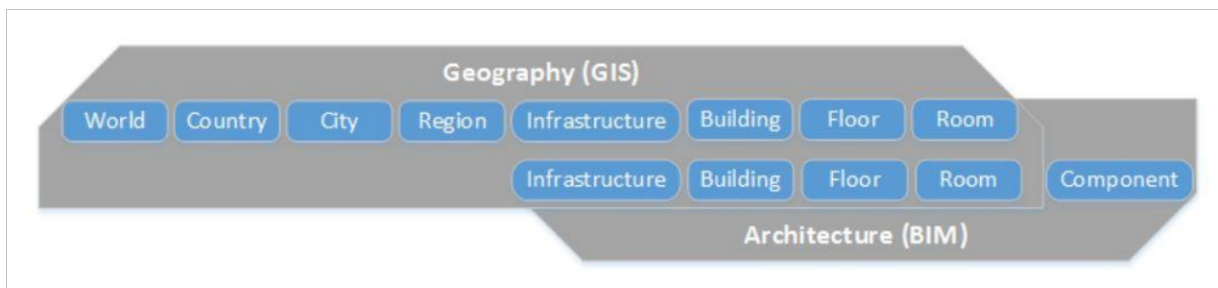
De acuerdo con las metodologías SIG, BIM, CIM y CityGML se puede afirmar que los enfoques actuales de desarrollo urbano requieren conceptualizaciones más sofisticadas de datos espaciales y nuevas herramientas para facilitar de manera integral cinco tareas clave de planificación espacial: gestión urbana, evaluación de impacto, selección de sitios, definición de trazados de carreteras y planificación estratégica. Los escenarios urbanos complejos en 3D permiten a los diseñadores de

---

<sup>17</sup> eXtensible Markup Language traducido Lenguaje de Marcas Extensible es un metalenguaje que permite definir lenguajes de marcas desarrollado por el World Wide Web Consortium.

<sup>18</sup> Crear un mecanismo que permita almacenar valores dinámicos por separado de los atributos originales (estáticos).

ciudades tener una mayor comprensión de las formas urbanas existentes y propuestas y de las posibles islas de calor urbano. De esta manera los análisis 3D juega un papel fundamental en el examen de los impactos de las estrategias de consolidación urbana y la densificación de los centros urbanos.



*Ilustración 7 La superposición entre los campos de SIG y BIM (Liu et al., 2017).*

Si bien las metodologías SIG y BIM fueron creadas con propósitos muy diferentes, ambos métodos tienen objetos en común a la hora de trabajar con la infraestructura. Por lo tanto, esta interacción es relevante para el desarrollo de un futuro Modelado de Información de la Ciudad (CIM), término acuñado de la sigla BIM, pero en el contexto urbano. Concepto que, por su propio nombre, trasciende la mera representación geométrica tridimensional de edificios, calles y otros elementos urbanos.

El CIM dista mucho de ser un modelo virtual detallado y tridimensional del espacio urbano, aunque existen iniciativas al respecto. Más bien, en línea con BIM, se pretende que el CIM sea un nuevo paradigma para pensar y gestionar el desarrollo urbano, que adopta una amplia gama de herramientas computacionales para lograr flujos de trabajo cooperativos e integración de información heterogénea; que utiliza no solo las herramientas TIC actuales, sino que eventualmente emplea análisis del tipo Big data (CORREA, FR; SANTOS, ET, 2015).

---

## CAPITULO 2

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. CITY INFORMATION MODELING CIM COMO BASE ARTICULADORA SIG Y BIM

City information modeling CIM, ó modelo de información de ciudad, es un término adaptado de la sigla BIM integrado al contexto de ciudad. Este tema puede considerarse aún como emergente, pues no existe una terminología consensuada, para referirse al concepto de modelar ciudades. Esta metodología aún en exploración, plantea la capacidad de apoyar la planificación de las ciudades, ayudando en la toma de decisiones de los gobernantes, e incluso, de la ciudadanía, ya que a través de la metodología CIM pueden surgir aplicaciones para el sector del transporte, los servicios basados en la localización, la supervisión del uso del suelo etc.

Aunque el termino CIM es emergente, se debe resaltar que su viabilidad depende del conocimiento de diferentes áreas, como la arquitectura, el urbanismo, la ingeniería, la geografía, la informática, entre otras disciplinas del conocimiento humano, que interactúan de manera directa o indirecta con el territorio. Dicho termino fue utilizado por primera vez, por Lachmi Khemlani en 2016, quien resalta la necesidad de desarrollar un modelo capaz de recopilar datos de la ciudad con el objetivo de producir una plataforma con interoperabilidad, colaboración y control para proponer soluciones para la ciudad (L. S. Y. A. L. Amorim et al., 2018).

La metodología CIM ampliaría así pues el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la planificación urbana como herramientas de apoyo a la toma de decisiones, mediante la fusión de fuentes geográficas, con fuentes de modelado BIM, para lograr objetivos como, la integración de las actividades de una amplia gama de partes interesadas, que abarque análisis y evaluación en los procesos de diseño basado en el desempeño, así como en la gestión de los distintos resultados de las etapas del proceso de diseño, Facilitando el acceso a la información de diversas fuentes y en diferentes

formatos de datos, permitiendo gestionar grandes cantidades de información, su manipulación y visualización por diferentes usuarios (Gil et al., 2011).

Según José Nuno Beirão, *“El diseño urbano implica diferencias específicas en comparación con los procesos de diseño convencionales, en particular el diseño arquitectónico o el diseño de productos. Comienza con una diferencia importante: el objeto del proyecto nunca es un solo objeto sino un sistema de objetos complejos. Otra diferencia importante es que el objeto está formado por varios actores incluidos los usuarios finales y, en principio, las decisiones de diseño deben estar abiertas a todos ellos”*. Lo que argumenta Beirão es que estas diferencias agregan una característica particularmente compleja al diseño urbano denominada la incertidumbre (Quezado & Lima, 2016).

En este sentido, se puede decir que la analogía con la metodología BIM, por un lado, tiene razón de ser, ya que ambos conectan un modelo tridimensional en la misma plataforma con datos específicos que apoyan las decisiones, abarcando los aspectos paramétricos y de interoperabilidad. Si a esto se le suma que el espacio urbano es dinámico y las decisiones sobre el mismo deben ser compartidas por los actores que lo producen a la hora de la planificación, se hace necesario contar con sistemas que permita la interacción de los actores y realizar cambios óptimos y con seguridad.

Por otro lado, a la hora de pensar en la metodología CIM, hay que tener en cuenta las especificidades del diseño arquitectónico y del urbanismo. Mientras que en BIM los elementos son muros, habitaciones, ventanas, etc., en CIM se modelan ejes, calles, masas de edificios, masas arbóreas entre otros componentes propios del entorno urbano.

Si bien la metodología CIM no plantea llegar a un nivel de detalle de escala proyectual arquitectónica, si debe garantizar la relación con los datos del espacio urbano existente, es decir que exista total compatibilidad con los sistemas SIG, permitiendo la interacción con los parámetros urbanos

que deben responder preguntas de participación e incertidumbre. Para responder a la incertidumbre del urbanismo, es necesario contar con herramientas que promuevan la adaptabilidad de la propuesta, con el fin de estudiar y comparar soluciones alternativas. Para responder a la importancia de la participación popular en el proceso, se debe contar con una interfaz de visualización e interacción que permita una comunicación acertada hacia la comunidad en general (Quezado & Lima, 2016).

El concepto CIM, como ya se ha advertido, está en proceso de maduración, y por tal motivo no existe una definición concertada que satisfaga a todos los sectores involucrados con esta terminología. Es por esto que es importante hacer una breve recopilación de las diferentes reflexiones y puntos de vista acerca del término CIM, que nos ayude a comprender mejor los puntos de vista comunes y sus posibles diferencias.

#### **Ahmad Hisham**

*“CIM tiene como objetivo transformar al urbanista en la forma de manejar sus planes como arquitectos”.*

Este autor basado en la estructura metodológica de BIM, comprende el funcionamiento del CIM de igual manera, esto quiere decir que CIM se debe implementar de la misma forma que se ejecuta la metodología BIM. Lo que no advierte el autor es que existe una gran diferencia entre el hecho construido edificatorio puntual, y el constructo colectivo de la polis. En pocas palabras no es lo mismo la planificación, diseño y construcción de un edificio, que el de una ciudad, pues no se está contemplando las características fundamentales de las ciudades del siglo XXI, que son la incertidumbre, la diversidad y la complejidad.



---

**Jorge Gil, Julio Almeida y José Pinto Duarte**

*“CIM ampliaría el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la planificación urbana como herramientas de apoyo a la toma de decisiones, mediante la integración con el Diseño Asistido por Computadora (CAD) para convertirse en una herramienta de apoyo al diseño”.*

Estos autores plantean la necesidad de implementar bases de datos geográficas como la columna vertebral que da cimientos a la metodología CIM, pues esta facilita la integración de las fuentes de información geográfica vinculadas con las fuentes paramétricas y de CAD. Pero no plantea posibles soluciones, para abordar la incertidumbre, la diversidad y la complejidad que caracterizan las ciudades del siglo XXI.

**Todor Stojanovski**

*“CIM es una analogía BIM en urbanismo. Es un sistema de elementos urbanos representados por símbolos en un espacio 2D y los espacios 3D dentro. También se concibe como una expansión 3D del GIS (3DIS o sistema de información 3D) enriquecido con vistas multinivel y multi escala, caja de herramientas de diseño e inventario de elementos 3D con su relación”.*

El planteamiento del autor ve el CIM, como una herramienta de planificación urbana en 2d y 3d, la cual puede tornarse un poco simplista, al concentrarse en la morfología urbana como ente rector, para comprender la planificación urbana, dejando de lado otras facetas en las que puede intervenir la metodología CIM, como los análisis físico espaciales tangibles e intangibles que pueden apoyar la gestión, comprensión y comunicación incorporando el factor espacial 3d, que faciliten la toma de decisiones.

**Ke Chen**

*“Un modelo de información de la ciudad (CIM) contiene datos espaciales y representaciones virtuales de todos los objetos de interés en un área urbana. Un CIM bien desarrollado puede facilitar el trabajo de los planificadores urbanos y diseñadores urbanos para abordar problemas urbanos como la congestión del tráfico, la accesibilidad, la conectividad y el impacto potencial de los desastres naturales”.*

Este autor, comprende la metodología CIM como aglutinador de datos espaciales y virtuales de la ciudad que son útiles en la gestión, planificación y administración urbana, pero no considera la necesidad de integrar los distintos subsistemas que garantizan la interoperabilidad entre ellos, para permitir generar mayor adaptabilidad tratando de dar respuesta a la incertidumbre, diversidad y complejidad que plantean las ciudades contemporáneas.

**Arivaldo Leão de Amorim**

*“CIM debe contemplar necesariamente una visión BIM, y la información debe estar centralizada en un solo modelo y será accedida y tramitada entre los distintos subsistemas de la CIM y sus administradores”.*

Si bien el autor contempla la necesidad de articular la información geográfica y paramétrica en un modelo centralizado, para garantizar un mayor control de la información, éste supone uno de los mayores problemas a enfrentar, que es la integración de los distintos subsistemas y la garantía de interoperabilidad entre ellos, en otras palabras, identificar, documentar y consolidar los posibles flujos de trabajo entre las diferentes metodologías que permitan el trabajo transdisciplinario y cooperativo de las diferentes ramas del conocimiento que deben intervenir con la metodología CIM.

El modelado de información de la ciudad es la promesa de un nuevo paradigma, donde se utilizan modelos numéricos en 3D de la ciudad, para representar los diferentes tipos de objetos urbanos, y aunque existen diferentes conceptos que se utilizan para definir la metodología CIM, aún no existe un consenso conceptual en la literatura científica, que permita consolidar un flujo de trabajo metodológico que unifique los criterios a la hora de analizar, planificar, diseñar y gestionar dichos modelos de información de ciudad.

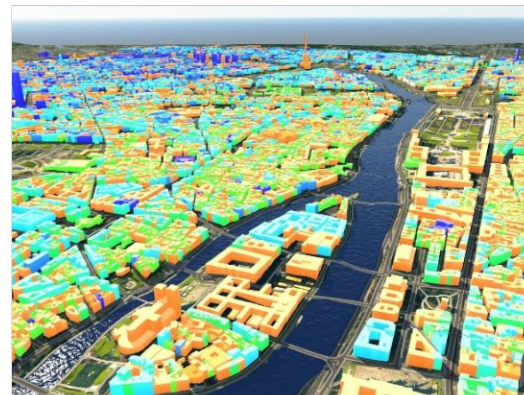
De igual manera a nivel de software aún no existe un consenso acerca de cómo debe funcionar las herramientas programáticas bajo metodología CIM, es por esto que apoyándonos en la investigación realizada por Arivaldo Leão de Amorim (A. L. Amorim, 2015) investigador de la universidad federal de Bahía, se extrae la referencia que se hace a las tres casas matrices más importantes en la industria del urbanismo, arquitectura, ingeniería y construcción, para determinar cuál es la visión frente al nuevo paradigma CIM, y que productos pueden dar respuesta a los retos que este plantea.

Es importante resaltar que dicha investigación se hace antes del año 2015, por lo tanto, dichas industrias han evolucionado, lo que nos permitirá evidenciar un comparativo entre los resultados hallados por Amorim, y la situación actual.

## Autodesk

Si bien Autodesk es uno de los mayores precursores de la metodología BIM y CAD, la visión que plantea antes de 2015, es la de ampliar el rango de cobertura de la metodología BIM, al campo de la ingeniería urbana, de manera que conservando los mismos principios y estándares BIM, se pueda desarrollar nuevas herramientas para la infraestructura e ingeniería, pero en ningún momento considera el concepto CIM, como una nueva metodología que requiere estándares, protocolos y flujos de trabajo que faciliten su implementación.

En la actualidad y desde 2013 esta casa matriz lanzó al mercado el software Infracore, como la herramienta que permite integrar múltiples fuentes de archivos, tanto BIM como SIG, que logran abarcar la gran mayoría de disciplinas que intervienen el territorio, facilitando de esta manera la generación de modelos de territorios 3d o gemelos digitales de ciudades. De igual manera y buscando fortalecer la interoperabilidad entre las diferentes herramientas de diseño existentes, se fortalecen módulos de interacción entre BIM, SIG y civil 3d, logrando consolidar así una herramienta muy versátil que permite trabajar procesos en múltiples escalas y con diversos niveles de complejidad.



*Ilustración 8 Gemelo digital de ciudad CIM software Infracore París modelo base y con temáticos aplicado a las construcciones <https://www.bim42.com/2017/01/modeling-paris-with-infracore/>.*

## **Bentley**

Bentley es uno de los competidores de Autodesk en el desarrollo de herramientas, para la elaboración de proyectos arquitectónicos, de infraestructura y de captura de información, que igualmente son compatibles con fuentes informáticas geográficas tipo SIG. La empresa aún no había hecho pública una estrategia para el desarrollo de una plataforma CIM, con características similares a BIM, sino que afrontaba el desarrollo de procesos complejos, colaborativos e integrados con sus recursos disponibles (CAD / GIS) y que su visión CIM se refiere al diseño, construcción y operación de infraestructura física urbana. Es decir que hasta 2015 Bentley le apostaba a fortalecer sus líneas de productos mediante la consolidación de canales de interoperabilidad, para brindar a sus usuarios mayores posibilidades a la hora de enfrentar problemáticas de escalas mayores en territorios urbanos.

En la actualidad Bentley le sigue apostando a esta estrategia, si bien existen software como Siteops que busca generar las mismas funciones que ofrece infraworks, éste se enfoca mucho más en el desarrollo ingenieril, y no permite mayor exploración en temas de gestión urbana, reduciendo así considerablemente las posibilidades de generar gemelos digitales de ciudad mediante este tipo de herramientas. Aun así para 2018 la casa matriz anunció la adquisición de Agencia9, y lanzó el software Opencities planner servicios de nube de gemelos digitales a escala de ciudad para la planificación urbana y la visualización en 3D relacionada con la web. Lo ideal es que a futuro estos desarrollos permitan un flujo de trabajo de mayor interoperabilidad que facilite la flexibilidad y adaptabilidad de los procesos a la hora de desarrollar modelos de información de ciudad.



*Ilustración 9 Bentley Opencities planner temático sobre construcciones fuente*  
<https://www.slideshare.net/hengman/bentleys-opencities-planner-excityplanner-at-scewc>

## Esri

Esri al ser la empresa líder en sistemas de información geográfica del mundo, le ha permitido realizar múltiples desarrollos, mediante pruebas piloto en diferentes ciudades, para suplir las necesidades del mercado, concretamente luego del huracán Katrina en 2005 la empresa desarrollo un modelo 3d de ciudad, para evaluar los efectos de la inundación, facilitando de esta manera la identificación de zonas de riesgo y su posible gestión.

La empresa centra su visión de Modelado de información de la ciudad en un enfoque de espacialización y análisis de información geográfica, propio de un SIG, saltándose aplicaciones dirigidas a proyectos o aspectos de la construcción de sistemas de infraestructura y edificaciones. Lo que evidencia una clara ausencia de planteamientos con un enfoque de interoperabilidad con BIM y su

facilidad de integración con el estándar IFC<sup>19</sup>. Limitándose a expresar la compatibilidad de sus formatos de datos con el estándar internacional CityGML y apoyándose en el desarrollo de un estándar propio, 3D-CIM para usar en Mapeo urbano 3D en línea.

En la actualidad esta casa matriz se ha especializado en la generación de aplicativos complementarios a las licencias de arcgis, para generar interoperabilidad con geo visores 3d, mediante el software City engine, el cual facilita la representación, análisis y comunicación de manera más directa y eficiente de los gemelos digitales de ciudad. Así mismo se consolidó un relacionamiento directo entre Esri y Autodesk, para fortalecer la interoperabilidad entre los productos complementarios de ambas casas matrices de manera que los flujos de trabajo fueran más eficientes (Arcgis - Revit - Infraworks) y así potencializar mucho más el concepto de CIM.



*Ilustración 10 Gemelo digital urbano con City engine, comparativo de gemelo digital base + temático aplicado a las construcciones fuente <https://www.aeroterra.com/es-ar/productos/esri-cityengine/introduccion> .*

<sup>19</sup> Industry Foundation Classes

La definición semántica y metodológica de CIM será clave, para clarificar como las herramientas tecnológicas que existen en el mercado, se deben adaptar a los lineamientos consensuados producto de la unificación de los estándares y protocolos que se definan para la implementación de los modelos de información de ciudad.

Entendiendo que las perspectivas de crecimiento de la población para las próximas décadas y la degradación ambiental hacen parte de los problemas que enfrentan las ciudades convirtiéndolas en urbes más complejas. La representación numérica 3D de las ciudades es un paso fundamental para los SIG 3d y por tanto, para la gestión urbana.

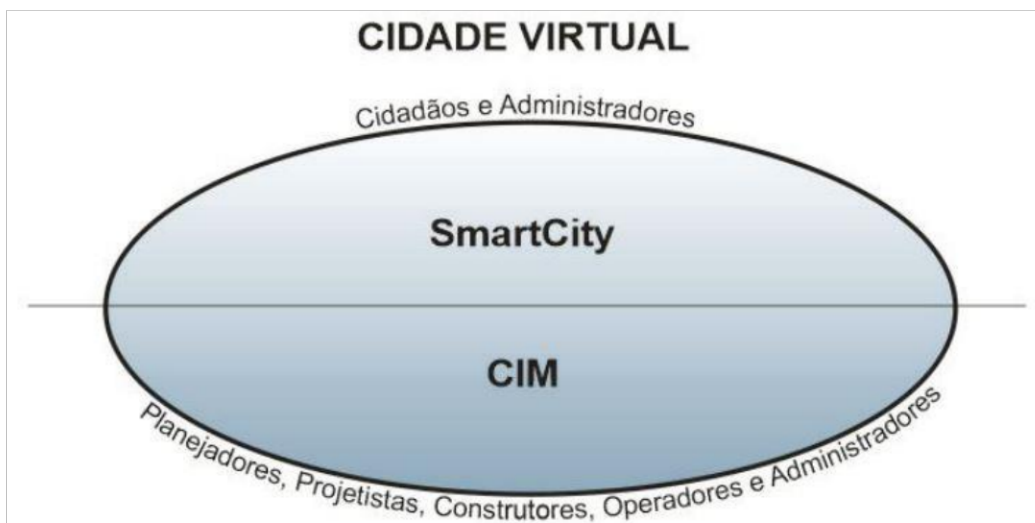
Dada la importancia de las bases de datos espaciales y la necesidad de estudios y simulaciones precisas sobre el paradigma emergente, denominado City Information Modeling, se debe continuar en la discusión y exploración académica y empírica, para verificar sus posibles contribuciones a la mejora de la calidad de vida en las ciudades (L. S. Y. A. L. Amorim et al., 2018).

Si bien se ha expuesto el concepto CIM desde múltiples ópticas, como metodología, es importante también comprender su papel cuando hablamos de ciudades inteligentes, y para ello debemos cuestionar si los estándares y protocolos hasta el momento enunciados son lo suficientemente robustos, para responder a las necesidades planteadas por la cuarta revolución industrial en clave de las ciudades inteligentes. O por el contrario como lo afirma Amorim, se debe ajustar los principios de interoperabilidad entre estándares como City GML, SIG y BIM, para satisfacer las necesidades reales de este nuevo paradigma denominado CIM.

La aplicación de sistemas de ciudades inteligentes, estaría más orientada a los usuarios finales mediante plataformas de geo visualización, constituidos básicamente por ciudadanos y administradores, mientras que la aplicación City information modeling sería más orientada para



aquellos que se ocupan de la producción y operación de sistemas físicos, como como planificadores, diseñadores, constructores, operadores y administradores. (A. L. Amorim, 2015).



*Ilustración 11 Ciudad virtual integración CIM + Smart city fuente (A. L. Amorim, 2015).*

Bajo este panorama es importante profundizar en la conceptualización de las visiones que se tienen acerca del término Smart city, de manera que se pueda correlacionar más claramente el papel de los modelos de ciudad de información, como base fundamental, para la generación de plataformas de comunicación que sustente el desarrollo de las visiones de ciudades inteligentes existentes y por proponer.

## **2.2. CONCEPTUALIZACIÓN ACERCA DE LA CIUDAD INTELIGENTE**

La implementación masiva de desarrollos tecnológicos, que están optimizando muchos de los procesos e interacciones que se desarrollan en las ciudades contemporáneas, dio lugar al concepto de ciudad inteligente. Término que de entrada no se puede abordar literalmente, pues se estaría afirmando que antes de la inclusión de este concepto, las ciudades no eran funcionalmente listas, y que por el contrario cada revolución urbana y sus aportes han generado más problemáticas que soluciones. Este concepto que se remonta a finales del siglo XX, pero solo logró consolidarse luego de la crisis

económica del 2008, donde la tecnología se evidenció como una gran oportunidad, para recomponer la base productiva y económica a nivel global.

La ciudad inteligente surge como la oportunidad de dar respuesta a los mayores interrogantes de las ciudades contemporáneas en términos de eficiencia energética, disminución de emisiones contaminantes y por ende reducción del efecto de cambio climático, por medio de la implementación de procesos tecnológicos que ayudaran a reducir dichos fenómenos.

Dado que la base fundamental de la concepción del término ciudad inteligente son los desarrollos tecnológicos, en un primer momento surge la concepción de una ciudad inteligente centrada en las TIC y su uso en la gestión y regulación de la ciudad desde una perspectiva en gran medida tecnocrática y tecnológica. Esta visión plantea unos retos en términos de gobernanza, participación ciudadana, codependencia tecnológica, fragilidad cibernética y transparencia informática, que pueden afectar seriamente la consecución de los objetivos de ciudades eficientes, sostenibles y equitativas. Como respuesta a estos retos surge una segunda visión más holística que abarca políticas relacionadas con el capital humano, la educación, la economía, el desarrollo, la gobernanza y cómo éstas pueden mejorarse con la implementación de las TIC (Kitchin, 2014).

Esta segunda visión plantea retos que tienen que ver con la conectividad entre los flujos de trabajo que interactúan entre los sujetos y los objetos de manera multi escalar y multi temporal, que garanticen el uso eficiente de la información en los diferentes campos productivos del ser humano, pero a su vez advierte la fragilidad que existe entre gobernanza para el capital móvil global y los ciudadanos comunes estacionarios, en otras palabras, gobernanza tecnocrática, o participación ciudadana.

De este modo se crean dos visiones de “ciudad inteligente”, una donde la tecnología es el fin máximo de implementación y desarrollo, orientada a los resultados mediante indicadores objetivos, tácticos, duros y fríos, y otra donde la tecnología es una herramienta más, que ayuda a potenciar las políticas públicas, el capital humano, la economía, la educación y el desarrollo sostenible de los territorios. Estas dos visiones se han ido consolidando, a lo largo de la segunda década del siglo XXI, pero aún existe una serie de cuestionamientos, acerca de los retos que supone la implementación de estas visiones. La visión tecnocrática apalancada en la tecnología, se enfrenta a retos tan complejos, como:

**La interdependencia absoluta de las grandes corporaciones de tecnología**, para generar el desarrollo de los territorios. Bajo esta visión existen críticos como Ben Green matemático del Instituto de Tecnología de Massachussets MIT, quien, al haber trabajado en el departamento de transporte de Boston, empleando inteligencia artificial con algoritmos matemáticos, para programar, supervisar y controlar el tráfico de la ciudad, logró comprender lo peligroso que puede ser entregarle el control a una máquina que responde a la calidad de la información suministrada, y advierte que este tipo prácticas generan sesgo en los resultados, lo que desvirtúa el principio de optimización y eficiencia para la cual se implementó (Green, 2019).

**Consenso de políticas globales y particulares, para el manejo correcto de los macrodatos.** Si bien en muchos países ya existen leyes de protección de datos, aún falta analizar con mayor rigor la responsabilidad del manejo de los datos individuales y grupales, que no amenacen la privacidad e individualidad de cada usuario. De igual manera pretender solucionar todo tipo de problema de la ciudad a partir de algoritmos, es una postura “solucionista” como lo Indica Evgeny Morozov, quien pone en evidencia que hay problemas de orden social que no se pueden resolver u optimizar mediante la computación.

**La construcción de sociedades y ciudades panópticas.** Si bien uno de los fenómenos generados por el auge de las redes sociales, es el juicio sistemático en masa, el trasfondo psicológico de dicha conducta, produce un auto control inconsciente, por miedo a ser juzgado y expuesto en redes sociales, lo que claramente atenta con la libre expresión y el libre albedrío. Si aumentamos la escala y pasamos al plano físico, algo similar puede ocurrir con la ciudad, al ser un territorio supervisado, monitoreado y calculado, de manera que sus habitantes adquieran conductas de comportamiento socialmente aceptadas, y así evitar sanciones por parte del estado.

Un ejemplo claro de este tipo de prácticas, ocurre en la republica comunista de China, en donde cada habitante tiene una calificación, de acuerdo a su comportamiento familiar, personal, laboral y social. Para ello existen escalafones con privilegios, como acceso a créditos con tasas más bajas, viajes gratis en la red de transporte masivo público, descuentos en artículos de alimentación entre otros, y de igual manera existe castigos como no poder acceder al transporte masivo público, no tener acceso a tasas preferenciales de créditos financieros, no poder acceder a centros comerciales entre otros, que claramente coartan la expresión individual del ser.

La otra visión de “Ciudad Inteligente”, donde la tecnología es una herramienta más no el fin, también posee retos latentes como:

**Garantizar los esfuerzos en inversión tecnológica, humana y de procesos.** La implementación de cualquier esfuerzo con miras a iniciar el camino hacia una “ciudad inteligente” genera incertidumbres desde diferentes ámbitos, pues se debe tener claridad acerca de cómo llevar a cabo dicho proceso, para ello la inversión económica resulta ser esencial, pero no es lo único que se requiere, además también hay que tener en cuenta el factor humano que opere dicha tecnología, los procesos y protocolos de trabajo que ayuden a homologar y unificar criterios de evaluación de los análisis y

resultados que arrojan los datos. El no ser conscientes de estas condiciones expone dicha implementación, a terminar en iniciativas truncadas que desmotivan y desvirtúan los beneficios que promueven estas nuevas maneras de planificar y gestionar los territorios.

**Consolidar flujos de trabajo interdisciplinarios que ayuden a construir la integralidad de la información.** Una de las mayores dificultades que presenta esta visión, es la de articular las diferentes disciplinas, conocimientos, entidades, escalas temporales y espaciales, que intervienen en la toma de decisiones a la hora de gestionar los territorios. Pues los macrodatos informáticos, se deben administrar correctamente, no solo en su gestión de almacenamiento, procesamiento, análisis y difusión de resultados, sino que también se deben actualizar en el tiempo, para que su condición estática desaparezca, y se convierta en información dinámica útil en cualquier momento y para diversos procesos. De esta manera la información de una dependencia de movilidad, le puede ser útil a una dependencia de medio ambiente, para determinar las fuentes móviles de contaminación en determinados periodos de tiempo, y estas a su vez como afectan los ecosistemas de flora y fauna circundantes, logrando obtener un resultado enriquecido por fuentes secundarias, que complementan y reduce la incertidumbre de la visión problemática de la toma de decisión.

**La democratización de los macrodatos informáticos como modelo de participación ciudadana.** El concepto de democratización de los datos está evolucionando, pues aún existen entidades y gobiernos que consideran que liberar repositorios de datos abiertos al público es suficiente, pero cuando contrastamos esto con la realidad, donde la brecha de desigualdad e inequidad es tan alta, y factores como la accesibilidad a equipos de cómputo, conexión a internet y conocimientos técnicos para su correcta lectura y comprensión, se convierten en determinantes excluyentes para la sociedad. Es por esto que se debe promover mecanismo de difusión que facilite la comprensión fenomenológica tangible e intangible que interactúan en los territorios. De esta manera las comunidades al comprender

las problemáticas y potenciales de desarrollo territorial, pueden aportar activamente en pro de un desarrollo consciente, equitativo y sustentable (Kitchin, 2014).

Una vez expuesto los retos que supone la implementación de las dos principales visiones del concepto de ciudad inteligente, es importante revisar varias reflexiones críticas desde el urbanismo, y como se podría adaptar al paradigma CIM y la ciudad inteligente, buscando dar respuesta a los retos anteriormente mencionados.

La idea detrás de una Smart City en la era digital actual, no solo se compone de las infraestructuras físicas y la dotación tecnológica de una ciudad, sino que también se debe contemplar fenómenos intangibles no tan fáciles de identificar, como la calidad de la transferencia del conocimiento, la calidad de vida de los ciudadanos y la sensación de satisfacción colectiva. En los entornos urbanos, surge el concepto de Smart City, como una plataforma donde los factores de producción urbana 'tradicionales' se acoplan al capital social, cultural, por medio del uso masivo de las TIC.

Según Beniamino Murgante y Giuseppe Borruso la ciudad inteligente debe contemplar 6 ejes principales de inteligencia, que contemplan la economía, la movilidad, el medio ambiente, las personas, la convivencia y la gobernanza, dichos ejes se fundamentan en las teorías neoclásica del crecimiento urbano, desarrollo sostenible, las TIC y la participación ciudadana. Bajo estos términos la ciudad inteligente es algo más que una ciudad digital compuesta por dispositivos tecnológicos que dictaminan la gestión de las urbes (Murgante & Borruso, 2014).

Las infraestructuras de las TIC, así como los dispositivos basados en ellas, configuran las estructuras y funciones de las ciudades, siendo el equivalente del siglo XXI a las catedrales medievales, las plazas ordenadas del Renacimiento y las estaciones de ferrocarril del siglo XIX. Los diferentes

significados de las definiciones que se dan en diferentes zonas del mundo respecto a la implementación de la tecnología y, en particular, el amplio uso de las infraestructuras y dispositivos TIC, son elementos que no necesariamente pueden representar la parte más importante y relevante del concepto ciudad inteligente, más bien puede ser un componente de un significado general.

El uso del Lenguaje de citygml permitió la creación de entornos virtuales y modelos tridimensionales de ciudades virtuales alojadas en geo visores 3d en la web. Esta experiencia no solo se restringe a campos de simulación, sino que, aprovechando la gran difusión de internet, se ha utilizado para crear experiencias participativas en línea, permitiendo que parte de la población participe en la creación de políticas urbanas. En otros casos, se permitió a los ciudadanos contribuir a la elección de un proyecto de renovación de vecindario simplemente por medio del voto electrónico (Murgante & Borruso, 2014).

En los últimos años, se produjo una aceleración, apoyada en la difusión de dispositivos GPS y conexiones 3G, 4G y ahora 5G disponibles para dispositivos móviles como los teléfonos inteligentes, lo que ha llevado a una gran producción de aplicativos de geo localización que mediante el uso de las redes sociales ha fomentado una enorme actividad de captura y reporte de datos, donde las sugerencias de servicios, ideas y cualquier apoyo a las decisiones se pueden lograr mediante las acciones de las comunidades en línea.

Esto ha permitido que cada vez existan más iniciativas como (OpenStreetMap, WikiMapia, Google Map, Geo-Wiki), basadas en la colaboración masiva para crear, gestionar y difundir datos espaciales donde los ciudadanos son sensores voluntarios. Esta enorme producción de datos en línea según Murgante y borruso han dado origen a la "Neogeografía", la cual se define como un nuevo

enfoque de la geografía sin geógrafos, que describe la producción de abajo hacia arriba de mapas con fotos, videos, blogs, Wikipedia y etiquetados geográficamente.

Así mismo iniciativas como el gobierno abierto que se basa en la apertura de un estado más participativo, dando espacio, para mayor inclusión de la ciudadanía en las decisiones administrativas y gubernamentales de los territorios. Se ha visto fortalecido los canales de comunicación con la sociedad, mediante el uso de las redes sociales estatales y los aplicativos temáticos que permiten recolectar las iniciativas, inquietudes o necesidades de las comunidades.

De igual forma el sesonramiento remoto de ciudades y las ciudades inteligentes, también se debe analizar cuidadosamente, pues al no existir una definición consensuada de las implicaciones y alcances de ambos conceptos y su directa interacción, se debe tener claro que el entorno en el cual operan son las ciudades, y que una posible y correcta relación entre ambos conceptos es el principio de equidad, en el cual se garantice un equilibrio en las decisiones que se tomen basados en los análisis y resultados que arrojan el procesamiento de los datos recolectados tanto por los dispositivos remotos, como por los ciudadanos.

Uno de los principales retos que supone la implementación tecnológica de sensoramiento y captura remota, es no caer en el error de adquirir tecnología poco relevante para la gestión, administración, planificación y toma de decisiones de las ciudades, pues se invierte importantes recursos en la compra de hardware y software sin tener una idea clara de las necesidades de la administración y su posible uso en la gestión de la ciudad. Este enfoque superficial combinado con la prisa por ser incluido en el "paraguas inteligente", puede llevar a ignorar estos aspectos, centrándose principalmente en la mejora de dispositivos y sistemas tecnológicos que rápidamente envejecen.



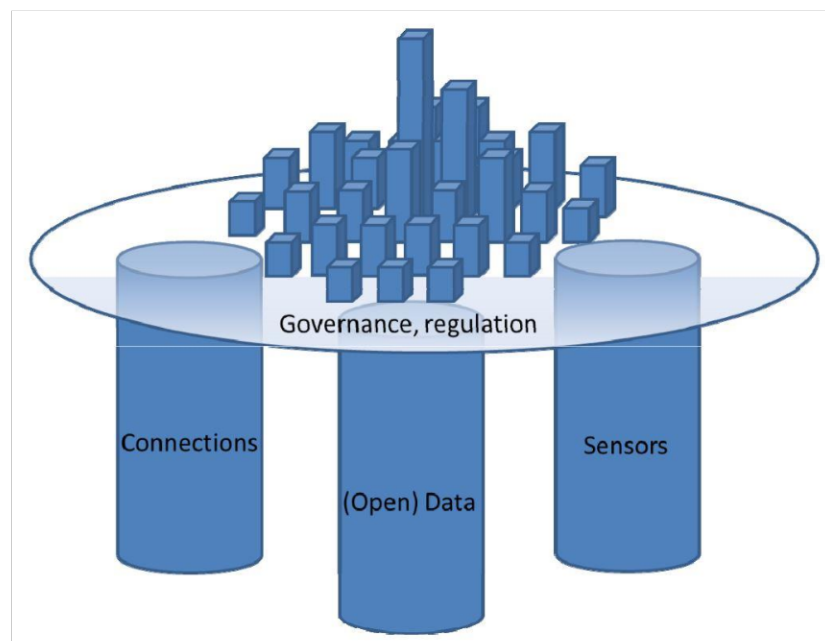
Una ciudad puede considerarse inteligente si puede integrar y sintetizar rápidamente los datos producidos por cada tipo de sensor, para mejorar la eficiencia, la equidad, la sostenibilidad y la calidad de vida.

Murgante y Borruso plantean que la ciudad inteligente para lograr los retos anteriormente mencionados, se debe sustentar bajo tres pilares fundamentales, los cuales buscan aportar mediante una triada la estabilidad necesaria al concepto de ciudad inteligente. Los cuales son:

**Conexiones** - como redes e infraestructuras tecnológicas.

**Datos** - datos abiertos y públicos o de interés público para permitir el desarrollo de soluciones innovadoras y la interacción entre los usuarios / ciudadanos y la ciudad.

**Sensores**, incluidos los ciudadanos capaces de participar activamente de forma ascendente en las actividades de la ciudad.



*Ilustración 12 Los Pilares que sustentan la Smart City y su Gobernanza fuente (Murgante & Borruso, 2014).*

Para Murgante y Borruso estos pilares deben ir acompañados de una gobernanza capaz de vincularlos entre sí, dando un rumbo y una visión a la ciudad, donde la gobernanza regule la ciudad inteligente de forma neutral.

Una ciudad inteligente bajo este planteamiento se evidencia como un proyecto urbano, como una gran infraestructura o como una metáfora de la red en un contexto urbano. Convirtiéndose en un entorno donde un conjunto definido de elementos, compuesto por sensores, datos y conexiones se debe armonizar por un conjunto limitado de reglas básicas, que brinden a los organismos públicos, ciudadanos y empresas la posibilidad de desarrollar aplicaciones y soluciones capaces de mejorar la vida de la ciudad misma.

Milan Husar retomando las reflexiones de Kitchin, acerca de los retos y las visiones del concepto de ciudad inteligente más reconocidas en el panorama global, analiza dos casos de estudio de ciudades piloto que se presentan ante el mundo como las ciudades del futuro, las cuales buscan resolver problemas urbanos actuales y potenciales centrando su atención en examinar las visiones optimistas y tratar de evaluar críticamente la manera como estas ciudades tratan a los ciudadanos, revisando las actuaciones de los gobiernos y las empresas de tecnología que las respaldan.

### **Dholera**

El concepto de ciudad inteligente aquí se definió utilizando la visión de “lugares donde la tecnología de la información se combina con la infraestructura, la arquitectura, los objetos cotidianos y nuestros propios cuerpos para abordar problemas sociales, económicos y ambientales”. Dholera se considera la primera ciudad inteligente de la India. Se encuentra a 100 km de Ahmedabad, en el oeste de la India, y se reconoce como la clave para las iniciativas de ciudades inteligentes de la India. El gobierno nacional tiene como objetivo atraer capital e inversiones, para construir una buena

infraestructura mediante la promoción de la idea de ciudades inteligentes y utiliza la urbanización como modelo de negocio.

Para la época de la investigación realizada por Husar, Dholera aún era un paisaje vacío en espera de la ciudad inteligente. Y sostiene que ya entre 2013 y 2015 los periódicos y revistas indios estaban llenos de informes sobre ciudades inteligentes, gobernanza inteligente, liderazgo inteligente, como un signo de urbanismo empresarial en India. El mayor problema del paisaje en Dholera son las inundaciones, razón por la que se retiraron varios intentos de inversión anteriores (plan del puerto marítimo y presa de Kalpatar) (Husár, 2017).



Ilustración 13 AGM - Zonas de activación plan maestro fuente Real Estate at Dholera Smart City and SIR

Pero como ya se ha expuesto anteriormente, cada territorio posee sus propias problemáticas, necesidades y potenciales, por lo tanto, se debe iniciar por allí detectando las problemáticas actuales de las ciudades indias, para determinar de qué manera Dholera pretende mediante la implementación de una visión de ciudad inteligente mejorar las condiciones de vida para sus habitantes. Los cortes de energía eléctrica, transporte público abarrotado, retrasado o disfuncional, contaminación del aire, suministro de agua insuficiente, drenaje existente, la amenaza de los mosquitos o los problemas de salud, son problemáticas habituales de casi todas las ciudades del país.

Dholera se planeó como un desarrollo de campo verde, en tres fases de ejecución, de las cuales la primera aún está en proceso de desarrollo, y se espera poder entregar en 2022, para llevar a cabo dicha ejecución, se plantea incorporar como primer elemento inductor de desarrollo, la industria, la cual se esperaba poder asentar para el año 2020, de manera que generará fuentes de empleo que permitirán activar servicios complementarios y los complejos de vivienda. De acuerdo con los avances este piloto aún dista bastante de ser un claro ejemplo el cual se pueda evaluar, para determinar su nivel de validez como ciudad inteligente.

### **Songdo**

Songdo de Corea del Sur, que ha estado en construcción desde la década del 2000. El área de la ciudad actual se recuperó del Mar Amarillo cubriendo un área de 48 kilómetros cuadrados. Es una isla artificial ubicada a 40 kilómetros al sur de Seúl. Se comercializa como un centro comercial del noreste de Asia que une Tokio y Shanghái con ambiciones inteligentes, sostenibles y tecnológicas, y el 40% de la superficie son espacios verdes cuya finalización está prevista para 2020.

Es una ciudad planificada por el gobierno de Corea del Sur, y al igual que otras ciudades planificadas de esta manera, es un intento de poner a la nación en un camino rápido hacia el desarrollo futuro. Uno de los objetivos de Songdo es probar el concepto de generar una ciudad sin vehículos privados y con un 40% de superficie verde, además de la dotación tecnológica necesaria, para garantizar la mayor eficiencia posible en su funcionamiento. De resultar esta implementación exitosa, el gobierno buscaría la posibilidad de exportar el modelo a nivel local y global. Inicialmente planeada como una ciudad ecológica, en 2006 se anunció que se convertiría en la primera ciudad ubicada del mundo. La eco ciudad presenta características visibles mientras que las ubicuas más bien invisibles. Al igual que en el caso de Dholera, Songdo también se planifica de arriba hacia abajo, donde la visión de

ciudad inteligente está marcada por los objetivos nacionales, y sin prestar mucha atención a las problemáticas, necesidades y potenciales de las ciudades de Corea del Sur.



*Ilustración 14 Plan maestro Songdo fuente In habitat*

Según lo expresa Husar, es una ciudad que escoge sus ciudadanos según su nivel de educación específica, como los servicios de TI, pues está orientada a desarrollar clústeres tecnológicos, donde las empresas e industrias que se asienten allí contratarán personal en su mayoría calificado. Esto es un ejemplo de cómo la ciudad inteligente a través del uso de sistemas tecnológicos podría reconfigurar a sus ciudadanos en sujetos que consideran valiosos en la competencia económica global. Lo que a futuro puede desencadenar problemas de exclusión social y marginación social, sin contar que el gobierno coreano está desconociendo la historia de los terrenos donde se funda dicha ciudad, la cual se caracteriza por su riqueza pesquera ancestral, lo que atenta contra las costumbres e historia de los aldeanos que habitan los alrededores.

En la actualidad la ciudad si bien ya está en funcionamiento, las expectativas que se tienen trazadas, aún no se cumplen, de 300.000 habitantes que se planeaban habitaran dicha urbe, tan solo 70.000 cohabitan dicho territorio según explica SCMP<sup>20</sup>, de igual manera la inversión extranjera aún no supe las expectativas en temas de asentamientos de industria, lo que genera un sistema que se

<sup>20</sup> <https://www.scmp.com/week-asia/business/article/2137838/south-koreas-smart-city-songdo-not-quite-smart-enough>

retroalimenta, pues la falta de habitantes provoca la ausencia de empresas, servicios e industrias; y la ausencia de empresas, servicios e industrias provoca la falta de habitantes.

Al igual que con el caso de Dholera, Songdo aún está en proceso de consolidación, y si bien ya está en funcionamiento, aún es prematuro, para poder analizar con profundidad los beneficios, retos y dificultades que conlleva esta implementación de ciudad inteligente.

Es evidente que tanto la globalización, la hiper conectividad y los avances tecnológicos son la realidad de la gran mayoría de ciudades actualmente, por ende los procesos para pensar, planificar y gestionar los territorios, no la pueden desconocer, máxime cuando unos de los principales inductores al cambio lo promueve la cuarta revolución industrial, la cual está directamente ligada al modelo económico capitalista contemporáneo, que busca mediante estas nuevas prácticas fortalecer la optimización, la eficiencia y la minimización de riesgos a la hora de tomar decisiones.

De allí que la opción para adoptar los procesos de tecnologización de las ciudades sea imperante, pero finalmente quedará en cabeza de las instituciones gubernamentales, de gestión y planificación territorial el enfoque y visión con el que se quiera implementar ese sueño de “ciudad inteligente”, pues ningún territorio es igual a otro, ni sus habitantes, cultura, costumbres y creencias lo son, por lo tanto será competencia directa de sus entidades territoriales definir los parámetros, protocolos, flujos de trabajo, personal cualificado, y tecnologías a implementar dentro de estos procesos.

De igual manera la utilización de tecnología de código abierto siempre será una alternativa que permite minimizar la dependencia de las grandes corporaciones, pero tratándose de temas tan delicados como la información de la ciudad, se debe contar con sistemas de asistencia técnica, que

garanticen la estabilidad de los procesos, por lo tanto, se debería utilizar una dosificación equilibrada entre ambos tipos de software, que equilibren los riesgos de ambas partes.

Por último, pero no menos importante todo esfuerzo encaminado a mejorar la gestión pública de los territorios, debe ser en favor de las comunidades, quienes son en últimas para quienes se piensan, planifican y crean. Bajo este parámetro será la sociedad la que avale los procesos de madurez de implementación de las “ciudades inteligentes”, quedando un reto mayor por delante, que hace alusión al trabajo cooperativo entre ciudades, generando redes de intercambio y cooperación en tiempo real que ayuden a resolver problemas comunes a partir de la experiencia colaborativa y transdisciplinarias.

Ya que este concepto aún está en construcción, es importante encontrar modelos de evaluación, que permitan definir el nivel de aplicabilidad en los territorios, para garantizar su efectividad y pertinencia. Si bien hay modelos cuantitativos, que se rigen por el número de iniciativas innovadoras, basadas en componentes tecnológicos, para medir el nivel de implementación de una ciudad inteligente, este modelo presenta un riesgo latente, pues al estar sujeto a los desarrollos tecnológicos, con el paso del tiempo un reto podría convertirse en una oportunidad o potencial de desarrollo, lo que le reduce su validez y confiabilidad para definir su avance de implementación. Es por esto que surgen iniciativas para evaluar la evolución de la ciudad inteligente bajo modelos cualitativos, que respondan a las características principales de las ciudades contemporáneas, como lo son la Complejidad, la diversidad y la incertidumbre.

Según José Fernandez Güel el propósito fundamental es agrupar e integrar iniciativas inteligentes de diferentes campos del conocimiento humano que interactúan con el territorio, y a través de la consolidación de flujos de trabajo colaborativo interconectados, se puedan convertir en

sistemas más extendidos. Para ello se crean plataformas tecnológicas con el objetivo de integrar información, servicios y estándares que unifiquen los criterios de intercambio dentro de los diferentes sectores y actividades o subsistemas urbanos, (Fernández Güell, 2015).

Para comprender mejor como la ciudad contemporánea, bajo los parámetros propuestos por José Fernández Güell, en términos de complejidad, diversidad e incertidumbre, se deben evaluar las variables tangibles e intangibles que interactúan en los territorios, entendiendo principalmente que la virtualización de muchas actividades humanas supone la desvirtualización de los límites y barreras físicas, lo que plantea un escenario donde la híper conectividad fomenta nuevas formas de relacionamiento, intercambio e interacción.

Es por esto que se debe pensar en nuevos modelos supra sistémicos, que ayuden a dictaminar nuevas condiciones de intercambio a nivel social, cultural, económico, tecnológico entre otros, garantizando así una sociedad global más justa y equitativa.

City protocol iniciativa originada en Barcelona en 2015, plantea comprender las ciudades, como un conjunto entre sociedad, infraestructura física y sus interacciones en el territorio.

Esto supone un relacionamiento con escalaridades y temporalidades múltiples, que complejizan mucho más la comprensión de las dinámicas producto de la interacción de los sujetos y los objetos en el medio físico. Para ello el protocolo de ciudad plantea una estructura de relacionamiento y flujos de comunicación e interacción que busca facilitar la comprensión de los fenómenos de relacionamiento e intercambio colaborativo en todos los niveles escalares y temporales enunciados.

Dicha estructura Plantea que la ciudad se debe entender en tres niveles, el primero es la sociedad, donde se encuentran los ciudadanos y los gobernantes, quienes a través de las diferentes



figuras socialmente constituidas como familias, empresas, organizaciones, individuos; generan datos informáticos constantemente que son de interés para el correcto funcionamiento de la ciudad.

En un segundo nivel, se plantea las interacciones producto del relacionamiento de los sujetos y los objetos en el entorno construido, y allí se hace énfasis en el valor que tiene la información generada por la sociedad, la cual se debe almacenar correctamente en repositorios de macro datos, que optimicen la gestión, sistematización y actualización en el tiempo, pero a su vez que garantice la transparencia del manejo de dicha información, para ello se debe generar repositorios de acceso libre, que permitan al ciudadano verificar que se hace con la información.

Este segundo nivel gira entorno a interacciones funcionales basadas en la economía y la cultura, y tiene como campos específicos la vivienda, el trabajo, los mercados, el transporte, la salud, la educación, la cultura, la recreación, la seguridad como los principales aspectos a tener en cuenta, pero esto debe ampliarse a medida que se consolide el protocolo, para abarcar nuevos tópicos.

Finalmente, en un tercer nivel se encuentra la estructura física, que comprende tres aspectos principales, el primero es el entorno construido, entendiéndolo a nivel multi escalar desde el espacio privado íntimo (dormitorio), pasando por la vivienda, el edificio, la manzana, el barrio, la comuna, la ciudad, la metrópoli, el país, el continente, hasta llegar al entorno global.

El segundo aspecto es la infraestructura física, la cual abarca desde las redes de telecomunicaciones, sistemas de abastecimiento acuífero, sistemas de abastecimiento energético, sistemas de insumos productivos, sistemas de movilidad y sistemas de estructura ecológica principal, como los tópicos principales a tener en cuenta dentro de la implementación inicial de dicho protocolo, pero que a futuro deberá contemplar nuevos ítems.

El tercer aspecto tiene que ver con el medio ambiente, el entorno físico y geográfico de la ciudad, el cual comprende tres aspectos básicos, aire, tierra y agua interactuando dinámicamente, buscando esa auto sustentabilidad y sano equilibrio entre desarrollo y sostenibilidad global, ver ilustración 15 (Governance, 2015)

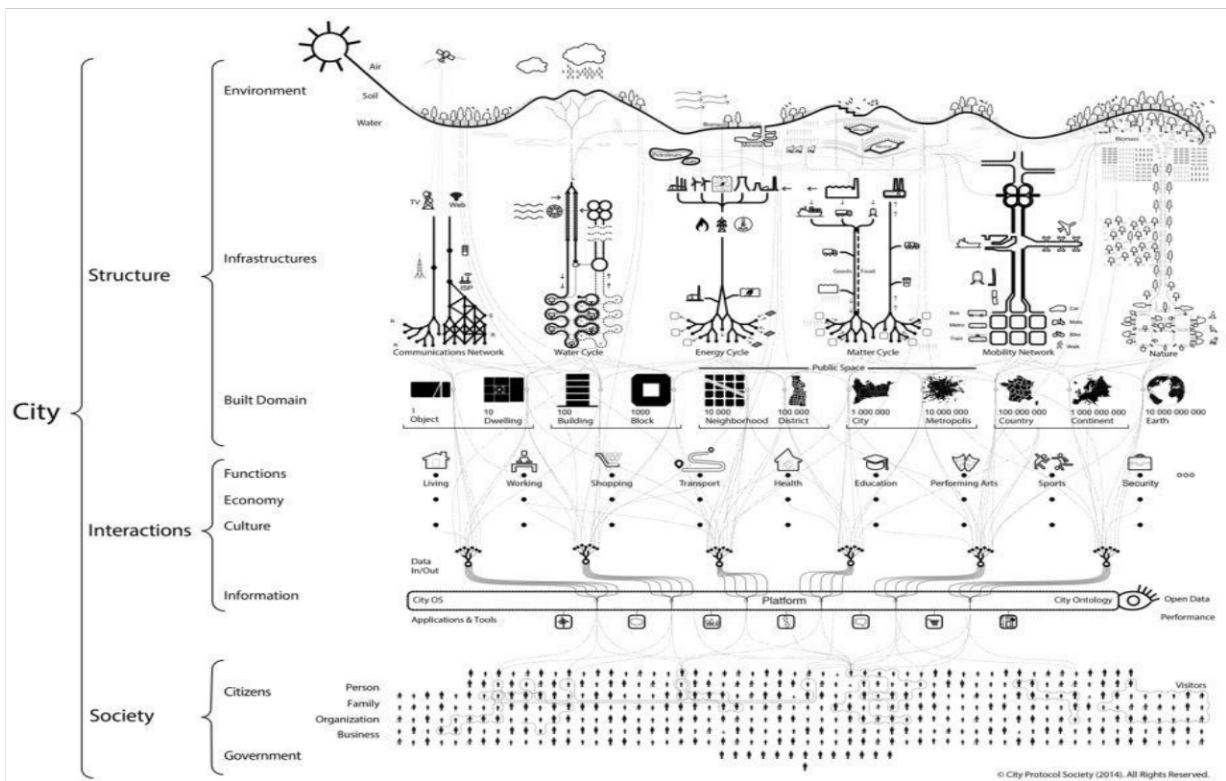


Ilustración 15 Esquema protocolo de ciudad fuente (Governance, 2015).

Este protocolo es una base conceptual que le da soporte a una visión más holística del concepto de ciudad inteligente en términos generales. Ahora bien, en términos de planificación diseño y construcción urbano arquitectónico, se debe identificar cuáles son los procesos tecnológicos apalancados bajo la cuarta revolución industrial, que, bajo metodologías propias del entendimiento territorial, permiten la implementación de desarrollos e innovaciones, que optimicen los procesos de escalaridad y temporalidad múltiple.

Según un estudio realizado por Mckinsey<sup>21</sup> y Camacol<sup>22</sup> en 2017, en Colombia el sector de la construcción se encontraba en el último renglón de la implementación de desarrollos tecnológicos, para la optimización y eficiencia de la cadena de producción. Es por esto que a nivel nacional se vienen adelantando iniciativas, para crear los protocolos y lineamientos que permitan dar paso a políticas públicas que garanticen la correcta implementación de desarrollos tecnológicos en términos de la gestión, administración y planificación eficiente del territorio.

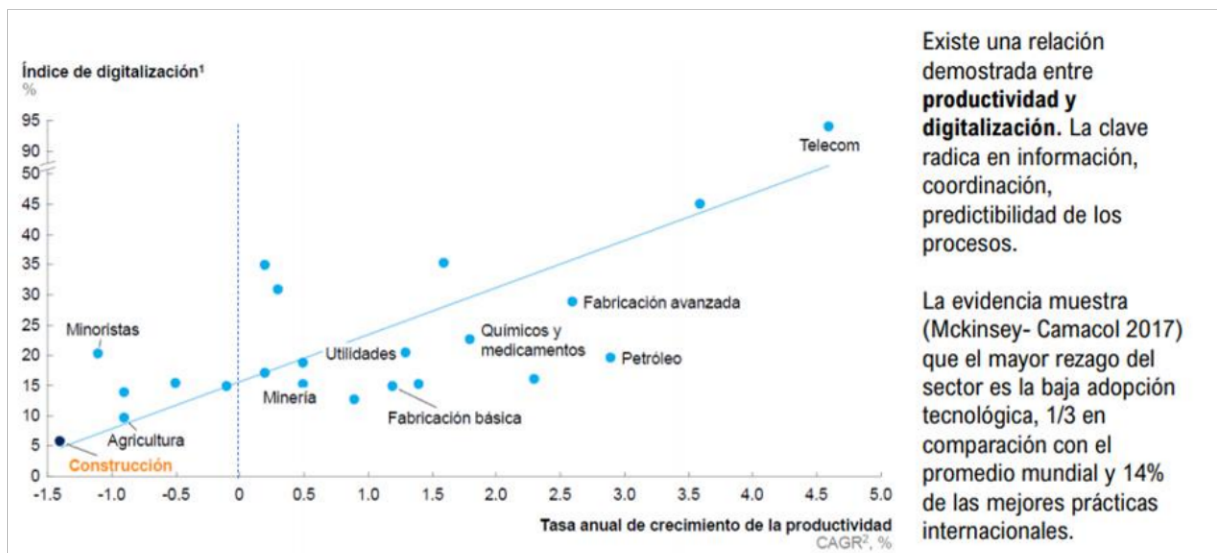


Ilustración 16 Índice de implementación digital en los sectores productivos fuente Mckinsey y Camacol 2017.

El DNP<sup>23</sup>, mediante el CONPES<sup>24</sup> 3958 de 2019, genera el documento que especifica las estrategias para la implementación de la política pública de catastro multipropósito. Dicho proyecto busca mediante la dinamización de la información catastral de los municipios del país, y la estandarización de información que se pueda correlacionar entre entidades estatales, generar una

<sup>21</sup> McKinsey & Company, Inc

<sup>22</sup> Cámara Colombiana de la Construcción

<sup>23</sup> Departamento Nacional de Planeación

<sup>24</sup> Consejo Nacional de política económica y social

plataforma de consulta interconectada entre diferentes instituciones, que brinde información integral, veraz, digital y actualizada.

Así pues, iniciativas como el modelo LADM<sup>25</sup> que, mediante un conjunto de normas, estándares, herramientas, procesos y actores, que participan en la cadena de valor de la administración del territorio, busca contribuir con la gestión eficiente del sistema de administración de tierras nacional, atendiendo las altas aspiraciones del estado en el desarrollo de políticas integrales para el manejo estandarizado de la información y la prestación de servicios eficientes hacia el ciudadano. De igual manera desde el sector de la construcción con Camacol y Bim Forum Colombia se está definiendo los protocolos de la implementación de metodología BIM<sup>26</sup>, mediante la publicación de guías denominada BIM KIT, que definen temas como la relación contractual entre oferentes y proponentes, la creación de contenidos, la medición de indicadores de impacto, la gestión de la información, La definición de los flujos de trabajo, Las guías de modelado BIM y los roles y perfiles de los actores que intervienen en las diferentes etapas del proceso productivo, todo esto con miras a estandarizar las practicas a nivel nacional.

Ahora bien, las metodologías como SIG<sup>27</sup> y BIM<sup>28</sup> son propias del entendimiento territorial que se inscriben bajo estos protocolos, lineamientos, estándares y normas de orden nacional y global, que ayudan a implementar desarrollos tecnológicos en la cadena de producción, tanto en la planificación urbana, como en el diseño y construcción urbano arquitectónico, logrando optimizar los métodos tradicionales, que ayudan a reducir los reprocesos, minimiza los riesgos de toma de decisiones en tiempo real y por ende optimiza los recursos tanto de tiempo como económicos.

---

<sup>25</sup> Land Administration Domain Model (Modelo de dominio de administración de tierras)

<sup>26</sup> Building Information Modeling (Información del modelo de edificio)

<sup>27</sup> Sistemas de Información Geográfica

<sup>28</sup> Building information modeling

Es imperante ahondar en la búsqueda de los flujos de trabajo interconectados entre ambas metodologías, que permitan un trabajo colaborativo dando paso así al CIM<sup>29</sup>, de manera que se pueda integrar la información de fenómenos físico espaciales tangibles e intangibles, con los modelos paramétricos de las edificaciones e infraestructuras urbanas, para obtener una mejor comprensión de las problemáticas, necesidades, potenciales y oportunidades que presenta cada territorio de manera integral.

El modelo de información de ciudad se convierte en un gemelo digital, término que hace alusión a los modelos a escala que se utilizan en la industria aeroespacial, para realizar pruebas y simulaciones de ensayo. En este caso el gemelo digital permite mediante la integración de los datos SIG y BIM, incluir nuevas fuentes de información provenientes de otro tipo de formatos, como tablas de cálculo, archivos de imagen, textos entre otras fuentes que potencializan aún más sus posibilidades de aprovechamiento de la información, consolidando así una plataforma integradora, que convierte información estática en dinámica.

Si a esto se le suma el factor tridimensional, como una posibilidad de aumentar la capacidad de comunicar asertivamente la información, no solo a los tomadores de decisiones y sus equipos técnicos, sino también a la comunidad, se logra generar un alto impacto en los procesos de gestión, administración y planificación del territorio.

De esta manera el modelo de información de ciudad supone un avance importante para la consolidación de la base integradora de los diferentes desarrollos tecnológicos que intervienen en las dinámicas urbanas y su respectiva generación de información. Logrando así una base integradora de gemelo digital territorial 3d, que puede fortalecer esa visión más holística de la ciudad inteligente.

---

<sup>29</sup> City Information modeling (Modelo de información de ciudad)

Con base en lo expuesto anteriormente, es importante recalcar lo fundamental que son los datos informáticos, bajo este modelo de optimización tecnológica que plantea la cuarta revolución industrial, como oportunidades y retos, para todos los sectores productivos. Y esto a su vez supone unos grandes desafíos de gestión del cambio, donde precisamente los marcos metodológicos de implementación, son claves, para lograr una correcta adopción de estas buenas prácticas.

Para ello se debe contar con varios componentes fundamentales, como lo son los protocolos y lineamiento de adopción, los cuales, si bien pueden tener una estructura principal, se deben ajustar de acuerdo con las necesidades de cada organización, independiente si es de orden público o privado. Así mismo los datos informáticos son el insumo fundamental, para garantizar una correcta implementación de la optimización de los procesos, en este caso se debe identificar qué tipo de datos genera cada organización, para determinar su nivel de interconectividad, y potencial de utilidad al interior de cada organización y en relación con sus socios estratégicos externos.

De igual manera se debe cualificar capital humano al interior de las organizaciones, que tenga continuidad en los procesos, y capacidad de transferencia de conocimiento, para irradiar al interior de los grupos focales estratégicos, con métodos de interconexión entre dependencias, que garanticen el flujo de información bidireccional de la manera más eficiente posible.

Igualmente, la adquisición de hardware y software es relevante, para soportar la optimización de los procesos tradicionales, donde generar una sana mezcla entre software licenciado y libre será fundamental, para evitar una codependencia tecnológica, y así promover las posibilidades a nuevos desarrollos personalizados.

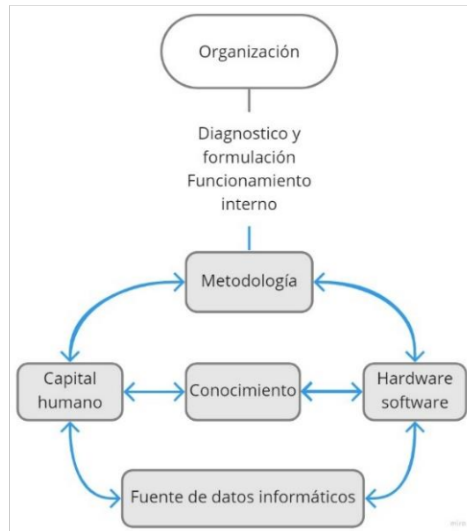


Ilustración 17 Diagrama de flujo de trabajo interno implementación metodológica CIM en organizaciones fuente elaboración propia.

La adopción de estos componentes metodológicos debe estar apalancados en procesos de diagnóstico, análisis y evaluación de los procesos tradicionales de la cadena de valor de cada organización, y estar liderados o respaldados desde los gobiernos corporativos, para garantizar un impacto transversal de las organizaciones.

Finalmente, los datos informáticos como base fundamental de insumo, para fomentar la aplicabilidad de dichas metodologías al interior de las organizaciones y sus socios estratégicos, son la clave primordial, para la optimización, reducción de la incertidumbre y reprocesos que afectan el desarrollo sostenible y equitativo de los territorios. Así pues, el concepto de Ciudad inteligente se caracteriza por promover el uso de sistemas y tecnologías de la información y la comunicación (TIC), además de los contenidos en el CIM, para lograr la eficiencia y efectividad de todos los sistemas urbanos en beneficio de la calidad de vida de sus ciudadanos.

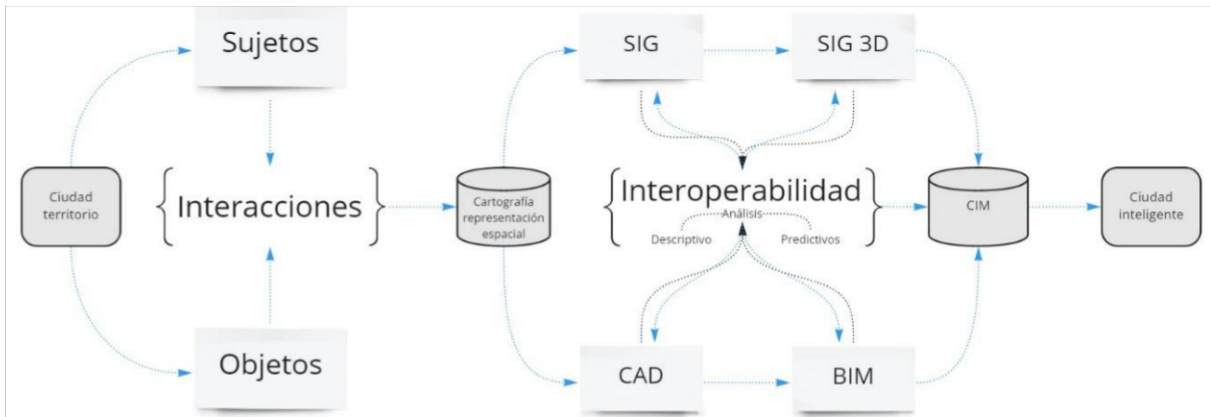


Ilustración 18 Diagrama de flujo metodológico de la evolución de los sistemas de representación y comprensión territorial bajo implementaciones tecnológicas, fuente elaboración propia

La implantación de un CIM no es suficiente para llegar a cualquiera de las visiones de Ciudad inteligente expuestas. Pues se trata de dos proyectos de gran envergadura, tanto por las inversiones y riesgos tecnológicos que implica, como por las dificultades operativas, administrativas y legales.

Sin embargo, están dotados de relativa interdependencia, gran afinidad y son capaces de producir sinergia. La decisión de una implementación integrada entre Información de la ciudad (CIM) y Smart City reducen los riesgos inherentes a los procesos, minimizan los costos y maximizan los resultados. En cualquier caso, hay un arduo camino por recorrer hacia la ciudad virtual.

Buscando fortalecer los posibles flujos de trabajo e interconexión que pueden consolidar la metodología CIM, se plantea realizar un ejercicio de análisis de correlación de casos de estudio de ámbito global, con casos de estudio localizados en la ciudad de Medellín-Colombia, de manera que se pueda evidenciar los aciertos y desaciertos de las iniciativas locales en comparación con los desarrollos globales, y como se podrían ajustar, para lograr implementar casos de éxito bajo la metodología CIM, que aporten a la construcción de una de las visiones de ciudad inteligente a nivel nacional, buscando fortalecer de esta manera las iniciativas gubernamentales, por transformar el sector de la planificación, gestión, diseño, construcción y administración del territorio estatal.



---

## CAPITULO 3

### 3. ANALISIS Y CORRELACIÓN

#### 3.1. MATRIZ DE EVALUACIÓN CUALITATIVA DE CASOS DE ESTUDIO GLOBALES Y LOCALES

Los conceptos de modelado de información de ciudad y ciudad inteligente tienen como uno de sus principales objetivos la interconectividad. Las soluciones propuestas deben contemplar variables de diferentes campos como (sensores remotos, transporte, economía, legislación, energía, TI, espacio público, zonas verdes, fuentes hídricas, entre otros) que se puedan integrar para atender las necesidades de los ciudadanos fortaleciendo así la sostenibilidad. Es importante entender que esto no se hace una sola vez cuando se adquiere ciertas herramientas tecnológicas, sino que debe ser un proceso continuo de revisión, análisis y actualización. Así, no solo la visión tecnológica, sino también los aspectos sociales deben integrarse en los servicios con el objetivo de mejorar la calidad de vida y la sostenibilidad. Esto supone una tarea muy difícil, que no se aborda bien con las metodologías existentes (Pribyl et al., 2017).

Abordar los escenarios de planificación, gestión, diseño, construcción y administración de la ciudad desde la perspectiva de los usuarios finales en lugar de simplemente proporcionar una visión general de arriba hacia abajo donde la tecnología y sus capacidades, sean el principal motivador de cambio, es una de las apuestas de la visión integradora y transdisciplinaria que plantea el CIM y la ciudad inteligente.

Estas iniciativas proporcionan un marco sobre el cual se busca garantizar la sostenibilidad de las ciudades, la calidad de vida, seguridad de los ciudadanos y la máxima eficiencia energética, todo ello integrado en las seis áreas claves, economía, medio ambiente, movilidad, comunidad, convivencia y gobernanza con el aporte de las últimas tecnologías. Los aspectos tecnológicos se presentan con frecuencia como la clave para el desarrollo de las ciudades inteligentes. Pero esto puede resultar en

---

una sobreestimación de su influencia e importancia en la solución propuesta. Es importante señalar que la implementación de una solución tecnológica en las iniciativas de CIM y ciudades inteligentes, como ya se ha dicho, se centran en la interconexión de los diferentes aspectos y campos que interactúan con la ciudad, facilitando así flexibilizar los métodos de estudio de la ciudad, buscando generar procesos de abajo hacia arriba potencializando así, la participación ciudadana.

Según la investigación realizada por Ondrej Pribyl, Michal Lom y Pavel Pribyl, la ciudad inteligente se debe abordar bajo el esquema de funcionamiento de la naturaleza, donde no existe un cerebro central que controle todos los elementos que conforman el planeta y sus acciones. Al contrario, se debe entablar un sistema de relaciones autónomas que permitan un equilibrio beneficioso para todos. De igual manera se plantea que debe existir un marco comparativo, que permita analizar varios escenarios del estado actual y futuro de las ciudades, con el objetivo de identificar las propuestas, proyectos, y formulaciones más acordes con las soluciones generadas por la tecnología basada en el concepto de ciudad inteligente y que de igual manera puede ajustarse al modelamiento de información de ciudad CIM (Pribyl et al., 2017).

Buscando facilitar la implementación metodológica de la visión de ciudad inteligente más holística e integral, y en consonancia con las reflexiones acerca de la metodología CIM, a la cual también se le podría aplicar la iniciativa planteada por Pribyl, Lom y Pribyl, que consiste en desarrollar una herramienta de evaluación comparativa basada en escenarios definidos e indicadores clave de rendimiento (KPI), denominada SMACEF<sup>30</sup>. Que se caracteriza por plantear un enfoque modular que permite de una manera simple comparar un estado actual de un sistema en particular con un estado

---

<sup>30</sup> Smart city evaluation framework

futuro propuesto del sistema. El principal objetivo del marco es evaluar si las soluciones propuestas son beneficiosas y útiles para las ciudades y los ciudadanos.

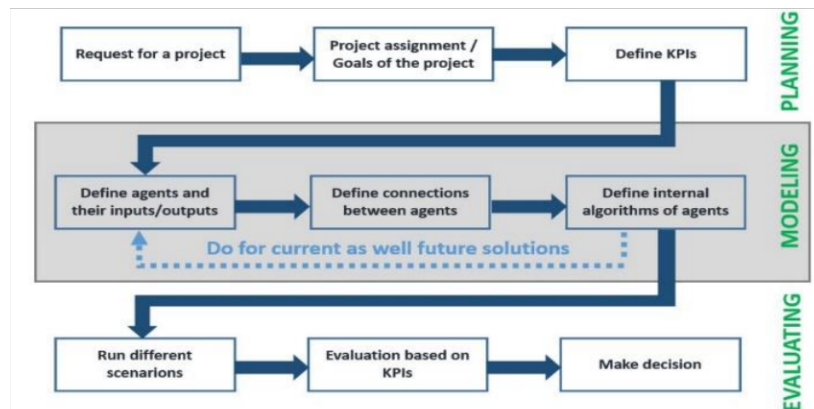


Ilustración 19 Diagrama de flujos de trabajo Smacef fuente (Pribyl et al., 2017).

Si bien esta plataforma de evaluación puede funcionar para validar planteamientos de desarrollos tecnológicos orientados bajo metodologías CIM y ciudades inteligentes, su foco de atención es específico, y puede ser aplicado a iniciativas puntuales de proyectos de renovación y recualificación urbana, aportando en etapas tempranas un indicador de validez y pertinencia de las propuestas, facilitando a así la toma de decisiones.

Pero a su vez el último paso que define la toma de decisión, se debería ampliar, para desarrollar un diagnóstico y una formulación de las dinámicas y fenómenos urbanos, que ayuden a elaborar una estrategia de planificación urbana, que garantice, no solo el correcto funcionamiento del espacio evaluado, sino también su relacionamiento con el entorno urbano que lo rodea, de manera que los esfuerzos de implementación tecnológica surtan efectos positivos de manera más integral en el territorio. En todo caso este tipo de iniciativas evaluativas no permite conocer en el contexto de ciudad el nivel de madurez de la implementación tanto del CIM, como de la ciudad inteligente.

De acuerdo con Fernández Güell existen varias iniciativas similares a Smacef, que buscan validar el nivel de implementación del concepto de ciudad inteligente, basados en la cantidad, calidad de la

tecnología utilizada y el capital humano cualificado que pueda operarla, para responder a los 6 pilares fundamentales de la ciudad inteligente. En este caso las validaciones otorgan excesiva importancia al número de iniciativas inteligentes puestas en marcha en una ciudad y al volumen de recursos invertidos en la implantación de las mismas.

Así pues, puede haber ciudades que hayan realizado inversiones cuantiosas a nivel tecnológico y que, por el contrario, los actores sociales y económicos no perciban un impacto relevante de las mismas o que ni siquiera hayan participado de su desarrollo. Así mismo, pueden haber ciudades donde las administraciones municipales no tenga implementaciones inteligentes relevantes, pero que determinados colectivos sociales desarrollen proyectos interesantes desde la base de la ciudadanía (Fernández Güell, 2015).

Basados en los conceptos de Fernández Güell que plantea complementar las iniciativas de evaluación existentes, mediante un modelo cualitativo que contemple las características principales de la ciudad del siglo XXI como criterios de evaluación de madurez y validez de las iniciativas de implementación de modelos de información de ciudad, con miras a complementar la visión deseada de una ciudad inteligente. Dichos criterios son la diversidad, la incertidumbre y la complejidad, de las cuales se desglosan variables que nos permiten obtener una descripción más precisa y detallada de cada iniciativa.

Pero comprendiendo que este instrumento de evaluación cualitativo busca validar las iniciativas existentes en el contexto local de Medellín, se hace imperante agregar un criterio adicional, para garantizar la sostenibilidad en el tiempo de los procesos metodológicos, dicho criterio aborda la replicabilidad, pues éste va a garantizar que la implementación metodológica empleada como SIG, BIM o CIM) sea susceptible de replicar en cualquier territorio. De igual manera para comprender mejor los

flujos de trabajo de cada iniciativa local, se debe correlacionar con iniciativas desarrolladas en otras latitudes, que ayuden a identificar mediante un proceso comparativo y analítico las ventajas y retos de cada iniciativa, logrando de esta manera verificar el nivel de madurez y validez que puede llegar a aportar en los procesos de implementación de modelos de información de ciudad que ayuden a complementar la visión de una ciudad inteligente más holística.

Para desarrollar el análisis comparativo de correlación, bajo los criterios de evaluación ya mencionados, se plantea la selección de estudios de casos prácticos que hacen parte de proyectos reales, que se han desarrollado bajo estas metodologías, teniendo diferentes tipologías, escalas e impactos en el territorio. Así mismo las variables de medición de cada criterio de evaluación, se escogen basadas en la pertinencia de aplicabilidad para los diferentes casos de estudio, entendiendo que tanto su alcance, como su escala y su nivel de desarrollo es limitado, y ninguno por si solo puede dar respuesta completa a un modelo de información de ciudad.

Se procede brevemente a explicar los 4 criterios de evaluación cualitativa y sus variables, para determinar el nivel de madurez y validez de los estudios de caso a analizar.

### **Criterio 1 Complejidad**

Una ciudad es un sistema de sistemas complejo, multidimensional y localizado en un espacio delimitado, que requiere de visiones transdisciplinarias para su comprensión. Estas visiones abarcan los 6 pilares de la ciudad inteligente (la economía, la movilidad, el medio ambiente, las personas, la convivencia y la gobernanza).

**Variable 1      Orientación de las iniciativas inteligentes a todos o a varios de los subsistemas urbanos:**

Buscando la interconexión de los 6 sistemas fundamentales de la ciudad inteligente, se plantea esta variable que ayude a identificar la capacidad de articulación de las múltiples fuentes de datos que pueden componer los estudios de caso a evaluar.

**Variable 2      Integración o, al menos, conexión entre diferentes plataformas metodológicas de carácter tecnológico:**

Esta variable nos permite comprender cuantas metodologías se emplearon por cada estudio de caso analizado, Para lograr identificar los flujos de trabajo entre las diferentes metodologías y su nivel de interrelación.

**Criterio 2 Diversidad**

Si se parte del principio de que no hay dos ciudades iguales desde un punto de vista físico, funcional y formal, y que igualmente una ciudad se compone por una serie de relaciones e interacciones de personas, empresas e instituciones que presentan necesidades y potencialidades muy heterogéneas, se puede comprender por qué la diversidad debe ser un criterio importante a tener en cuenta en el proceso de evaluación.

**Variable 1      Utilización de procesos de gestión que permitan explotar la información procedente de diferentes metodologías de carácter tecnológico:**

Esta variable se plantea con el fin de identificar la implementación de procesos que permitan el aprovechamiento de datos informáticos de múltiples fuentes de origen, para

complementar los análisis, especializaciones, representaciones y comunicaciones de los diferentes casos de estudio a evaluar.

**Variable 2 Implementación de mecanismos de potenciación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación:**

Esta variable tiene como objetivo la identificación de mecanismos de interacción con la comunidad, para fortalecer la participación ciudadana en los procesos de desarrollo de los casos de estudio a evaluar.

**Criterio 3 Incertidumbre**

La ciudad además de ser un sistema de sistemas complejo y diverso, también experimenta continuas dinámicas de cambio, más aún cuando los 6 pilares de la ciudad inteligente (la economía, la movilidad, el medio ambiente, las personas, la convivencia y la gobernanza) evolucionan constantemente producto de las mejoras por medio de herramientas tecnológicas. Esto genera mayor dificultad, para advertir o predecir su comportamiento. Así pues, el gran reto es manejar y acotar la incertidumbre en ciudades cada vez más complejas.

**Variable 1 Implementación de diseños de escenarios, para correlacionar la visión de futuro:**

Esta variable permite modelar escenarios múltiples, que aborden el factor tiempo como una determinante para correlacionar escenarios antecesores, actuales o predecesores, buscando comprender mejor el comportamiento de los fenómenos físico espaciales en el espacio geográfico.

#### Criterio 4 Replicabilidad

Este criterio adicional, permite validar si bajo los flujos de trabajo que propone cada caso de estudio, se puede garantizar una replicabilidad en otros territorios, lo que abiertamente ayudaría con la sostenibilidad en el tiempo de dichos flujos de trabajo y su consolidación como proceso metodológico fundamental, para lograr modelos de información de ciudad interconectados que sirvan de base para una ciudad inteligente.

##### **Variable 1 Tipo de software y hardware con miras a implementar recursos de acceso libre:**

Esta variable tiene como objetivo principal, la identificación de software y hardware abierto, que faciliten la articulación e interconexión de las múltiples fuentes de datos informáticos que contiene cada caso de estudio a analizar.

##### **Variable 2 Nivel de cualificación del capital humano, para su correcta implementación en el tiempo:**

Esta variable busca determinar el nivel de conocimiento académico y empírico, para lograr operar correctamente las diferentes herramientas tecnológicas que complementan las metodologías, empleadas en cada caso de estudio a analizar.

Modelo de análisis cualitativo para iniciativas de implementación tecnológica territorial	
Criterios de análisis	Variables
Complejidad	Orientación de las iniciativas inteligentes a todos o a varios de los subsistemas urbanos.
	Integración o, al menos, conexión entre diferentes plataformas metodológicas de carácter tecnológico.
Diversidad	Utilización de procesos de gestión que permitan explotar la información procedente de diferentes metodologías de carácter tecnológico.
	Implementación de mecanismos de potenciación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación.
Incertidumbre	Implementación de diseños de Escenarios, para correlacionar la visión de Futuro.
Replicabilidad	Tipo de software y hardware con miras a implementar recursos de acceso libre
	Nivel de cualificación del capital humano, para su correcta implementación en el tiempo

Tabla 1 Modelo de análisis cualitativo para iniciativas de implementación tecnológica territorial, fuente elaboración propia.



### 3.2. DEFINICIÓN DE MATRIZ ANALÍTICA DE SELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

Buscando validar e identificar el nivel de madurez de las iniciativas locales, en la implementación de la metodología CIM y su posible integración a una visión más holística e integral de ciudad inteligente, se hace necesario generar un proceso de análisis correlacional que mediante la selección de casos de estudio, permita comparar las iniciativas locales con desarrollos de otras latitudes, evidenciado el nivel de veracidad y coherencia con las teorías y postulados de CIM y la ciudad inteligente.

De igual manera estos casos de estudio deben poseer características prácticas que permitan evidenciar claramente la utilidad en proyectos reales, que se han desarrollado bajo estas metodologías, teniendo diferentes tipologías, escalas e impactos en el territorio.

Para lograr una correcta selección de dichos casos de estudio, se debe definir la unidad de análisis sobre la cual se va a realizar el ejercicio de correlación, Dicha definición en este caso particular debe partir de los casos de estudio locales, como una constante, a la cual se le debe asignar un par que cumpla con las mismas características en términos de tipología, escala e impacto territorial, pero en otro contexto, logrando así definir el espectro completo de los casos de estudio a correlacionar. Así mismo, es importante enunciar que los casos de estudio locales, se seleccionan teniendo en cuenta las tres escalas de trabajo territorial, (Micro, meso y macro), y sus tipologías, entendiendo éstas como:

- Desarrollo de un lote de menor complejidad.
- Desarrollo de una unidad de actuación de un plan parcial.
- Desarrollo de un proyecto lineal de movilidad e infraestructura.
- Desarrollo de un proceso de diagnóstico y formulación de un proyecto de planificación urbana.

Los casos de estudio locales seleccionados, tienen un origen empírico, en cuanto a que no se basan en una teoría conceptual, que indique cual debe ser el flujo de trabajo transdisciplinario que debería seguir, para lograr un correcto gemelo digital, que contribuya con el modelo de información de ciudad. Por el contrario, dichos casos surgen de la experiencia del quehacer profesional, y la capacidad de reflexionar acerca de las mayores dificultades para conectar las metodologías Sig y Bim, por medio de sus datos y obtener nuevos resultados que aporten a la comprensión de las problemáticas y oportunidades que presentan los territorios. Así pues, el análisis planteado busca validar mediante esta correlación los flujos de trabajo de casos de estudios locales, contrastados con los casos de estudios foráneos que se apalancan en las teorías y postulados del modelo de información de ciudad y la ciudad inteligente. De esta manera se pretende evidenciar como los flujos de trabajo de los proyectos locales, se pueden convertir en procesos viables, maduros y replicables en cualquier territorio, buscando fortalecer el concepto de modelos de información de ciudad CIM, que complemente la visión de una ciudad inteligente más holística e integral.

A continuación, se muestra la matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio.

MATRIZ DE DEFINICIÓN DE UNIDAD DE ANÁLISIS CORRELACIONAL DE CASOS DE ESTUDIO								
Local				Global				
Id.	Caso de estudio	Escala	Impacto	Aplicabilidad	Caso de estudio	Escala	Impacto	Aplicabilidad
1	Proyecto de modelamiento 3d de prefactibilidad normativa y técnica de un lote, identificando en etapas tempranas las implicaciones que garantice que sea apto para desarrollar.	Micro El caso de estudio plantea una opción de abordar el proceso de planificación y diseño, soportado en el uso de los flujos de trabajo Sig y Bim, para generar un modelo paramétrico y diseño generativo, que permita generar múltiples escenarios de aprovechamiento de ocupación.	Gran impacto, al optimizar los procesos de viabilidad normativa y técnica en etapas de prefactibilidad, garantizando insumos que alimenten el flujo de trabajo en las siguientes etapas de desarrollo.	Tiene potencial de ser replicado en cualquier territorio, siempre y cuando se cuente con insumos informáticos básicos.	Correlación Integración de objetos 3d y terreno para el soporte de modelado 3d el digital twin.	Micro El caso de estudio plantea una metodología paramétrica de diseño generativo que puede abarcar múltiples escalas de trabajo, buscando la mejor adaptación de las edificaciones al terreno.	Importante aporte en el desarrollo de la viabilidad técnica de la implantación de la huella de aprovechamiento de un proyecto en el lote, garantizando un apoyo importante en la toma de decisiones por parte de los desarrolladores del proyecto.	Alto porcentaje de aplicación en cualquier tipología de proyecto.

Tabla 2 Matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio 1, fuente elaboración propia.

Local					Global			
Id.	Caso de estudio	Escala	Impacto	Aplicabilidad	Caso de estudio	Escala	Impacto	Aplicabilidad
2	Proyecto de modelamiento 3d de una unidad de actuación de un plan parcial en etapas tempranas de prefactibilidad financiera, para evaluar sus aprovechamientos, distribución de usos, conformación edilicia y evidenciar los potenciales y los retos de la propuesta de emplazamiento urbano en relación con el contexto inmediato y sus impactos a futuros.	Escala micro y meso El caso de estudio está orientado al modelamientos de unidades de actuación de planes parciales, en etapas de prefactibilidad normativa, técnica y financiera, para determinar el escenario más viable bajo los criterios descritos anteriormente, buscando mediante el flujo de trabajo de Sig, Bim y Cim generar modelos paramétricos que ayuden a recrear los aprovechamientos de una manera efectiva y que sirvan como insumo en la cadena de producción de las siguientes etapas de desarrollo.	Alto impacto de eficiencia y generación de múltiples escenarios, para evaluar alternativas que le permitan a los tomadores de decisiones reducir los riesgos y reprocesos en las etapas tempranas.	Esta opción es susceptible de replicar en cualquier territorio, siempre y cuando se cuente con los datos normativos, urbanos y financieros, necesarios, para crear los criterios de modelamiento fundamentales.	Una metodología algorítmica para predecir la forma urbana, un instrumento para el diseño urbano.	Micro El caso de estudio plantea una metodología paramétrica de diseño generativo que puede abarcar múltiples escalas de trabajo.	Alto impacto en eficiencia, al plantear un método de optimización con múltiples escenarios, que facilitan la toma de decisiones en etapas tempranas.	Tiene gran potencial de replicabilidad, en cualquier proyecto de escala micro, incluso el código de programación visual, es susceptible de comercializar por sí solo.

Tabla 3 Matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio 2, fuente elaboración propia.

Local					Global			
Id.	Caso de estudio	Escala	Impacto	Aplicabilidad	Caso de estudio	Escala	Impacto	Aplicabilidad
3	Proyecto de modelamiento 3d de infraestructura urbana lineal articulando todas las disciplinas que intervienen en las etapas de planificación y diseño, facilitando la coordinación entre saberes técnicos, que permita evidenciar las inconsistencias e impactos del planteamiento, buscando minimizar los reprocesos de ejecución en obra, ahorros económicos y disminución de tiempo de ejecución, que optimicen el desarrollo del proyecto.	Escala meso El caso de estudio plantea la ejecución de proyectos lineales de carácter vehicular y espacio público, que pueden abarcar extensiones considerables, en este caso particular son 1.7 kilómetros de desarrollo, que mediante los flujos de trabajo Sig, Bim y Cim, permite una coordinación más efectiva entre las diferentes disciplinas que intervienen en el proyecto. Además de evidenciar con mayor facilidad las incidencias y colisiones entre disciplinas, permite un ahorro considerable a la hora de tomar decisiones que	El estudio de caso genera un impacto disruptivo en la manera tradicional, como se diseñan, modelan y construyen este tipo de proyectos, pues al utilizar los flujos de trabajos de las metodologías propias del entendimiento territorial, se obtienen beneficios de eficiencia y ahorros en reprocesos a la hora de tomar decisiones en cualquiera de las etapas de desarrollo del proyecto.	Este caso de estudio al ser un proyecto real, tiene total potencial de ser replicado en cualquier territorio que requiera la ejecución de proyectos similares, con la gran ventaja de que cada gemelo digital modelado, puede alimentar a futuro el gran modelo de información de ciudad CIM, con miras a complementar la visión de tener una ciudad inteligente.	GeoDesign: concepto para la integración de BIM y GIS en la planificación del paisaje	Escala Meso El estudio de caso genera un impacto importante al ser un proyecto piloto, para Alemania en términos de infraestructura vehicular, es así como se plantea un concepto para la integración de BIM y GIS con datos reales del proyecto piloto de expansión A99 en Alemania. Muestra cómo los planificadores ambientales y paisajistas pueden integrar BIM y GIS para optimizar el proceso de diseño mediante la evaluación de los impactos de los proyectos de construcción y su	Alto impacto como referente a nivel nacional, para la implementación metodológica del flujo de trabajo Sig y Bim, en el desarrollo de este tipo de proyectos, evidenciando los beneficios y retos que supone dicha implementación.	El estudio de caso al ser un proyecto piloto, permite replicar las experiencias positivas y corregir los desaciertos en otros proyectos a nivel nacional de infraestructura vehicular y ambiental.

Tabla 4 Matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio 3, fuente elaboración propia.

Local					Global			
Id.	Caso de estudio	Escala	Impacto	Aplicabilidad	Caso de estudio	Escala	Impacto	Aplicabilidad
4	Proyecto de modelamiento 3d de planificación urbana de un territorio de escala meso, como apoyo a los procesos de diagnóstico y formulación territorial que permita la comprensión y comunicación acertada de las problemáticas y potenciales físico espaciales territoriales, tanto a equipos técnicos como a la comunidad facilitando así la democratización de la información y participación ciudadana.	Meso El estudio de caso plantea un proceso de planificación urbana de un territorio en ladera, el cual posee retos en temas de mitigación del riesgo, reubicación y recalificación de vivienda en zonas de protección, consolidación de centralidades zonales, mejoramiento de la malla de accesibilidad y la definición de ecoparques en zonas de protección ambiental. Para ello se empleó los flujos de trabajo Sig, Bim y CIM, lo cuales facilitaron en gran medida la comprensión, tanto del diagnóstico, como la formulación.	El estudio de caso permite evidenciar nuevos métodos de análisis, espacialización y comunicación mediante el uso de los flujos de trabajo, Sig, Bim y Cim, convirtiéndose en un piloto muy pertinente de replicar en otros territorios.	Este estudio de caso, plantea bajo la metodología tradicional de planificación, la incorporación de herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar procesos de análisis, espacialización y comunicación, que pueden ser de gran utilidad a la hora de aplicarse en otros territorios. De esta manera la aplicabilidad de estas herramientas tecnológicas tienen un gran potencial en cualquier proyecto relacionado con el territorio.	Plataforma de análisis multidimensional para apoyar la planificación y diseño para un entorno urbano habitable y sostenible	Meso Este estudio de caso plantea el diseño y desarrollo de una plataforma multidimensional y espacialmente habilitada para apoyar la planificación de la habitabilidad en Singapur. Una herramienta de simulación cuantitativa del entorno urbano, desarrollada en Singapur, aprovechó los datos de cartografía 3D capturados en el marco del proyecto topográfica nacional 3D de la Autoridad de Tierras de Singapur (SLA).	El estudio de caso plantea, que al día de hoy los profesionales y académicos de planificación urbana y diseño urbano aprovechan los avances en la tecnología informática y la visualización multidimensional para examinar los escenarios de desarrollo desde los aspectos físicos, ambientales, sociales y económicos. Sin embargo, muchos planificadores urbanos todavía se basan en información del terreno bidimensional (2D) y los diseñadores urbanos utilizan motores gráficos tridimensionales (3D) para evaluar un edificio propuesto o evaluar el impacto de las regulaciones de desarrollo cambiantes. Este conflicto metodológico es una gran oportunidad, para generar un cambio en los procesos metodológicos tradicionales, de manera que se explote al máximo las bondades de dichos flujos de trabajo.	Mediante la implementación de estos nuevos flujos de trabajo, se le permite un mejor entendimiento a los tomadores de decisiones desde un enfoque holístico a través de la integración de los sistemas urbanos con otros dominios de aplicación como el transporte, el medio ambiente y la gestión de desastres para garantizar la habitabilidad de las ciudades.

Tabla 5 Matriz de definición de unidad de análisis correlacional de casos de estudio 4, fuente elaboración propia.

### 3.3. ANALISIS Y CORRELACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO LOCALES Y GLOBALES

Comprendiendo que las ciudades no se desarrollan en su totalidad en el corto o mediano plazo, sino que es un proceso de largo aliento, en el cual el trabajo transdisciplinario, sincronizado y coherente es fundamental para lograr un desarrollo sostenible e integral del territorio, se hace importante entender que tanto la metodología CIM, como las visiones de ciudades inteligentes también se deberían construir en el mediano y largo plazo, por medio de la implementación de modelos de información de ciudad CIM, que faciliten la adopción de implementaciones tecnológicas bajo las metodologías propias del entendimiento territorial, de manera que dicha implementación sea más manejable para las instituciones y sus gobiernos a la hora de reconocer los aportes y retos que supone este tipo de desarrollos. Una de las ventajas de la metodología CIM al no estar aun claramente definida, y apalancarse en la metodología BIM, es su flexibilidad a la hora de abordar la complejidad, diversidad, incertidumbre y replicabilidad, pues esto permite abarcar mayores variables de análisis mediante escalas y temporalidades múltiples, lo que facilita el desarrollo de la implementación de la metodología CIM que, desarrollados en el tiempo, pueden conformar el modelo de información de ciudad general CIM.

Bajo esta premisa, a continuación, se analizan los casos de estudio que permitirán comprender la identificación metodológica y los flujos de trabajo empleados, para desarrollar los diferentes proyectos, tanto locales como foráneos. Una vez expuesto cada caso de estudio, se correlacionan mediante la matriz de evaluación de madurez y validez de casos de estudio y se clasifican bajo tres categorías las diferentes variables evaluadas: **similitud, diferenciación y retos** para lograr identificar entre los diferentes casos de estudio las variables que presentan aspectos similares, diferenciadores y los retadores.

## CASO DE ESTUDIO 1

**Caso:** Integración de objetos 3d y terreno para el soporte de modelado 3d el gemelo digital.

**Ubicación:** Sídney, Australia

**Tipología:** Desarrollo de terrenos puntuales

**Autores:** Yan, J, Zlatanova, S, Aleksandrov, M, Diakite, A. A., Pettit, C

**Año:** 2019

La validez de los modelos digitales es importante para ayudar a los planificadores y tomadores de decisiones a explorar el entorno construido. Esto proporciona una mejor percepción de opciones más elaboradas para respaldar la planificación, la toma de decisiones y el compromiso de la comunidad en los análisis de la ciudad.

Las representaciones de gemelos digitales de ciudades evidencian cada vez más la necesidad de resolver los desafíos fundamentales de integración y asociación entre los modelos 3D y el terreno, para lograr un mayor nivel de precisión en sus diferentes escalas de análisis y desarrollo.

La construcción de modelos 3D, Se pueden crear a partir de datos de escaneo láser, por medio de levantamientos de nubes de puntos, estos procedimientos de reconstrucción se enfocan en edificios o en el terreno. Como resultado, el terreno y los objetos 3D se mantienen de forma independiente y se integran solo para fines específicos. Un gemelo digital urbano en 3D debe contener no solo los objetos en 3D, sino también el terreno en 3D (especialmente para lugares montañosos), porque los edificios se diseñan y construyen sobre él (Yan et al., 2019).

Basados en el estándar CityGML<sup>31</sup> los autores evidencian un problema de fusión entre los elementos 3d del entorno construido, y el terreno sobre el cual se implantan. Pues al tratarse de entidades diferentes y separadas, no solo por el origen del formato de los archivos, en el cual las edificaciones provienen de formatos Shapefile<sup>32</sup>, y el terreno posee un formato Geotiff<sup>33</sup> que permite conformar el DTM<sup>34</sup>, sino también por tratarse de entidades con características claramente diferenciadoras que permiten albergar fenómenos físico espaciales definidos por la naturaleza propia de los elementos que representan.

Así pues, este estudio plantea un método, para resolver los problemas de fusión a la hora de implantar los elementos 3d con el terreno, bajo la metodología CityGML, comprendiendo que pueden existir diferentes tipos de formato de los archivos, de esta manera los modelos 3d se pueden obtener mediante la extrusión de huellas (Shapefile), formatos de modelos 3d (FBX, OBJ, 3DS, SKP, DAE), ó modelos BIM, y el terreno se puede obtener por medio de nubes de puntos (LAZ, RCP, E57, PTS) o formato de cuadrícula de superficie TIN, lo que les permite generar 5 enfoques diferentes dependiendo de la combinación de fuentes de datos.

---

<sup>31</sup> Lenguaje de marcado de geografía de la ciudad

<sup>32</sup> Formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI

<sup>33</sup> Estándar de metadatos de dominio público que permite que información georreferenciada sea encajada en un archivo de imagen de formato TIFF.

<sup>34</sup> Digital Terrain Model



*Ilustración 20 problemática de fusión entre modelos 3d y el terreno en el cual se implantan fuente (Yan et al., 2019).*

Este método para calcular TIC<sup>35</sup>, que es una curva que indica dónde los objetos 3D están tocando el terreno, está basada en las cinco combinaciones diferentes de conjuntos de datos de origen y tomando los edificios como objetos 3D. Así mismo es importante resaltar que la intersección con el terreno puede diferir según el LOD<sup>36</sup>, un objeto 3D puede tener diferentes intersecciones de curva de terreno dependiendo del nivel de detalle con el que se requiera generar el modelo.

### **Enfoque 1 Huellas + DTM**

Esta opción se usa ampliamente ya que las huellas y los DTM están comúnmente disponibles como conjuntos de datos abiertos y gubernamentales. Esta opción plantea los siguientes pasos:

- Encuentre el TIC proyectando huellas en el terreno.
- Establezca la altura y cree las superficies de las paredes de los edificios 3D.
- Genere la superficie del techo y del suelo para crear edificios en 3D (sólidos).

---

<sup>35</sup> Terrain Intersection Curve

<sup>36</sup> Level Of Detail

- Reconstruir el terreno considerando las TIC como limitaciones.

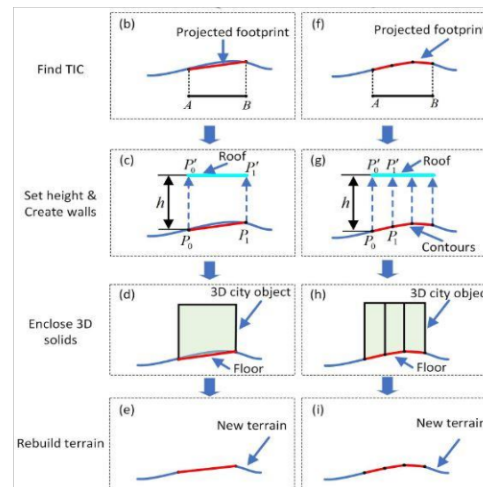


Ilustración 21 Enfoque 1, para hallar el TIC fuente (Yan et al., 2019).

En este enfoque se presentan dos métodos, dependiendo de la necesidad puntual del modelador, por una parte, se puede adaptar el terreno a la geometría base de los objetos 3d, o al contrario se puede adaptar la base del objeto 3d al contorno del terreno, en ambos casos se realiza el mismo procedimiento, representado en la ilustración 21.

Los dos enfoques de proyección diferentes darían como resultado dos modelos diferentes, para mantener la coherencia entre los edificios 3D y el terreno, el DTM debe volver a calcularse teniendo en cuenta los vértices y los bordes de TIC (huellas de edificios proyectadas) como restricciones.

## Enfoque 2 Huellas + nube de puntos

Con la amplia aplicación de la tecnología de escaneo láser, las nubes de puntos 3D se convierten en una fuente de datos para los objetos de la ciudad en 3D. Por lo tanto, las huellas y las nubes de puntos también son una posible combinación de entrada para construir modelos 3D y terreno.



- Clasifique las nubes de puntos con la ayuda de huellas.
- Calcular el contorno del techo.
- Projete el contorno del techo en el terreno para obtener un edificio TIC y 3D (sólido).
- Reconstruir terreno.

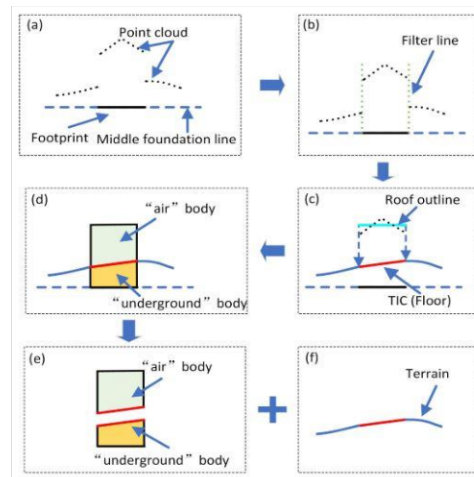


Ilustración 22 Enfoque 2, para hallar el TIC fuente (Yan et al., 2019).

Este enfoque asume que las nubes de puntos originales no están clasificadas, posteriormente, las huellas se utilizan para agrupar nubes de puntos para cada edificio, el terreno también se puede derivar de las nubes de puntos.

### Enfoque 3 Modelo de construcción 3D + DTM

Este método de creación de modelos de construcción 3D es muy popular en las aplicaciones actuales para la creación de modelos tridimensionales a gran escala, porque es una de las formas más sencillas de generarlos como huellas extruidas a una cierta altura.

- Alinear el modelo de construcción 3D con DTM.
- Obtenga TIC por intersección 3D.
- Obtener cuerpo "aéreo" y cuerpo "subterráneo".

- Vuelva a calcular el terreno.

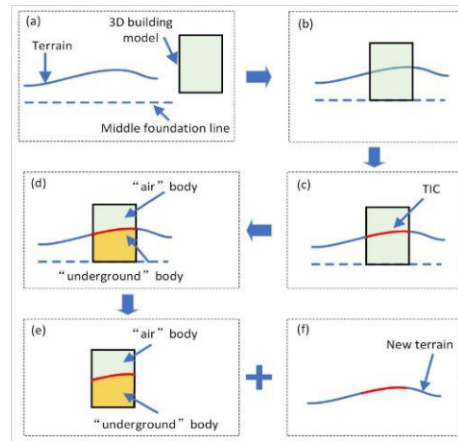
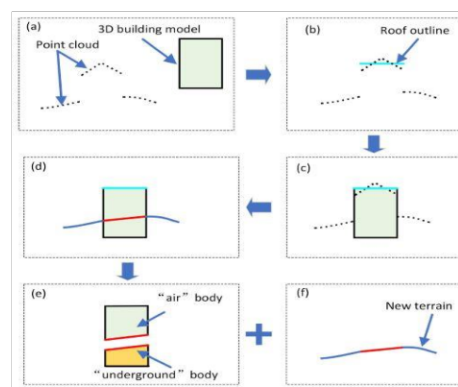


Ilustración 23 Enfoque 3, para hallar el TIC fuente (Yan et al., 2019).

Este enfoque permite que metodologías como BIM y CityGML, las cuales son dos fuentes populares de modelos de construcción 3D, sean utilizados ampliamente en diferentes dominios, como planificación urbana y análisis de ciudades.

#### Enfoque 4 Modelo de construcción 3D + Nube de puntos

Al tomar modelos de edificios 3D y nubes de puntos como entradas, debemos tener en cuenta que al menos uno de ellos debe estar georreferenciado y las nubes de puntos deben clasificarse en diferentes categorías, como edificios, terreno y vegetación.



---

*Ilustración 24 Enfoque 4, para hallar el TIC fuente (Yan et al., 2019).*

Este enfoque necesita huellas para garantizar que los modelos de construcción en 3D aparezcan en las ubicaciones correctas, y la nube de puntos que representa los techos debe clasificarse por huellas, para su correcta georreferenciación.

### **Enfoque 5 Nube de puntos**

La consideración de tomar solo nubes de puntos como fuente de datos para edificios 3D y terreno supone que las nubes de puntos están georreferenciadas y clasificadas en al menos dos categorías, edificios y terreno.

- Obtenga el contorno de la cara de un techo.
- Calcule el terreno y las TIC originales.
- Vuelva a calcular edificios en 3D (sólidos).
- Reconstruir terreno.

Con la nube de puntos georreferenciada y clasificada, todo el proceso para construir modelos de construcción 3D, TIC y terrenos se desarrolla muy similar al enfoque 4, solo que en este caso la única fuente de datos son las nubes de puntos, por lo que se debe tener especial cuidado en la clasificación de puntos, para determinar con claridad la categoría a la que pertenecen, y se logre una correcta construcción del modelo.

Al comparar los métodos de proyección, se puede concluir que los detalles de las huellas del edificio y el terreno se influyen mutuamente. Para ser más específicos, las huellas detalladas pueden conducir a un terreno más complejo y viceversa. Mantener huellas o terreno detallados depende de las aplicaciones. De igual forma los enfoques que utilizan la nube de puntos como entrada en esta investigación asume que el procesamiento de las nubes de puntos en sí ya es muy

preciso. De lo contrario las nubes de puntos podría ser un preprocesamiento inexacto, lo que provocaría posteriormente problemas adicionales relacionados con la precisión de los métodos propuestos.

Resumiendo, la clave para resolver este problema radica en obtener un TIC correcto y fusionar los objetos 3D y el terreno adecuadamente con base a él, utilizando cualquiera de los cinco métodos de combinación para construir objetos 3D y terrenos.

**Caso:** Proyecto de modelamiento 3d de prefactibilidad normativa y técnica de un lote.

**Ubicación:** Medellín, Colombia.

**Tipología:** Desarrollo de terrenos puntuales.

**Autor:** Centro de modelación urbana CMU - Empresa de Desarrollo Urbano -EDU-.

**Año:** 2019

Bajo la óptica que plantea Fernández Güell las ciudades como constructo colectivo se caracterizan por la complejidad, diversidad e incertidumbre (Fernández Güell, 2015), los cuales a su vez se ven soportados por los seis pilares fundamentales de la ciudad inteligente, (economía, movilidad, medio ambiente, comunidad, convivencia y gobernanza) (Murgante & Borruso, 2014). Bajo este panorama abordar los procesos de planificación del territorio se convierte en una tarea dispendiosa, la cual requiere de múltiples miradas desde diferentes saberes y conocimientos, que permitan una comprensión más holística e integral de los fenómenos, problemáticas, necesidades y potenciales que se suscitan en el espacio geográfico.

Dicha comprensión requiere de la instrumentalización disponible, para facilitar la indagación y posterior entendimiento del territorio. Para ello los instrumentos normativos son

esenciales, pues de estos depende en gran medida las restricciones y oportunidades que puede tener el territorio, para desarrollarse desde el marco jurídico. De igual forma el componente económico juega un papel preponderante a la hora de evaluar la pertinencia de desarrollar el territorio, pues dependiendo de la tipología de proyecto a realizar existen diferentes aspectos que se deben considerar, para lograr un ejercicio equilibrado y sostenible desde el contexto financiero. A nivel de medio ambiente y movilidad, nuevamente los instrumentos normativos de protección y gestión se convierten en herramientas que determinan las directrices y lineamientos acerca de cómo se debe desarrollar los territorios sin afectar las zonas protegidas o destinadas para proyectos de conectividad. A nivel de comunidad y convivencia los mecanismos de participación ciudadana, así como los estudios socio demográficos, se convierten en herramientas fundamentales, para la caracterización de la población e identificación de las dinámicas funcionales en los territorios.

Los aspectos anteriormente mencionados hacen parte de los procesos evaluativos y analíticos que se realizan con el objetivo que viabilizar los proyectos, de manera integral, buscando evitar impedimentos en etapas futuras, que generen reprocesos, o desestime el desarrollo de los mismos. Esta viabilidad, es clave, pues determina las implicaciones de tipo jurídico, normativo, económico, social y técnico, que faciliten la ejecución de las obras sin impedimentos ni reprocesos en la cadena de ejecución. Para ello, existen varias instancias que se deben considerar, para lograr un análisis lo más completo e integral, de manera que se pueda reducir el nivel de riesgo e incertidumbre a la hora de formular los proyectos.

En ese sentido las metodologías SIG, BIM, y CIM son de gran ayuda, para espacializar, analizar y representar los procesos de viabilización en etapas tempranas, de manera que se puedan generar insumos que alimenten las siguientes etapas de la cadena de valor de cada

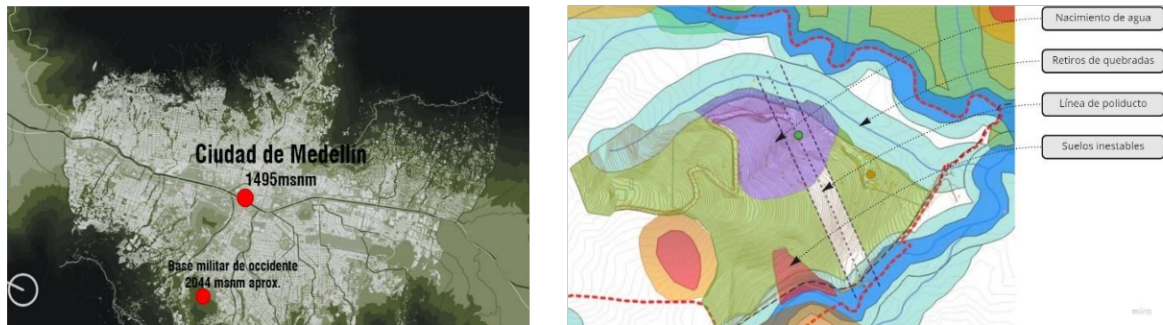
proyecto. Los métodos tradicionales de viabilización, analizan los territorios de forma singular de acuerdo a cada disciplina del conocimiento que interactúa con el territorio, arrojando visiones parciales desde cada óptica, que no permiten conocer la totalidad del espectro que se desea comprender. Esto supone un problema latente si no se cuenta dentro de estas etapas con personal articulador que logre fusionar las múltiples visiones particulares e interpretarlas de manera que las interacciones entre cada visión logren identificar las afectaciones o condicionantes que restringen o posibilitan el desarrollo de los territorios.

Así pues, este estudio de caso busca mediante la implementación de metodologías como SIG, BIM y CIM, generar un método, para articular las diferentes miradas desde los componentes jurídico, normativo, económico y técnico, que permitan la elaboración de un gemelo digital basado en la metodología CIM, en la cual se puedan realizar múltiples escenarios, para espacializar, analizar y representar las opciones más viables de un proyecto dando respuesta a las necesidades puntuales de cada componente en particular, contribuyendo así a reducir la incertidumbre en etapas tempranas a la hora de tomar decisiones.

El objeto de estudio planteado es un lote en la zona periférica del municipio de Medellín, donde se plantea desarrollar un equipamiento de seguridad, el cual requiere para su correcto funcionamiento generar un complejo de edificaciones, que de acuerdo con sus funciones se debe agrupar de una manera específica.

Comprendiendo la importancia y necesidad de lograr el correcto funcionamiento de dicho equipamiento, se plantea generar un método de viabilización, por medio de la espacialización articulada de las diferentes fuentes de datos y bajo la visión transdisciplinar de cada campo del conocimiento que intervine con el territorio. Es importante mencionar que dicho lote al estar

ubicado en la zona periférica de la ciudad, tiene unas características topográficas bastante complejas, lo que en un inicio ya representa un reto importante, al igual que una serie de restricciones normativas, que se deben considerar, para realizar los análisis.



*Ilustración 25 Localización y planta de afectaciones normativas fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-*

### **Condicionantes**

Topografía pronunciada 140mts entre cota inferior y superior.

Presencia de nacimiento de agua, el cual requiere una zona de protección de 100mts alrededor.

Presencia de línea de poliducto de crudo, requiere retiro de 15mts a lado y lado de la línea.

Presencia de suelos inestables, clasificados como no mitigables.

Presencia de red hídrica que requiere un retiro de 30mts a ambos costados.

El lote pertenece a una zona de reserva forestal, por tal motivo se debe minimizar la tala de individuos arbóreos, en el proceso de implantación y cabida.

### **Necesidades**

Generar alojamientos para 40 efectivos de seguridad.

Modulación estandarizada de edificaciones, de acuerdo con los estándares militares.

Ingreso y salida de vehículos de carga de 3.5 toneladas.

Ejecutar el proyecto por fases, garantizando el funcionamiento en el tiempo.

Construcción de vía de ingreso con dimensiones no inferiores a 6.00mt, radios de giro de 7.50mts y pendientes máximas del 16%.

El método planteado busca integrar fuentes de datos de origen SIG, entre los cuales están las capas geográficas normativas del POT<sup>37</sup> y capas geográficas ambientales ambas en formatos Shapefile, de igual manera se articulan datos de origen BIM, entre los cuales están las masas de las edificaciones y sus respectivos cuadros de áreas en formatos RVT, así mismo se vinculan datos de origen Geotiff, que contienen la superficie de triangulación TIN del terreno, la cual se obtiene de un levantamiento altiplanimétrico previo en formato CAD, con definición de altura en el eje z, y finalmente se articula todo en un gemelo digital de formato Sqlite, el cual permite desarrollar la metodología CIM.

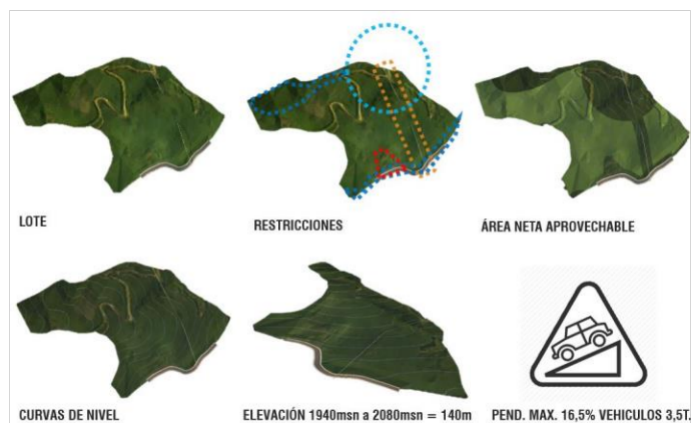


Ilustración 26 Gemelo digital con condicionantes fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-

El gemelo digital base, permite la espacialización geográfica de los condicionantes, lo que facilita identificar el área neta aprovechable, para desarrollar el proceso de ocupación

<sup>37</sup> Plan de Ordenamiento Territorial



programática. Pero es en este punto en el que se evidencia la necesidad de elaborar varias alternativas de accesibilidad vehicular, para lograr el correcto funcionamiento del proyecto, teniendo como premisas las dimensiones de ancho de calzada, los radios de giro, la pendiente y la minimización de cortes y llenos en el terreno.

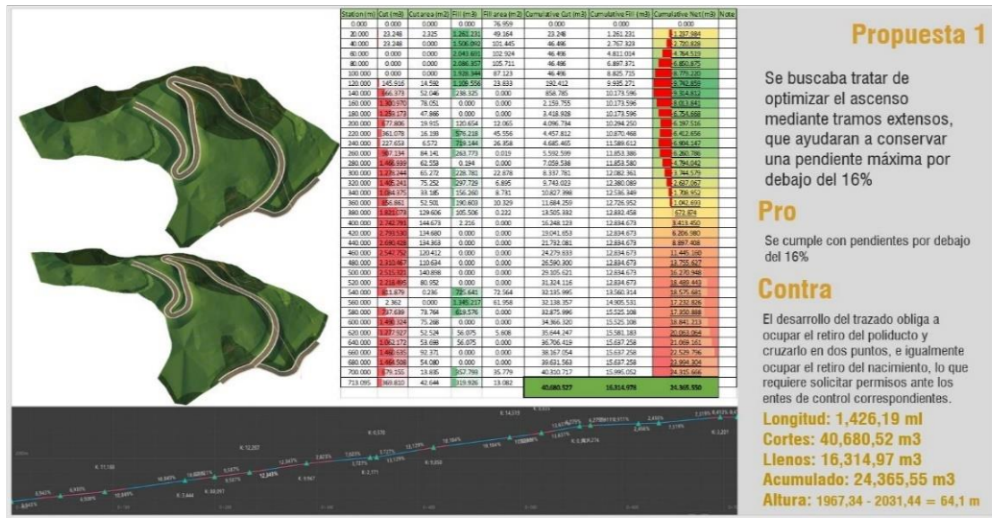


Ilustración 27 Escenario 1 análisis de trazado vehicular fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-

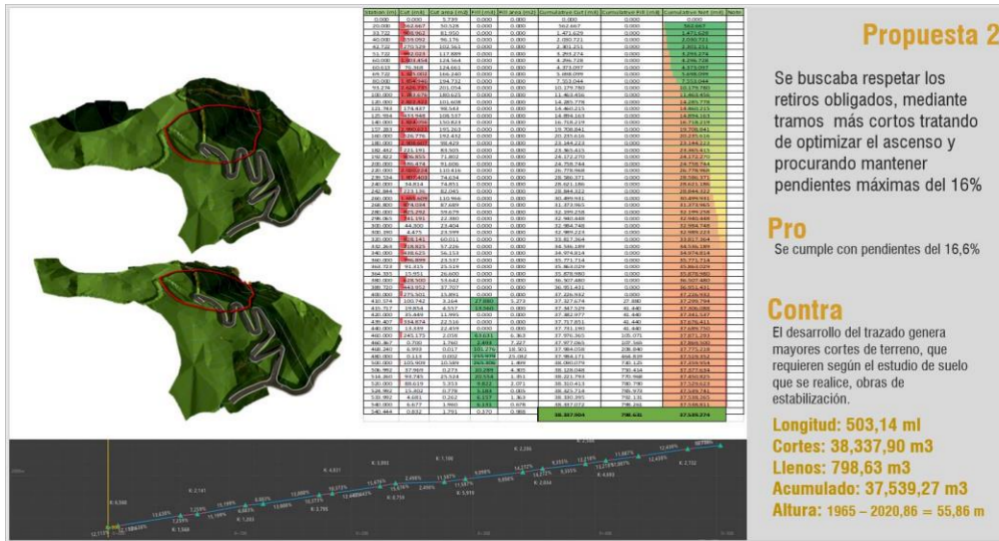


Ilustración 28 Escenario 2 análisis de trazado vehicular fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-

Cada escenario permite evidenciar el trazado vehicular en tres dimensiones, su perfil con longitudes, pendientes y altimetría, así como una tabla de cantidades que evidencian los cortes y llenos cada 20mts de longitud de desarrollo vial. Permitiendo así obtener datos concluyentes de cada escenario, para evaluarlos en conjunto y poder así tomar la decisión más conveniente para el proyecto.

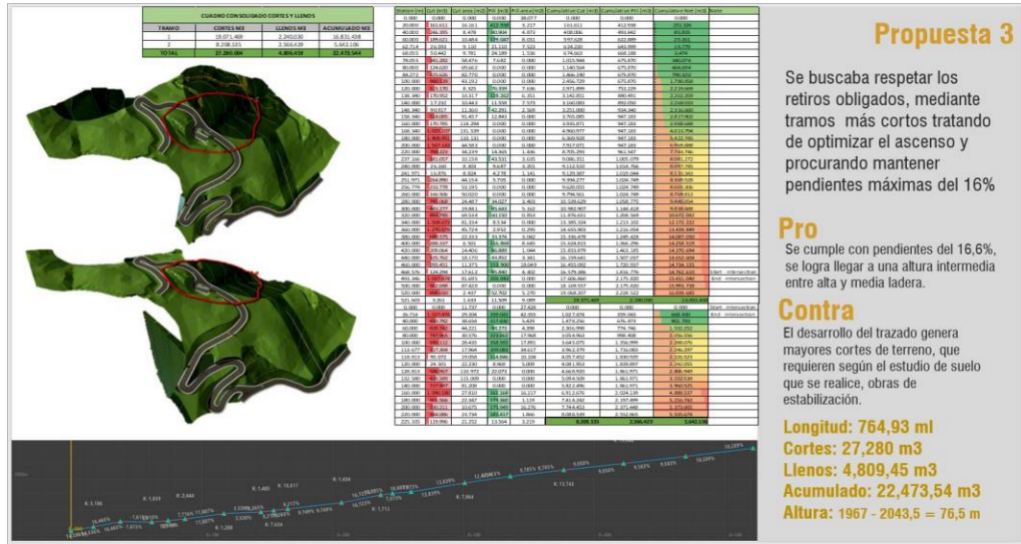


Ilustración 29 Escenario 3 análisis de trazado vehicular fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-

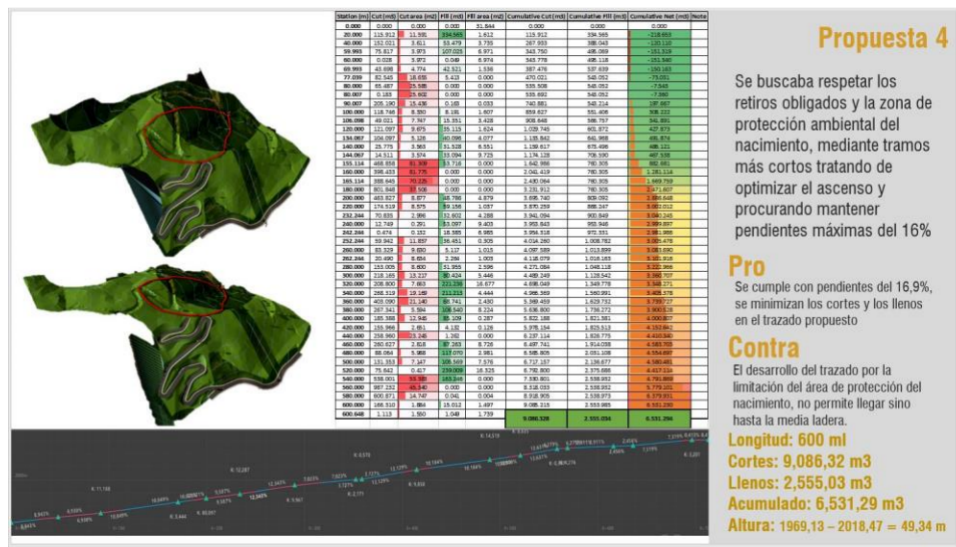


Ilustración 30 Escenario 4 análisis de trazado vehicular fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-

Una vez definido el trazado vehicular más óptimo, y teniendo en cuenta cada una de las premisas anteriormente descritas, se procede a realizar el ejercicio de ocupación en el territorio disponible, para garantizar la agrupación por espacios requerida, y articulada con la vía de ingreso, de manera que se logre evidenciar la coherencia entre las necesidades del programa arquitectónico, las condicionantes normativas y las soluciones técnicas, para reducir costos de ejecución del proyecto, y reprocesos en las siguientes etapas de desarrollo proyectual.

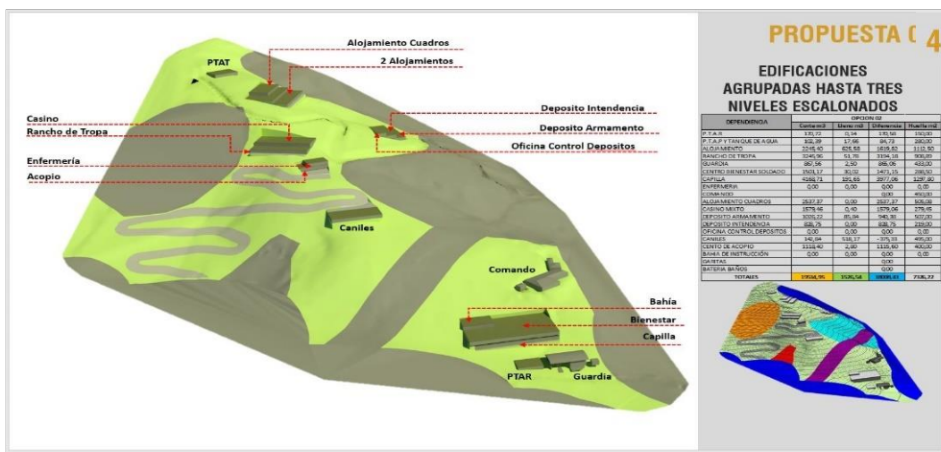


Ilustración 31 Escenario 4 con implantación del programa arquitectónico fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-

Logrando así generar un gemelo digital de modelo de información de territorio TIM, basado en la metodología CIM, permitiendo articular e interconectar fuentes de datos con orígenes de metodologías como SIG, BIM bajo el estándar internacional CityGML, que permita definir los objetos y sus relaciones dentro del entorno urbano, estandarizando tanto la representación de la geometría, como las propiedades topológicas, semánticas, los atributos temáticos, las relaciones entre los objetos y propiedades espaciales de los mismos.

En síntesis, la implementación de este método utilizando herramientas tecnológicas bajo metodologías SIG, BIM y CIM, permite una mayor comprensión de los fenómenos físico espaciales

tangibles e intangibles, que caracterizan los territorios. Utilizando la mayor cantidad de fuentes de información, que permitan soportar aspectos jurídicos, normativos, económicos y técnicos, buscando así nutrir modelos de información de territorios TIN, con los cuales se puedan generar múltiples escenarios de espacialización, análisis y representación, para viabilizar o advertir en etapas tempranas la pertinencia o no del desarrollo de proyectos en el territorio, reduciendo así la incertidumbre a la hora de tomar decisiones, y minimizando los riesgos de generar reprocesos a futuro en las siguientes etapas de desarrollo de los proyectos.

MATRIZ DE EVALUACIÓN CUALITATIVA DE MADUREZ Y VALIDEZ DE CASOS DE ESTUDIOS													
Identificación		Complejidad		Diversidad		Incidencia		Replicabilidad		Nivel de madurez		Nivel de validez	
ID	Origen	Orientación de las incidencias inteligentes a todos o a varios de los sistemas urbanos	Integración o al menos, conexión entre diferentes plataformas tecnológicas de carácter tecnológico	Utilización de procesos de gestión que permitan aplicar la formación procedente de diferentes metodologías de carácter tecnológico	Implementación de mecanismos de potenciación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación	Implementación de diseños de escenarios, para reconstruir la visión de futuro	Tipo de software y hardware con miras a implementar recursos de acceso libre	Nivel de cualificación del capital humano, para su correcta implementación en el tiempo	Aportes	Riesgos	Aportes	Riesgos	
1	Proyecto de modelamiento 3d de prefactibilidad normativa y técnica de un lote	Medellin	El metodo planteado por el estudio de caso, aborda multiples fuentes de datos, para tenerlos en cuenta a la hora de realizar los procesos de modelamiento, buscando incluir aspectos juridicos, normativos, economicos y tecnicos, para lograr una vision mas integral del territorio.	De igual forma dicho metodo es susceptible de implementarse en cualquier sistema urbano que requiera ser modelado.	Este estudio de caso plantea un metodo, para articular la informacion proveniente de diferentes fuentes de datos, para obtener un genero digital base, sobre el cual poder realizar la especialización, analisis y representación de las diferentes opciones necesarias, para validar el proyecto en etapas tempranas.	Este estudio, no refleja procesos de participación ciudadana, al tratarse de una escala micro en la cual busca solucionar el desarrollo de un equipamiento de seguridad, en la cual la participación de la ciudadanía no tan relevante.	El estudio de caso plantea mediante la implementación del genero digital BIM, la creación de múltiples escenarios, para evaluar aspectos normativos, economicos y tecnicos, para poder desarrollar los recursos educativos o para que puedan desarrollarse en múltiples exploraciones.	El estudio utiliza software libre como QGIS, y tambien un creador de mapas online, si bien no todos son de acceso libre, si bien investigadores, con los cuales pueden desarrollarse los recursos educativos o para que puedan desarrollarse en múltiples exploraciones.	Si bien el estudio, no menciona los requisitos puntuales, para cualificar personal en el uso correcto de las herramientas y si se requiere alta capacitación, herramientas tecnologicas, como QGIS, Rhino + Grasshopper y FAE. Adicionalmente se debe contar con experiencia en el manejo de estos tipos de puntos, superficies de triangulación DTM, que permitan una correcta comprensión de los procedimientos enunciados en este caso de estudio.	Este estudio de caso permite evidenciar un metodo de prefactibilidad en etapas tempranas de desarrollo de proyectos, que ayude a comprender los diferentes fenomenos fisicos espaciales que intervienen en el desarrollo de un genero digital base, que permita realizar este tipo de metodos en los procesos de desarrollo de proyectos en el territorio.	El estudio no define procesos de cualificación de capital humano, lo que representa un genero digital base, que permita realizar este tipo de metodos en los procesos de desarrollo de proyectos en el territorio.	El estudio de caso presenta un nivel de validez y pertinencia importante, pues muchos de los proyectos de ciudad, donde se requiere gestionar el suelo, para lograr la prefactibilidad desde los diferentes aspectos, como el normativo, economico, juridico, ambiental y social, en muchas ocasiones desmoronada cada aspecto por separado, lo que dificulta la gestión, y potenciando el riesgo de toma de decisiones en etapas tempranas.	Este tipo de estudios de caso debe abordar proyectos de multiples escalas y tipologias, para lograr mayor impacto en los procesos de gestión y validación de los proyectos en etapas tempranas, logrando así consolidar este metodo, como necesario, para disminuir la incertidumbre y optimizar los procesos de desarrollo de los proyectos.
	Integración de objetos 3d y terreno para el soporte de modelo 3d el digital 3m.	Australia	Los planteamientos del estudio, estan relacionados con la fusión de objetos 3d y el terreno, por lo tanto esta solución es susceptible de implementar en cualquier sistema urbano que requiera ser modelado en 3 dimensiones.	Este estudio de caso plantea 5 enfoques, para aprovechar correctamente las fuentes de origen de los datos, obtener el mejor provecho posible.	Este estudio, no refleja procesos de participación ciudadana, al tratarse de una escala micro en la cual busca solucionar puntualmente la fusión de objetos 3d con el terreno.	Este estudio de caso adhiere que de acuerdo con el nivel de LOD con el cual se trabaja del modelo, pueden existir múltiples escenarios, que ayuden a mejorar la precisión de la fusión de los objetos 3d y el terreno, pero por su escala y alcance se limitó en el tiempo, ya no se exploraron las opciones de generar escenarios antecorres, actuales o futuros.	El estudio menciona en un ejemplo concreto de aplicación, la utilización de software libre como QGIS, Rhinoceros (con Grasshopper) y Feature Manipulation Engine (FME), si bien no todos los recursos educativos o para investigar, con los cuales pueden desarrollarse múltiples exploraciones.	Si bien el estudio, no menciona los requisitos puntuales, para cualificar personal en el uso correcto de las herramientas y si se requiere alta capacitación, herramientas tecnologicas, como QGIS, Rhinoceros + Grasshopper y FAE. Adicionalmente se debe contar con experiencia en el manejo de estos tipos de puntos, superficies de triangulación DTM, que permitan una correcta comprensión de los procedimientos enunciados en este caso de estudio.	Este estudio de caso permite ajustar la precisión a la hora de construir modelos tridimensionales en donde los objetos 3d deben fusionarse con el terreno. Así mismo evidencia diferentes enfoques, para trabajar con múltiples fuentes de origen de los datos, lo que facilita la interconexión de metodologías de carácter tecnológico, para aprovechar al máximo la diversidad de datos que pueden intervenir en la construcción de estos modelos tridimensionales.	El estudio no desarrolla con mayor profundidad la fusión de la metodología BIM y los terrenos desconocidos, en metodos constructivos, en los cuales el terreno debe ser adecuado, para garantizar un correcto emplazamiento técnico.	El estudio de caso presenta un nivel de validez y pertinencia, para casos donde el modelamiento tridimensional este orientado a la planificación urbana, en escalas territorialmente meso y macro, en escalas que requieren de un nivel de precisión y detalle tan exacto, y permita este tipo de soluciones.	El estudio de caso 3 futuro, debería prestar especial atención a la integración de modelos BIM y terreno. Los modelos BIM pueden requerir un TIC muy complejo y una modificación significativa del terreno urbano, en escalas circundante.	De manera que se pueda generar una mejor integración de los datos provenientes de metodologías como SIG y BIM, para articularlos y generar así modelos CIM más integrados.

Tabla 6 Matriz de evaluación de madurez y validez caso de estudio 1 fuente elaboración propia

### **3.3.1.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN**

#### **3.3.1.1.1. SIMILITUD**

- Ambos estudios de caso orientan las iniciativas tecnológicas a varios sub sistemas urbanos en territorios puntuales, lo que propicia mayor flexibilidad a la hora de implementar estas iniciativas de planificación y desarrollo de territorios.
- Los dos estudios de caso plantean la posibilidad de fusionar varias metodologías de carácter tecnológico, como SIG y BIM
- Ningún estudio refleja procesos de participación ciudadana, pues al tratarse de una escala micro en la cual las soluciones, si bien poseen objetivos diferentes, ambas descartan los procesos comunitarios al ser poco relevantes dada las características y objetivos propios de cada estudio de caso.
- Ambos estudios de caso presentan la posibilidad de generar escenarios o alternativas de análisis, para tomar la decisión más eficiente, contribuyendo así a reducir la incertidumbre y mejorando la eficiencia en los procesos de prefactibilidad.
- Las soluciones planteadas por ambos casos, requieren de personal calificado, con experiencia en las disciplinas propias del entendimiento territorial, y a su vez con conocimientos en el manejo de metodologías y herramientas tecnológicas que potencialicen la espacialización, análisis y representación de los proyectos.

#### **3.3.1.1.2. DIFERENCIACIÓN**

- Los procesos de gestión de la información varían según cada caso, mientras el caso foráneo plantea cinco alternativas, para aprovechar la fuente de datos, según su origen, el segundo caso plantea un solo método, para fusionar las diferentes fuentes de datos, articulándolas en una sola plataforma, para desarrollar el proyecto.

### 3.3.1.1.3. RETOS

- Los procesos de cualificación de capital humano en ambos casos de estudio, representa un gran reto, si se quiere potencializar y replicar este tipo de métodos en los procesos de desarrollo de proyectos en el territorio.
- Consolidar la metodología de los procesos de gestión y viabilización de los proyectos en etapas tempranas, logrando así consolidar este método, como necesario, para disminuir la incertidumbre y optimizar los procesos de desarrollo de los proyectos.

Luego de realizar el proceso de análisis correlacional, entre el caso de estudio local y foráneo, de la escala micro y de tipología de desarrollo de terrenos puntuales, se puede evidenciar, que, si bien ambos casos abordan diferentes problemáticas y utilizan diferentes procesos metodológicos, para desarrollar los estudios, los resultados son similares, en términos del aprovechamiento de los flujos de información de diferente origen de fuente de datos. En ambos casos se observa la utilización de formatos similares de metodologías SIG (Shapefile), BIM (RVT), y teniendo presente el protocolo internacional CityGML, para generar la integración de la información en el modelo tridimensional denominado gemelo digital.

De igual manera existe una flexibilidad, a la hora de generar escenarios con diferentes opciones de espacialización, análisis y representación, dependiendo del nivel de detalle LOD, y de las alternativas o escenarios que se requieren evaluar. En ambos casos no se generan procesos de participación ciudadana, dada la tipología y escala de los proyectos objeto de los estudios. Así mismo la implementación de software libre, o al menos con posibilidad de uso educativo, se ve claramente incluido dentro de ambos estudios.

A nivel de formación de personal calificado, en ambos casos se debe realizar procesos de formación especializados, dada la complejidad que representa dominar metodologías como SIG, BIM y CIM, para lograr una correcta integración de los datos. Los retos que se plantean ambos estudios, están encaminados a fortalecer la interoperabilidad entre las diferentes metodologías y sus flujos de trabajo, con múltiples fuentes de origen de datos, que contribuyan a la consolidación, validez y maduración de estos métodos, como procesos valiosos en el desarrollo de modelos de información de territorios TIM, que a su vez ayuden a consolidar el modelos de información de ciudad CIM, y este a su vez fortalezca la visión de una ciudad inteligente cada vez más holística e integral.

### **3.3.2. CASO DE ESTUDIO 2**

**Caso:** Una metodología algorítmica para predecir la forma urbana, un instrumento para el diseño urbano.

**Ubicación:** Hong Kong, China.

**Tipología:** Desarrollo de unidad de actuación urbanística.

**Autor:** Chowdhury, Shuva Schnabel, Marc Aurel.

**Año:** 2019

El enfoque de diseño de abajo hacia arriba propicia el proceso de participación comunitaria en los aspectos del desarrollo urbano. Involucra a participantes locales ya sea a través de consultas de diseño o por colaboración. La teoría comunitaria planteada por Patsy Healey ha traído la idea del enfoque de abajo hacia arriba en el proceso de diseño participativo. Esta Indica



las demandas de la participación pública en la toma de decisiones para una mayor inclusión de las partes interesadas (Chowdhury & Schnabel, 2018).

El diseño basado en el enfoque de abajo hacia arriba requiere mucho tiempo y esfuerzo, y en algunas ocasiones, las ideas de diseño se dan por entendidas. Además, debido a la falta de información visual, las partes interesadas no pueden comprender ni comparar correctamente los múltiples escenarios urbanos.

Las herramientas de computación en los métodos de diseño urbano han traído un cambio del enfoque de diseño idealista y optimista al enfoque de diseño procedimental sistemático y realista. El cambio de modelos descendentes a sistemas más generativos y ascendentes ha influido en los diseñadores urbanos para abordar los cambios morfogenéticos en el diseño urbano. Estos sistemas de diseño pueden funcionar como asistentes de diseño creativos durante las etapas iniciales del desarrollo del concepto.

Los enfoques tradicionales de diseño y planificación urbana tienen una capacidad limitada para abordar múltiples reglas de complejos urbanos y no pueden proporcionar la información necesaria para predecir las formas urbanas.

El diseño arquitectónico asistido por computadora CAD ya demostró tener ricas posibilidades para crear herramientas de diseño que puedan abordar la complejidad urbana desde la forma. Sin embargo, los desarrollos actuales de estas herramientas están en la producción del diseño mismo, más que en los instrumentos para el proceso de toma de decisiones del diseño. Por lo tanto, este estudio de caso plantea una metodología algorítmica como un instrumento para generar múltiples escenarios urbanos y puede involucrar a las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones de diseño (Chowdhury & Schnabel, 2018).

Los enfoques tradicionales de planificación y diseño urbano de arriba hacia abajo proporcionan información limitada para que los ciudadanos comprendan el proceso de generación de ideas. Estos métodos tienen símbolos comunicativos establecidos que solo pueden ser comprendidos por profesionales. Carecen de canales de comunicación para que las partes interesadas participen en el proceso de discusión del diseño. Además, los resultados finales representados por imágenes 3d no son lo suficientemente flexibles como para visualizar múltiples ideas de diseño a la vez.

Esto supone una problemática, que afecta la apropiación y aceptación por parte de las comunidades, que habitan el territorio, poniendo en riesgo el buen funcionamiento de Interrelacionamiento entre los sujetos y los objetos en el entorno construido. A su vez la falta de formas atractivas eventualmente empuja a los investigadores a repensar una nueva forma de plataforma que facilite la toma de decisiones de diseño, donde la comunidad en general puede comprender completamente las implicaciones espaciales de las decisiones de diseño.

Es por esto que, este estudio plantea la creación de una plataforma que proporcionaría información visual en tiempo real en dos escalas diferentes para cerrar la brecha entre el enfoque de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba con la ayuda de un instrumento virtual.

La característica esencial del sistema de diseño ontológico es el intercambio de información. Montenegro y Duarte llaman a esto compartir el "conocimiento compartido" que promueve la integración de diferentes normas urbanas como un procedimiento recursivo bajo un mismo cuerpo de investigación. Y dicho proceso reduce las ambigüedades entre los diferentes resultados. Esta plataforma aborda el término "ontología" como "reglas de investigación". Así pues, se adopta el concepto de ontología del diseño urbano para desarrollar las reglas de

investigación que son relevantes para los atributos de las formas urbanas (Chowdhury & Schnabel, 2018).

El diseño paramétrico junto con el sistema de modelado BIM ya ha impulsado a los arquitectos a emprender un nuevo esfuerzo en la planificación, diseño y construcción de edificios. Dicho método de diseño ofrece distintas ventajas para los procesos de ingeniería y fabricación. BIM comprende un sistema integrado que tiene como objetivo incorporar todos los aspectos del diseño, desde la información geográfica física hasta la geometría del edificio, las relaciones entre los componentes y las cantidades y propiedades detalladas de los componentes del edificio. CIM permite un enfoque holístico para abordar el diseño urbano en un escenario a gran escala. Sin embargo, las herramientas de software comercial basadas en modelado de ciudades como Autodesk, McNeel y Esri aún no son lo suficientemente intuitivo en los escenarios de conmutación para fusionar bien las características generativas del diseño.

### **Metodología**

La metodología indica un enfoque lineal de cinco pasos para generar códigos urbanos algorítmicos para el diseño de vecindarios.

Definir códigos urbanos.

Desarrollar reglas de investigación.

Modelado algorítmico matemático.

Desarrollo de una plataforma e interfaz.

Evaluación.

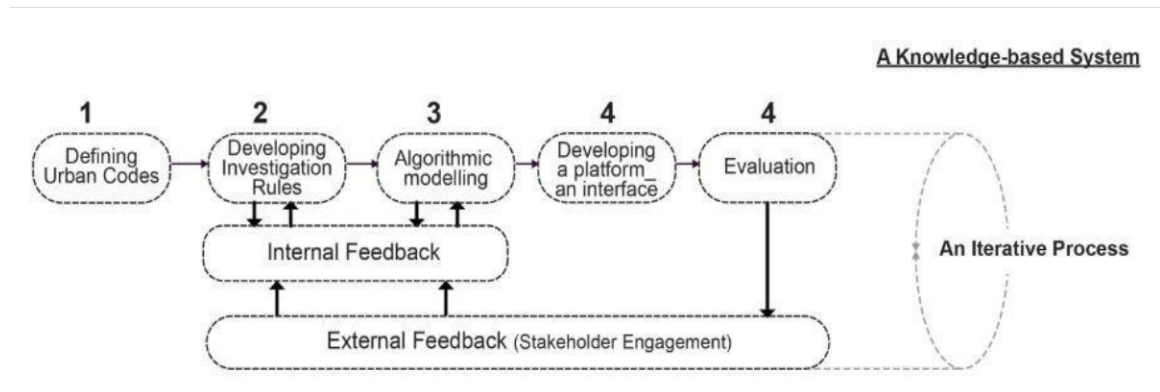


Ilustración 32 Diagrama metodológico fuente (Chowdhury & Schnabel, 2018)

**Paso 1.** Este paso define diferentes parámetros urbanos. Los componentes de ciudad están asociados con la codificación del entorno construido. A su vez estos plantean una intrincada relación dentro de sí mismos. Para este caso, se considera el contenido de elementos urbanos que se relacionan con criterios de densidad. Este paso también puede considerar otros parámetros como el costo de construcción, la energía, etc. Los elementos urbanos considerados son:

Espacios abiertos

Subdivisión de Terrenos en Bloques

Parcelas / secciones

Subdivisión de parcelas

Uso del suelo

Altura permitida de edificabilidad

**Paso 2.** Intenta establecer la relación operativa entre los diferentes elementos urbanos. Para este paso, se adapta las reglas de densidad y el costo. De esta manera, las reglas se

desarrollan sobre los parámetros relacionados con la densidad y el costo de construcción por metro cuadrado.

**Paso 3.** Los indicadores de densidad como la altura del edificio, la relación del área ocupada, el uso del suelo, el ancho del edificio, etc. están relacionados entre sí, al cambiar un parámetro se cambiará el otro. Paralelamente, estos están relacionados con el costo de construcción, por lo que para cada entrada diferente en el indicador de densidad se generarán diferentes formas urbanas junto con el costo de construcción por metro cuadrado de superficie.

**Paso 4.** Este paso genera la relación de los parámetros urbanos en una plataforma computacional como scripts de programación para generar formas urbanas. El método es modelado paramétrico orientado a objetos (OOPM). El código se ha escrito en lenguaje de programación visual Grasshopper. El script se ha vinculado a los sitios de prueba mediante mapas vectoriales generados por GIS o Open Street Map (OSM).

**Paso 5.** Desde un principio, el estudio está desarrollando una Interfaz Gráfica de Usuario GUI<sup>38</sup> comunicativa. Esta interfaz ofrece una plataforma para operar y visualizar múltiples opciones de escenarios urbanos que son generados por diversos insumos. Para ello se implementó Grasshopper para Rhinoceros para generar formas urbanas en tiempo real.

---

<sup>38</sup> graphical user interface

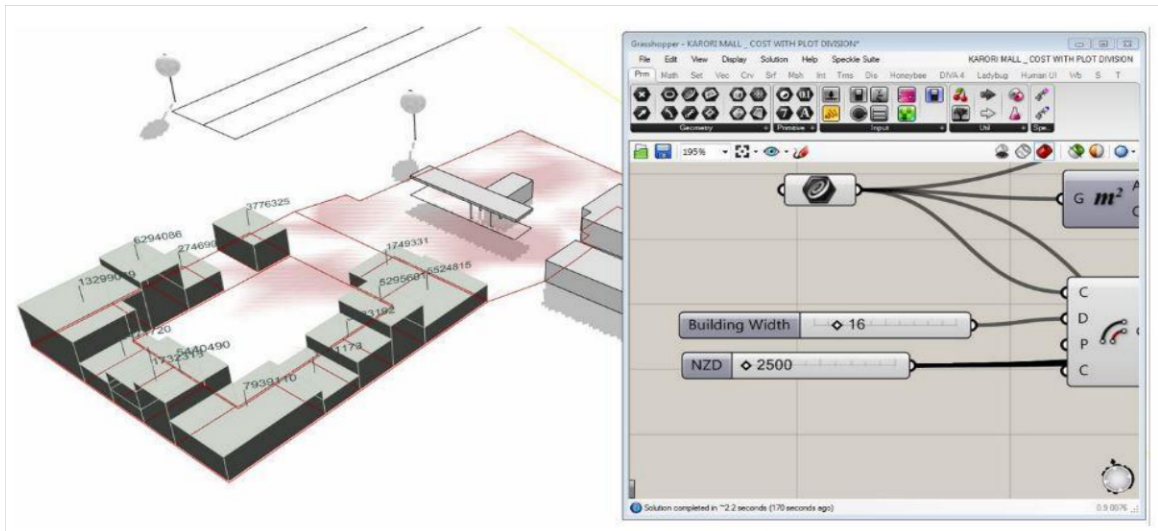


Ilustración 33 Visualización de Karori Mall con el costo de construcción por metro cuadrado cambiando el ancho y la altura del edificio. Fuente (Chowdhury & Schnabel, 2018)

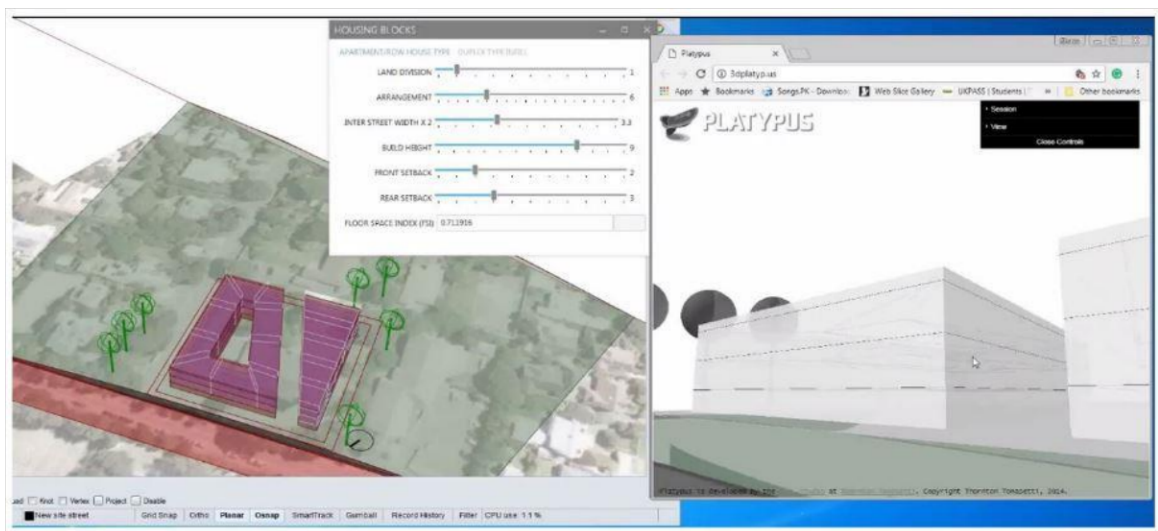


Ilustración 34 interfaz gráfica de usuario para generar tipos de alojamiento y visualizar en línea fuente (Chowdhury & Schnabel, 2018)

**Paso 6** Se desarrolla un prototipo para la colaboración en línea empleando "Shapedriver" para Saltamontes, esta interfaz se ha exportado a partir de scripts de Grasshopper desarrollado previamente para investigar las reglas de densidad, Así mismo se crean opciones para obtener el

registro de datos extrayendo cierta salida generada como .3DM<sup>39</sup> y también una captura de pantalla.



*Ilustración 35 plataforma de colaboración en línea para visualizar múltiples escenarios, con costo de construcción por metro cuadrado fuente (Chowdhury & Schnabel, 2018).*

Haciendo una revisión de algunos software, para evidenciar el nivel de validez del método expuesto en el estudio, se analizan opciones como CityEngine que se ocupa de dicho modelado de procedimientos, pero proporciona una interfaz limitada para editar los parámetros de regulación sin características de análisis, de igual forma CityCAD no ofrece interfaces de programación que permitan su extensión y flexibilidad a la hora de generar escenarios de modelamiento, y en algún grado, ArcGIS Puede funcionar como editor de datos y contenedor de elementos físicos mediante el uso de puntos, líneas y polígonos, pero demuestra inexactitud en los datos generados. Lo que permite validar el método anteriormente descrito, como una opción para desarrollar

<sup>39</sup> Extensión de formatos nativos del software Rhinoceros

planteamientos urbanos, controlando la forma urbana y sus parámetros de costos, ocupación y alturas.

Los desafíos y retos de las tecnologías digitales como interfaces dialécticas, se deben entender desde la evolución continua, para adaptarse a la naturaleza dialéctica con la realidad, lo que promueve formas innovadoras de interactuar con los usuarios finales. Un tema problemático para el enfoque de diseño paramétrico, en general, es que nunca resuelve todos los parámetros que son necesarios para el diseño. Los profesionales urbanos todavía necesitan elaborar la mayoría de las partes del diseño en su mente. Otro problema de los programas paramétricos es que han sido diseñados y adjuntados con el flujo de trabajo tradicional en alineación con el pensamiento de procesos, no con la intuición y la lógica. Por lo tanto, los operadores de estos sistemas deben anticipar las direcciones del proyecto de antemano para crear geometría y construir las interrelaciones.

En síntesis, la metodología propuesta abarca tanto herramientas de diseño paramétrico como métodos de comunicación en línea. Se propone un enfoque de diseño urbano computacional robusto que puede adaptarse a nuevas reglas de diseño para diferentes ubicaciones. Es decir, esta plataforma ofrece a los profesionales urbanos la posibilidad de crear reglas de diseño únicas entre parámetros urbanos y pueden producir y transmitir múltiples ideas de diseño a sus clientes. Los esfuerzos futuros estarían enfocados en involucrar a las partes interesadas en el diseño de característica, para la toma de decisiones con este instrumento. El resultado generado se puede visualizar con información urbana relevante para ayudar a las partes interesadas a reducir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones sobre la forma urbana deseada.



**Caso:** Proyecto de modelamiento 3d de una unidad de actuación de un plan parcial.

**Ubicación:** Medellín, Colombia.

**Tipología:** Desarrollo de unidad de actuación urbanística.

**Autor:** Centro de modelación urbana CMU - Empresa de Desarrollo Urbano -EDU-.

**Año:** 2019

La ciudad según Lewis Mumford es el órgano más especializado de la transmisión social, recalca que la planificación debe incorporar “la herencia de una región, combinándola con la herencia cultural de unidades nacionales más grandes, raciales, religiosas y humanas”. Es decir que es un territorio dinámico que se transforman de acuerdo con directrices político administrativas que se manifiestan en intervenciones públicas y privadas buscando atender las necesidades de los benefactores de cada una de estas (Palacios Roberto, 2018).

El constante cambio de las ciudades y su sociedad son características de la transformación urbana que se manifiestan mediante procesos de regeneración y renovación. Se ven claramente expresados mediante la renovación urbana, la cual se caracteriza por ser un fenómeno complejo relacionado con procesos de rehabilitación, gentrificación, la invasión o sucesión, el redesarrollo, la demolición y construcción. La práctica de la renovación urbana ha generado un fuerte desacuerdo desde sectores de la disciplina de la geografía y el urbanismo.

David Harvey contribuye teórica y metodológicamente en el análisis crítico del urbanismo, señalando las coincidencias y aspectos similares de Haussmann en París y de Robert Moses en Nueva York en relación con la transformación de la ciudad entre los años veinte y sesenta del siglo XX a través de grandes obras, evidenciando relaciones entre el Estado y el capital financiero con el

fin de atender intereses del poder político de banqueros y de terratenientes urbanos bajo el disfraz de modernidad (Palacios Roberto, 2018).

Dicho proceso de planificación urbana, en la mayoría de los casos ha tenido una estructura de desarrollo de arriba hacia abajo, generando en gran medida fenómenos de gentrificación e invasión, que fomentan mayores problemáticas de desigualdad, inequidad y cohesión social. Parte de las problemáticas generada por este mecanismo de gestión, es la falta de procesos de participación ciudadana. Como lo determina Patsy Healey la idea del proceso de diseño participativo es un esfuerzo por desarrollar un enfoque de abajo hacia arriba que permita mayor inclusión de la comunidad en los procesos de planificación y renovación de ciudad.

La falta de participación ciudadana en los procesos de renovación urbana, en ocasiones sucede, no por falta de mecanismos y espacios, para interactuar con los habitantes de los territorios a renovar, sino por la falta de herramientas de comunicación asertiva, que facilite la comprensión de los fenómenos físico espaciales tangibles e intangibles que afectan un territorio. Esta falta de comprensión supone un problema, que dificulta la gestión del instrumento normativo y la ejecución de los proyectos que se plantean.

Este estudio de caso plantea un método, para optimizar los procesos de comprensión de los planteamientos de planes parciales en etapas tempranas, mediante la espacialización, análisis y comunicación de escenarios de desarrollo de las unidades de actuación, facilitando así la minimización de la incertidumbre a la hora de tomar decisiones y fortaleciendo el concepto de datos abiertos, que promulga la equidad y transparencia de los gobiernos.

Así pues mediante el aprovechamiento de múltiples fuentes de origen de datos bajo metodología SIG, BIM, CIM y la inclusión de datos tabulares externos de carácter económico, se

plantea construir un gemelo digital, que permita interactuar con la volumetría espacial, atendiendo los aspectos normativos, económicos, técnicos y sociales, de una unidad de actuación urbanística, de manera que mediante la inclusión de programación visual, se pueda ajustar en tiempo real los parámetros que controlan la forma urbana de las masas de ocupación programática, tanto en plataforma como en torre y ajustando la altura, el número de pisos, el ancho y largo de los mismo, logrando de esta manera un gemelo digital flexible que facilita la comprensión de la ocupación y forma urbana de las unidades de actuación de un plan parcial de renovación urbana en etapas de prefactibilidad financiera.

### **Metodología**

- Definición de polígono de intervención y análisis normativo de ocupación y aprovechamientos.
- Desarrollo del flujo de trabajo de articulación de los orígenes de fuentes de datos SIG, BIM y CIM.
- Desarrollo de modelado geométrico y paramétrico automatizado de torres y plataformas con programación visual.
- Integración de datos normativos y económicos como parámetros interactivos con la volumetría creada.
- Generación de cuadro maestro, para la identificación espacial y programática de cada masa paramétrica.
- Representación volumétrica a través de una interfaz de toma de decisiones en tiempo real.
- Publicación mediante un geo visor 3d web, para la divulgación de la comunidad y grupos de interés.

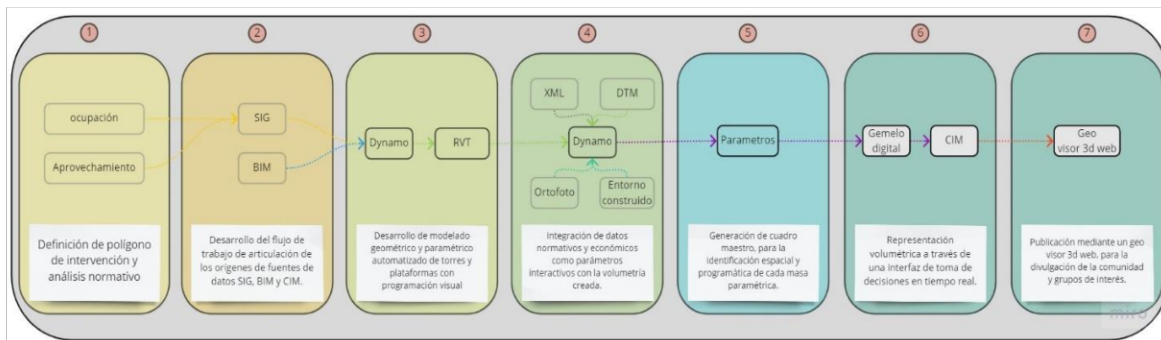


Ilustración 36 Diagrama metodológico fuente elaboración propia

**Paso 1** Se define el polígono de intervención, y se analiza las condicionantes enunciadas por los instrumentos normativos que rigen dicho espacio geográfico, con el objetivo de definir los criterios de ocupación y aprovechamiento, tanto en metros cuadrados construidos, como en número de pisos, para determinar la capacidad de desarrollabilidad de la unidad de actuación a la luz de la norma.

**Paso 2** Se identifican los diferentes insumos, para determinar el flujo de trabajo, que permita una correcta articulación de las fuentes de origen de datos bajo metodologías SIG, BIM y CIM, para generar un correcto procesamiento de articulación de la información base.

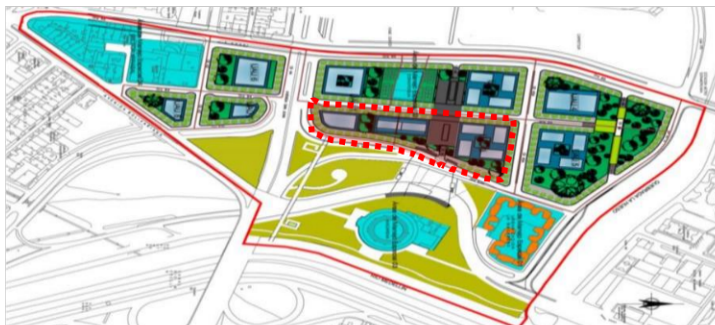
**Paso 3** Se desarrolla el modelado geométrico y paramétrico automatizado de la volumetría de la torre, bajo programación visual, de manera que se puedan controlar parámetros geométricos como altura, ancho y profundidad, y se aplica restricciones en el eje z, para garantizar que coincida con la dimensión de un piso típico, de manera que siempre que se modifique la altura, se ajuste a un número de pisos exacto.

**Paso 4** Se integran datos externos de carácter normativo y económico, para ser incluidos como parámetros nativos de formato RVT, de manera que puedan interactuar con los parámetros geométricos, y así reportar nuevos datos relevantes. Así mismo se adicionan el DTM, la ortofoto y el entorno construido, para garantizar una correcta lectura de la forma urbana.

**Paso 5** Se genera un cuadro maestro, que contenga parámetros normativos, geométricos y económicos, para obtener un reporte de la información completa que genera cada escenario urbano posible, y así poder tomar decisiones en tiempo real acerca de la forma urbana en función de los aprovechamientos y ocupación permitida por la norma, y el costo beneficio económico que representa cada operación.

**Paso 6** Se consolida un gemelo digital en una interfaz de trabajo en tiempo real, para obtener información paramétrica de carácter, normativo, geométrico y económico, pero a su vez permite la generación de planimetrías técnicas y vistas en 3d, que contribuyen a comunicar acertadamente las ideas en esta etapa conceptual, ayudando así a los tomadores de decisiones a minimizar la incertidumbre y soportar mejor las decisiones.

**Paso 7** Se publica el gemelo digital en una plataforma tipo geo visor 3d web, que permite acceder remotamente desde cualquier dispositivo, para visualizar, consultar, reportar y comprender mejor las ideas planteadas a través del modelo, para garantizar una mejor participación de la comunidad en los procesos de socialización.



*Ilustración 37 Definición de polígono de intervención fuente informe de avance de instrumentos Plan de Ordenamiento Territorial Departamento de Planeación Municipal*

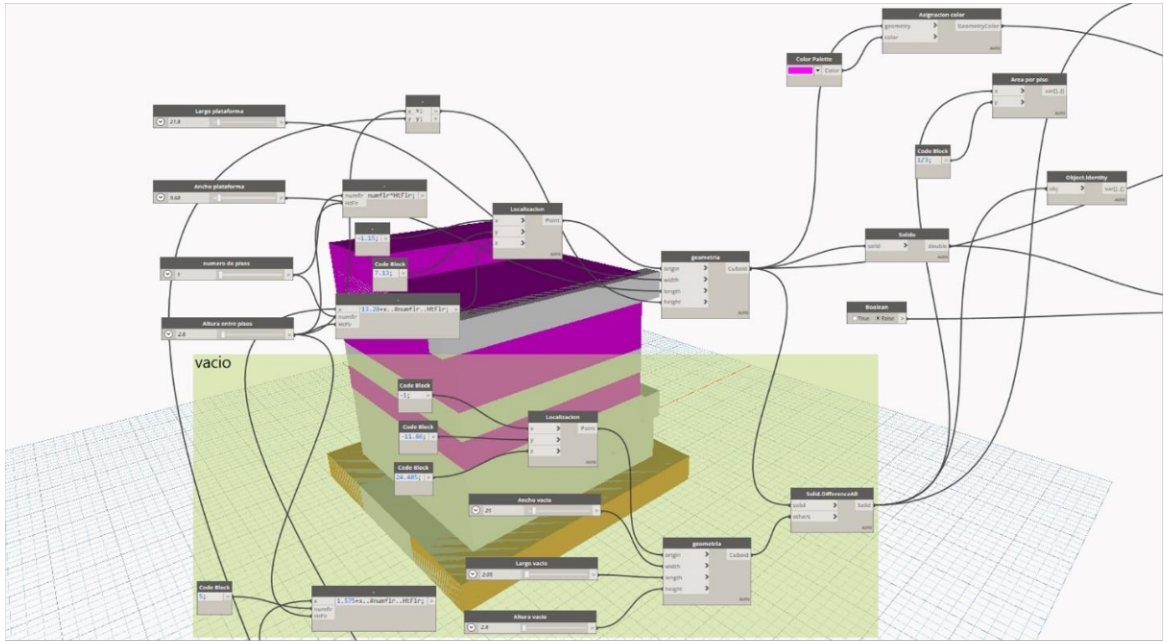


Ilustración 38 Programación visual con Dynamo para Revit, para controlar parámetros de geometría fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

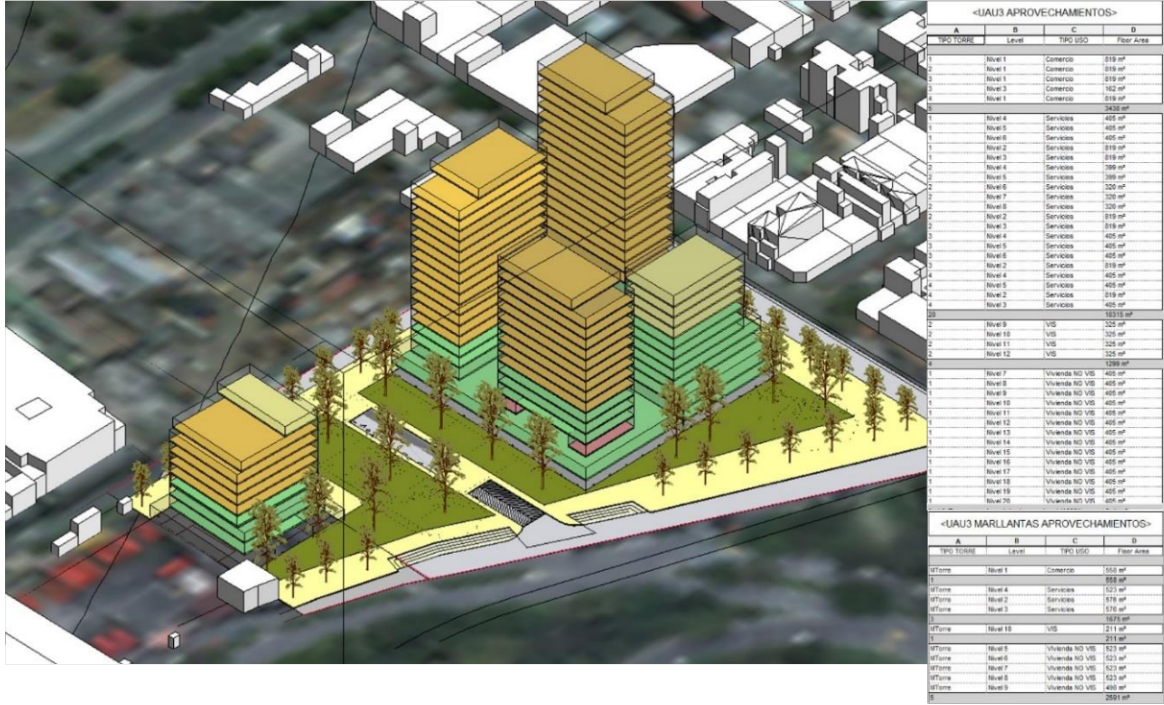


Ilustración 39 Interfaz de visualización del gemelo digital en tiempo real con tabla maestra, para tomar decisiones fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-



Ilustración 40 Geo visor 3d web, para realizar procesos de socialización, con la comunidad fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-



Ilustración 41 Estilo de representación definitiva, para mayor comprensión de promotores e inversionistas fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

Este estudio de caso mediante la implementación del modelamiento paramétrico con programación visual, logra un método efectivo en etapas tempranas de prefactibilidad financiera, para determinar los posibles escenarios de ocupación y aprovechamiento de desarrollabilidad de planes parciales, unidades de actuación o lotes de mayor extensión, que requieran de simulaciones financieras. En este caso el uso de dicho método, permite visualizar el ejercicio de simulación financiera, coordinado con la norma, pero a su vez ajustado a la morfología urbana, sus relaciones, escalas y articulación con la trama urbana. Permitiendo reducir de esta manera la incertidumbre a la hora de tomar decisiones, pero a su vez facilita la comunicación de los planteamientos de una manera más eficiente a la comunidad. Mediante el uso de imágenes de alta calidad, videos o la plataforma de geo visor 3d web.

A futuro se espera replicar este método en otros territorios, de manera que se pueda optimizar los procesos de prefactibilidad en etapas tempranas, contribuyendo así con la sostenibilidad en el tiempo de los procesos de planificación y desarrollo de territorios de manera eficiente y equilibrada.

Así mismo se pretende ahondar en los procesos de generación de plataformas web, que cada vez sean más amigables con la comunidad, de manera que el proceso social sea consistente y se logre impactar positivamente las comunidades mediante estos mecanismos de participación ciudadana, buscando fortalecer la inclusión social, para reducir la desigualdad e inequidad territorial.





### **3.3.2.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN**

#### **3.3.2.1.1. SIMILITUD**

- Ambos casos de estudio abordan múltiples fuentes de datos, para integrarlos a los procesos de modelamiento, buscando incluir aspectos jurídicos, normativos, económicos y técnicos, que ayuden a construir una visión más integral del territorio.
- Los dos casos de estudio plantean la posibilidad de fusionar varias metodologías de carácter tecnológico, como SIG y BIM, para obtener mayores insumos que permitan generar espacializaciones, análisis y representaciones más integrales de los proyectos.
- Los dos casos de estudio, plantean un método, para articular la información proveniente de diferentes fuentes de datos, para obtener un gemelo digital base, sobre el cual poder realizar la espacialización, análisis y representación de las diferentes opciones
- Ambos casos de estudio proponen un Geo visor 3d web, en el cual se puede comunicar e interactuar por medio de comentarios, con la comunidad, para que manifieste sus observaciones al proceso de diseño, buscando ser más incluyentes y participativos con la sociedad.
- Ambos estudios de caso desarrollan un método que incluye programación visual, convirtiéndose en un proceso flexible, con el cual se pueden explorar múltiples escenarios, buscando la opción más óptima y adecuada.
- Los dos casos de estudio, emplean software licenciado, pero la mayoría ofrece paquetes educativos, con los cuales tanto estudiantes como docentes, pueden realizar las exploraciones necesarias, para iniciarse en estos procesos de implementación tecnológica.

#### **3.3.2.1.2. DIFERENCIACIÓN**

- La gran diferencia que existe entre estos dos casos de estudio, radica en los software implementados, para desarrollar la metodología, pues tanto las fuentes de datos, como la interoperabilidad, los objetivos y los resultados, son bastante similares en ambos casos. Esta pequeña diferencia, podría generar leves modificaciones a la metodología de ambos proyectos, pero en general no es tan relevante.

#### **3.3.2.1.3. RETOS**

- Los desafíos y retos de las tecnologías digitales como interfaces dialécticas, se deben entender desde la evolución continua, para adaptarse a la naturaleza dialéctica con la realidad, lo que promueve formas innovadoras de interactuar con los usuarios finales.
- Se debe refinar, mediante la inclusión de una plataforma de geo visor 3d web, que sea más interactiva con la comunidad, para lograr mayor efectividad en los procesos de socialización.

Luego de realizar el proceso de análisis correlacional, entre el caso de estudio local y foráneo, de la escala meso y de tipología de desarrollo de unidad de actuación urbanística, se puede evidenciar, que, si bien ambos casos abordan problemáticas muy similares, utilizan diferentes procesos metodológicos, para desarrollar los estudios, los resultados son similares, en términos del aprovechamiento de los flujos de información de diferente origen de fuente de datos. En ambos casos se observa la utilización de formatos similares de metodologías SIG (Shapefile), BIM (.RVT), (.3dm) que mediante la implementación de programación visual por medio de Grasshopper y Dynamo, se logra una flexibilidad bastante importante, para garantizar la construcción de reglas procedimentales que ayuden a generar variables de diseño, que complejicen el ejercicio de definición de la forma urbana, teniendo en cuenta aspectos

normativos, económicos y físicos, lo que permite crear visiones más integrales de los gemelos digitales.

Ambos planteamientos proponen herramientas y mecanismos de interacción social, para garantizar procesos de participación de abajo hacia arriba, que ayuden a fortalecer la inclusión de la sociedad en los procesos de planificación urbana. De esta manera el análisis correlacional, permite evidenciar el nivel de madurez y validez del caso de estudio dos a nivel local, con respecto a su homólogo foráneo, lo que plantea un nuevo método válido, que puede ser susceptible de refinar y replicar en el territorio, buscando fortalecer el concepto de modelo de información de territorio, que a su vez permita consolidar el concepto de modelo de información de ciudad, con miras a complementar la visión más holística e integral de la ciudad inteligente.

### **3.3.3. ESTUDIO DE CASO 3**

**Caso:** GeoDesign: concepto para la integración de BIM y GIS en la planificación del paisaje.

**Ubicación:** Múnich, Alemania.

**Tipología:** Desarrollo de proyectos lineales de infraestructura y movilidad.

**Autor:** Schaller, Joerg - Gnaedinger, Johannes - Reith, Leon - Freller, Sebastián - Mattos, Cristina.

**Año:** 2017

La digitalización es una de las principales tendencias en el sector de la construcción. Es por esto que el diseño, la supervisión y el mantenimiento se están caracterizando por el uso constante de datos, mediante la implementación de herramientas como el mapeo con drones, la impresión 3D, la realidad virtual, la robótica y otras innovaciones digitales, como el modelado de información de construcción o BIM que se ha convertido en una parte importante del proceso de construcción

en los últimos años, y en algunas partes del mundo se está volviendo estándar e incluso norma de obligatorio cumplimiento. BIM tiene como objetivo optimizar el proceso de planificación. Se refiere al uso de modelos digitales y la gestión de la información a lo largo de todo el ciclo de vida del proceso de construcción, desde la planificación hasta la implementación, la gestión y la demolición.

Si bien BIM se está volviendo omnipresente en el sector de la construcción, basándose principalmente en productos CAD, los sistemas de información geográfica (GIS) todavía tienen un papel limitado en los proyectos de construcción, a menudo restringidos a algunas tareas específicas o vistos como una posible redundancia de BIM. Pero, en realidad, GIS puede aportar una contribución valiosa al proceso BIM al proporcionar información espacial y visualización geoespacial, agregando información sobre el entorno circundante del sitio de construcción que es esencial para las decisiones de diseño y los procesos de aprobación. La cooperación interdisciplinaria, el intercambio de datos y la transferencia de datos deben ocurrir entre la ingeniería y los profesionales ambientales para una planificación exitosa del proyecto de construcción y la aprobación ambiental durante todo el ciclo de vida de BIM (Bröcker et al., 2017).

Así pues, este estudio de caso tiene como objetivo principal describir un concepto para la integración de BIM y GIS con datos reales del proyecto piloto de expansión A99 en Alemania. Muestra cómo los planificadores ambientales y paisajistas pueden integrar BIM y GIS para optimizar el proceso de diseño mediante la evaluación de los impactos de los proyectos de construcción y su integración visual, ecológica y funcional en el paisaje.

El Ministerio Federal de Transporte e Infraestructura Digital de Alemania (BMVI) ha lanzado proyectos piloto para probar los flujos de trabajo y los procedimientos de intercambio de

datos para la implementación de la Hoja de ruta alemana para el diseño y la construcción digital (Bröcker et al., 2017). Uno de estos proyectos piloto es la ampliación de ocho carriles de la Autobahn A99 en la región de Múnich, encargada por la Dirección de Autopistas de Baviera del Sur y ejecutada por el Grupo SSF. El enfoque de este proyecto piloto son los requisitos futuros para un intercambio de información sin fricciones entre ingenieros y planificadores ambientales, para optimizar todas las preocupaciones ambientales requeridas desde el inicio de la planificación, la implementación del proyecto, hasta la finalización y monitoreo de las medidas ambientales.

### **Métodos y flujos de trabajo**

**Interoperabilidad BIM y GIS** La mayoría de los diseños del proyecto de construcción se ejecutan con programas CAD (Auto-CAD y Revit) por ingenieros de planificación y arquitectos. Los planificadores ambientales y de paisaje, por otro lado, utilizan SIG para evaluar los impactos ambientales de los proyectos de construcción y la integración visual, ecológica y funcional del proyecto en el paisaje. Para cumplir con todos los requisitos, los conjuntos de datos CAD de ingenieros y arquitectos deben convertirse a formatos GIS y combinarse con conjuntos de datos GIS de planificadores ambientales y paisajísticos, de modo que se puedan realizar los análisis necesarios.

Al integrar los procesos de planificación BIM en una estructura de geodatabase en un sistema de planificación colaborativa, la información correspondiente se puede intercambiar y procesar muy rápidamente. Este enfoque se puede utilizar para edificios, proyectos de ingeniería civil, desarrollo urbano y, en particular, para la planificación de grandes infraestructuras. Para este propósito, los modelos de datos BIM y CAD 2D y 3D se integran en el modelo de datos GIS, en su totalidad o en partes, y luego se evalúan. La retroalimentación de esta evaluación permite a las

partes determinar el impacto potencial de los proyectos de construcción en el medio ambiente y las limitaciones técnicas o de infraestructura, y optimizar el diseño de ingeniería y la construcción durante el ciclo de vida del proyecto, apuntando a una solución sostenible y legalmente aprobada

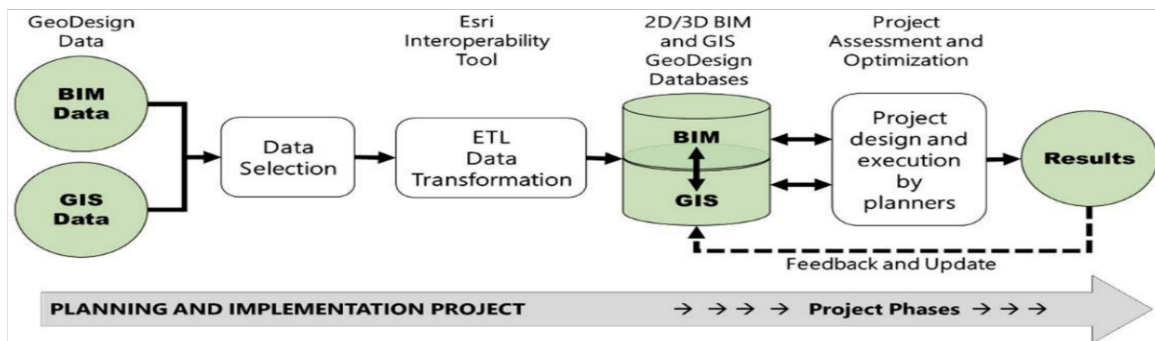


Ilustración 42 Diagrama de intercambio de datos integrado o flujos de trabajo fuente (Bröcker et al., 2017).

Las nuevas tecnologías de interoperabilidad y el intercambio de datos geográficos basado en estándares entre BIM y GIS proporcionan a los arquitectos, ingenieros y planificadores herramientas completamente nuevas para optimizar su planificación, así como el intercambio de información entre todas las partes involucradas en un proyecto de construcción. La conversión bidireccional entre datos BIM y GIS en el proyecto A99 se realizó con la extensión de interoperabilidad de Esri, basada en el método ETL<sup>40</sup>, utilizando tecnología de software FME<sup>41</sup>, que permite una fácil comparación y evaluación de diseños CAD o BIM alternativos. y escenarios de planificación basados en bases de datos SIG existentes.

<sup>40</sup> Extract-Transform-Load

<sup>41</sup> Feature Manipulation Engine

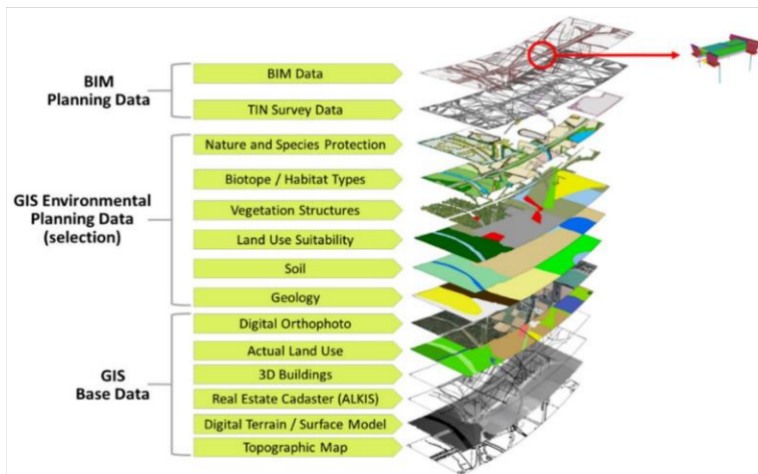


Ilustración 43 Integración de datos BIM y datos de planificación medioambiental GIS fuente (Bröcker et al., 2017).

## SIG

Los productos GIS de escritorio de Esri, ArcMap / ArcGIS Pro con Data Interoperability Extension, se utilizaron para el procesamiento, análisis y visualización de datos GIS 2D y 3D. La solución de modelado 3D de Esri, CityEngine, se aprovechó para el desarrollo de scripts de modelado de procedimientos y la exportación de paquetes de activos / reglas CGA para su uso en ArcGIS Pro. Para realizar el análisis GIS, se emplearon varios tipos de datos ambientales: datos vectoriales y raster 2D (incluidos tipos de vegetación, biotopos, infraestructura vial, hábitats de fauna), datos TIN y GRID 3D y modelo digital del terreno (DTM), así como datos digitales ortofotos.

Antes de que los datos GIS pudieran usarse para cualquier análisis, se debían realizar los pasos preliminares del procesamiento: validación de topología y reparación semiautomática, mejora de datos y creación de geometrías 3D. Utilizando el geoprocésamiento de ArcGIS, se creó una topología GIS para las capas GIS con el fin de examinar y corregir las geometrías en busca de problemas comunes y evitar errores de consulta espacial. Además de sus atributos actuales, los datos GIS se mejoraron con la siguiente información mediante la unión de tablas de atributos o el geoprocésamiento: puntos de valor de la vegetación y significado ecológico, impacto de la



infraestructura en la vegetación, datos ecológicos (por ejemplo, tiempos de reproducción de especies de aves en peligro) e información de altura (del ráster DTM).

### **BIM / CAD**

Los planificadores de infraestructura utilizaron los productos de software Autodesk Revit, Autodesk AutoCAD, Solibri Model Checker, Linear Project TILOS y RIB iTWO para modelar y planificar la expansión de la A99. El procesamiento de estos datos de planificación BIM implicó el uso del proceso ETL para dividir los modelos de datos IFC<sup>42</sup> en sus componentes, transformarlos al formato de datos multiparce Esri conservando sus atributos y escribirlos en una geodatabase.

### **Importar / Exportar flujos de trabajo**

El flujo de trabajo de extensión de interoperabilidad de datos de Esri facilitó el flujo de datos de BIM a GIS y de regreso de GIS a BIM. Las geometrías BIM se leyeron en IFC formato, transformado en multiparce de Esri y en una geodatabase. Los datos resultantes se cargaron luego como una capa para ser utilizados para el análisis en GIS.

---

<sup>42</sup> Industry Foundation Classes

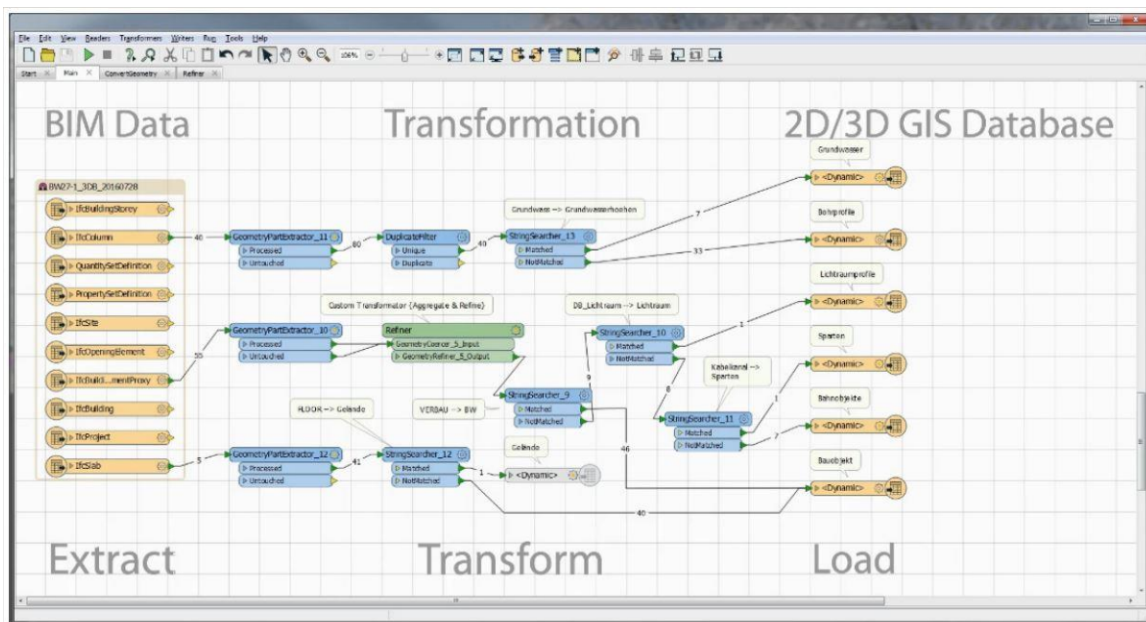
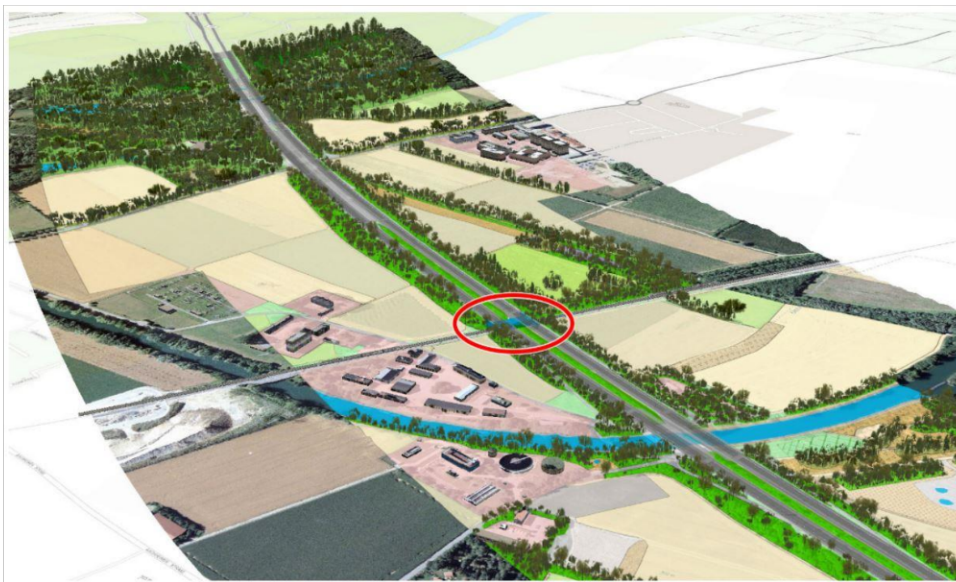


Ilustración 44 Flujo de trabajo de BIM a GIS con la extensión de interoperabilidad de datos de Esri fuente (Bröcker et al., 2017)

Una vez preparado, el conjunto de datos integrado BIM y GIS se utilizó para dos análisis ambientales. Se realizó un análisis de impacto del edificio (sitio) para evaluar los impactos ambientales y las medidas de compensación. Se realizó un análisis espacial para determinar el consumo de suelo por el edificio (consumo permanente) y la obra (consumo temporal). También se llevó a cabo un análisis y una validación del cronograma de tala de vegetación para evitar retrasos costosos e identificar los sitios potencialmente problemáticos causados por la flora y la fauna protegidas (por ejemplo, áreas y tiempos de reproducción).

El resultado permite evidenciar un puente de la autopista A99 planificado incorporado en la base de datos GIS 2D y 3D del área para vincular la estructura con datos de planificación ambiental y paisajística geoespacial, y realizar los análisis, evaluaciones, decisiones y optimizaciones necesarios.



*Ilustración 45 Integración de datos BIM de Autobahn A99 (puente en círculo) en 3D GIS y entorno modelo de datos de planificación ambiental fuente (Bröcker et al., 2017).*

Al integrar la estructura del puente en la base de datos GIS, se puede realizar evaluaciones básicas de impactos ambientales y medidas de compensación dentro del alcance de un “Plan de Manejo del Paisaje”. Se analizan dos casos, el primero aborda los impactos temporales en comparación con zonas vírgenes en el área del sitio, y uso permanente de la tierra y compensación. El segundo análisis realizado consiste en la validación de las fechas de tala del cronograma de construcción de BIM contra varios datos ambientales de la base de datos GIS. Esto permitió identificar posibles conflictos por la flora y fauna protegidas de la zona.

Este estudio de caso muestra cómo el SIG es un componente indispensable del proceso BIM, donde la colaboración y el intercambio de información son indispensables entre las partes interesadas en la planificación. De acuerdo con la legislación y los requisitos de planificación alemanes, cada etapa del proceso de ingeniería desde los borradores del proyecto inicial hasta los planes, la ejecución, la gestión y la reconstrucción, deben ir acompañados de procedimientos de planificación ambiental y paisajística. Para ello la cooperación interdisciplinaria, el intercambio de

información y la transferencia de datos entre los ingenieros y los profesionales ambientales / paisajistas a lo largo de todas las fases del proyecto es una constante clave, para lograr una visión integral y equilibrada del proyecto.

El análisis espacial del área del proyecto con datos GIS existentes permite a los planificadores y otras partes interesadas comprender las implicaciones del diseño y la implementación del proyecto. Incluso antes del inicio del proyecto, es posible optimizar los diseños conceptuales en términos de compatibilidad ambiental.

El GIS proporciona información de planificación importante, no solo para evaluaciones de impacto ambiental, sino también métodos de modelado para revisar especificaciones legalmente vinculantes, por ejemplo, límites de ruido, calidad del agua, áreas de protección, etc. El GIS también puede proporcionar información en tiempo real de sensoramiento remoto de un proyecto y sus áreas circundantes.

Intercambio de información: GIS gestiona y proporciona interoperabilidad de datos y procesos que permiten la cooperación constructiva de todas las partes involucradas. En particular, a través de GIS, los datos geoespaciales y los datos de planificadores especializados se pueden poner a disposición de todos los socios del proyecto para que los utilicen para cumplir con sus respectivos requisitos. Así mismo la visualización y Web: mapas y planos 2D, escenas web 3D, modelos y cuadros de mando ayudan a comunicarse de manera eficiente durante todo el proceso de planificación entre los planificadores, otras partes interesadas y, sobre todo, el público no especializado.

El estudio de caso plantea la necesidad de desarrollar un estándar de datos común para cumplir con los requisitos tanto del planificador como del analista GIS. Esto incluye geometrías

cerradas, atributos adjuntos a entidades mediante la ampliación de datos de entidad de AutoCAD o métodos similares. Si no es posible, los atributos escritos como entradas de texto deben colocarse de forma coherente, de modo que se puedan utilizar flujos de trabajo de procesamiento de datos estandarizados para convertir datos CAD en datos GIS inteligentes.

En resumen, los métodos descritos en el estudio de caso demuestran que es posible una integración BIM y GIS con la tecnología de interoperabilidad existente. Sin embargo, para agilizar el proceso, son necesarios los estándares, la documentación y la comprensión interdisciplinaria de los ingenieros y planificadores ambientales involucrados, así como sus requisitos y flujos de trabajo.

**Caso:** Proyecto de modelamiento BIM y CIM ampliación avenida 34

**Ubicación:** Medellín, Colombia.

**Tipología:** Desarrollo de proyectos lineales de infraestructura y movilidad.

**Autor:** Centro de modelación urbana CMU - Empresa de Desarrollo Urbano -EDU-.

**Año:** 2020

La digitalización de la industria de la construcción, en Colombia ha evidenciado una pobre implementación de desarrollos tecnológicos, que no permiten una mayor optimización y eficiencia en la cadena de producción, reflejado en el estudio realizado por Mckinsey<sup>43</sup> y Camacol<sup>44</sup> en 2017. De allí surge la necesidad de explorar alternativas, para mejorar este indicador desde las diferentes

---

<sup>43</sup> McKinsey & Company, Inc

<sup>44</sup> Cámara Colombiana de la Construcción

disciplinas del conocimiento que intervienen en los procesos de la cadena de valor del sector del diseño, la planificación urbano-arquitectónica y la construcción.

Es por esto que la metodología BIM, surge como una oportunidad, para dar respuesta a la necesidad evidenciada en 2017, y es que, mediante la adopción de dicha tecnología, se ha revolucionado fuertemente no solo los procesos de diseño y construcción, sino que también se ve reflejado en el sector de la infraestructura civil, lo que ha permitido reducir costos y reprocesos en el desarrollo de estructuras puntuales, como túneles y puentes, concretamente hablando de infraestructuras de movilidad.

Si bien la adopción de la metodología BIM ha evolucionado satisfactoriamente en el desarrollo de edificaciones e infraestructura puntual, aún existen retos con la ejecución de proyectos urbanos de espacio público e infraestructuras lineales de movilidad y sus disciplinas complementarias.

Las bondades desarrolladas por la metodología BIM ya se han explorado ampliamente en campos como la arquitectura, pero en el urbanismo, y en el desarrollo de infraestructuras lineales, aún es un poco incipiente. Maxime cuando se entiende que estas tipologías de proyectos tienen relación directa con diversos elementos constitutivos que complementan la intervención en los territorios, como lo son el medio ambiente, el catastro, los servicios públicos y el espacio público.

La falta de métodos, para integrar los aspectos anteriormente descritos bajo procesos tecnológicos compatibles con la metodología BIM, supone un problema a la hora de articular los entornos urbanos con los proyectos arquitectónicos, de infraestructura y de urbanismo. De igual forma comprendiendo la complejidad por la extensión y magnitud de los proyectos, se hace

imperante el poder tener herramientas de coordinación, supervisión y gestión, que faciliten el desarrollo de esta tipología de proyectos en las diferentes etapas de desarrollo proyectual.

Este estudio de caso plantea un método donde mediante la interconexión y articulación de fuentes de datos bajo metodologías SIG, BIM y CIM, se propone desarrollar un gemelo digital que contenga todas las disciplinas técnicas que intervienen en la ejecución de un proyecto de movilidad, de manera que se puedan espacializar, analizar, reportar y graficar incidencias y hallazgos de procesos de coordinación técnica, que faciliten la minimización de la incertidumbre, y la optimización de los recursos y tiempos de ejecución, para lograr un desarrollo del proyecto más eficiente.

La adopción de los sistemas de transporte masivo por parte del municipio de Medellín, es una de las grandes apuestas de planificación de ciudad, que se ha ido desarrollando en los últimos 25 años, y que representa uno de los principales inductores de desarrollo y transformación de los territorios que ha impactado. Es así como el proyecto de la avenida 34, ubicado en la comuna 14, plantea desarrollar una ampliación de dicha infraestructura vehicular, para dar paso al sistema de Metro plus. En un principio los diseños del trazado se desarrollaron a fase 3, es decir a nivel de detalle constructivo, pero por inconvenientes con el mecanismo de financiamiento, el proyecto se suspendió. 11 años después se busca reactivar el proceso de construcción, pero para ello se debe actualizar los diseños estructurales del proyecto, ya que la norma sismo resistente había cambiado, así como el diseño de espacio público. A su vez no había seguridad acerca del proceso de coordinación de las diferentes disciplinas técnicas que componen el proyecto.

Es por esto que se decide utilizar este proyecto como piloto, para la implementación de las metodologías como SIG, BIM y CIM, que permita generar un gemelo digital integrando todas

las fuentes de datos de las diferentes disciplinas técnicas que intervienen en el desarrollo de esta tipología de proyecto. El proyecto de la avenida 34 tiene un desarrollo de 1.8 kilómetros de longitud, lo que representa un reto en el manejo de la extensión del espacio geográfico.

Es importante resaltar que dicho proyecto piloto inicia la ejecución en el segundo semestre del año 2019, y se culmina a finales del primer semestre del año 2020, lo que significa que la tercera parte de ejecución del proyecto, se debió realizar bajo los efectos adversos del inicio de la pandemia. Esto implicaba poner a prueba las ventajas de implementar herramientas tecnológicas bajo metodologías propias del entendimiento territorial que, por su naturaleza digital, permitían el aprovechamiento de plataformas de gestión documental como BIM360, para gestionar, administrar, observar y publicar los diferentes archivos que componían el proyecto piloto.

De esta manera tanto el equipo ejecutor, como el cliente lograron establecer unos canales de comunicación virtual, mediante los cuales se logró realizar un correcto seguimiento al desarrollo del proyecto, desde sus diferentes componentes. De igual forma internamente el equipo desarrollador, generó protocolos de trabajo, en los cuales se definían los niveles de detalle de modelamiento, la codificación de los modelos y sus componentes, los tramos de modelamiento, las rutas de almacenamiento en nube de los tramos y componentes o familias, así como el archivo central de integración final. Todo esto enlazado nuevamente con el gestor documental BIM360, para realizar una correcta coordinación del equipo, generando la trazabilidad de cumplimiento de los objetivos, para poder cumplir con los cronogramas estipulados.

La delimitación de los tres tramos, se definió según el estudio de los diseños viales y urbanísticos definitivos de la propuesta arquitectónica, y teniendo como limite el polígono de área de intervención.



Tramo 1: Los Parra - Tramo 2: Los González - Tramo 3: Los Balsos



Ilustración 46 Tramos del trazado del proyecto fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

Metodología

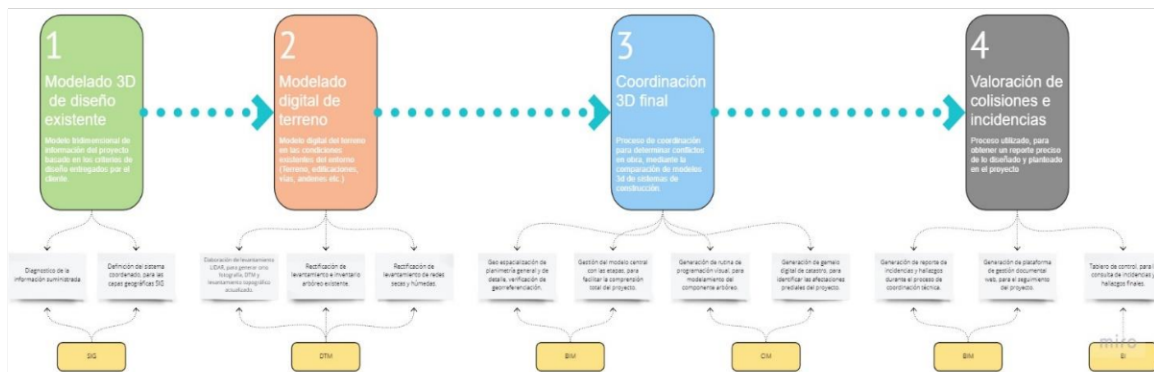


Ilustración 47 Pasos generales metodológicos fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

Es importante aclarar que las disciplinas que comprende el proyecto son los siguientes:

- **Disciplina Urbana:** compuesta por sub sistemas; catastral, vial, peatonal, ambiental, sistemas de señalización vertical, horizontal, mobiliario urbano, topográfico, paisajismo y forestal.
- **Disciplina redes secas:** compuesto por los sub sistemas de alumbrado público, red de telecomunicaciones, red eléctrica de media tensión, red de gas y sistemas de semaforización.

- **Disciplina redes húmedas:** redes de acueducto y alcantarillado urbano.
- **Disciplina estructural:** Puentes y muros de contención.

### Diagnóstico de la información suministrada

Este proceso es fundamental, para comprender el estado del arte de la información, y la manera como se debía procesar, logrando identificar el flujo de trabajo entre las metodologías planteadas, y su correcta interconexión.



Ilustración 48 Repositorio y estructura documental de insumos a modelar fuente Centro de Modelación Urbana CMU - EDU-

### Definición del sistema coordinado, para las capas geográficas SIG

La definición del sistema coordinado es clave, para lograr una correcta espacialización de la información geográfica bajo metodología SIG, de esta manera se garantiza que el modelamiento este correctamente ubicado, de manera que la interacción con todas las disciplinas técnicas reporte las incidencias reales de inconsistencias o colisiones entre sub sistemas, para generar un reporte confiable.

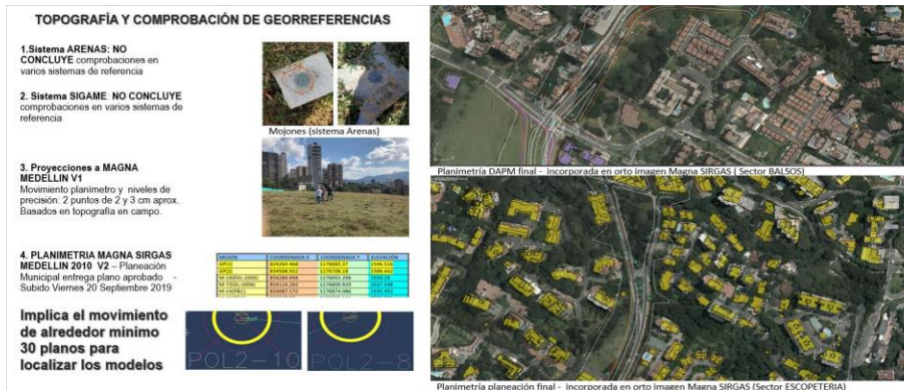


Ilustración 49 Definición del sistema coordenado, para georreferenciar la planimetría del proyecto fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

**Elaboración de levantamiento LIDAR, para generar orto fotografía, DTM y levantamiento topográfico actualizado.**

Para garantizar una mayor exactitud en el proceso de fusión del modelo con la topografía, se plantea utilizar un levantamiento de nube de puntos, para obtener la orto fotografía, el DTM y el levantamiento topográfico, como insumos fundamentales, para realizar el proceso de coordinación técnica.

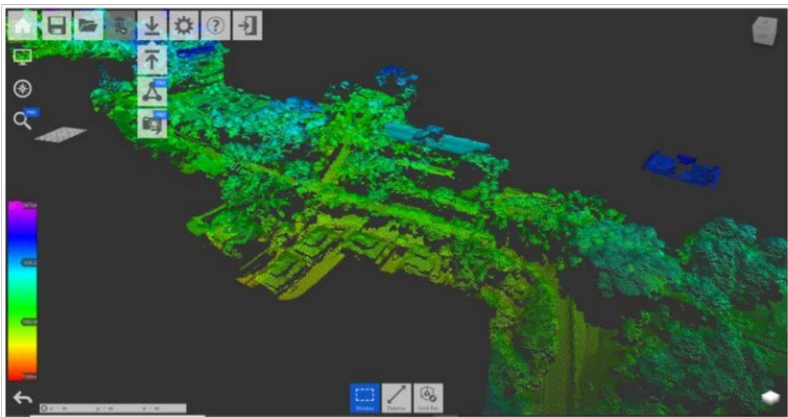


Ilustración 50 Visualización de levantamiento LIDAR fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

### Rectificación de levantamiento e inventario arbóreo existente.

Buscando la mayor precisión de ubicación y caracterización botánica de las especies arbóreas, se plantea realizar una rectificación y actualización del levantamiento de los individuos arbóreos, que faciliten el proceso de coordinación y chequeo de colisiones.



Ilustración 51 Rectificación de levantamiento arbóreo fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

### Rectificación de levantamiento de redes secas y húmedas.

De igual forma, para dar mayor tranquilidad con el nivel de precisión de la ubicación de las redes secas y húmedas, se realiza un proceso de rectificación, que ayude a validar los trazados diseñados previamente, y así garantizar un proceso de coordinación más exacto.

### Geo espacialización de planimetría general y de detalle, verificación de georreferenciación.

Buscando unificar y validar el sistema coordinado de todo el proyecto, se realiza el proceso de geo espacialización planimétrica, que permita garantizar una correcta ubicación de todas las disciplinas y sub sistemas del proyecto.

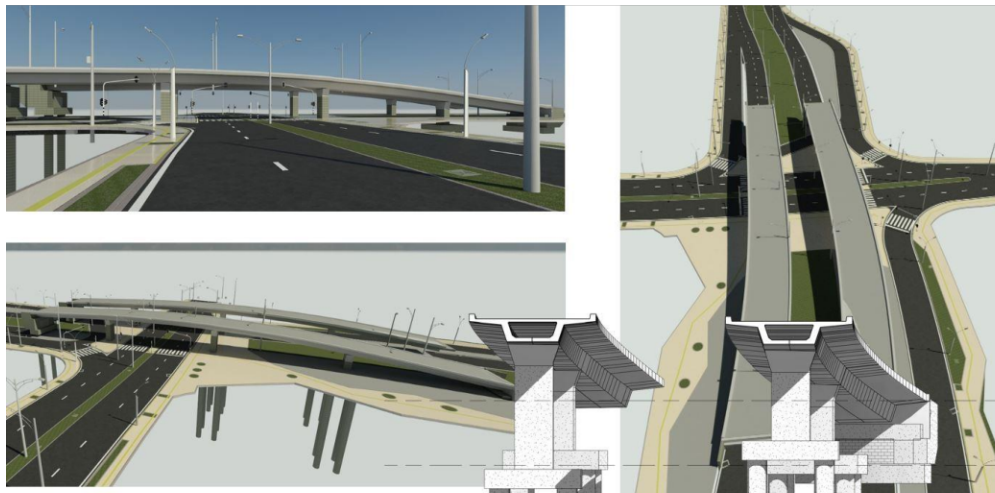


Ilustración 52 Modelamiento de infraestructura bajo metodología BIM fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

**Gestión del modelo central con las etapas, para facilitar la comprensión total del proyecto.**

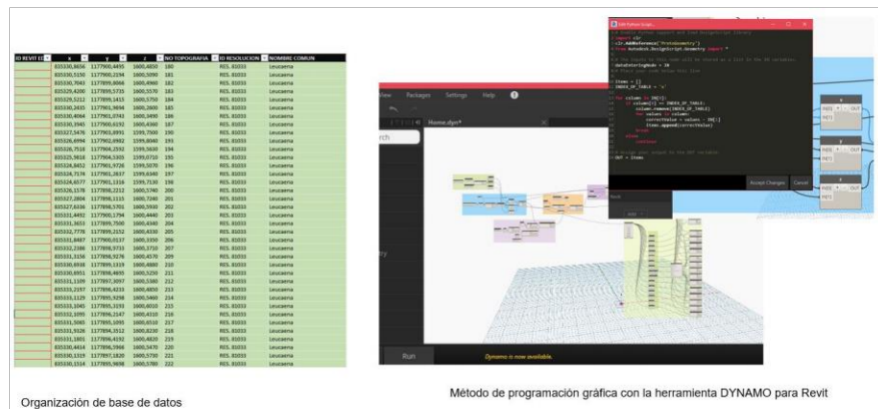
El proyecto al tener un desarrollo de 1.8 kilómetros, requiere, para facilitar la gestión y operación, desarrollar una serie de etapas de modelamiento, que se puedan operar por archivos BIM (.RVT) independientes, pero que a su vez se integren por medio de vínculos externos a un archivo central, para comprender la totalidad del proyecto.



Ilustración 53 Gestión de tramos del proyecto fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

**Generación de rutina de programación visual, para modelamiento del componente arbóreo.**

Se elabora una rutina de programación visual, con Dynamo para Revit, con la cual se puede integrar datos tabulares de formato XML, de manera que se puedan vincular como parámetros a la interfaz de Revit, y así asignarlos familias paramétricas, de los individuos arbóreos. Así mismo se crean 6 tipologías de familias paramétricas de árboles, con parámetros de geometría, que permiten modificar la altura, la forma de la copa, el radio de la copa, el diámetro del tallo y el tipo de raíz y su diámetro, la profundidad, según el criterio técnico de los ambientales, se trabajó como una constante de 1.20m por debajo del nivel de piso natural.



*Ilustración 54 Generación de script de programación visual, para integrar información XML a Revit fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-*

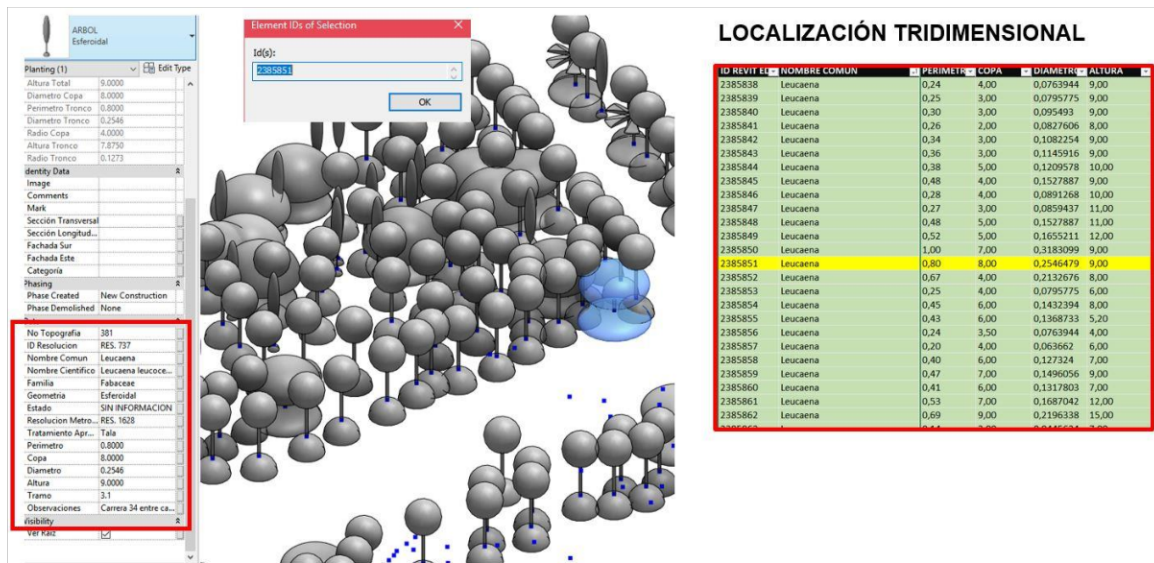


Ilustración 55 Generación de familias paramétricas de árboles, para gestionar la caracterización de individuos arbóreos fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

### Generación de gemelo digital de catastro, para identificar las afectaciones prediales del proyecto.

Para lograr identificar y comprender mejor las incidencias e impactos del trazado vehicular sobre los predios contiguos, se plantea realizar un gemelo digital que integre la información catastral junto con la huella del polígono de intervención del proyecto, y a partir de esta, generar las intersecciones que ayuden a identificar el nivel de afectación predial generado y su correcta cuantificación.

### Generación de reporte de incidencias y hallazgos durante el proceso de coordinación técnica.

Una vez se genera el proceso de coordinación de las disciplinas y sub sistemas del proyecto, se genera un reporte de incidencias y hallazgos, que permite identificar las inconsistencias de los diseños técnicos y su ubicación. Facilitando así posteriormente ajustar las disciplinas que sean menos relevantes o complejas de ajustar.



Ilustración 56 plataforma de afectaciones y gestión catastra fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-



Ilustración 57 Reporte de hallazgos e incidencias fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

**Generación de plataforma de gestión documental web, para el seguimiento del proyecto.**

Este proyecto se elaboró durante el inicio de la pandemia del covid 19, lo que generó un mayor reto a la hora de gestionar el seguimiento periódico de los avances entre los equipos técnicos. Para subsanar esta situación, se empleó una plataforma de gestión documental



suministrada por Autodesk, para almacenar, visualizar, revisar, comentar y compartir los documentos elaborados durante el proceso de ejecución del proyecto.

**Tablero de control, para la consulta de incidencias y hallazgos finales.**

Finalmente se genera un tablero de control, en cual se reportan las incidencias, hallazgos y colisiones encontradas durante el proceso de modelamiento del proyecto, para comunicar de manera más acertada la información a los tomadores de decisiones.



Ilustración 58 Tablero de control de reportes, hallazgos e incidencias fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-



Ilustración 59 Representación final del proyecto fuente Centro de Modelación Urbana CMU -EDU-

Este proceso permitió la coordinación de diseños técnicos existentes, la actualización de otros y posterior integración con los existentes, el levantamiento topográfico y posterior fusión del DTM con el gemelo digital, CIM logrando de esta manera reportar 165 colisiones, 2.000 árboles levantados, caracterizados y modelados, 547 millones de pesos en costos directos de colisiones y un ahorro de 915 días aproximadamente de retrasos durante el proceso para subsanar dichas colisiones. Este método de integración de metodologías SIG, BIM y CIM, logra evidenciar el potencial de desarrollo en etapas tempranas, para reportar las incidencias e inconsistencias de proyectos de infraestructura lineal, que por su naturaleza y envergadura, requiere de procesos de gestión y coordinación robustos, que ayuden a disminuir la incertidumbre, faciliten la toma de decisiones y comuniquen acertadamente las ideas a públicos entendidos y no entendidos, fortaleciendo así la democratización de la información.

En resumen, el estudio de caso logra demostrar el potencial que representa la identificación de flujos de trabajo entre metodologías propias del entendimiento territorial como SIG, BIM y CIM, propiciando una visión más holística e integral de las problemáticas y potencialidades de los proyectos en etapas tempranas, para facilitar la generación de insumos prácticos en la cadena de valor proyectual.

MATRIZ DE EVALUACIÓN CUALITATIVA DE MADUREZ Y VALIDEZ DE CASOS DE ESTUDIOS													
Identificación	Completitud	Diversidad	Incidencia	Replicabilidad	Nivel de madurez	Nivel de validez y pertinencia							
ID	Origen	Orientación de las indicativas inteligentes a todos o varios de los subsistemas urbanos	Integración o, al menos, conexión entre diferentes plataformas metodológicas de carácter tecnológico	Utilización de procesos de gestión que permitan explorar la información procedente de diferentes metodologías de carácter tecnológico	Implementación de mecanismos de potenciación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación	Implementación de diseños de Escenarios, para correlacionar la visión de Futuro	Tipo de software y hardware con miras a implementar recursos de acceso libre	Nivel de cualificación del capital humano, para su correcta implementación en el tiempo	Aportes	Ritmo	Aportes	Ritmo	
3	Proyecto de modelamiento 3d de infraestructura urbana lineal articulando todas las disciplinas que intervienen en las etapas de planificación y diseño	Medellin	El estudio de caso mediante la integración de diversos fuentes de datos, permite incluir varios subsistemas urbanos, lo que potencializa una visión más holística e integral de los fenómenos territoriales.	El estudio de caso permite la fusión de fuentes de datos bajo metodologías SIG, BIM, CIM, fomentando una mayor interoperabilidad.	El estudio de caso plantea un método, para articular la información proveniente de diferentes fuentes de datos, digital base, sobre el cual poder realizar el proceso de coordinación técnica, para evidenciar las incidencias, y hallazgos producto de colisiones entre las diferentes disciplinas que intervienen en el proyecto.	El estudio de caso explica las necesidades específicas, de validar los diseños existentes bajo el método de modelamiento, por lo tanto se limitan a generar mecanismos de representación bidimensional para garantizar una mejor comprensión de la totalidad del proyecto por parte de los equipos técnicos y eventualmente por parte de la comunidad.	El estudio de caso si bien no genera escenarios operativos, si plantea dos momentos, un primer momento tiene que ver con la modelación de la información existente, reportando las inconsistencias del diseño, y un segundo momento donde se realizan los ajustes de diseño, para subsanar las inconsistencias encontradas previamente, de manera que se logre minimizar la incertidumbre del estado de los diseños del proyecto, y se pueda continuar con la etapa de construcción.	El estudio de caso plantea licencias como Revit, Autodesk, Civil 3d, Naviswork, InfraWorks, BIM360 y Power BI. Si bien todos los software son de pago, se pueden acceder a licencias educativas, para académicos y docentes, que permiten explorar sus bondades y potencialidades.	Si bien el estudio, no menciona los requisitos personales para calificar las herramientas ya metodológicas propuestas, si se puede intuir, que se requiere alta capacitación en herramientas tecnológicas, como AutoCAD, Revit, InfraWorks, BIM360 y Power BI. Lo que define perfiles especializados con experiencia práctica en los campos del diseño de infraestructura, medio ambiente y construcción.	El aporte realizado por este estudio de caso es de gran relevancia, al tratarse de un proyecto piloto, que busca validar un método de verificación en etapas de diseño, para garantizar la correcta coordinación de todos los subsistemas que intervienen en el proyecto, reduciendo considerablemente a los incertidumbre a los tomadores de decisiones.	El gran reto enunciado por el estudio de caso, tiene que ver con la generación de estándares y protocolos, que ayuden a homogeneizar la implementación de este método en los diferentes proyectos de infraestructura generados y protocolados, que ayuden a homogeneizar la implementación de este método en los diferentes proyectos de infraestructura generados, garantizando así una trazabilidad de la ejecución del proyecto, que contribuya con las políticas de transparencia y equidad del sector público.	El estudio de caso plantea una opción de validación de los diseños de un proyecto, mediante la coordinación y generación de reportes que den cuenta de los hallazgos e incidencias producto de colisiones entre las diferentes disciplinas generadas, para reducir el nivel de incertidumbre, minimizar los reprocesos y generar ahorros en tiempo y en dinero, durante el proceso de ejecución del proyecto.	El gran reto de viabilidad de este estudio de caso, tiene que ver con la adopción como requisito a nivel nacional del método descrito, para desarrollar proyectos de infraestructura, mediante la necesidad de reportar en las diferentes etapas de ejecución de los proyectos, las incidencias y hallazgos generados, garantizando así una trazabilidad de la ejecución del proyecto, que contribuya con las políticas de transparencia y equidad del sector público.
	El estudio de caso plantea un método de integración de fuentes de datos basados en metodologías SIG, BIM, para realizar análisis de impacto entre la infraestructura civil y el medio ambiente, lo que permite evidenciar la posibilidad de implementar dicho método a varios subsistemas urbanos	El estudio de caso propone fusionar datos de metodologías SIG y BIM, para generar procesos de coordinación en las diferentes etapas de desarrollo del proyecto.	El estudio de caso, claramente explica el proceso, para generar la interoperabilidad de las diferentes fuentes de archivos; su utilización dentro de los procesos analíticos.	Este estudio, no refleja procesos de participación ciudadana, más sin embargo si menciona, que el resultado de la visión SIG y BIM, facilita la comunicación de los impactos y potencialidades del proyecto, tanto a equipos técnicos, como a personal no especializado.	Si bien el estudio de caso no plantea dentro del proceso la exploración de varios escenarios, si concluye que mediante el método de integración SIG, BIM, se puede realizar correcciones en etapas conceptuales, que disminuyen los impactos del proyecto sobre el medio ambiente, lo que sugiere que eventualmente se podría generar alternativas del proyecto, buscando optimizar los efectos.	El estudio de caso plantea software licenciado como ArcGIS desktop, arc map, JNE Revit, Autodesk, TWS e Invo; Si bien todos los software son de pago, se pueden acceder a licencias educativas, para alumnos y docentes, que permitan explorar sus bondades y potencialidades.	Si bien el estudio, no menciona los requisitos personales para calificar las herramientas ya metodológicas propuestas, si se puede intuir, que se requiere alta capacitación en herramientas tecnológicas, como AutoCAD, Revit, InfraWorks, BIM360 y Power BI. Lo que define perfiles especializados con experiencia práctica en los campos del diseño de infraestructura, medio ambiente y construcción.	El aporte realizado por este estudio de caso es de gran relevancia, al tratarse de un proyecto piloto, para validar este método de integración de información SIG y BIM, para la coordinación de ingeniería civil y medio ambiente, buscando minimizar el impacto medio ambiental del proyecto.	El gran reto enunciado por el estudio de caso, tiene que ver con la generación de estándares y protocolos, que ayuden a homogeneizar la implementación de este método en los diferentes proyectos de infraestructura generados y protocolados, que ayuden a homogeneizar la implementación de este método en los diferentes proyectos de infraestructura generados, garantizando así una trazabilidad de la ejecución del proyecto, que contribuya con las políticas de transparencia y equidad del sector público.	El estudio de caso plantea una opción de validación de los diseños de un proyecto, mediante la coordinación y generación de reportes que den cuenta de los hallazgos e incidencias producto de colisiones entre las diferentes disciplinas generadas, para reducir el nivel de incertidumbre, minimizar los reprocesos y generar ahorros en tiempo y en dinero, durante el proceso de ejecución del proyecto.	El gran reto de viabilidad de este estudio de caso, tiene que ver con la adopción como requisito a nivel nacional del método descrito, para desarrollar proyectos de infraestructura, mediante la necesidad de reportar en las diferentes etapas de ejecución de los proyectos, las incidencias y hallazgos generados, garantizando así una trazabilidad de la ejecución del proyecto, que contribuya con las políticas de transparencia y equidad del sector público.		

Tabla 8 Matriz de evaluación de madurez y validez caso de estudio 3 fuente elaboración propia

### **3.3.3.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN**

#### **3.3.3.1.1. SIMILITUD**

- Ambos casos de estudio permiten la integración de varios sub sistemas urbanos, mediante la interconexión de múltiples fuentes de datos bajo metodologías SIG y BIM, lo que potencializa una visión más holística e integral de los fenómenos territoriales.
- Los dos casos de estudio plantean un método, para articular la información proveniente de diferentes fuentes de datos, para obtener un gemelo digital base, sobre el cual poder realizar el proceso de coordinación técnica, para evidenciar las incidencias, y hallazgos entre sub sistemas.
- Ninguno de los dos estudios de caso refleja procesos de participación ciudadana, en parte por la naturaleza del proyecto, el cual tiene un carácter más técnico donde la comunidad poco puede aportar desde los aspectos de diseño y planificación. Aun así el material de representación gráfica si es bastante importante, para ilustrar e informar a la comunidad, acerca de los aportes y retos que el proyecto plantea.
- si bien ambos estudios de caso no generan escenarios optativos, si plantean que mediante el método de integración SIG y BIM, se puede realizar correcciones en etapas conceptuales, que disminuyan los impactos del proyecto y su entorno inmediato.
- Ambos estudios de caso utilizan software licenciado que es de pago, pero se pueden acceder a licencias educativas, para alumnos y docentes, que permiten explorar sus bondades y potenciales.

- Los dos casos de estudio evidencian la necesidad de tener personal altamente cualificado con experiencia práctica en los campos del diseño de infraestructura, medio ambiente y construcción.

#### **3.3.3.1.2. DIFERENCIACIÓN**

- El caso de estudio local y foráneo presentan una clara diferencia en el alcance de interconexión de sub sistemas, siendo el estudio local un ejercicio mucho más completo, que permite cruzar más variables que intervienen en el desarrollo del proyecto, permitiendo mayor conocimiento y certeza de las implicaciones que genera la ejecución del mismo.

#### **3.3.3.1.3. RETOS**

- El gran reto enunciado por ambos estudios de caso, tiene que ver, con la generación de estándares y protocolos, que ayuden a homogeneizar la implementación de este método en los diferentes proyectos de infraestructura que se desarrollen en el país.
- El gran reto de viabilidad de ambos estudios de caso, tiene que ver con la adopción como requisito a nivel nacional del método descrito, para desarrollar proyectos de infraestructura, mediante la necesidad de reportar en las diferentes etapas de ejecución de los proyectos, las incidencias y hallazgos generados, garantizando así una trazabilidad de la ejecución de los proyectos, que contribuya con las políticas de transparencia y equidad del sector público.
- Ambos estudios de caso al requerir de perfiles especializados con experiencia práctica en los campos del diseño, infraestructura, medio ambiente y construcción, se convierte en un reto importante a la hora de buscar implementar estas metodologías, pues dichos perfiles no se encuentran bajo procesos de formación académica formal,

al ser temáticas innovadoras, se deberán ir incorporando estas necesidades a los programas formativos, de manera que se pueda aumentar la oferta de perfiles profesionales.

Luego de realizar el proceso de análisis correlacional, entre el caso de estudio local y foráneo, de la escala meso y de tipología de Desarrollo de proyectos lineales de infraestructura y movilidad, se puede evidenciar que ambos estudios son muy similares en el planteamiento del problema y sus posibles soluciones. Si bien utilizan métodos diferentes, pues el caso foráneo enfatiza su atención en resolver los posibles conflictos e incidencias entre la infraestructura y el impacto ambiental que esta pueda generar. El segundo caso hace énfasis en la posibilidad de modelar todas las disciplinas que intervienen en el proyecto, para determinar los posibles conflictos que pueden surgir durante un proceso de coordinación técnica. Ambas soluciones presentan metodologías pertinentes y validas, para mejorar los procesos de construcción de infraestructura civil.

Entendiendo que ambos estudios exponen estas metodologías como pilotos, para validar su eficacia y pertinencia, y dados los resultados expuestos por cada estudio, se puede decir que los flujos de trabajo empleados en ambos casos, si bien poseen similitudes en las fuentes de datos de origen bajo metodologías SIG, BIM y CIM, los procesos planteados difieren por varias razones, entre las cuales se destacan la problemática principal identificada, los objetivos a alcanzar y las herramientas tecnológica empleadas. Lo que demuestra la flexibilidad de los desarrollos tecnológicos basados en metodologías propias del entendimiento territorial y la importancia de generar procesos de interconexión transdisciplinarios, para garantizar una visión más holística e integral de los fenómenos territoriales tangibles e intangibles que permitan la reducción de la

incertidumbre a la hora de tomar decisiones en cualquier etapa de la cadena de valor de la ejecución de los proyectos.

En síntesis estos dos casos de estudio permiten comprender el potencial de desarrollo a nivel de espacialización, análisis y representación que puede ofrecer las metodologías que implementan los flujos de trabajo transdisciplinario entre SIG, BIM y CIM, y las múltiples fuentes de origen de datos, que pueden alimentar los mismo, siempre buscando optimizar los recursos, tanto económicos, como de personal calificado, de software - hardware y de tiempo, mediante la minimización de la incertidumbre, los reprocesos y los sobrecostos. Logrando así demostrar la importancia de implementar estas metodologías, como base fundamental, para generar modelos de información de territorios, que complementen el concepto de modelo de información de ciudad con miras a lograr consolidar la visión holística e integral de una ciudad inteligente.

#### **3.3.4. ESTUDIO DE CASO 4**

**Caso:** Plataforma de análisis multidimensional para apoyar la planificación y diseño para un entorno urbano habitable y sostenible

**Ubicación:** Singapur.

**Tipología:** Desarrollo de un proceso de diagnóstico y formulación de un proyecto de planificación urbana de escala macro.

**Autor:** Sabri, S. - Chen, Y. - Rajabifard, A. - Lim, T. K. - Khoo, V. - Kalantari, M.

**Año:** 2019

Durante las últimas tres décadas, la rápida urbanización llevó a la adopción de nuevos enfoques de planificación urbana, como el desarrollo de ciudades compactas y las estrategias de

intensificación urbana. Los planificadores urbanos y los formuladores de políticas promueven densidades más altas de edificios y poblaciones con una combinación de usos y actividades del suelo e infraestructuras urbanas integradas, particularmente en el proceso de reurbanización urbana que garantiza la sostenibilidad ambiental, económica y social. Sin embargo, existen varias implicaciones, como ambientales (isla de calor urbano), socioeconómicas (gentrificación) y físicas (congestión) en este tipo de desarrollos. Para comprender estas implicaciones, los datos confiables y las herramientas analíticas sólidas son cruciales para respaldar la planificación y la formulación de políticas con evidencia basada en datos.

En consecuencia, uno de los requisitos importantes para que los planificadores y diseñadores evalúen las condiciones urbanas actuales y prevean los cambios futuros es el acceso a conjuntos de herramientas robustos. Es oportuno e importante desarrollar una serie de herramientas de planificación y diseño personalizadas y escalables, ya que las tecnologías actuales, incluida la computación y los datos geoespaciales, ofrecen capacidades sin precedentes. Sin embargo, en muchas jurisdicciones de todo el mundo, donde el desarrollo de ciudades compactas se ha convertido en la principal estrategia de planificación, los planificadores urbanos se basan en información del terreno bidimensional (2D) y los diseñadores urbanos utilizan motores basados en gráficos tridimensionales (3D) (3D Max, Unity3D). para visualizar un edificio propuesto o evaluar el impacto de los cambios en las regulaciones de desarrollo (Sabri et al., 2019).

El problema con los datos 2D es que, si bien la información de la tercera dimensión se puede incrustar, la medición y el análisis de los aspectos de altura, profundidad y volumen son incompletos. Por consiguiente, los datos 3D basados en gráficos tienen una capacidad limitada para transportar y actualizar la información de atributos. Los avances recientes con los datos y estándares disponibles en formato geoespacial 3D han ofrecido oportunidades prometedoras para



mejorar la toma de decisiones mediante la evaluación del impacto potencial de las propuestas de desarrollo, visualizando los resultados del diseño urbano y permitiendo a los usuarios interpretarlos desde múltiples puntos de vista.

Los estudios sobre tecnología geoespacial multidimensional en la planificación y el diseño urbanos se pueden clasificar en grupos conceptuales y prácticos. La literatura sugiere su integración con datos de flujo (por ejemplo, información geográfica voluntaria) para medir fenómenos subjetivos (por ejemplo, construcción social, experiencia de lugar) y objetivo (por ejemplo, la descripción de atributos geométricos de los elementos modelados en 3D). Las visualizaciones en 3D pueden mejorar la imagen mental de los controles de planificación para los planificadores y las partes interesadas. Por ejemplo, estas tecnologías permiten a las personas evaluar el efecto de los edificios en los alrededores como las líneas de visión y proporcionan un mecanismo para evaluar los desarrollos propuestos presentados en 3D.

Las visualizaciones de SIG multidimensionales también tienen componentes analíticos y, como tales, permitirán a las comunidades tener conversaciones más efectivas sobre desarrollos futuros.

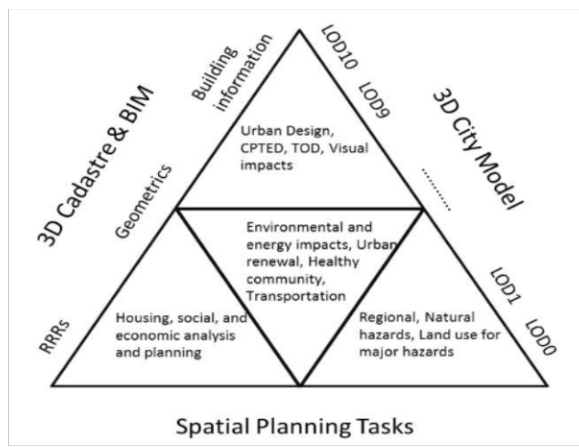
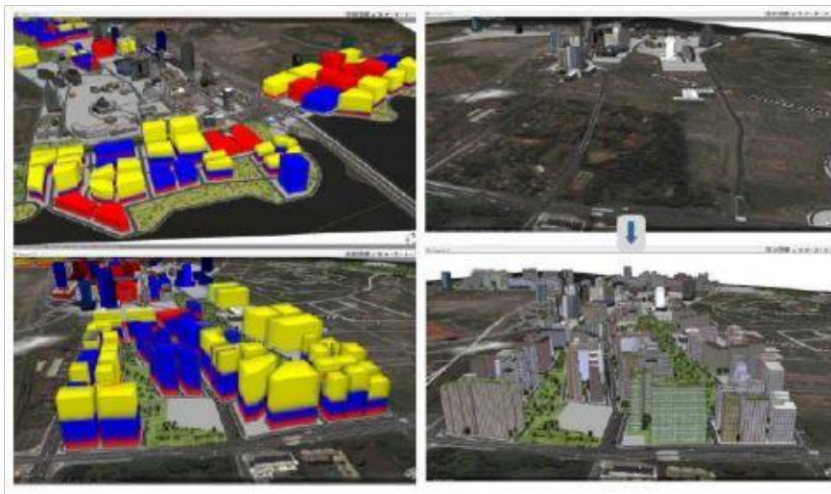


Ilustración 60 Modelos de datos 3D y tareas de planificación espacial. Fuente (Sabri et al., 2019).

El papel de los modelos de ciudad en 3D en la medición de los escenarios futuros para el desarrollo de la combinación de usos del suelo en un entorno urbano tanto en dimensiones horizontales como verticales, es clave, para lograr una mayor comprensión acerca de cómo los aspectos urbano-funcionales interactúan con los sujetos y objetos que habitan el territorio. En términos de modernización de la planificación urbana y la administración de la tierra, la literatura sugiere que la capacidad de la información de propiedad y terrenos en 3D y BIM debe ser considerada en el desarrollo de una nueva agenda para el futuro de la gestión de la ciudad (Sabri et al., 2019).



*Ilustración 61 Medición de los impactos del desarrollo de la combinación de usos del suelo en los entornos urbanos futuros. Fuente (Sabri et al., 2019).*

Desde el punto de vista de los peligros naturales y el impacto ambiental, se formuló un marco para integrar los datos BIM-GIS para la toma de decisiones sobre la evaluación de daños por inundaciones. Este marco reúne la información detallada generada en BIM y modelando, simulando y desarrollando capacidades de visualización de SIG. Este marco conceptual se puede utilizar potencialmente en actividades de evaluación del desarrollo de edificios como parte de las tareas de planificación estatutarias.

En general es limitada la literatura que documenta la aplicación de modelos de ciudad en 3D en diferentes dominios analíticos y de planificación urbana en términos de aplicaciones prácticas de datos geoespaciales multidimensionales en tareas de planificación urbana.

Una posible explicación de esta limitación es la falta de una infraestructura digital para convertir e integrar diferentes formatos de datos 3D con fines analíticos. Por ejemplo, los planificadores deben poder integrar una cierta cantidad de detalles de los datos BIM para integrarlos con el Modelo de elevación digital (DEM) a fin de evaluar el impacto de la sombra o los factores de línea de visión en la toma de decisiones de una evaluación de desarrollo. En otros casos, las propuestas de desarrollo en CityGML, polígono de forma extruida o incluso formatos de datos BIM deben integrarse con el paisaje urbano actual a través de una malla fotográfica 3D para evaluar el impacto físico de futuros desarrollos urbanos.

La segunda explicación son las habilidades técnicas limitadas de los planificadores y tomadores de decisiones para operar diferentes herramientas para generar resultados tangibles. Esto necesita una plataforma fácil de usar para conectar herramientas analíticas y acceder a diferentes formatos de datos multidimensionales. Esto supone un gran problema a la hora de actualizar e innovar en los métodos y herramientas que ayuden a potencializar los procesos de planificación, diseño y construcción en las diferentes escalas territoriales. Así pues, este estudio de caso presenta una infraestructura de análisis e integración de datos geoespaciales en 3D para superar los problemas mencionados anteriormente.

Este estudio de caso describe el diseño y desarrollo de una plataforma multidimensional y habilitada espacialmente para respaldar la planificación de la habitabilidad. Esta plataforma tiene como objetivo respaldar los requisitos de modelado y simulación de la planificación urbana en

Singapur a través de herramientas de análisis, visualización e integración de datos 3D, y una serie de interfaces de usuario personalizadas para respaldar escenarios de modelado y simulación de reurbanización urbana. Entendiendo los requisitos previos para que cualquier sistema de simulación ambiental urbana se integre con otros dominios de aplicación, como transporte, desastres y evaluación de edificios, es necesario contar con datos cartográficos en 3D y un modelo urbano digital, que deben ser espacialmente precisos y estar basados en estándares de datos abiertos.

Para ello se aprovechan los datos cartográficos en 3D capturados en el marco del proyecto de cartografía topográfica nacional 3D de la Autoridad de Tierras de Singapur. Los datos 3D de SLA<sup>45</sup>, incluidos Building Information Model (BIM), CityGML y otros datos geoespaciales como Huellas de edificios, uso del suelo y población se procesaron, organizaron y adaptaron como un servicio de consulta (Sabri et al., 2019).

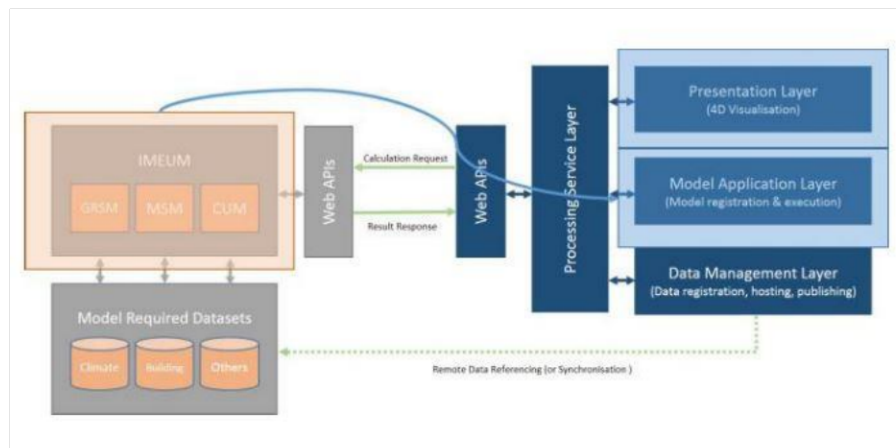


Ilustración 62 Diseño conceptual e interrelaciones del proyecto fuente (Sabri et al., 2019).

Uno de los desafíos técnicos que este proyecto pretendía abordar la transformación e integración de diferentes formatos geoespaciales (por ejemplo, IFC BIM, LOD2 CityGML, vector 2D

<sup>45</sup> Singapur Land Authority

y raster) en la plataforma 3D. Para realizar una evaluación basada en escenarios sobre los cambios del entorno construido en el proyecto de reurbanización urbana, se están utilizando diferentes conjuntos de datos:

- Archivo IFC BIM de los edificios propuestos
- Modelo de ciudad 3D existente del área de interés (CityGML perfil, conforme a Ref3DNat recomendaciones, en LOD2 - o superior si está disponible)
- Carreteras, pistas, aceras, caminos
- Huellas de edificios
- Información catastral
- Paisaje y vegetación
- Las características del agua
- Normas de planificación urbana

Estos conjuntos de datos se habían integrado en la plataforma para realizar modelos y simulación para la construcción de escenarios de entornos urbanos en 3D, la movilidad inteligente y la evaluación del impacto del nivel de inundación para el área de interés. Si bien la integración de conjuntos de datos 2D con CityGML y las huellas de edificios extruidos en formato de archivo de forma ESRI no es un problema, la conversión de datos BIM requirió una cantidad considerable de tiempo y recursos. La siguiente subsección da cuenta del proceso de integración de datos en la plataforma 3D.

El proyecto detalló la transformación del modelo de información de construcción en los formatos de datos Industry Foundation Classes (IFC) a 3D Tiles en un entorno de cesio<sup>46</sup> para

---

<sup>46</sup> Plataforma de visualización 3d web

respaldar el desarrollo de edificios en 3D a escala de ciudad. Este estudio utiliza el mismo enfoque que los cuatro pasos clave para garantizar que los atributos de cada propiedad en el archivo IFC se conserven en el proceso de conversión.

La integración de diferentes tipos de datos 3D (por ejemplo, IFC, CityGML, Shapefiles) con salidas QUEST (por ejemplo, Índice de Confort Térmico) se realizó en la plataforma. Esta integración siguió una arquitectura general, que se desarrolló para integrar más conjuntos de datos en la plataforma en el futuro (por ejemplo, datos de sensores del entorno en vivo).

Con esta plataforma se identifican los siguientes productos:

- **Generador de escenarios de entornos urbanos 3D**

Como primera fase, QUEST que se implementó previamente en un software GIS propietario, la transferencia a código R para ser utilizado en esta plataforma geoespacial 3D. La segunda fase se construyó sobre los resultados de esta herramienta, que se refería a la movilidad inteligente. La segunda herramienta se denominó análisis de transitabilidad y se desarrolló con base en la conectividad de las redes de carreteras, así como en los aspectos construidos (por ejemplo, puntos de interés y atractivos de destinos) y del entorno natural (por ejemplo, temperatura, vegetación) de las áreas urbanas, las soluciones generadas son:

Conversión y visualización de datos 3D

Desarrollo de servicios de modelado y simulación 3D para la toma de decisiones

Consulta y almacenamiento de datos 3D

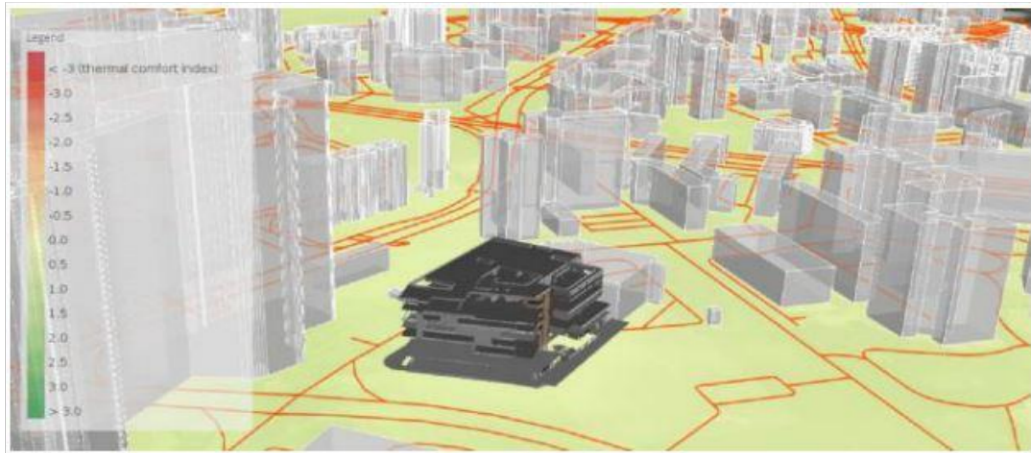


Ilustración 63 La interfaz de usuario para la configuración de escenarios 3d fuente (Sabri et al., 2019).

- **Herramienta para caminar**

Una de las aplicaciones de simulación y modelado basadas en escenarios en la planificación urbana es el análisis de la transitabilidad. Es importante que los planificadores comprendan el impacto del entorno construido en la percepción humana de la capacidad para caminar. Dado que los modelos de ciudades en 3D proporcionarán parámetros confiables para el modelado y la simulación de la capacidad de caminar, esta aplicación se desarrolló en la plataforma 3D para mostrar el papel significativo de los datos 3D en el modelado, simulación y visualización para la planificación basada en evidencia.



Ilustración 64 Plataforma de análisis de transitabilidad fuente (Sabri et al., 2019).

De esta manera se puede evidenciar y explicar la importancia de la plataforma geoespacial 3D para fines de planificación y se argumenta que la falta de habilidades técnicas y diferentes formatos de datos pueden considerarse como desafíos para los planificadores urbanos en el uso de datos 3D y la integración con otros tipos de datos. Como tal, este documento sugirió una plataforma geoespacial 3D que utiliza estándares OGC<sup>47</sup> para el acceso, procesamiento, publicación y visualización de datos geoespaciales.

También se desarrolla dos herramientas integradas para que la plataforma pruebe la utilidad del sistema. Al implementar el generador de escenarios de entornos urbanos en 3D, los planificadores pueden cargar rápidamente conjuntos de datos de entornos urbanos físicos y aplicar modificaciones para probar los impactos ambientales de varios escenarios de planificación al alimentar estos datos. La herramienta de transitabilidad desarrollada utiliza los factores ambientales y ejecuta una simulación basada en agentes que imita los comportamientos y características de caminata de las personas (por ejemplo, preferencias de viaje relacionadas con el medio ambiente, probabilidad de visita de atracción adicional, asignación de pares de origen-destino, demografía de la población de viajes, etc.).

Como tal, esta plataforma ofrece una oportunidad para la interconexión digital espacialmente precisa de áreas urbanas para integrar el sistema de simulación ambiental urbana con otros dominios de aplicación como transporte, comportamiento social y gestión de desastres.

---

<sup>47</sup> [Open Geospatial Consortium](#)



**Caso:** Proyecto de modelamiento 3d de planificación urbana de un territorio de escala meso Unidos por el agua

**Ubicación:** Medellín, Colombia.

**Tipología:** Desarrollo de un proceso de diagnóstico y formulación de un proyecto de planificación urbana de escala macro.

**Autor:** Centro de modelación urbana CMU - Empresa de Desarrollo Urbano -EDU-.

**Año:** 2018

Las ciudades son el hábitat que concentra progresivamente la mayor cantidad de población en el mundo, producto de la centralización de actividades como: la industria, el comercio, los servicios, las instituciones y los organismos estatales. De acuerdo con las estadísticas de las Naciones Unidas (Unidas, Naciones, 2018) alrededor del 55% de la población mundial habita ciudades y zonas urbanas, además, los datos históricos reflejan que el crecimiento demográfico ha venido siendo exponencial y para el año 2050 se estima que alcanzará un 60% en todo el mundo, con especial énfasis en los países en vía de desarrollo. Esta situación demuestra como la urbanización es un proceso irreversible que representa grandes retos en planificación y gestión para el desarrollo y sostenibilidad de las ciudades (EDU, 2020).

América Latina y el Caribe es la región del mundo donde más se evidencia este fenómeno, cerca del 80% de la población es urbana (Unidas, Naciones, 2018). Situación que ha desbordado la capacidad de los territorios urbanos generando déficits en asuntos como: la pobreza, la informalidad, la precariedad en la vivienda, la falta de cobertura y calidad en los servicios públicos, la deficiencia en el transporte colectivo, la escasez de equipamientos comunitarios y de espacio público (CEPAL, 2012).

La urbanización informal en Medellín ha caracterizado el proceso de crecimiento de la ciudad desde finales del siglo XX. Procesos de migración rural, el desplazamiento forzado y el crecimiento económico, han dinamizado y contribuido a la formación y crecimiento de estos asentamientos; los cuales se han ubicado, en su mayoría, en las áreas más inaccesibles y en los suelos periféricos o de alta ladera en la ciudad, bajo el nombre de barrios de invasión. Estos barrios se han desarrollado a través de la ocupación ilegal de predios, la auto-construcción de vivienda, y la ausencia de espacios públicos, equipamientos e infraestructura vial; así como la poca o nula cobertura de servicios públicos, que en ocasiones se da a través de conexiones fraudulentas. Como resultado de esto, el Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín (POT) ha clasificado casi el 25% de su suelo urbano como áreas de Mejoramiento Integral (MI), con desarrollo urbano incompleto, que requieren ser intervenidas para mejorar sus condiciones ambientales, socioculturales y económicas, y lograr la integración socio-espacial de estas a la ciudad.

Se habla entonces de un Modelo de Intervención Integral en estos sectores donde se hace pertinente la actualización y el dinamismo de las propuestas para atender las condiciones actuales y venideras. El presente modelo cuyo piloto fue implementado en los barrios informales de la zona Centro Oriental de la ciudad, se basa en la integración de tres programas o estrategias municipales, cuya interacción y trabajo articulado, cohesiona en la actualidad acciones como una sola estrategia conjunta alrededor del reasentamiento y mejoramiento de vivienda, la cobertura de servicios públicos domiciliarios, la recuperación y protección ambiental y la infraestructura pública de calidad (EDU, 2020).

Los procesos de planificación territorial tradicionalmente se han desarrollado bajo plataformas y metodologías bidimensionales, si bien la información de la tercera dimensión se puede incrustar, la medición y el análisis de los aspectos de altura, profundidad y volumen son

incompletos. Y si a esto se le suma la complejidad morfológica del terreno en periferia, a nivel de accesibilidad, accidentalidad geográfica, irregularidad de la trama urbana producto de asentamientos irregulares y los conflictos sociales, se puede evidenciar que la comprensión espacial pierde capacidad de discernimiento al no lograr observar claramente las diferentes dinámicas urbanas que pueden caracterizar un territorio informal.

Esto supone un problema que evidencia el nivel de dificultad al que se enfrentan los planificadores y diseñadores urbanos cuando pretenden reorganizar asentamientos irregulares, pues en muchos casos inclusive los instrumentos normativos disponibles, no logran dilucidar como implementar los lineamientos y directrices, para abordar las problemáticas de dichos territorios. Es por esto que buscando opciones para potencializar las estrategias que se han desarrollado en la ciudad de Medellín buscando dar solución a estas dificultades, como los PUI<sup>48</sup>, se adopta herramientas tecnológicas bajo metodologías SIG, BIM y CIM, para complementar los procesos de espacialización, análisis y representación de los fenómenos físico espaciales tangibles e intangibles que interactúan con el territorio.

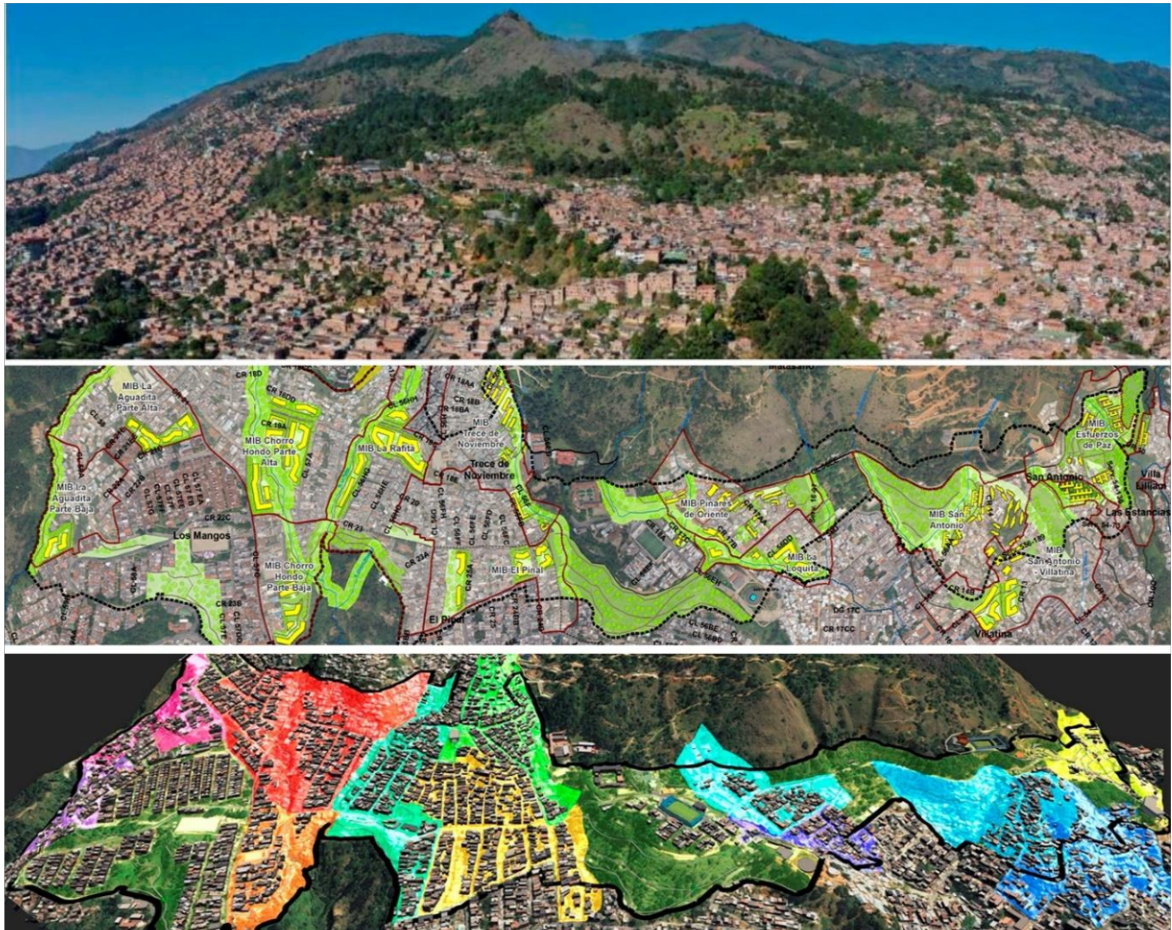
Es importantes que los planificadores y diseñadores evalúen las condiciones urbanas actuales y prevean los cambios futuros mediante el acceso a conjuntos de herramientas robustas. Así mismo desarrollar métodos personalizados multi escalares de herramientas de planificación y diseño es fundamental, ya que las tecnologías actuales, incluida la computación y los datos geoespaciales, ofrecen capacidades ilimitadas, que con el paso del tiempo refinan, depuran y optimizan procesos buscando cada vez ser más integrales y holístico en la geo espacialización, análisis y representación de los fenómenos territoriales.

---

<sup>48</sup> Proyectos Urbanos Integrales

Para ello se selecciona un programa estratégico de la administración municipal, denominado Unidos por el agua, el cual buscaba mediante la reconexión y conexión de nuevos usuarios de la red de servicios públicos domiciliarios, generar un programa de mejoramiento integral de barrios, en el cual se realizara una intervención integral en el territorio, abordando aspectos como asentamientos informales, recuperación de suelos de protección, generación de nuevo espacio público, consolidación de centralidades barriales, adecuación de la accesibilidad barrial y la generación de nuevos asentamiento de vivienda. Para llevar a cabo este proyecto, se hacía imperante desarrollar un diagnostico que lograra evidenciar la situación territorial, bajos los aspectos anteriormente descritos. y posteriormente se genera la formulación del proyecto que busca subsanar las problemáticas mencionadas.

En ambos momentos se implementa un método de interconexión de fuentes de datos de múltiples orígenes bajo metodologías SIG, BIM y CIM, que ayudan a espacializar, analizar y representar, tanto las problemáticas, como las soluciones, buscando una mayor comprensión tanto de los equipos técnicos participantes del proyecto, como de la comunidad beneficiada de dicho programa.



*Ilustración 65 Comparativo de digitalización territorial comuna 8 Cerro Pan de Azúcar Medellín fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-*

### Metodología

Se elaborará el modelo urbano Fase 1 LOD3, que contienen:

- DTM (Modelo digital de terreno).
- Orto foto mosaico.
- Capas geográficas básicas como: Construcciones, vías, afluentes hídricos, suelos de protección. espacio público, centralidades y demás capas con un nivel de representación básico volumétrico.
- Gemelo digital de diagnóstico.

- Gemelo digital de formulación.

### **DTM (Modelo digital de terreno)**

Se obtiene a partir de la elaboración de un levantamiento LIDAR, que genera una nube de puntos que, al procesarla, se obtiene el DTM, la orto fotografía, y el levantamiento topográfico.

### **Orto foto mosaico**

Se obtiene mediante el procesamiento de la nube de puntos, generando una superficie compuesta por tiles o baldosas, que generan un archivo raster en formato Geotiff, para interconectar posteriormente con los demás archivos en la construcción del gemelo digital.

### **Capas geográficas básicas**

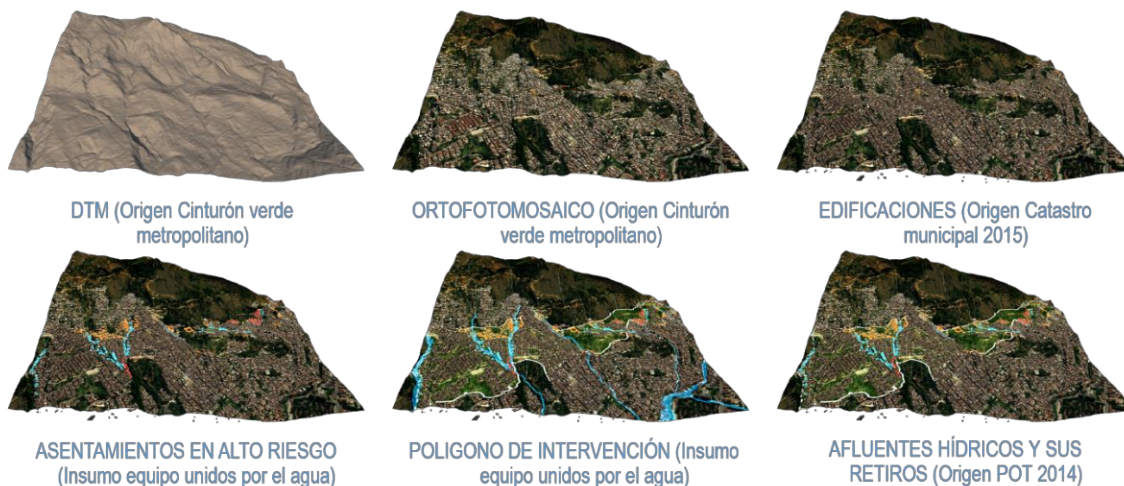
Se realiza un proceso de auditoría y validación, de la información geográfica suministrada, para determinar la estructura de los datos atributivos de la capa, su definición de sistema coordenado y la topología, para garantizar una correcta espacialización y posterior transformación a modelo tridimensional.

### **Gemelo digital de diagnóstico**

Con las fuentes de datos anteriormente descritas y bajo las metodologías SIG, BIM y CIM, se construye el gemelo digital que espacializa, analiza y representa el diagnóstico territorial del proyecto.

### Gemelo digital de formulación

De igual manera una vez ya se culmina el proceso de diagnóstico, y preservando dicha condición temporal, se desarrolla la formulación del proyecto, para evidenciar ambos escenarios, facilitando la comprensión de las problemáticas y las soluciones propuestas.



*Ilustración 66 proceso de construcción de gemelo digital de diagnóstico territorial fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-*

Mediante la implementación de esta metodología, se logra espacializar, analizar y representar con gran nivel de detalle los fenómenos y las dinámicas urbanas que se generan en este territorio, a su vez se facilita la comprensión de las condicionantes normativas que presenta el sector, logrando correlacionar fácilmente las afectaciones y las posibles soluciones, lo que potencializa la comunicación asertiva entre los equipos técnicos y la comunidad.



Ilustración 67 Gemelo digital de diagnóstico territorial fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-



Ilustración 68 Gemelo digital de formulación territorial fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-





*Ilustración 69 Comparativo de escenarios diagnóstico y formulación polígona de mejoramiento integral de barrio 13 de noviembre fuente Centro de modelación urbana CMU -EDU-*

Como se puede evidenciar la implementación de tecnologías disruptivas bajo metodologías SIG, BIM y CIM, garantizando flujos de trabajo interconectados y transdisciplinarios, potencializan los procesos tradicionales de planificación, lo que facilita la gestión, comprensión y desarrollo de esta tipología de proyectos. De igual manera la flexibilidad que presenta el modelamiento bajo metodología CIM, al recrear escenarios optativos temporales, es de gran ayuda, para identificar las problemáticas, afectaciones, necesidades y potenciales de desarrollo

que puede evidenciar un territorio, y a su vez complementa la sustentación de los planteamientos formulados, que buscan dar solución a los resultados arrojados por el diagnóstico.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es la generación de insumos a partir del gemelo digital bajo metodología CIM, el cual permite la generación de diversos productos, como imágenes estáticas, videos y publicaciones de geo visores 3d web, para ampliar la oferta de difusión y comunicación hacia el público interesado.

MATRIZ DE EVALUACIÓN CUALITATIVA DE MADUREZ Y VALIDEZ DE CASOS DE ESTUDIOS													
Identificación		Complejidad		Diversidad		Replicabilidad		Nivel de madurez					
ID	Caso de estudio	Origen	Integración de los indicadores inteligentes a todos o varios de los subsistemas urbanos	Integración o, al menos, conexión entre diferentes plataformas metodológicas de carácter tecnológico	Utilización de procesos de gestión que permitan explorar la información procedente de diferentes metodologías de carácter tecnológico	Implementación de mecanismos de potenciación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación	Implementación de diseños de Escenarios para convalidar la visión de Futuro	Tipo de software/hardware con miras a implementar recursos de acceso libre	Nivel de cualificación del capital humano, para su correcta implementación en el tiempo	Aportes	Retos	Aportes	Retos
4	Proyecto de modelamiento 3d de planificación urbana de un territorio de escala Mediana	El estudio de caso plantea una metodología de trabajo mediante la cual busca integrar el mayor número de variables territoriales posibles, mediante la interconexión de fuentes de datos de metodologías como SIG, BIM y CIM, logrando articular la mayoría de sub sistemas urbanos.	El estudio de caso propone fusionar datos de metodologías SIG, BIM, CIM para espacializar, analizar y representar los fenómenos físico espaciales que interactúan en los territorios.	El estudio de caso plantea un método, para explorar al máximo los recursos de múltiples fuentes de datos y metodologías, para generar gemelos digitales de diagnóstico y formulación.	El caso de estudio genera material gráfico como imágenes, videos y aplicaciones web, con los cuales busca llegar a las comunidades y equipos técnicos, para generar procesos de comunicación más sencillos.	El estudio de caso evidencia claramente como mediante la construcción de los gemelos digitales, puede crear escenarios temporales que reflejen una situación concreta específica del territorio, tal es el caso del diagnóstico y la formulación que plantea el proyecto.	Este estudio de caso emplea software libre para todo el componente geográfico, como QGIS, Y software licenciado, para el componente de modelado como Bentley, Infraworks, Navisworks y BIM360. En ambos casos se ofrece paquetes educativos para estudiantes y docentes.	Si bien el estudio, no menciona los requisitos puntuales, para calificar personal en el uso correcto de las herramientas y la metodología propuesta, si se puede intuir, que se requiere alta capacitación en herramientas tecnológicas como QGIS, Bentley, Naviswork, Infraworks y BIM360. Adicionalmente se debe contar con experiencia en el manejo de superficies de triangulación TIN, que permitan una correcta comprensión de los procedimientos enunciados en este caso de estudio. Además de conocimientos en planificación y diseño urbano.	Este estudio de caso genera un gran aporte a la planificación y el diseño urbano, pues mediante las soluciones que presenta, se puede complementar muy bien los métodos tradicionales, contribuyendo a generar nuevos procesos que logren mitigar las problemáticas generadas por la constante expansión, reurbanización y renovación urbana, que en muchos casos genera desigualdad, segregación, gentrificación, procedimiento enuncados en este caso de estudio. Además de contribuir a la diversidad e incidencia de las ciudades del siglo XXI.	El estudio de caso evidencia como la necesidad de generar concentración sobre el valor de explicar estos procesos, para reorganizar mejor el territorio en la esfera de cumplimiento al instrumento normativo del POT vigente.	El estudio de caso realiza un aporte muy valioso a los procesos tradicionales de planificación del territorio en la zona, pues mediante el uso interconectado y articulado de los datos bajo metodologías SIG, BIM y CIM, se puede espacializar, analizar y representar los diferentes fenómenos que interactúan en el territorio, buscando una mayor comprensión tanto de los equipos técnicos, como de la comunidad en general.	El mayor reto que plantea este caso de estudio, tiene que ver con la estandarización de los procesos mediante protocolos que ayuden a replicar estas experiencias en otros territorios, buscando la sostenibilidad en el tiempo de estas iniciativas.	
	Plataforma de análisis multidimensional para apoyar la planificación y diseño para un entorno urbano habitable y sostenible	Singapur	El estudio de caso busca mediante la implementación de una plataforma 3d, la interconexión del mayor número de fuentes de datos bajo metodologías SIG BIM, para abarcar la mayoría de sub sistemas urbanos.	Este estudio de caso plantea al menos la interconexión de dos bases tecnológicas bajo metodologías SIG BIM	El estudio de caso evidencia varios procesos en los cuales se puede explorar la interconexión de flujos de datos de múltiples metodologías del entendimiento territorial, como lo es la plataforma 3d y el generador de camión.	El caso de estudio plantea generar plataformas de difusión en la web, para comunicar acertadamente las propuestas, y obtener comentarios por parte del público objetivo.	El estudio de caso evidencia que ambas propuestas, tanto la plataforma 3d, como el generador de camión, permiten mediante la articulación de diversas variables, construir escenarios múltiples.	Si bien el estudio de caso no hace alusión directa a los software empleados, para desarrollar el proyecto, si describe las metodologías utilizadas, como SIG BIM, por lo que los software empleados pueden tener una combinación entre programas licenciados y libres, que seguramente ofrecen seguimiento eficiente a estudiantes y docentes.	Si bien el estudio, no menciona los requisitos puntuales, para calificar personal en el uso correcto de las herramientas y la metodología propuesta, si se puede intuir, que se requiere alta capacitación en herramientas tecnológicas y de programación.	Este estudio de caso genera un gran aporte a la planificación y el diseño urbano, pues mediante las soluciones que presenta, se puede complementar muy bien los métodos tradicionales, contribuyendo a generar nuevos procesos que den respuesta a las nuevas características de las ciudades del siglo XXI, en términos de complejidad, diversidad e incidencia.	El estudio de caso expone la necesidad de generar mayor exploración con diversos sub sistemas, para identificar mayores aplicaciones en el territorio en las cuales estos procesos tecnológicos complementan los métodos tradicionales de comprensión territorial.	Este estudio de caso genera aportes muy interesantes en términos de identificar varias utilidades de la interconexión de los datos, bajo metodologías SIG y BIM, para aumentar las variables de análisis de los territorios, buscando obtener un conocimiento más holístico e integral, para reducir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones.	El mayor reto que plantea este caso de estudio, tiene que ver con la estandarización de los procesos mediante protocolos que ayuden a replicar estas experiencias en otros territorios, buscando la sostenibilidad en el tiempo de estas iniciativas.

Tabla 9 Matriz de evaluación de madurez y validez caso de estudio 4 fuente elaboración propia

### **3.3.4.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN**

#### **3.3.4.1.1. SIMILITUD**

- Ambos estudios de caso buscan mediante la interconexión de fuentes de datos de metodologías como SIG, BIM y CIM, lograr articular la mayoría de sub sistemas urbanos.
- Los dos estudios de caso plantean fusionar datos de metodología SIG, BIM y CIM para espacializar, analizar y representar los fenómenos físico espaciales que interactúan en los territorios.
- En los dos casos de estudio se evidencia métodos, para explotar al máximo los recursos de múltiples fuentes de datos y metodologías, para generar gemelos digitales de diagnóstico y formulación.
- Ambos casos de estudio presentan material gráfico como imágenes y geo visores web, con los cuales busca llegar a las comunidades y equipos técnicos, para generar procesos de comunicación más asertivos.
- Los dos casos de estudio proponen escenarios temporales que reflejen una situación o condición específica del territorio, para alimentar los procesos analíticos.
- En los dos casos se observa la utilización de software libre y licenciado, que ofrece paquetes educativos, con acceso para estudiantes y docentes, y así garantizar los procesos de formación y cualificación técnica y profesional.
- Ambos estudios de caso por el nivel de complejidad enunciado, requieren de personal altamente calificado, en el manejo de herramientas tecnológicas bajo metodologías propias del entendimiento territorial, como en procesos de planificación y diseño urbano.

#### **3.3.4.1.2. DIFERENCIACIÓN**

- Mientras el caso de estudio foráneo, busca resolver temas perceptuales mediante la plataforma 3d, el caso de estudio local busca evidenciar las problemáticas tangibles e intangibles de los territorios en ladera, lo que demuestra la flexibilidad de las herramientas tecnológicas bajo metodologías SIG, BIM y CIM, para espacializar, analizar y representar los fenómenos territoriales.

#### **3.3.4.1.3. RETOS**

- Generar concientización sobre el valor de replicar estos procesos como alternativas, para complementar los métodos tradicionales de abordar la comprensión territorial, es una de las premisas que se deben motivar.
- Estandarización de los procesos mediante protocolos que ayuden a replicar estas experiencias en otros territorios, buscando la sostenibilidad en el tiempo de estas iniciativas.

En resumen, ambos estudios de caso identifican que los procesos tradicionales de planificación y diseño urbano, requieren de nuevos métodos apalancados por tecnologías bajo metodologías como SIG, BIM y CIM, para complementar los estudios del territorio, y así dar respuesta a los nuevos retos que plantean las ciudades del siglo XXI, en términos de complejidad, diversidad e incertidumbre.

Igualmente se puede observar que, si bien ambos casos de estudio buscan abordar problemáticas muy similares, emplean métodos y herramientas tecnológicas diferentes, pero bajo las mismas metodologías de comprensión territorial como SIG, BIM y CIM. Esto claramente demuestra que no existe un único método, para abordar los procesos territoriales, como tampoco existen territorios iguales, por tal motivo la flexibilidad

planteada por las metodologías anteriormente descritas, facilitan el acceso a mecanismos de comprensión territorial más holísticos e integrales.

Nuevamente en ambos estudios de caso el valor y variedad de los datos de múltiples fuentes de origen y de diversas metodologías propias del entendimiento territorial, potencializan la espacialización, análisis y representación de los fenómenos físico espaciales tangibles e intangibles que interactúan con los sujetos y los objetos en el territorio.

### 3.4. SINTESIS INTERPRETATIVA

Una vez realizado el ejercicio de análisis correlacional de los casos de estudio, clasificados por escala y tipología de intervención territorial, se procede a realizar una síntesis interpretativa, que facilite la identificación de los hallazgos encontrados. Para realizar este proceso se hace necesario generar una matriz resumen, que ayuden a agrupar por categorías las **similitudes**, **diferenciaci**ones y **retos** que cada análisis correlacionado según la escala y tipología presentaba. Una vez sistematizado dichas categorías, se realiza un proceso de sumatoria, para identificar el número de recurrencias en las cuales coincidían cada ejercicio de correlación, logrando determinar el nivel de importancia y prioridad que debe tener cada criterio y sus respectivas variables a la hora de enunciar los hallazgos encontrados.

CRITERIOS	COMPLEJIDAD		DIVERSIDAD		INCERTIDUMBRE	REPLICABILIDAD						
VARIABLES	Orientación de las iniciativas inteligentes a todos o a varias de los subistemas urbanos	Integración o, al menos, conexión entre diferentes plataformas metodológicas de carácter tecnológico	Utilización de procesos de gestión que permitan mejorar la información proveniente de diferentes metodologías de carácter tecnológico	Implementación de mecanismos de participación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación	Implementación de diseños de Escenarios, para correlacionar la visión de Futuro	Tipo de software y hardware con miras a implementar recursos de acceso libre	Nivel de cualificación del capital humano para su correcta implementación en el tiempo					
<b>CASO DE ESTUDIO 1</b> Foráneo y local	Similitud	Similitud	Similitud	Reto	Similitud	Diferencia	Diferencia	Reto				
<b>CASO DE ESTUDIO 2</b> Foráneo y local	Similitud	Diferencia	Similitud	Reto	Similitud	Similitud	Similitud	Reto	Similitud			
<b>CASO DE ESTUDIO 3</b> Foráneo y local	Similitud	Similitud	Similitud	Reto	Similitud	Diferencia	Similitud	Reto	Similitud	Reto		
<b>CASO DE ESTUDIO 4</b> Foráneo y local	Similitud	Similitud	Similitud	Reto	Similitud	Reto	Similitud	Reto	Diferencia	Reto	Similitud	Reto
<b>RECURRENCIA</b>	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	
<b>RESULTADO</b>	4	4	8	5	4	7	6					
<b>PRIORIZACION</b>	5	6	1	4	7	2	3					

Tabla 10 Matriz resumen de análisis correlacional de casos de estudio fuente elaboración propia.

Es importante explicar el método de sumatoria por recurrencia empleado, para determinar el nivel de priorización arrojado por la matriz resumen, para ello se les atribuye a los hallazgos evidenciados por la categoría de similitud el mayor peso de sumatoria, ya que permite validar el nivel de madurez y coherencia de los casos de estudio locales, en comparación con los casos de estudio foráneos. En segundo lugar, se encuentra la categoría de retos, pues éstos facilitan la identificación de los aspectos determinantes, que pueden facilitar la consolidación de la implementación de desarrollos tecnológicos bajo metodologías propias de la comprensión geo espacial. Por último, se sumaría la categoría de diferenciación, pues ésta permite encontrar los aspectos que individualizan cada estudio de caso, y esto como podría afectar la correcta implementación de las metodologías empleadas.

Basados en el principio de la recurrencia, es clave resaltar que la matriz resumen arroja un número de 23 similitudes, logrando comprender que el nivel de igualdad, que existe entre los diferentes casos de estudio analizados, independiente de la tipología o escala, representan características similares en la articulación de datos de múltiples fuentes de origen bajo metodologías SIG, BIM y CIM. Así mismo se evidencian 11 retos que reflejan la necesidad de fortalecer aspectos que

son relevantes, para lograr consolidar en el corto, mediano y largo plazo la correcta implementación de herramientas tecnológicas bajo metodologías propias del entendimiento territorial, que potencialicen y optimicen los procesos tradicionales de planificación y diseño urbano.

De igual manera se observan 4 diferencias, que permite entender las pocas situaciones de diferenciación que existe entre los casos de estudio analizados, dado que, si bien todos obedecían a tipologías, escalas y objetivos muy diversos, estos a su vez tenían en común la articulación de la información bajo metodologías SIG, BIM y CIM, para generar gemelos digitales, que facilitarían la minimización de la incertidumbre a la hora de tomar decisiones.

Así pues, la matriz resumen refleja que los software y hardware empleados, si bien podían variar de casa matriz, todos cumplían con las funciones requeridas por los métodos empleados, interconectando las metodologías propias del entendimiento territorial. Igualmente, casi todos los casos de estudio reflejan la construcción de escenarios de divulgación, mediante el uso de plataformas en la red como geo visores web, para facilitar la interacción con los públicos objetivos, lo que optimiza la democratización de la información, comprendiendo de esta manera, que los procesos de transparencia y equidad en la liberación de información mediante repositorios en línea, no son la única alternativa eficiente, para generar procesos de participación ciudadana. Al contrario, la posibilidad de desarrollar plataformas de visualización tridimensional en la nube, mejora la comprensión de las problemáticas, necesidades y potenciales de los territorios, así como las estrategias, planes y proyectos formulados para mitigarlas, consolidando así una mejor comprensión por parte de la comunidad en general, la cual en su mayoría no interpreta con facilidad los documentos técnicos que respaldan dichos estudios o proyectos.



A medida que se realicen proyectos más complejos, se deberá facilitar plataformas más robustas, que permitan una interacción más efectiva con la comunidad, lo que supone un reto importante de cara a consolidar estas metodologías de complemento y optimización de los procesos de planificación y diseño urbano.

De igual manera todos los casos de estudio al abordar problemáticas territoriales, buscan articular el mayor número de variables, mediante la implementación de procesos, que faciliten la interconexión de uno o varios orígenes de fuentes informáticas bajo metodologías SIG, BIM y CIM, que potencialicen la integración del mayor número de sub sistemas urbanos posibles, ayudando así, a identificar de manera más integral y holística los fenómenos físico espaciales tangibles e intangibles que interactúan con los sujetos y los objetos en el territorio.

Finalmente, y de acuerdo con los alcances planteados por los casos de estudio en cuanto a su tipología, escala y objetivos a cumplir, se puede deducir que, si bien la mayoría implementan la metodología de modelo de información de ciudad CIM, su desarrollo se concentra en dar solución puntual a las problemáticas, necesidades y potenciales identificados mediante el desarrollo de los proyectos en territorios parciales, pero no se aborda la posibilidad de integración a un modelo de información de ciudad de escala macro. Esto configura un vacío entre el planteamiento conceptual y metodológico del modelo de información de ciudad CIM y los resultados generados por los estudios de caso, pues si bien el método para desarrollar gemelos digitales CIM, indica la necesidad de fusionar las metodologías SIG y BIM, y otras fuentes de información complementarias, éstas se enfocan en una visión general de ciudad, pero no se advierte que la ciudad se desarrolla continuamente, lo que implica que no se podría tener una visión totalitaria y permanente del modelo de información de ciudad, sino una visión parcial.

Bajo este panorama se hace necesario comprender como se podría generar un modelo de información de ciudad que pueda contener varios gemelos digitales de territorios puntuales, a partir de la articulación de la información contenida en los modelos de territorios parciales. Permitiendo de esta manera comprender mejor la relación entre los flujos de trabajo propuestos por la metodología CIM, para desarrollar proyectos en territorios parciales, que en conjunto puedan construir un modelo de información de ciudad de escala macro. Lo cual va en consonancia con los procesos reales de planificación, diseño y construcción de las ciudades.

Para ello se plantea desarrollar un piloto de gemelo digital de un modelo de información de ciudad de escala macro, que contenga los 4 casos de estudio locales analizados con anterioridad, permitiendo evidenciar un posible método de integración de escalas parciales en un solo gemelo digital de ciudad.

### **3.5. PILOTO DE DESARROLLO DE MODELO DE INFORMACIÓN DE CIUDAD EMPLEANDO METODOLOGÍA CIM**

Buscando conectar estos desarrollos puntuales de territorios parciales, con la escala macro de ciudad que los puede articular, se realiza un modelo piloto de escala macro, que facilite dicha interconexión. Para ello es clave nuevamente identificar los formatos de origen de las fuentes informáticas, de manera que se pueda ejecutar los correctos procesos de articulación de los componentes que contiene cada caso de estudio a integrar. Es importante resaltar que los casos de estudio a articular son los de origen local, buscando consolidar su validez y madurez en relación con los casos foráneos y los postulados metodológicos del modelo de información de ciudad en clave de la ciudad inteligente.

## Metodología

- DTM (Modelo digital de terreno).
- Orto foto mosaico.
- Capas geográficas SIG (Catastro municipal)
- Importación de componentes de gemelos digitales de los casos de estudio locales formato SQLite y RVT,
- Configuración de los componentes importados de cada caso de estudio integrado en el gemelo digital de escala macro.

El proceso plantea la utilización de la información ya modelada en los proyectos de territorios parciales, mediante la articulación de capas geo espacializadas en formatos SQLite<sup>49</sup> de manera que se pueda importar su geo espacialización, estilo de representación y los datos atributivos que contienen las capas.

Así mismo los modelos 3d se pueden importar en varios formatos, como RVT e IFC, que guardan las propiedades informativas de los modelos, o FBX, DAE y OBJ que solo interpretan la volumetría tridimensional. De esta forma se logra generar un gemelo digital CIM de escala macro, con el cual se pueda comprender mejor los fenómenos físico espaciales tangibles e intangibles que interactúan con los objetos y los sujetos en los territorios de una escala mayor.

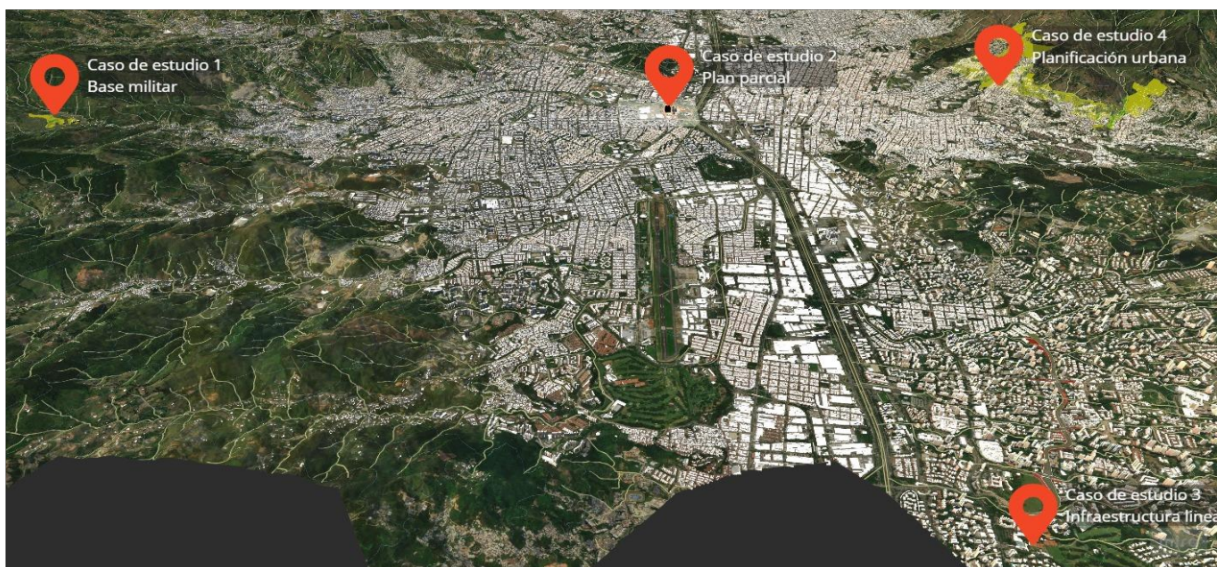
De igual manera si la información de los proyectos de territorios parciales se encuentra almacenada en repositorios comunes, tipo bases de datos geográficas y estas a su vez se encuentran alojadas en servidores bien sea locales o en la nube, se puede garantizar una conexión en tiempo real, que facilite la actualización de la información en los gemelos digitales de escala macro cada que se

---

<sup>49</sup> Sistema de gestión de bases de datos relacional

realice alguna actualización a los gemelos digitales de territorios parciales, garantizando de esta manera una interacción con información dinámica, que facilita la sostenibilidad en el tiempo de estos desarrollos.

Pero a su vez representa un reto en la definición de la arquitectura de software y hardware que garantice el correcto funcionamiento en el tiempo. Para ello es fundamental definir la metodología de operatividad, en la cual los protocolos de intercambio de información, así como su alcance darán forma a los requerimientos y especificaciones técnicas que necesita dicha plataforma, para su correcto desempeño.



*Ilustración 70 Gemelo digital CIM de escala macro, articulando los 4 casos de estudio locales fuente elaboración propia.*

En la ilustración 70, se puede observar un claro ejemplo, de cómo se puede articular gemelos digitales de territorios puntuales o parciales, de diferentes tipologías y escalas, empleando diversas metodologías propias del entendimiento territorial. De manera que dicha integración permita construir de forma paulatina, un modelo de información de ciudad general de escala macro.



*Ilustración 71 Integración del caso de estudio 1 en el modelo de información de ciudad CIM de escala macro fuente elaboración propia*



*Ilustración 72 Integración del caso de estudio 2 en el modelo de información de ciudad CIM de escala macro fuente elaboración propia*



*Ilustración 73 Integración del caso de estudio 3 en el modelo de información de ciudad CIM de escala macro fuente elaboración propia*



*Ilustración 74 Integración del caso de estudio 4 en el modelo de información de ciudad CIM de escala macro fuente elaboración propia*

Finalmente se puede sintetizar, mediante la implementación de la matriz resumen de análisis de casos de estudio, la priorización por recurrencia y bajo las categorías de similitud, diferenciación y retos, en las cuales se sistematizan los criterios y sus variables analizadas por cada uno de los casos de

estudio, permitiendo identificar un orden lógico a la hora de desarrollar implementaciones de carácter tecnológico bajo metodologías SIG, BIM y CIM. De igual manera el desarrollo del piloto de modelo de información de ciudad de escala macro, permite evidenciar que, si es posible articular gemelos digitales de territorios parciales, para alimentar un modelo de información de ciudad general, que se pueda construir de manera paulatina, conforme se desarrollan las estrategias, planes y proyectos formulados para los territorios en general.

## CAPITULO 4

### 4. HALLAZGOS Y DISCUSIÓN

Basados en los hallazgos arrojados por la matriz resumen de análisis correlacional de casos de estudio, se procede a explicar en el orden de recurrencia resultante, cada uno de los criterios y sus variables, clasificadas por las tres categorías de correlación. El principal criterio que arroja la matriz resumen de análisis correlacional de casos de estudio, es la **diversidad**, analizada desde la categoría de **retos**, logrando identificar que la variable **utilización de procesos de gestión que permitan explotar la información procedente de diferentes metodologías de carácter tecnológico**, enuncia uno de los aspectos más importantes, que se debe procurar cumplir a la hora de implementar desarrollos tecnológicos basados en metodologías SIG, BIM y CIM, lo que permite evidenciar el nivel de validez, pertinencia y madurez de las iniciativas.

El hallazgo generado mediante el análisis correlacional, permite identificar la prioridad que se debe tener a la hora de realizar implementaciones tecnológicas de estas características, donde la diversidad mediante la identificación de actores como personas, empresas e instituciones y sus necesidades y potencialidades en términos de generación y aprovechamiento de información, son

claves fundamentales, para lograr definir unos objetivos concretos que ayuden a moldear la rutina metodológica con la cual se puede desarrollar dicha implementación.

Esto a su vez supone un reto importante para cualquier institución, empresa o persona, que desee llevar a cabo un proceso de implementación de carácter tecnológico, ya que para desarrollarlo correctamente, debe necesariamente elaborar un diagnóstico, que permita conocer la estructura de funcionamiento interno, los tipos de información que maneja tanto de entrada como de salida, así como las necesidades y potenciales de relacionamiento y optimización que debe generar, para optimizar los procesos internos.

En todo caso es una variable que de acuerdo con los postulados de la ciudad inteligente más holística e integral, debe tener un peso importante, para generar procesos de participación colectiva, que ayuden a fortalecer esa construcción en simultanea de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo. Lo que a su vez condiciona los métodos de implementación de la metodología CIM, para generar plataformas de divulgación cada vez más robustas e íntegras, que permitan procesos de interacción más completos y equilibrados, lo que supone un gran reto de cara a definir esos flujos de trabajo transdisciplinarios entre las diferentes metodologías propias del entendimiento territorial.

El siguiente criterio evidenciado por la matriz es la **replicabilidad** analizada desde la categoría de **similitud**, permitiendo evidenciar en las variables, **tipo de software y hardware con miras a implementar recursos de acceso libre, y Nivel de cualificación del capital humano, para su correcta implementación en el tiempo**, por un lado, la importancia del proceso de construcción de la arquitectura de software y hardware, para determinar con base en los objetivos a desarrollar, el nivel de adquisición de equipos de cómputo y programas informáticos que se requieren, así



como su sostenibilidad en el tiempo, para garantizar una correcta implementación que asegure una continuidad sostenida y equilibrada.

El hallazgo evidenciado por la matriz resumen determina que si bien los diferentes casos de estudio, poseen claramente rasgos diferenciadores, desde su escala, tipología y objetivos, la tecnología definida desde el hardware y software en la mayoría de los casos, tanto locales como foráneos, se podía identificar como similar, por no decir igual, que permite estandarizar ciertos procesos de las metodologías empleadas en los diferentes proyectos.

En clave de la replicabilidad este aspecto es muy importante, pues facilita la adopción de herramientas tecnológicas que permitan la realización de múltiples tipologías de proyectos en diversas escalas y con objetivos muy variados, flexibilizando y adaptando de esta manera procesos de implementación tecnológica que se puedan optimizar en el tiempo, para reducir los costos de adquisición de software y hardware, mejorando así la relación de costo beneficio que puede aportarle a los proyectos.

Y por otro, el carácter clave para determinar su posibilidad de replicabilidad y sostenibilidad o consolidación en el tiempo, pues el personal calificado permite estandarizar los procesos metodológicos y la transferencia de conocimiento, logrando así una implementación mucho más efectiva, que contribuye con la madurez del método desarrollado.

El hallazgo identificado por la matriz desde la categoría de la similitud, tiene que ver con la necesidad de contar con personal altamente calificado, que tenga conocimientos en temas como la planificación y diseño urbano, diseño arquitectónico, modelamiento paramétrico, modelamiento semántico, programación visual entre otros conocimientos integrales que le permiten al usuario, mediante la identificación de las necesidades y potenciales, formular los objetivos a cumplir con cualquier proyecto encomendado.

Si bien la matriz de resumen no evidencia un reto claro por cumplir en términos de cualificación y formación de personal, si es importante recalcar que estas temáticas al ser tan novedosas, y estar aún en procesos de consolidación, tanto conceptual, como metodológicamente, requieren de espacios académicos formales, que permitan fortalecer estos nuevos conocimientos dentro de los pensum de las disciplinas propias del entendimiento territorial, para lograr fortalecer los perfiles profesionales logrando así una mayor posibilidad de consolidar estos procesos y su replicación en el tiempo.

Nuevamente la **diversidad** es identificada por la matriz, como un criterio relevante, pero en esta ocasión presenta un peso similar desde las categorías de **similitud** y **retos** bajo la variable **Implementación de mecanismos de potenciación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación**, la cual describe uno de los aspectos relevantes, para determinar el nivel de impacto social que puede tener una iniciativa de carácter tecnológico bajo metodologías SIG, BIM y CIM, para lograr generar espacios de participación ciudadana, donde se expresen ideas para la co creación de procesos de planificación y diseño urbano.

Este hallazgo permite evidenciar como la gran mayoría de los estudios de caso facilitan mecanismos de interacción con el público objetivo, fortaleciendo de esta manera los procesos de inclusión y participación que democratizan la toma de decisiones.

A su vez la matriz resumen evidencia un peso similar entre las categorías de similitud y retos, y esto en gran medida puede obedecer a que, si bien la mayoría de los estudios de caso plantean plataformas de divulgación e interacción con comunidades, algunos proyectos por su tipología o etapa de desarrollo, no priorizaban estas necesidades.

Otro criterio importante evidenciado por la matriz resumen, es la **complejidad** analizada desde la categoría de **similitud**, logrando identificar las variables, **orientación de las iniciativas inteligentes**

**a todos o a varios de los subsistemas urbanos y la Integración o, al menos, conexión entre diferentes plataformas metodológicas de carácter tecnológico,** siendo la primera relevante cuando hablamos del territorio, desde la visión sistémica, y la posibilidad de comprender los fenómenos tangibles e intangibles, por medio de métodos más flexibles, que faciliten la interconexión y transdisciplinariedad de las fuentes de origen de datos de múltiples sub sistemas urbanos.

El hallazgo evidenciado por la matriz resumen enuncia que varios de los casos de estudio tanto locales como foráneos, según su tipología y escala, agrupaban varios sub sistemas urbanos, esto con el fin de aprovechar al máximo la información disponible desde múltiples fuentes de origen y formatos.

Si bien la matriz resumen no presenta retos en esta variable, es importante aclarar que la identificación de los flujos de trabajo entre las diferentes metodologías propias del entendimiento territorial, facilitaran la interconexión de un número mayor de fuentes de datos, que potencialicen cada vez más esa relación de sub sistemas.

La segunda variable mencionada es también importante, pues determina el nivel de adaptabilidad de los métodos, herramientas y estrategias empleadas, para complementar los procesos tradicionales de planificar y diseñar el territorio, buscando generar especializaciones, análisis y representaciones mucho más integrales, que permitan comprender mejor los diferentes fenómenos físico espaciales que interactúan con el territorio.

El hallazgo evidenciado por la matriz resumen, identifica en cada estudio de caso como mínimo utilizó dos plataformas metodológicas de carácter tecnológico. Lo que permite deducir una

similitud sobre las metodologías empleadas en casi todos los proyectos analizados, donde SIG y BIM son metodologías recurrentes en su empleabilidad, para el desarrollo de los gemelos digitales.

Esto a su vez evidencia el nivel de flexibilidad que permiten ambas metodologías al integrarse, facilitando un mayor aprovechamiento de las fuentes de datos, para lograr generar flujos de trabajo, cada vez más robustos, complejos y diversos, que den respuesta a los fenómenos característicos de las ciudades del siglo XXI.

Finalmente, la categoría denominada **incertidumbre** planteada por la matriz y analizada desde la categoría de **similitud**, evidencia la variable, **Implementación de diseños de escenarios, para correlacionar la visión de futuro** como uno de los aspectos clave para determinar el nivel de flexibilidad y adaptabilidad de las iniciativas de implementación tecnológico bajo metodologías SIG, BIM y CIM, tiene que ver con la versatilidad en la generación de escenarios múltiples, para realizar procesos comparativos de carácter temporal, descriptivo o predictivo, que ayuden a determinar los impactos positivos o negativos en los territorios.

El hallazgo evidenciado por la matriz resumen demuestra que la construcción de escenarios planteados por los casos de estudio, son diversos tanto en su enfoque, como en las opciones que ofrece. De esta manera se puede comprender que los límites a la hora de generar escenarios, estarán delimitados por los alcances metodológicos que los objetivos de cada proyecto especifiquen.

De esta manera se logra identificar la priorización y el peso que representa cada criterio con sus respectivas variables, marcando un posible flujo de trabajo metodológico, para desarrollar cualquier tipo de implementación de carácter tecnológico, bajo metodologías propias del entendimiento territorial. Así pues, mediante la implementación del análisis correlacionado de los estudios de caso foráneos y locales

de múltiples escalas y tipologías, se logra identificar la recurrencia de criterios y variables mediante la categorización de dicha correlación, que ayudó a priorizar el orden de importancia y relevancia en los procesos tecnológicos, buscando una mayor interconexión transdisciplinarias entre las metodologías SIG, BIM y CIM.

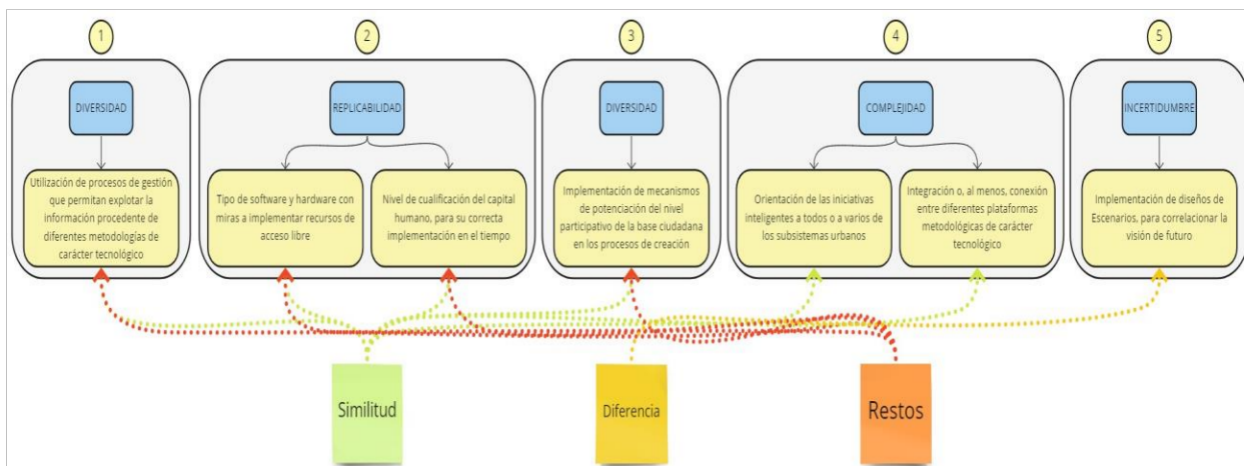


Ilustración 75 Diagrama de priorización de criterios y variables fuente elaboración propia

Igualmente teniendo en cuenta el piloto de modelo de información de ciudad CIM de escala macro elaborado, para integrar los cuatro casos de estudio locales, se puede identificar un flujo de trabajo, que facilita la comprensión de escalabilidad de la implementación de este tipo de desarrollos tecnológicos, buscando complementar los procesos tradicionales de planificación y diseño urbano.

Dicha escalabilidad, facilita la implementación de estos procesos metodológicos de manera más acotada y controlada, fomentando que los ejercicios se puedan direccionar, evaluar y replicar de una forma más efectiva y optimizada, logrando consolidar territorios informados, que se pueden ir sumando como un banco de datos, para ayudar en la construcción de ese modelo de información de ciudad de escala macro más integral, holístico y flexible, que potencialice su complejidad generando así, una mayor adaptabilidad en el tiempo, garantizando la sostenibilidad y la continuidad de los procesos y métodos tecnológicos en los ciclos evolutivos del territorio.

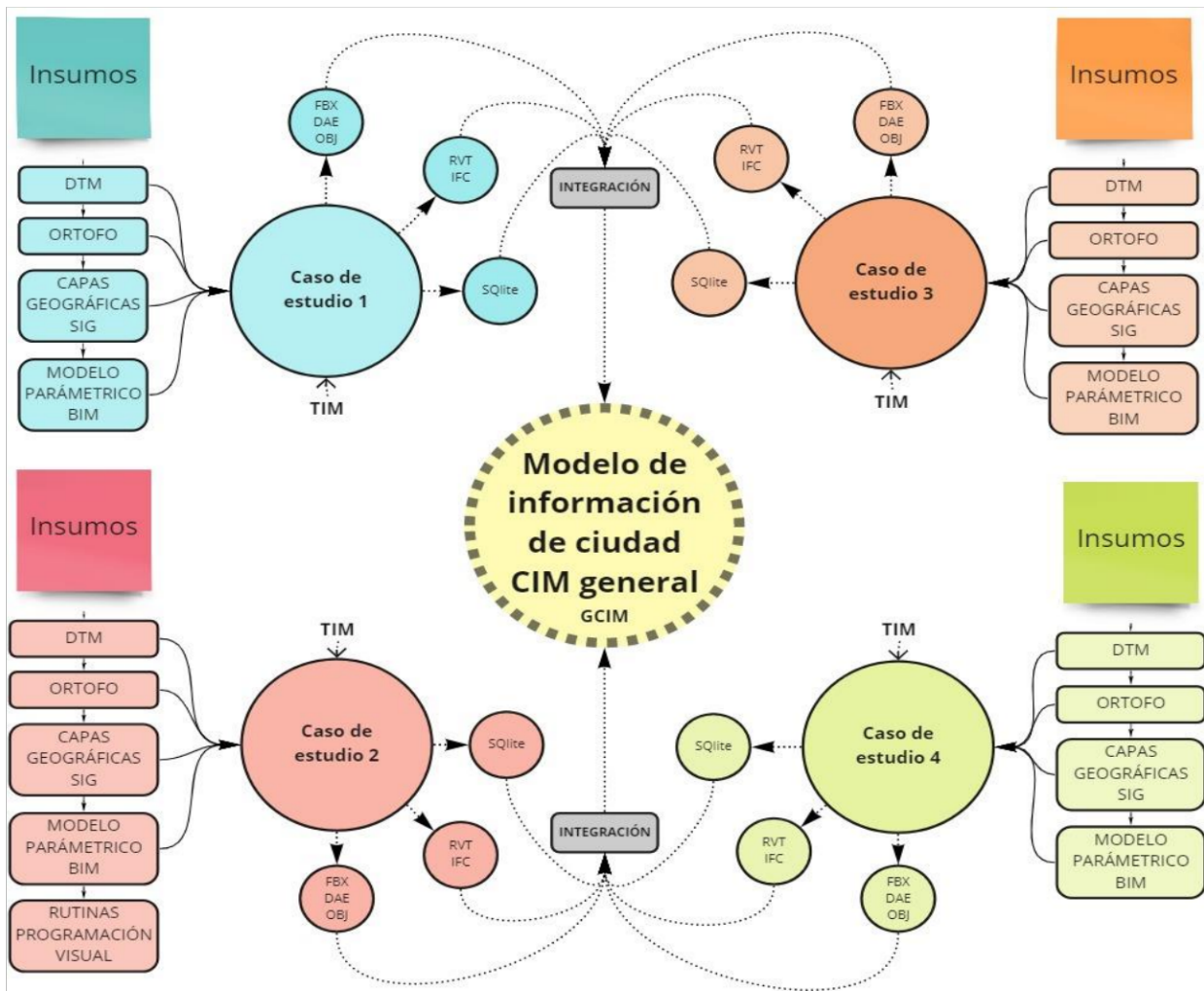


Ilustración 76 Diagrama de flujo de trabajo integración de modelos de territorios parciales articulados en el modelo de información de ciudad de escala macro fuente Elaboración propia

Así pues, se puede evidenciar unos hallazgos, que entregan una secuencia de criterios y variables priorizadas, para llevar a cabo implementaciones de carácter tecnológico, bajo metodologías propias del entendimiento territorial, que complementen y potencialicen los métodos tradicionales de planificación y diseño urbano. Por otro lado, mediante el desarrollo del piloto de modelo de información de ciudad de escala macro, se puede dilucidar otro resultado preliminar, que va en consonancia con los procesos de planificación y desarrollo del territorio, pues este se planifica bajo una visión a mediano plazo,

entendiendo que los territorios son dinámicos y cambiantes, y por tal motivo los instrumentos normativos, las estrategias, planes y proyectos también lo deben ser, para evitar la obsolescencia y falta de efectividad.

Es por esto que se plantea definir los modelos de información de territorios parciales cómo TIM (Territory information modeling), de manera que mediante la escalabilidad se pueda garantizar una construcción continuada y sincrónica de territorios informados, garantizando la actualización en el tiempo, y a su vez la sincronización con el modelo de información de ciudad de escala macro, el cual se plantea definir como modelo de información de ciudad general GCIM<sup>50</sup>, que consolide la base de espacialización, análisis y representación, para complementar la visión de una ciudad inteligente más integral y holística.

#### **4.1. RESULTADOS**

De acuerdo con los hallazgos identificados se puede evidenciar varios resultados importantes a tener en consideración, a la hora de buscar implementar desarrollos tecnológicos bajo metodologías propias del entendimiento territorial. Estos resultados logran identificar los potenciales y retos que supone dichas implementaciones, pero a su vez permite identificar los posibles flujos de trabajo, para desarrollar gemelos digitales TIM y GCIM, contribuyendo a complementar una visión más holística e integral del concepto de ciudad inteligente.

##### **4.1.1. POTENCIALIDADES**

Basado en los hallazgos de la categoría de similitudes se puede identificar las potencialidades que ofrece la implementación de estos desarrollos tecnológicos, las cuales están enmarcadas principalmente en la eficiencia, tanto de los procesos metodológicos, como en el tiempo de ejecución del modelamiento. Igualmente, el aumento de variables que complementen los procesos de espacialización, análisis y representación, son aspectos importantes a la hora de

---

<sup>50</sup> General city information model

reducir la incertidumbre en etapas conceptuales de los procesos de planificación y diseño urbano. Además, la minimización de los reprocesos, la identificación de inconsistencias en etapas tempranas y la optimización de los recursos económicos son otros aspectos que se logran potencializar a nivel general.

De igual manera la exposición de los casos de estudio, tanto locales como foráneos, resaltan los potenciales de cada desarrollo. Como se advirtió con anterioridad cada estudio de caso tiene sus propias particularidades, tanto a nivel de escala, como de tipología y de objetivos a cumplir, por lo que buscando obtener un resultado más general que logre identificar las posibles potencialidades producto de la implementación de estos desarrollos, se plantea sintetizar los aspectos potenciales de manera genérica y apalancado en las similitudes identificadas por el análisis de correlación realizado.

### **1. Orientación de las iniciativas inteligentes a todos o a varios de los subsistemas urbanos**

Mediante el aprovechamiento de información de múltiples fuentes de datos, para obtener nuevos insumos o variables de los diferentes sub sistemas urbanos, que potencialicen la geo espacialización, análisis y representación de los proyectos.

### **2. Integración o, al menos, conexión entre diferentes plataformas metodológicas de carácter tecnológico**

La interconexión de múltiples metodologías propias del entendimiento territorial, para una mayor optimización de la articulación de múltiples escalas y tipologías, buscando minimizar la incertidumbre a la hora de abordar procesos de planificación y diseño urbano.

### **3. Implementación de mecanismos de potenciación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación**



Mediante la implementación de los flujos de trabajo que articulan metodologías SIG, BIM y CIM, es posible generar plataformas de geo visores web 3d, para optimizar la comunicación e interacción, con los públicos de interés.

#### **4. Implementación de diseños de Escenarios, para correlacionar la visión de Futuro**

La interconexión de múltiples fuentes de datos bajo metodologías propias del entendimiento territorial, potencializa la generación de escenarios optativos, para realizar análisis descriptivos y predictivos, acerca de cualquier fenómeno tangible e intangible que sea susceptible de geo espacializar en el territorio.

Igualmente entendiendo los hallazgos arrojados por la matriz resumen de los análisis de correlación de casos de estudio, se puede identificar una clara priorización de criterios y variables, que son determinantes, para lograr una correcta implementación de desarrollos tecnológicos basados en metodologías SIG, BIM y CIM. Como se explicó en la síntesis interpretativa, las categorías para sumar la recurrencia de peso de las variables y los criterios, se definían por la similitud, diferenciación y retos, que representaba cada caso de estudio correlacionado. De allí se puede obtener los principales retos que supone llevar a cabo dichos desarrollos.

##### **4.1.2. RETOS**

#### **1. Utilización de procesos de gestión que permitan explotar la información procedente de diferentes metodologías de carácter tecnológico**

La correcta identificación, mediante la elaboración de un diagnóstico al interior de las entidades, para determinar su funcionamiento, manejo de la información, tanto de entrada como de salida, identificación de problemáticas, necesidades y oportunidades, será siempre un reto fundamental, para garantizar una correcta implementación de desarrollos tecnológicos.

## **2. Tipo de software y hardware con miras a implementar recursos de acceso libre**

La adquisición de recursos de hardware y software es clave a la hora de desarrollar cualquier implementación tecnológica, es por esto que se configura como un gran reto, para lograr consolidar tanto los procesos de los flujos de trabajo entre las metodologías, como a la hora de generar reportes y divulgación de la información. Si a esto se le suma una correcta articulación de software libre, se puede potencializar mucho más la sostenibilidad en el tiempo de dichas implementaciones.

## **3. Nivel de cualificación del capital humano, para su correcta implementación en el tiempo**

El conocimiento como base fundamental para consolidar la implementación de desarrollos tecnológicos bajo metodologías propias de entendimiento territorial, se convierte en un reto importante, no solo para las instituciones mediante la transferencia de conocimiento y lecciones aprendidas, sino que a su vez representa un desafío para las instituciones educativas y la incorporación de estos aprendizajes a sus programas curriculares, de manera que se actualice la oferta institucional y se cualifique las disciplinas profesionales del sector, ampliando así la oferta de personal cualificado.

## **4. Implementación de mecanismos de potenciación del nivel participativo de la base ciudadana en los procesos de creación**

Los procesos de co creación de abajo hacia arriba cada vez son más necesarios, si realmente se busca una apropiación de los constructos colectivos de la ciudad. Esto supone un reto constante en la necesidad de generar mecanismo de interacción con la sociedad, mediante la implementación de plataformas y canales de divulgación, donde no solo se comunique las ideas, sino que también se puedan recibir las observaciones, de manera que se logre consolidar procesos

de interacción más robustos y maduros que faciliten la participación ciudadana en las decisiones de ciudad.

#### **4.1.3. IDENTIFICACIÓN DE FLUJOS DE TRABAJO**

Los casos de estudio analizados, poseen una característica común que es de gran relevancia, y tiene que ver con el resultado modelado de cada ejercicio, el cual plantea delimitaciones de territorios parciales, que no permiten generar modelos de información de ciudad completos. Esta condición abre un nuevo escenario, en el cual cada implementación tecnológica, construye territorios informados parciales, que tiene una relación más directa con los reales procesos de gestión y desarrollo de los planes, y proyectos que buscan impactar positivamente los espacios geográficos. Bajo este nuevo panorama, se podría decir que los diferentes métodos de implementación de desarrollos tecnológicos en los procesos de planificación y diseño urbano que plantean los estudios de caso, se limitan a generar modelos de información de territorios TIM Territory information modeling.

Con base en los hallazgos encontrados, es importante comprender el método expuesto mediante el piloto desarrollado de integración, que demuestra una manera de cómo estos modelos de información de territorios, pueden construir el modelo de información de ciudad general GCIM<sup>51</sup>, lo que podría facilitar los procesos de implementación de los desarrollos tecnológicos, para optimizar y complementar los procesos de planificación y diseño urbano en territorios acotados, facilitando la consolidación de Espacios geográficos inteligentes, que soporten a futuro una visión de ciudad inteligente holística e integral.

---

<sup>51</sup> General Cityinformation Model

De esta manera las implementaciones de iniciativas de modelos de información de ciudad, se podrían trabajar parcialmente por unidades espaciales más acotadas y continuadas en el tiempo. El modelo de información de territorio TIM<sup>52</sup> planteado desde la misma óptica del CIM, pretende abordar con la misma metodología procesos de captura, procesamiento, análisis, espacialización, representación y comunicación de datos informáticos, de múltiples fuentes y formatos de origen, pero a una escala de unidad territorial parcial, como en gran medida se ejecutan los desarrollos urbanos en las ciudades. Facilitando de esta manera la escalabilidad en el tiempo de la implementación de un modelo de información de ciudad general GCIM.

Así mismo comprendiendo que las metodologías abordadas SIG, BIM y CIM, desde la teoría, su conceptualización e implementación a partir de los estudios de caso, ayudan a evidenciar, que existe una clara diferencia entre el concepto teórico y los posibles métodos de implementación. Esto se puede observar claramente en el análisis comparativo realizado entre los 4 casos de estudio, los cuales, si bien implementan en su totalidad las tres metodologías, la escala, la tipología y los objetivos por cumplir, determinan una manera flexible de estructurar los flujos de trabajo que ayuden a interconectar dichos métodos.

Una vez entendido esto, se puede decir que CIM como metodología general, aprovecha la integración de fuentes de datos de múltiples orígenes bajo las metodologías SIG y BIM, además de otras fuentes de datos complementarias, para garantizar un correcto desarrollo de gemelos digitales territoriales. Ahora bien, como se puede observar en los resultados de los casos de estudio, tanto locales como foráneos, el impacto de desarrollo de los proyectos es puntual o parcialmente delimitado en el territorio, lo que supondría una limitación a la hora de pretender

---

<sup>52</sup> Territory Information Model

---

generar un gemelo digital de información de ciudad general GCIM<sup>53</sup>, con el objetivo de dar soporte a una visión de ciudad inteligente más holística e integral.

Entendiendo dicha limitación de la implementación metodológica utilizada por los estudios de caso correlacionados, se puede entender la importancia que cobra el ejercicio piloto de integración de gemelos digitales TIM<sup>54</sup>, para lograr conformar un gemelo digital GCIM. Cabe anotar que allí nuevamente se sigue trabajando con la metodología CIM, pero en esta ocasión los flujos de trabajo varían, pues debe adaptarse a nuevos formatos de origen informático, que están determinados, por las opciones de salida o exportación que ofrece dichos gemelos digitales TIM ver ilustración 76.

A su vez el modelo de información de ciudad general GCIM, mediante la integración de los modelos de información de territorios TIM, permite la construcción paulatina, sincrónica, acotada y controlada del gemelo digital de ciudad general, el cual puede servir de base fundamental de espacialización, análisis y representación de fenómenos tangibles e intangibles que interactúan con los sujetos y los objetos en el territorio. Para ello la implementación de las múltiples fuentes de datos bajo metodología SIG, BIM y CIM, son claves a la hora de integrar los diferentes sub sistemas urbanos, que faciliten la consolidación de una visión de ciudad inteligente más holística e integral. Retomando la visión más holística e integral de la ciudad inteligente donde sus 6 eje fundamentales (la economía, la movilidad, el medio ambiente, las personas, la convivencia y la gobernanza), son potencializados por la tecnología. Logrando comprender como el flujo de trabajo identificado mediante el análisis de los estudios de caso, y la unión con el piloto desarrollado, aportan a optimizar la escalabilidad y replicabilidad de los proyectos mediante la implementación

---

<sup>53</sup> General City Information Model

<sup>54</sup> Territory Information Model

de herramientas tecnológicas bajo metodologías SIG, BIM y CIM. Lo que en definitiva permite comprender como los gemelos digitales bajo metodología CIM, aportan en la construcción de una visión de ciudad inteligente más holística e integral.

## **CAPITULO 5**

### **5. REVISIÓN CRITICA**

Con el objetivo de someter los resultados evidenciados por el trabajo de investigación, se plantea generar una revisión bajo tres criterios, que ayuden a determinar el nivel de veracidad y certeza que poseen los resultados y conclusiones, de manera que los posibles lectores puedan apalancar sus líneas de interés investigativo basados en dichos aportes. Para ello se define los siguientes criterios: Plausibilidad, validez y rigor.

#### **5.1. Plausibilidad**

El ejercicio realizado aborda desde los criterios teóricos, la definición de metodologías y conceptos, que apalancan la generación de gemelos digitales de territorios, que mediante el estudio de casos locales e internacionales, busca comprender e identificar mejor, los flujos de trabajo de escalas y temporalidades múltiples, facilitando el entendimiento de relacionamiento y complementariedad, mediante el hallazgo de aportes y retos que existe entre las metodologías SIG, BIM, CIM y el concepto de ciudad inteligente. Para ello se realiza una exhaustiva búsqueda de bibliografía científica que cumpliera con factores determinantes, como el nivel de actualidad de las publicaciones, buscando no referenciar documentos con más de 10 años de antigüedad, para la construcción del marco teórico. Y para los estudios de caso, se buscaba que las publicaciones no superaran los 3 años de antigüedad, logrando así un nivel de actualidad, que fortaleciera la veracidad y pertinencia de los análisis. De igual manera

la relación de las palabras clave de las publicaciones con la temática de la investigación, garantizaba la objetividad del contenido publicado.

Así mismo metodológicamente hablando se construye una matriz de análisis correlacional que contiene criterios y variables provenientes de publicaciones científicas que abordan el concepto de ciudad inteligente de manera cualitativa y no cuantitativa, buscando orientar los análisis a la identificación de aportes y retos que suponen la implementación de estas iniciativas de carácter tecnológico, en clave de la cuarta revolución industrial. Finalmente se construye una matriz resumen de análisis correlacional de casos de estudio, que busca identificar mediante la clasificación de tres categorías, el comportamiento analítico de cada caso de estudio correlacionado, buscando agregar un peso a cada variable y criterio, para determinar una posible priorización, que determine un flujo de trabajo viable, para llevar a cabo desarrollos tecnológicos de esta índole. De esta manera se logra garantizar que los resultados arrojados por esta investigación poseen un nivel de plausibilidad, tanto por las fuentes bibliográficas consultadas, como por los instrumentos metodológicos empleados en las diferentes etapas de desarrollo investigativo.

## **5.2. Validez**

La validez y pertinencia del ejercicio, parte de identificar las necesidades y retos planteados por la cuarta revolución industrial, la cual busca el mayor aprovechamiento de los datos informáticos, para optimizar los procesos de cada disciplina del conocimiento humano. Para ello las metodologías SIG, BIM y CIM son fundamentales en el campo de la planificación y el diseño urbano, las cuales a su vez complementan los componentes de articulación, interconexión, espacialización, análisis y representación de información bidimensional y tridimensional del concepto de ciudad inteligente. De igual manera la teorización se aborda

desde diferentes autores y visiones, que ayudan a ampliar el espectro de análisis, al igual que la selección de los casos de estudio, tanto locales como internacionales, que permiten identificar las diferentes escalas, tipologías y objetivos a cumplir, logrando ampliar el rango de análisis y comprensión de los posibles aportes y retos que supone llevar a cabo dichas implementaciones.

### **5.3. Rigor**

El nivel de rigor se plantea revisarlo desde dos criterios fundamentales, el valor de verdad y la aplicabilidad, de manera que se pueda evidenciar la calidad de las muestras analizadas y el nivel de replicabilidad que ofrece los resultados hallados por el trabajo de investigación.

#### **5.3.1. Valor de verdad**

Partiendo de la necesidad de buscar la mayor validez y pertinencia, y advirtiendo lo prematuro de la conceptualización y definición de métodos estandarizados para abordar esta temática, se recurre a documentación de carácter científico, que ayude a soportar la descripción, análisis, reflexión, resultados y conclusiones, tanto en las etapas de teorización, como en las etapas de análisis de estudios de casos, buscando la mayor objetividad, que permita respaldar los resultados y conclusiones halladas por este trabajo de investigación. Permitiendo de esta manera que dicho trabajo sea objeto de referencia para nuevas investigaciones, que busquen profundizar en los conceptos expuestos o afines.



### **5.3.2. Aplicabilidad**

Los resultados hallados en el trabajo de investigación, al tratarse de procesos metodológicos que evidencien posibles flujos de trabajo entre las diferentes metodologías como SIG, BIM, CIM y los posibles aportes y retos que representa dicha implementación, poseen un nivel de replicabilidad amplio, en el cual ni la condición espacial de escala, ubicación o tipología, permite limitar el uso de estas metodologías y sus flujos de trabajo. Por el contrario, dichos resultados son susceptibles de utilizar en cualquier desarrollo de carácter tecnológico, siempre y cuando cumpla con los mínimos insumos requeridos, para emplear las metodologías SIG, BIM y CIM, con miras a complementar los procesos de planificación y diseño urbano.

## 6. CONCLUSIONES

1. Las metodologías SIG, BIM y CIM, aplicadas a los procesos de planificación, diseño y construcción, permiten optimizar y minimizar los reprocesos a la hora de tomar decisiones. Pero a su vez logran evidenciar que independientemente de la escala, tipología y objetivos a cumplir, los flujos de trabajo y metodologías empleadas son muy similares, lo que permite dar mayor validez y pertinencia a los casos de estudio locales evaluados.
2. Los flujos de trabajo identificados por medio de los análisis de correlación de casos de estudio, permiten evidenciar posibles metodologías de implementación de acuerdo con la escala, tipología y objetivos a cumplir, pero a su vez evidencia los retos que implica llevar a cabo dicha implementación, en términos de adquisición de hardware, software, personal cualificado y definición de diagnóstico y formulación metodológica, que garanticen una correcta ejecución del proyecto y su posible replicabilidad en otros territorios.
3. CIM como concepto y metodología, se convierte en la base de graficación de información alfa numérica y geográfica, para una visión de ciudad inteligente más holística e integral, potencializando de esta manera la integración de múltiples escalas y temporalidades que facilite la espacialización, análisis representación y divulgación de los fenómenos físicos espaciales tangibles e intangibles que interactúan con los sujetos y objetos en el territorio.
4. Por medio de la matriz resumen de análisis correlacional de casos de estudio, se puede evidenciar una posible priorización de criterios y variables, que ayuden a realizar una correcta implementación de desarrollos tecnológicos bajo metodologías SIG, BIM y CIM, para complementar los procesos tradicionales de planificación y diseño urbano, fortaleciendo así la relación entre organizaciones, tecnologías y territorios que puedan aprovechar al máximo los insumos informáticos en común.

5. Mediante la síntesis interpretativa se logra evidenciar el alcance limitado de los proyectos expuestos por los casos de estudio, tanto locales como internacionales, en donde su nivel de impacto territorial es puntual o parcial, y como mediante el desarrollo del proyecto piloto de articulación de modelos de territorios parciales, se logra integrar los casos de estudio locales, buscando generar un modelo de información de ciudad general. De igual manera dicha integración logra evidenciar la importancia de definir dos conceptos nuevos que ayuden a comprender el impacto y alcance a nivel territorial de las implementaciones tecnológicas, para ello se define TIM (Territory information model), para los modelos de territorios parciales, y GCIM (General city information model), para los modelos integradores de gemelos digitales de territorios parciales, buscando consolidar esa visión macro, que complemente la visión de ciudad inteligente más holística e integral.
6. Si bien se ha expresado que esta temática, aún está en proceso de construcción, tanto a nivel conceptual, como procedimental; es claro que ya existen importantes avances tanto teóricos, como prácticos, que ayudan a identificar mediante la implementación de metodologías SIG, BIM y CIM, la comprensión de sus orígenes, aportes y retos que representan para el sector de la planificación y el diseño urbano arquitectónico, logrando identificar claramente los potenciales de desarrollo que permiten dichos complementos a los procesos tradicionales existentes.
7. Mediante la exposición conceptual del término CIM, se logra comprender las diferentes visiones planteadas por académicos, que buscan fortalecer la definición conceptual y metodológica del término CIM, permitiendo ampliar las posibilidades de emplear dicho método como base complementaria, conceptual y metodológica de las visiones de ciudad inteligente, facilitando así una mejor comprensión de sus orígenes y planteamientos,

evidenciando los aportes y retos que conlleva desarrollar cualquiera de estas visiones, en el marco de la cuarta revolución industrial.

8. La construcción de conocimiento académico y empírico continuo, contribuirá al fortalecimiento y consolidación de esta temática, con miras a complementar los procesos tradicionales del sector de la planificación y diseño urbano arquitectónico, logrando así dar respuesta a los retos planteados por la cuarta revolución industrial en clave de la globalización y la ciudad inteligente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amorim, A. L. (2015). *Discutir el modelado de información de la ciudad (cim) y conceptos relacionados*. 10(Cim), 87–99. <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/103163>
- Amorim, L. S. Y. A. L., Bahía, U. F. De, & Bahía, S. (2018). Conceptualización. *Revista Estadounidense de Investigación En Ingeniería (AJER) e-ISSN:*, 7, 319–324. <http://www.ajer.org/volume7issu10.html>
- Batty, M. (2016). How disruptive is the smart cities movement? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(3), 441–443. <https://doi.org/10.1177/0265813516645965>
- Bröcker, J., Korzhenevych, A., Schürmann, C., Blondeau, S., Gunnell, Y., Jarman, D., Elleder, L., Krejčí, J., Racko, S., Daňhelka, J., Šírová, J., Kašpárek, L., Reinhart, V., Fonte, C. C., Hoffmann, P., Bechtel, B., Rechid, D., Boehner, J., Boda, F., ... Sărăcin, A. (2017). GeoDesign: Concept for Integration of BIM and GIS in Landscape Planning. *Global and Planetary Change*, 2(September 2020).
- Buzai D., G. D. (2001). Geografía global el paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI. *Estudios Geograficos*, 245, 621–648. <https://doi.org/10.3989/egeogr.2001.i245.269>
- Chowdhury, S., & Schnabel, M. A. (2018). *Una metodología algorítmica para predecir la forma urbana : un instrumento para el diseño urbano*. [https://www.researchgate.net/publication/325324703\\_An\\_Algorithmic\\_Methodology\\_to\\_Predict\\_Urban\\_Form\\_An\\_Instrument\\_for\\_Urban\\_Design/citations](https://www.researchgate.net/publication/325324703_An_Algorithmic_Methodology_to_Predict_Urban_Form_An_Instrument_for_Urban_Design/citations)
- Çoltekin, A., Griffin, A. L., Slingsby, A., Robinson, A. C., Christophe, S., Rautenbach, V., Chen, M., Pettit, C., & Klippel, A. (2020). Geospatial Information Visualization and Extended Reality Displays. In *Manual of Digital Earth*. [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3_7)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *Datos, algoritmos y políticas: la redefinición del mundo digital (LC/CMSI.6/4)*. 186. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/43477>
- Fernández Güell, J. (2015). Ciudades inteligentes: la mitificación de las nuevas tecnologías como respuesta a los retos de las ciudades contemporáneas. *Economía Industrial*, 395, 17–28.
- Franco, I. D. (2020). Medellín-Barcelona: Redefining the ways of cooperation and Urban policy circulation (1995-2017). *Iberoamericana*, 20(74), 101–124. <https://doi.org/10.18441/ibam.20.2020.74.101-124>
- Fuenzalida, M. Buzai, G. D. Moreno J. A. Garccia de Leon, A. (2015). Conceptos fundamentales del análisis espacial que sustentan la investigación científica basada en geotecnologías. In *Geografía, Geotecnología y Análisis Espacial: tendencias, métodos y aplicaciones*. <https://doi.org/10.5703/philrothstud.11.2.67>
- Gil, J., Almeida, J., & Duarte, J. P. (2011). *La columna vertebral de un modelo de información de la ciudad (CIM)*. *ESP. Cim*, 143–151. <http://predmet.fa.uni-lj.si/ecaade2011/>
- Governance, C. (2015). *CPA-I\_001-v2\_Anatomy City Anatomy : November*.
- Green, B. (2019). *1. La ciudad inteligente: una nueva era en el horizonte*. 1–14.
- Husár, M. (2017). *Las ciudades inteligentes y la idea de la inteligencia en el desarrollo urbano: una revisión crítica - IOPscience*. 0–8. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/245/8/082008>
- Kitchin, R. (2014). *¿ La ciudad en tiempo real ? Big data y urbanismo inteligente*. 1–14.
- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C. P., Li, X., & Liu, R. (2017). A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>
- Martín-Cabello, A. (2013). Sobre los orígenes del proceso de globalización \* On the origins of the globalization process. In *methaodos. Revista de ciencias sociales* (Vol. 1, Issue 1, pp. 7–20). <https://doi.org/10.17502/m.rcs.v1i1.22>

- Méndez, R. (2007). El territorio de las nuevas economías metropolitanas. *Eure*, 33(100), 51–67. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612007000300004>
- Molano Camargo, F. (2016). El derecho a la ciudad: de Henri Lefebvre a los análisis sobre la ciudad capitalista contemporánea. *Folios*, 1(44), 3–19. <https://doi.org/10.17227/01234870.44folios3.19>
- Murgante, B., & Borruso, G. (2014). Smart City or Smurfs City. In *Computational Science and Its Applications* (Vol. 8580, pp. 738–749). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09129-7\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09129-7_53)
- Palacios Roberto, P. E. (2018). Renovación urbana y desterritorialización. Análisis del Plan Parcial Estación Central Bogotá. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 5(2), 35–52. <https://doi.org/10.15446/cep.v5n2.68083>
- Pribyl, O., Lom, M., & Pribyl, P. (2017). Smart charles square: Modeling interconnections of basic building blocks in smart cities. *2017 Smart City Symposium Prague (SCSP)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SCSP.2017.7973351>
- Quezado, M., & Lima, C. (2016). ( CIM ) EN URBANISMO SESIÓN TEMÁTICA : *Anparq, IV(Cim)*. [http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-4/SESSAO 14/S14-05-LIMA, M.pdf](http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-4/SESSAO%2014/S14-05-LIMA,%20M.pdf)
- Sabri, S., Chen, Y., Rajabifard, A., Lim, T. K., Khoo, V., & Kalantari, M. (2019). A MULTI-DIMENSIONAL ANALYTICS PLATFORM TO SUPPORT PLANNING AND DESIGN FOR LIVEABLE AND SUSTAINABLE URBAN ENVIRONMENT. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-4/W15*, 75–80. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W15-75-2019>
- Soja, E. W. (2008). *Postmetrópolis*.
- Yan, J., Zlatanova, S., Aleksandrov, M., Diakite, A. A., & Pettit, C. (2019). INTEGRATION OF 3D OBJECTS AND TERRAIN FOR 3D MODELLING SUPPORTING THE DIGITAL TWIN. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IV-4/W8*, 147–154. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W8-147-2019>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

El objetivo de este glosario de términos, es ayudar en la comprensión lectora de los documentos asignados, de manera que se logre un conocimiento mayor y enriquecedor para su que hacer profesional.

### Smart city:

La definición de Smart city pasa por ser aquella ciudad capaz de utilizar la tecnología de la información y comunicación (TIC) con el objetivo de crear mejores infraestructuras para los ciudadanos.

Desde transporte público, pasando por ahorro energético, sostenibilidad o eficiencia en todos sus aspectos.

Para dar respuesta a los nuevos retos, las smart city o ciudad inteligente apuestan por:

Competitividad

Colaboración

Planificación

Creatividad

Sostenibilidad, I + D + i

En definitiva, es la combinación de personas, tecnología y creatividad para hacer más sostenible y eficiente a cualquier ciudad del mundo. De alguna manera, las smart cities dotan a los ciudadanos de herramientas para que aporten mayor valor a la ciudad.

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica (Gis – Geographic Information Systems)

Es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas.

**BIM:** Building Information Modeling

Es una 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.

**CIM:** City Information Modeling (Modelo de ciudad informacional)

Toma esencialmente el mismo concepto y lo aplica a la vida real, con una plataforma enormemente sofisticada que permite a arquitectos, planificadores y otros profesionales colaborar en proyectos y diseños para toda la ciudad.

**IOT: Internet Of Things (El internet de las cosas)**

Se refiere a la interconexión en red de todos los objetos cotidianos, que a menudo están equipados con algún tipo de inteligencia. En este contexto, Internet puede ser también una plataforma para dispositivos que se comunican electrónicamente y comparten información y datos específicos con el mundo que les rodea. Así, la IoT puede verse como una verdadera evolución de lo que conocemos como Internet añadiendo una interconectividad más extensa, una mejor percepción de la información y servicios inteligentes más completos.

**Big data: (Macrodatos)**

Son muchas las definiciones que podemos encontrar sobre el concepto de Big Data, pero todas ellas tienen en común describir a este fenómeno tecnológico como el conjunto de recursos que permiten la gestión y análisis de cantidades ingentes y masivas de datos, con un alcance y dimensiones en constante crecimiento y sin parangón en la historia de la tecnología. En la definición del Big Data, también se acepta comúnmente su caracterización a través de las denominadas “las 3 ues”: volumen, variedad y velocidad.

**Datos:**

Un dato es un documento, una información o un testimonio que permite llegar al conocimiento de algo o deducir las consecuencias legítimas de un hecho.



**Inteligencia artificial: (IA Artificial intelligent)**

Conceptos referidos a la simulación de procesos de inteligencia humana por parte de máquinas, especialmente sistemas informáticos y al aprendizaje automatizado, respectivamente.

**Gemelo digital:**

Son réplicas virtuales dinámicas de productos o procesos que, con ayuda de otras tecnologías como el big data y el IoT, permiten conocer el funcionamiento presente y el comportamiento futuro de dichos productos o procesos a través de sus equivalentes digitales, obteniendo datos de los sensores a tiempo real.

**Digitalización:**

Es el proceso por el cual se emplean nuevas tecnologías digitales y se utilizan los datos que pueden ser procesados gracias a ellas, para conseguir la optimización y la estandarización de los procesos, ahorrando tiempo y recursos.

**Transformación digital:**

Este concepto lleva implícito la disrupción de las estrategias empresariales y los modelos de negocio. No es lo mismo digitalizar las estrategias que adaptarse al entorno digital. Es decir, la transformación digital va más allá e incluye el planteamiento de cambios culturales, estratégicos y de operaciones dentro de la organización, para competir en el nuevo entorno digital.

**Sensoramiento remoto:**

Hace referencia a la técnica empleada para adquirir información sobre un objeto o fenómeno sin hacer contacto físico con él, a través de sensores ubicados en plataformas aerotransportadas (aviones tripulados o no tripulados - UAV) o aeroespaciales (satélites).

**Bases de datos:**

Una base de datos relacional está compuesta por tablas con relaciones que, a su vez, contienen registros de datos. Cada tabla está relacionada mediante claves o códigos que aseguran su integridad.

**Geo portal:**

Es un espacio web que permite acceder vía internet a información espacial o geográfica, a servicios de consulta, edición, análisis y entre otros. Estos geoportales son la esencia de la IDE (infraestructura de datos espaciales) las cuales son la base y conjunto de estándares tecnológicos, políticos y recursos institucionales que operan con información espacial para adquirir, procesar, almacenar y distribuir información geográfica.

**Geo visors:**

Es la herramienta principal de un geo portal ya que es el medio por el cual se visualiza la información espacial de la base geográfica que se tiene a disposición para consulta.

**TIC Tecnologías de la información y las comunicaciones:**

Son el conjunto de tecnologías desarrolladas para gestionar información y enviarla de un lugar a otro. Abarcan un abanico de soluciones muy amplio. Incluyen las tecnologías para almacenar información y recuperarla después, enviar y recibir información de un sitio a otro, o procesar información para poder calcular resultados y elaborar informes"

**Variables:**

Derivada del término en latín *variabilis*, variable es una palabra que representa a aquello que varía o que está sujeto a algún tipo de cambio. Se trata de algo que se caracteriza por ser inestable, inconstante y mudable. En otras palabras, una variable es un símbolo que permite identificar a un elemento no especificado dentro de un determinado grupo.

**Complejidad urbana:**

Este concepto atiende a cómo se organiza la ciudad en cuanto a la distribución en el territorio de usos y funciones, pero teniendo en cuenta las interacciones y relaciones que se establecen en la ciudad entre las personas jurídicas, es decir, asociaciones actividades económicas, equipamientos, instituciones, etc. Por tanto, para este eje y su determinación en el espacio, será fundamental el concepto de diversidad.

**Incertidumbre urbana:**

Se da cuenta de la suma e interacción entre los efectos no previstos por cada decisión tomada en el proceso de planificación. Con esto se retoma el problema dahrendorfiano respecto a que en la vida social existe incertidumbre en tres sentidos: no saber lo que se podría saber, tener información que no se sabe si es verdadera o falsa, o bien, saber que existe información potencialmente obtenible pero técnicamente inalcanzable en la actualidad

**Diversidad urbana:**

La diversidad cuando se habla de alcanzar la sustentabilidad en áreas urbanas, es un concepto que considera dos componentes: la mezcla de usos de suelo (ocupación) y la

---

multiplicidad de sus habitantes-usuarios (ocupantes). Lo anterior en el contexto del discurso del Desarrollo Urbano Sustentable y la noción de las ciudades como sistemas complejos.

**Integración urbana:**

Es un atributo requerido para el desarrollo de ciudades sustentables, y es también una demanda importante al considerar potenciales reformas de políticas urbanas a escalas central, regional y local. Hoy también ha surgido con fuerza un debate sobre su nexos con la instalación de estructuras e instrumentos de gobierno metropolitano.

**Transdisciplinariedad urbana:**

Implica la intersección de diferentes disciplinas, provocando atravesamientos entre campos capaces de posibilitar múltiples visiones simultáneas del objeto en estudio. Los campos disciplinarios constituyen estructuras; interaccionando entre sí, que producen relaciones, de poder técnico, pero existen también posibilidades de intersección entre las disciplinas.

**Inteligencia urbana:**

Capacidad colectiva de re-pensar y transformar la ciudad en un espacio de igualdad y progreso moral es un acto revolucionario en sí mismo, no de nuestros días, sino desde el origen mismo de la sociedad gregaria.

**Sostenibilidad urbana:**

Una sociedad sustentable utilizaría el crecimiento material como una herramienta y no como un objetivo final. Una sociedad sustentable aplicaría sus adquisiciones y su mejor conocimiento de los límites de la tierra para elegir solamente el tipo de crecimiento que sirviera en realidad a los objetivos sociales, económicos, ecológicos y entorno construido, reforzando la

idea de desarrollo y, por ende, de la sustentabilidad. Una sociedad sustentable no mantendría las actuales condiciones de desigualdad en los ingresos y distribución de los recursos. Con certeza, lucharía contra la erradicación de la pobreza. Cualquier sociedad sustentable debe aportar seguridad y suficiencia material para todos

### **Eficiente**

Encaminados a optimizar los procesos productivos o de toma de decisiones, incluyendo proyectos asociados al Internet de las Cosas, eficiencia en la gestión logística y de flotas, o de optimización en la gestión de reclamaciones y devoluciones.