



UNIVERSIDAD DE  
SAN BUENAVENTURA

# SMART CITIES Y ACÚSTICA SOSTENIBLE

Universidades Red RUMBO







UNIVERSIDAD DE  
SAN BUENAVENTURA



# SMART CITIES Y ACÚSTICA SOSTENIBLE

Universidades Red RUMBO



  
EDITORIAL  
BONAVENTURIANA

**Smart-cities en Colombia:** un camino de consolidación desde la academia / Universidades Red RUMBO – Bogotá: Editorial Bonaventuriana, 2020.

345 páginas ; ilustraciones a color, fotografías y gráficas.

ISBN: 978-958-8928-87-6

1. Urbanismo – Innovaciones Tecnológicas. – 2. Ciudades Inteligentes. – 3. Industria – Innovaciones Tecnológicas. – 4. Internet de las Cosas. – 5. Métodos de Simulación. – 6. Redes de Telecomunicaciones.

CDD. 711.4



### **SMART CITIES Y ACÚSTICA SOSTENIBLE**

Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Buenaventura  
Colombia

© Editorial Bonaventuriana, 2020  
Universidad de San Buenaventura  
Carrera 9 N.º 123-76, oficinas 602-603  
PBX: 57 (1) 629 5955  
[www.usb.edu.co](http://www.usb.edu.co)  
Bogotá - Colombia

Rector: Fray Pierre Guillén Ramírez, O.F.M.  
Coordinador editorial: Pablo Enrique Sánchez  
Jefe Unidad de Publicaciones: Camilo Sánchez Sánchez  
Diseño y diagramación: Alejandra Moreno Fuya

Fotografía de la portada tomada del proyecto de investigación Validación de rendimiento y dinámica de vuelo de una aeronave no tripulada multipropósito. Grupo de Investigación en Tecnología Aeroespacial, AeroTech. Universidad de San Buenaventura. Bogotá D.C., Colombia

#### **Aviso Legal**

El autor es responsable del contenido de la presente obra.

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier medio, sin permiso escrito de la Editorial Bonaventuriana.

Derechos reservados de la Universidad de San Buenaventura

**ISBN: 978-958-8928-87-6**

**Depósito legal:** se da cumplimiento a lo estipulado en la Ley 44 de 1993, Decreto 460 de 1995 y Decreto 358 de 2000.  
Impreso en Colombia - *Printed in Colombia.*

# Contenido

Prólogo .....	15
---------------	----

## Parte I

### • CAPÍTULO I •

Creación de un recorrido virtual del barrio Minuto de Dios .....	27
<b>1. Introducción.....</b>	<b>29</b>
<b>2. Recorridos virtuales.....</b>	<b>30</b>
2.1. Unity 3D para la creación del recorrido virtual.....	31
2.1.1 Sketchup, herramienta de modelado y diseño .....	32
<b>3. Metodología .....</b>	<b>32</b>
3.1. Creación del escenario del recorrido virtual: geo-referenciación barrio Minuto de Dios.....	33
3.1.1 Planificación del modelado 3D.....	33
Socialización del Proyecto a residentes del barrio .....	33
Identificación de manzanas.....	33
Modelado de predios .....	34
Sistema de información.....	36
3.1.2 Capacitación de participantes.....	37
Talleres de modelado.....	37
Asignación de predios .....	37
Diligenciamiento de fichas de información .....	38
3.1.3 Modelado y seguimiento.....	38
Seguimiento del proceso .....	39

3.1.4 Conformación del barrio.....	39
3.2. Diseño del recorrido virtual en Unity 3D.....	40
3.2.1 Actualización del barrio digital.....	40
3.2.2 Creación del recorrido virtual.....	41
Configuración del Terreno.....	41
Incorporación de Objetos 3D .....	42
Diseño de objetos para la navegación .....	43
Explicación del Juego.....	44
Uso de Minimapa.....	45
<b>4. Resultados .....</b>	<b>46</b>
4.1. Barrio Geomodelado .....	46
4.2. Recorrido virtual en Unity .....	47
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>48</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>52</b>

• CAPÍTULO II •

Ibagué como ciudad inteligente: Mecanismos de inclusión a la ciudadanía.....	55
<b>1. Introducción.....</b>	<b>57</b>
<b>2. Procedimiento .....</b>	<b>60</b>
2.1 Verificación bibliográfica: .....	60
2.2. Instrumentos de medición.....	63
2.3. Aplicación de medición .....	65
<b>3. Resultados .....</b>	<b>67</b>
3.1 Movilidad.....	68
3.2 Entorno del ciudadano.....	70
3.3. Gobierno.....	74
3.4 Personas inteligentes .....	75
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>75</b>
<b>5. Bibliografía .....</b>	<b>77</b>

## • CAPÍTULO III •

Ecourbanismo y diseño paisajístico con lepidópteros para el espacio público.....	79
<b>Introducción .....</b>	<b>81</b>
Ecourbanismo y sostenibilidad urbana.....	82
Las construcciones inspiradas en micro-hábitats de especies autóctonas y su contribución al paisajismo urbano.....	83
Plantaciones nectaríferas hospederas para lepidópteros: una contribución al paisajismo.....	89
Reconocimiento de los espacios públicos .....	90
Plantas útiles para trabajo en paisajismo .....	92
<b>Conclusión .....</b>	<b>100</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>101</b>

## • CAPÍTULO IV •

Modelos de Precios Dinámicos en los Servicios de Transportes en Smartcities: Un estado del arte.....	105
<b>1. Introducción.....</b>	<b>107</b>
<b>2. Metodología.....</b>	<b>108</b>
<b>3. Resultados.....</b>	<b>108</b>
3.1 Fijación Dinámica de Precios.....	109
3.2 Precios Dinámicos en el Transporte Urbano.....	113
3.2.1 ¿Qué es Ridesharing?.....	113
3.2.2 El Caso Uber.....	114
3.2.2.1 ¿Cómo Funciona El Algoritmo “Surge”?.....	116
3.2.2.2 Críticas al modelo de precios surge.....	118
3.2.3 Otros Modelos de Fijación Dinámica de Precios.....	120
3.2.4 Precios dinámicos en el transporte de pacientes.....	123
3.2.5 Comparación de los esquemas presentados.....	123
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>125</b>
<b>5. Referencias.....</b>	<b>126</b>

## • CAPÍTULO V •

El diseño universal, la co-creación y las TICs como herramientas para mejorar la movilidad en las ciudades inteligentes .....	131
Implementación de una metodología de investigación cualitativa enfocada identificar claves para un proyecto de movilidad inteligente.....	131
<b>1. Introducción.....</b>	<b>133</b>
<b>2. Ciudades Inteligentes, definiciones y posturas .....</b>	<b>134</b>
<b>3. Descripción de los principales sistemas de información para transporte público encontrados a nivel nacional e internacional.....</b>	<b>136</b>
3.1. Referentes nacionales tradicionales.....	136
Sistema informativo de paraderos del SITP.....	136
Señalización Braille para sistemas de transporte en Bogotá y Cali .....	137
MappAccesible, herramienta tecnológica para la inclusión social.....	138
3.2. Referentes Internacionales tradicionales. ....	138
Sistemas de inclusión para personas en condición de discapacidad visual.....	138
Diseño de información teniendo en cuenta principios de diseño universal .....	140
Ejemplo de diseño universal en aeropuertos europeos. ....	141
3.3. Referentes apalancados en pantallas interactivas.....	143
ZIFEI WANG – Navigating New York City.....	143
WalkNYC.....	144
Señalización digital (digital signage) .....	144
3.4. Conclusiones .....	146
<b>4. Diseño universal, diseño centrado en el usuario y multimodalidad. Ciudades inteligentes para todos.....</b>	<b>148</b>
4.1. Diseño universal y accesibilidad.....	148
4.2. Diseño centrado en el usuario (DCU).....	149
4.3. Enfoque multimodal y discapacidad.....	150
4.4. Ciudades inteligentes para todos .....	152
<b>5. Enfoque metodológico del proyecto .....</b>	<b>153</b>
5.1 Selección y distribución de participantes para las sesiones de co-creación.....	154
5.2 Desarrollo del protocolo de investigación .....	154

1. Definición del enfoque temático y del objetivo de investigación de usuario.....	154
2. Desarrollo de las preguntas preliminares de investigación.....	155
a. Preguntas sobre la experiencia de los usuarios en el transporte público	155
b. Preguntas sobre los sistemas de información en el transporte público....	155
3. Desarrollo de un mapa de suposiciones.....	156
a. Suposiciones de personas en condición de discapacidad auditiva.....	156
b. Suposiciones de personas en condición de discapacidad visual.....	156
c. Suposiciones de personas con discapacidad motriz.....	157
d. Suposiciones de personas sin discapacidad.....	157
<b>6. Planeación, diseño de herramientas de investigación y prueba piloto .....</b>	<b>157</b>
6.1 Diseño del material de investigación y prueba piloto.....	158
6.2 Prueba piloto y resultados.....	161
<b>7. Investigación de usuarios.....</b>	<b>162</b>
7.1 Sesiones de co-creación con herramientas generativas.....	163
7.4 Análisis de la información .....	164
<b>8. Reflexiones y visión prospectiva sobre el concepto de ciudades inteligentes.....</b>	<b>165</b>
8.1 Co-creación y participación ciudadana.....	166
8.2 Diseño de ciudades inteligentes desde los principios del diseño universal.....	166
8.3 La tecnología en función del usuario y la “ciudad viva” .....	167
<b>9. Referentes.....</b>	<b>168</b>

## • CAPÍTULO VI •

Redes de nueva generación en ciudades inteligentes - Estado de arte del modelo de predicción de inundación por encharcamiento .....	171
<b>1. Introducción.....</b>	<b>173</b>
<b>2. Estado de arte: Redes de nueva generación en ciudades inteligentes .....</b>	<b>175</b>
2.1. Redes de nueva generación .....	175
2.1.1. Redes de quinta generación 5G .....	175
2.2. Internet de las cosas (Internet of Things, IoT).....	177
2.2.1. Conectividad de IoT.....	178

2.2.1.1. Sensores.....	178
2.2.1.2. Actuadores.....	179
2.2.1.3. Controladores.....	179
2.2.2. Arquitectura IoT.....	179
2.2.2.1. Capa de Aplicación.....	180
2.2.2.2. Capa de red.....	180
2.2.2.3. Capa de percepción.....	180
2.2.3. Ventajas y desventajas del internet de las cosas.....	181
2.2.3.1. Ventajas.....	181
2.2.3.2. Desventajas.....	182
2.3. Ciudades inteligentes.....	182
Evolución histórica del término Ciudades inteligentes.....	184
2.3.1. Factores de creación y funcionamiento de las ciudades inteligentes.....	190
2.3.2. Desarrollo sostenible en las ciudades inteligentes.....	192
2.3.2.1. <i>Objetivos de desarrollo sostenible</i> .....	193
2.3.2.2. <i>Las TIC avanzadas en el desarrollo de la ciudad inteligente</i> .....	193
2.4. Manejo del agua en ciudades inteligentes.....	196
2.4.1. Problemas del manejo urbano del agua.....	198
2.4.2. Gestión del agua en las ciudades Inteligentes.....	199
2.5. Tecnologías en SWM.....	201
2.5.1. Sistemas de información geográfica (SIG).....	202
2.5.2. Computación en la nube.....	203
2.5.3. Modelos, herramientas de optimización y soporte de decisiones.....	203
2.5.4. Herramientas de comunicación y sistemas de información basados en la web....	204

**3. Caso de Estudio: “Integración entre las Redes de nueva generación y la inundación por encharcamiento en el Barrio Minuto de Dios” ..... 206**

3.1 Delimitación del área de trabajo.....	206
3.2. Red meteorológica UNIMINUTO.....	207
3.3. Sistema de recolección de aguas servidas.....	209
3.4.1. Análisis.....	211

3.4.2. Diseño .....	211
3.4.3. Construcción .....	212
3.4.4. Pruebas .....	212
3.5. Hallazgos .....	212
<b>4. Fase I. Análisis de Requerimientos del “Modelo de predicción de inundación por encharcamiento” .....</b>	<b>215</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>220</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>221</b>

**• CAPÍTULO VII •**

Hacia una taxonomía de Ciudades inteligentes.....	227
<b>Resumen.....</b>	<b>229</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>230</b>
El “para qué”, dispuesto por Barcelona .....	231
Las leyes como regulador para la armonía de las ciudades.....	232
La ciencia de los datos.....	234
Las multinacionales .....	235
Lo social .....	236
Las dificultades .....	237
Laboratorios virtuales para la investigación.....	238
La seguridad.....	239
Universidad - Estado.....	239
Barrio digital.....	240
<b>Conclusiones.....</b>	<b>241</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>243</b>

Parte II  
Acústica Sostenible

• CAPÍTULO VIII •

Calidad acústica urbana: herramienta cartográfica para análisis de información acústica ambiental.....	245
<b>I Introducción .....</b>	<b>247</b>
<b>2. Aspectos conceptuales: Descriptores acústicos, Calidad Sonora y Paisaje sonoro .....</b>	<b>254</b>
2.1. Parámetros acústicos .....	254
2.2. Calidad Sonora.....	255
2.3. Paisaje sonoro.....	257
2.4. Cartografía .....	258
2.4.1 Aspectos objetivos y subjetivos en herramientas cartográficas para el análisis de la calidad acústica urbana.....	259
<b>3. Metodología .....</b>	<b>263</b>
<b>3.1. Lugar en estudio .....</b>	<b>264</b>
3.2. Obtención de información de calidad sonora para entornos acústicos urbanos .....	266
3.2.1 Caracterización acústica y simulación acústica .....	266
3.2.2 Evaluación subjetiva.....	267
3.2.3 Evaluación objetiva.....	267
<b>4. Resultados obtenidos.....</b>	<b>268</b>
4.1. Aspectos objetivos y subjetivos necesarios para la representación cartográfica de paisajes sonoros .....	268
4.2. Símbolos y formas de representación de la herramienta cartográfica de paisajes sonoros.....	269
4.3. Simulación del parque El Lago .....	275
4.4. Evaluación subjetiva.....	277
4.5. Diseño e impresión de la herramienta cartográfica.....	281
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>284</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>285</b>

## • CAPÍTULO IX •

Absorción acústica de fibras de caña de azúcar de origen natural que se producen en Colombia con aplicaciones en la construcción .....	291
<b>1. Introducción .....</b>	<b>293</b>
<b>2. Marco Teórico .....</b>	<b>294</b>
2.1. Sistemas de acondicionamiento acústico .....	294
2.2. Sistemas de aislamiento acústico .....	294
2.3. Construcción sostenible .....	294
2.3.1. Ventajas de la construcción sostenible .....	295
2.3.2. Parámetros y requerimientos de la construcción sostenible .....	298
2.3.3. Construcción bioclimática .....	299
2.4. Confort acústico y percepción del usuario .....	300
2.5 Absorción acústica y fibras naturales .....	301
2.5.1 Coeficientes de absorción .....	302
2.6. Aprovechamiento de biomasa residual .....	303
2.7. Bioenergía .....	304
2.7.1 Biomasa como insumo en materiales .....	304
2.8. Aprovechamiento de la caña de azúcar .....	305
<b>3 Motivación del trabajo y justificación .....</b>	<b>305</b>
<b>4. Metodología .....</b>	<b>310</b>
4.1. Obtención de la fibra de la caña de azúcar .....	310
4.1.1 Extracción de la caña de azúcar .....	311
4.2. Obtención de las muestras de ensayo .....	313
4.3. Medición y obtención de los coeficientes de absorción .....	316
4.4. Procedimiento de ensayo .....	317
4.4.1. Determinación de los parámetros iniciales .....	317
4.5. Medición de las muestras .....	318
<b>5. Discusión de Resultados .....</b>	<b>324</b>
5.1. Muestras individuales .....	324
5.2 Medición del coeficiente de absorción en 6 combinaciones de	

muestras de ensayo.....	325
5.3 Medición del coeficiente de absorción en 4 combinaciones de muestras de ensayo.....	326
5.4. Medición del coeficiente de absorción en 3 combinaciones de muestras de ensayo.....	327
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>327</b>
<b>7. Referencias .....</b>	<b>328</b>

**• CAPÍTULO X •**

SonorApp, aplicación de ruido colaborativo en Bogotá.....	331
<b>1. Introducción.....</b>	<b>333</b>
<b>2. Metodología .....</b>	<b>334</b>
<b>3. Definición de datos, diseño y procesamiento.....</b>	<b>335</b>
3.1. Casos de uso.....	336
3.2. Diagrama de clases.....	337
<b>4. Desarrollo.....</b>	<b>337</b>
4.1. Desarrollo para la captura y análisis del ruido.....	338
4.2. Interconexión de componentes reutilizados la captura y análisis del ruido .....	338
<b>5. Evaluación .....</b>	<b>342</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>343</b>
<b>7. Trabajos futuros .....</b>	<b>343</b>
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>344</b>

# Prólogo

Las ciudades contemporáneas enfrentan desafíos sin precedentes relacionados con la urbanización en curso, el cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, el impacto de emisiones ambientales que afecten al ser humano y su calidad de vida y, por último, pero no menos importante, los rápidos avances tecnológicos. Claramente, los nuevos enfoques para construir y gestionar ciudades en el siglo XXI deben guiarse por los principios de sostenibilidad, flexibilidad, adaptabilidad, complejidad e inclusión.

El presente libro presenta dos enfoques relacionados con lo anteriormente expuesto: la primera parte aborda los últimos avances de la ingeniería en Colombia dentro del marco del concepto conocido como **Ciudades Inteligentes**, desarrollados por la red universitaria metropolitana de Bogotá, conocida como la red RUMBO, mientras que la segunda parte presenta aspectos relacionados con el concepto relacionado con **Acústica Sostenible** respecto a elementos de gestión acústica ambiental y desarrollo de materiales acústicos bajo el concepto de desarrollo sostenible. A continuación se presenta un marco general de los conceptos de Smart City y Acústica Sostenible.

El concepto **Smart City** trata de utilizar tecnologías modernas de manera adecuada para invocar efectos sinérgicos entre varios subsistemas (transporte, logística, seguridad, energía, administración de edificios, etc.), con referencia a la intensidad energética y la calidad de vida de sus ciudadanos.

El tema de ciudades inteligentes es un campo complejo que no puede ser cubierto por un experto ni dentro de una organización. Por lo tanto, se requiere la **cooperación** entre diferentes profesiones, con un entendimiento mutuo de las diversas perspectivas de la ciudad. Diferente es la visión de la ciudad inteligente de un arquitecto, abogado, financiero, transporte, informático, político, sociólogo, energetista, etc. El objetivo principal de toda la comunidad en el campo de las ciudades inteligentes debería ser crear una plataforma de comunicación para cooperación de todas las áreas relevantes.

Es posible aplicar el concepto de ciudad inteligente hacia objetivos **definidos** o, hacia objetivos **genéricos**. Los objetivos definidos son la optimización del consumo de energía, la mejora de la calidad del aire, la reducción de la carga de ruido, la regulación de los sistemas de transporte, etc. Alternativamente, los objetivos genéricos apoyan la identidad de un lugar determinado y la estructura urbanística, es decir, su propia estructura histórica, cultural, ecológica o esencia estética. El conocimiento obtenido también se puede aplicar a los otros tipos de tamaño territorial de unidades territoriales, como **Smart Villages** o **Smart Regions**.

El significado del término “inteligente”, por lo tanto, debe verse en una relación equilibrada entre el hombre y los sistemas técnicos. Las **soluciones inteligentes** deben hacer que las ciudades sean más humanas y no solo tecnológicamente avanzadas. Para resolver el problema de las ciudades inteligentes, surgen equipos interdisciplinarios de manera natural, incluidos expertos en humanidades (sociología, psicología, medio ambiente, etc.).

Actualmente, **el índice de ciudad inteligente** se utiliza para evaluar la inteligencia de la ciudad. Esto implica evaluar el grado de digitalización de diferentes procesos, evaluar subconjuntos de subsistemas funcionales como movilidad, energía, seguridad, o evaluar enlaces de información entre operadores de servicios inteligentes y sus usuarios. Basado en diferentes metodologías, la evaluación anual de las mejores ciudades inteligentes se lleva a cabo a nivel global.

El factor clave en todas las soluciones inteligentes es el **ser humano**. Como parte del concepto de ciudad inteligente, se debe hablar sobre la Interfaz

Hombre-Máquina (HMI) entre sistemas técnicos y humanos, que debe ser intuitiva y fácil de entender para todas las categorías de la población de la ciudad (niños, personas discapacitadas, etc.). La interacción con el factor humano se puede verificar utilizando diferentes tipos de simuladores en una muestra seleccionada de habitantes y diseñando estos sistemas de la manera más fácil posible para el usuario.

**Las redes sociales** son un ejemplo de un nuevo tipo de interfaz de comunicación que garantiza una interconexión efectiva entre diferentes grupos de población. Usando información específica, podemos influir en sus patrones de comportamiento y mejorar la comunicación bidireccional entre la administración de la ciudad y los ciudadanos. Debido a que cada ciudadano percibe la calidad de vida de manera diferente, debe ser posible elegir existir sin la necesidad de usar nuevas tecnologías para comunicarse con la municipalidad y las agencias gubernamentales.

La perspectiva para los nodos de la red de energía (como edificios, medios de transporte, paradas inteligentes, farolas, etc.) ya no son solo electrodomésticos, sino que algunos nodos pueden ser fuentes de energía (paneles solares) o depósitos de energía (baterías). Desde este punto de vista, los flujos en la red de energía no son unidireccionales sino bidireccionales. **La red de energía inteligente (redes inteligentes)** debe ser mejorada por la red de información con algoritmos que optimizan los flujos de energía en el territorio dado.

Uno de los nodos de energía son los **edificios inteligentes y los hogares** que utilizan tecnologías de información y comunicación (TIC) para obtener conocimiento sobre su funcionamiento. Esta información se combina con conocimiento externo, como pronósticos meteorológicos, edificios en una situación similar, etc. Los edificios inteligentes ya están diseñados utilizando tecnologías digitales y programas paramétricos como **BIM** (Building Information Management) o **VDC** (Virtual Design & Construction). Idealmente, estos modelos se utilizarán para instalaciones avanzadas y administración de propiedades. Se crean tipos específicos de edificios inteligentes dentro de las fábricas inteligentes (**Industria 4.0**), o como parte de la agricultura urbana (**Agricultura 4.0**), por ejemplo, objetos de la llamada granja vertical inteligente.

Los modelos BIM individuales se pueden integrar aún más en un solo modelo de terreno y crear una base de conocimiento para calles, distritos y toda la ciudad: **CIM** (City Information Management). Para una base de conocimiento completa de la ciudad, por supuesto, se deben proporcionar datos e información de otras áreas, como transporte, medio ambiente, seguridad, gestión de agua y desechos, atención médica, etc. Solo al integrarlos, podemos hablar sobre **la plataforma de conocimiento (modelo de ontología)** de una ciudad inteligente.

Los desarrollos futuros requerirán enfoques completamente nuevos para la movilidad inteligente, que gradualmente se convierte en un servicio (**MaaS** - Mobility as a Service) con parámetros específicos garantizados, como es el caso hoy en día para los operadores de telecomunicaciones. Un nuevo fenómeno también es **la logística de la ciudad** que debería responder a la demanda real en línea. **Los vehículos autónomos** que utilizan algoritmos de **Inteligencia Artificial** (IA) para optimizar la capacidad de servicio y la logística de todo el territorio son un gran desafío para el futuro de las ciudades inteligentes. No se trata solo de transportar personas y mercancías, sino también de vehículos robóticos diseñados para la limpieza de calles, la remoción de nieve y otras actividades que las personas realizan hoy en día. Estos vehículos usarán combustibles alternativos, probablemente electricidad, lo que se denomina como movilidad eléctrica (**e-mobility**).

**Smart City Management** utiliza una variedad de sensores, comenzando con detectores físicos, cámaras y terminando con imágenes satelitales (predicción del clima, mapas de temperatura de la ciudad, mapas de emisión). Cabe señalar que incluso un vehículo o un teléfono móvil, en este caso concepto, se convierte en un sensor inteligente que proporciona datos importantes. **La infraestructura de alumbrado público** puede acomodar sensores para garantizar la disponibilidad de servicios de telecomunicaciones en toda la ciudad.

Las nuevas tecnologías permiten una mejor gestión de proyectos y participación pública en el desarrollo urbano. Se están promoviendo nuevas formas de **métodos participativos** de participación ciudadana. La presentación de soluciones variantes se puede mostrar utilizando varias herramientas de vi-

sualización avanzadas como **la realidad virtual o aumentada**. Por ejemplo, los modelos de simulación, donde se pueden rastrear las ventajas y desventajas de las variantes individuales, para que puedan tomar decisiones más calificadas a nivel de gestión de la ciudad.

Desde un punto de vista técnico, **Internet of Things (IoT)**, **Internet of People (IoP)**, **Internet of Energy (IoE)**, **Industrial Internet of Things (IIoT)**, ó **Internet of Services (IoS)** se utiliza para comunicaciones habituales. Desde el punto de vista teórico, se crea el **Sistema Ciberfísico (CPS)**, ó, alternativamente, en el caso de una ciudad inteligente, se crea el **Sistema Ciberfísico Social (S-CPS)**. Desde el punto de vista del sistema complejo, se deben cumplir las siguientes características:

- » **Interoperabilidad:** la ciudad ha interconectado partes particulares de su sistema social-ciberfísico (S-CPS) como edificios, red de ingeniería, sistema de transporte integrado, elementos del espacio público como alumbrado público, contenedores de residuos clasificados, escuelas, hospitales y complejos de capacidad de alojamiento, infraestructura de suministro de agua y energía, redes sociales ciudadanas, tiendas o centros de suministro lógico.
- » **Virtualización:** La ciudad como sistema (o sus partes y subsistemas) se reflejará visualmente en su copia virtual (Modelo de Ciudad Gemela). Es posible seguir los procesos físicos de la ciudad gracias a sensores que están directamente interconectados con este modelo virtual.
- » **Descentralización:** La posible descentralización de la gestión permite la adopción de decisiones independientes en términos de la ciudad y crea alianzas con componentes inteligentes para resolver diversas situaciones y aumentar la capacidad de todo el sistema al mismo tiempo.
- » **Ejecución de decisiones cercanamente a tiempo-real:** Los sistemas de gestión de la ciudad podrán tomar decisiones basadas en los datos obtenidos y el análisis inmediato en tiempo casi real.

- » **Orientación de servicio inteligente:** En términos entre partes específicas de la ciudad, ciudadanos, visitantes y negocios, el producto de negocio de servicio activo está ofertado a través de redes de servicios. Los proveedores de servicios inteligentes se focalizan en CX (Client eXperience) con la intención de predecir las necesidades del futuro cliente.
- » **Modularidad:** La adaptación flexible de la ciudad al cambio, según lo indique el cliente se resolverá mediante el intercambio de módulos insatisfactorios o mediante la adición de nuevos módulos, que cumplan con los nuevos requisitos.

Las supercomputadoras a gran escala, incluida la **computación en la nube**, se utilizan cada vez más para procesar grandes volúmenes de datos (**Big Data**). La gestión de la ciudad, gracias a los datos actuales, pasa de los planes dinámicos predefinidos originales a los algoritmos de control adaptativo que aseguran la coordinación de unidades territoriales enteras. Se utilizan **diferentes herramientas de simulación** para validar estrategias individuales. En el espacio virtual, es mucho más fácil modelar respuestas a diferentes tipos de eventos extraordinarios. Las estrategias verificadas se pueden proyectar en la gestión de bienes inmuebles a través de actuadores, que pueden ser tanto instalaciones de infraestructura física como servicios de navegación o asistencia, y la operación prospectiva de sistemas autónomos como vehículos no-tripulados.

Teniendo en cuenta los comentarios anteriores, los subsistemas interconectados tendrán un impacto en todos los procesos de la economía, por lo que estamos hablando de **Society 4.0** o **Thinking 4.0**. Esta es en realidad la (cuarta) revolución, no solo una evolución. Las tecnologías actuales permiten la aparición de **nuevos modelos de negocio** basados en el intercambio mutuo, como el uso compartido de bicicletas o automóviles.

Sin embargo, también es posible utilizar modelos comerciales bien probados. La **Asociación Público-Privada** (PPP) es un servicio público financiado y operado a través de una asociación entre una organización pública y una o más empresas privadas. Para algunas formas de PPP (a veces denominadas Iniciativa Financiera Privada, PFI), el capital requerido es proporcionado por

un inversor privado sobre la base de un contrato con el poder adjudicador. Este inversor privado, el concesionario, además, sobre la base del contrato de concesión, presta el servicio público solicitado por un plazo contractual. Su inversión por parte de la autoridad contratante paga gradualmente por este servicio, teniendo en cuenta su calidad (por ejemplo, en el caso de la infraestructura de transporte sin pagar), o le otorga a un socio privado el derecho de cobrar los pagos por la prestación del servicio directamente de los usuarios (por ejemplo, para infraestructura de peaje).

**El Método de Contratación de Rendimiento Energético (EPC)** se basa en la financiación de proyectos de inversión energética, es decir, instalaciones para el suministro y la utilización de energía (generalmente calor y electricidad) en edificios y otros objetos, a partir del ahorro de energía logrado. En este caso, los costos asociados con la implementación del proyecto están del lado del contratista. También es totalmente responsable de la elección adecuada de tecnología, entrega y operación posterior.

Un gran fenómeno de las ciudades inteligentes es el fortalecimiento gradual de su **resiliencia** frente a diversos desastres naturales, ataques terroristas, pero también ataques cibernéticos o apagones. Las nuevas tecnologías permiten una mejor prevención basada en una mejor comprensión de los procesos individuales en la ciudad, así como intervenciones mejor planeadas en caso de estas emergencias.

En la implementación práctica, los **Agentes de Demanda** y los **Agentes de Recursos**, que pueden negociar entre ellos, representan todos los requisitos y recursos. Tal modelo holístico juega un papel de “mercado dinámico de demanda de recursos digitales” con recursos limitados que varían en el tiempo. Debido a esta calidad, **Smart Resilient City (SRC)** es una nueva visión de una ciudad como plataforma digital y ecosistema de servicios inteligentes donde los agentes de personas, cosas, documentos, robots y otras entidades pueden negociar directamente entre sí, en demanda de recursos principales que proporcionan la mejor solución posible. Crea un entorno inteligente que hace posible la auto-organización de los individuos, el grupo y los objetivos del sistema completo de una manera sostenible, o, si es necesario, resistente.

Smart Resilient City (SRC) debe diseñarse con respecto a su **degradación elegante**, en la que algunas de sus partes se interrumpen en pasos predefinidos. El sistema perderá parte de su funcionalidad, pero se volverá a configurar para mantener sus funciones más importantes. Un ejemplo puede ser un sistema de transporte, donde, en caso de falla del sistema de control central, los sub-nodos se controlan de forma autónoma. Incluso si estos tampoco funcionan, los conductores deben seguir las señales de tráfico. Aunque esta no es una forma óptima de gestionar el tráfico, el flujo de tráfico no se detendrá. Después de restaurar el control central, el sistema pasa a su configuración original. Del mismo modo, es posible proceder al diseño de un sistema integral de gestión de ciudades inteligentes donde debería haber escenarios para diferentes tipos de degradación.

Está claro que el concepto de ciudades inteligentes resilientes es un **tema interdisciplinario** que presenta una nueva forma de administrar la ciudad con la ayuda del conocimiento y las tecnologías disponibles que eran inimaginables hasta hace poco. En este concepto, es posible utilizar modelos de diferentes situaciones que pueden ocurrir en la ciudad, analizarlos y garantizar la implementación de la respuesta más adecuada con respecto a los criterios dados.

En general, **la interconexión de subcomponentes** trae beneficios nuevos e inesperados. Solo el desarrollo futuro mostrará su plena importancia para el desarrollo sostenible de las aglomeraciones urbanas. En general, la tecnología se puede comprar, pero el sistema de ciudad inteligente no: **este se construyó durante años**, teniendo en cuenta las características específicas del territorio, su historia, tradiciones culturales, posibilidades económicas, etc.

La primera parte del libro condensa los avances más significativos en varias Universidades de la red RUMBO, con respecto al tema de Smart-Cities. Es así, como tenemos, por ejemplo, desde el primer capítulo se presenta el desarrollo de Ciudad Digital, a cargo de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, donde un sistema de georreferenciación en 3D es presentado. Posteriormente, tenemos los avances para transformar a una ciudad como Ibagué, en un ejemplo de ciudad inteligente. Como parte de una aplicación de Ciudades Inteligentes, tenemos en el capítulo 3, el concepto de eourbanismo, donde

se propone que el diseño paisajístico debe ser amigable y sostenible con el medio ambiente sirviendo en la construcción del espacio con responsabilidad ambiental. El capítulo 4 presenta otro de los elementos más interesantes de una Smart-City: la mejora de la calidad de la movilidad urbana. Allí se analiza la problemática de nuevos servicios como Uber y Lyft, los cuales han revolucionado esta industria y traído al mercado del transporte público, los esquemas de dinamicidad de los precios. En el siguiente capítulo (cap. 5), se presenta un estudio acerca de las herramientas tecnológicas al servicio de las personas con discapacidad (visual, auditiva y/o motriz) en pro de facilitarles el acceso a los sistemas de movilidad urbana. Los modelos de predicción de diversas variables (energéticas, meteorológicas, de recursos hídricos, etc.) representan un pilar fundamental en la consecución de ciudades y territorios inteligentes, y el capítulo 6 presenta un modelo adecuado para esto, de predicción de inundación por encharcamiento.

La segunda parte del libro aborda la temática de **Smart Acoustics**, desde la perspectiva de la **Acústica Sostenible**; esta última, entendida desde los principios del **Desarrollo Sostenible**, el cual ha marcado la agenda mundial en los últimos 30 años. Según la Organización de Naciones Unidas, el desarrollo sostenible debe ser un desarrollo “capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades” (UE, Comisión Brundtland, 1987); considerando tres elementos esenciales en el bienestar de las personas: el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente<sup>1</sup>. Buscando que dicho desarrollo se materialice, en el año 2015 líderes de más de 150 países de todo el mundo aprobaron la agenda de desarrollo sostenible 2030, que contiene **17 objetivos** que abarcan aspectos como pobreza, educación, igualdad de género, ciudades, y producción y consumo sostenible, por mencionar algunos temas. En este sentido, puede apreciarse cómo los objetivos propuestos en la agenda de desarrollo sostenible alcanzan diferentes dimensiones de sostenibilidad, donde además de incluir aspectos relacionados con el planeta y el medio ambiente, se tratan aspectos del

---

1 Información obtenida de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

desarrollo de las personas, de conservación de tradiciones, potenciando al individuo y su relación con el planeta.

Pasando a la **acústica**, el campo del conocimiento encargado de estudiar los procesos de generación, propagación, transmisión y percepción del **sonido**, es importante destacar cómo los estudios desarrollados en este campo se han diversificado. Análisis sonoros que datan de las escuelas pitagóricas y aristotélicas en el año 400 A.C, los tratados de arquitectura de Vitrubio, los experimentos de medición de velocidad de propagación de Gassendi y Mersenne, el brillante trabajo de Newton en “Principia” para analizar el sonido como pulsos de presión, los modelos matemáticos Euler; la teoría del sonido complejo de Fourier, y los principios de absorción sonora de Sabine en el siglo XIX son algunos de los trabajos que sentaron las bases de la acústica. Sin embargo, hoy en día trabajos relacionados con el análisis de propiedades de propiedades de absorción, difusión o transmisión sonora en materiales de diversos tipos, simulación y medición de emisiones acústicas de motores y fuentes sonoras variadas, impacto acústico ambiental y laboral en la salud y la calidad de vida de las personas, análisis de materiales a partir de ultrasonido, son unos pocos ejemplos en los que se viene investigando en la actualidad.

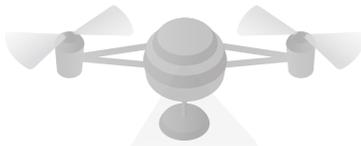
Al hablar de “**Acústica Sostenible**” se puede entonces pensar en un concepto donde la generación, propagación y transmisión sonora se hace de forma sostenible, lo que implica un relacionamiento amigable y eficiente con el entorno en la producción de fuentes sonoras, materiales y elementos usados en diferentes campos de la acústica, pero además un concepto que implica un cambio en los procesos de gestión acústica (laboral y ambiental) volcado en el ser humano, buscando la mejora de los entornos acústicos en pro del mejoramiento de la calidad de vida de las personas en comunión con los demás seres vivos que habitan el planeta. En la sección de Acústica Sostenible de este libro se presenta una primera muestra de cómo la acústica efectivamente se relaciona con procesos de desarrollo sostenible. El primer capítulo de esta sección trata acerca de procesos de evaluación de la calidad sonora de los entornos acústicos urbanos, bajo el paradigma de realizar ajustes en los procesos de diseño y gestión ambiental considerando al ser humano como centro de dicho proceso. El segundo capítulo se centra en el uso de la fibra

de caña de azúcar como insumo para el desarrollo de materiales acústicos sostenibles, presentando el proceso de obtención de la fibra de caña y la caracterización de las condiciones de absorción de las muestras obtenidas. El tercer y último capítulo presenta el desarrollo de una aplicación móvil que permite obtener y visualizar información acústica del lugar en el que se encuentra y de sus inmediaciones.

Agradecemos a la Red de Universidades de Bogotá, a la Universidad de San Buenaventura y a la editorial Bonaventuriana por abrirnos este espacio que nos permite seguir proponiendo, desarrollando y comunicando procesos investigativos que se ajusten a las necesidades del mundo.

**Miroslav Svítek, Luis Fernando Hermida Cadena y  
Marcelo Herrera Martínez  
Praga-República Checa, Bogotá-Colombia, 2019.**





# Parte I

## • CAPÍTULO I •

# Creación de un recorrido virtual del barrio Minuto de Dios

José David López García, Álvaro Gutiérrez Rodríguez,  
Ilber Darío Saza Garzón\*  
Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

---

\* Bogotá, Colombia. E-mail: [georeferenciacion.umd@gmail.com](mailto:georeferenciacion.umd@gmail.com)



# I. Introducción

Desde la Facultad de Ingeniería de la Corporación Universitaria Minuto de Dios Sede principal Bogotá (UNIMINUTO S.P), se han venido desarrollando procesos innovadores orientados al concepto de ciudad digital. Uno de los proyectos desarrollados es el sistema de georreferenciación en 3D del barrio Minuto de Dios, cuya implementación se denominó Barrio Digital y que posteriormente dio inicio al macro-proyecto Ecosistema Inteligente, conformado por ocho dimensiones: comunicación, educación, seguridad, espiritualidad, comercio, cultura, medio ambiente y salud; las cuales son líneas de investigación de proyectos realizados en el barrio.

Como apoyo a la dimensión ambiental, la dependencia Escuela de Ingeniería Social realizó un estudio de las condiciones ambientales del barrio, en el cual se evidenció una de las principales problemáticas. En relación con los residuos sólidos, la comunidad no reconoce los lugares de acopio ni cumple con los horarios para la recolección de basuras, situación que genera un impacto negativo en el ambiente y el bienestar de los habitantes; además, en algunos sectores del barrio hay deterioro del espacio público debido a las basuras dejadas por los vendedores ambulantes.

Para abordar esta problemática se presentó como propuesta la creación de un recorrido virtual del barrio Minuto de Dios. En el ambiente creado los participantes pueden observar las zonas de interés del barrio y ubicar los sitios con problemáticas ambientales, mientras recolectan y reciclan las basuras

durante la exploración del espacio virtual. De esta manera, se promueve el reconocimiento del entorno mediante la visualización del modelado 3D del barrio y el cuidado del ambiente a través de las actividades propuestas.

Dadas las características de los recorridos virtuales, el proyecto utiliza como escenario el barrio Minuto de Dios georreferenciado, se incorporan tecnologías 3D para localizar y recrear los diferentes sectores del barrio con alto nivel de realismo, dando la posibilidad de crear nuevos entornos de aprendizaje para la intervención social desde lo educativo, cultural y tecnológico.

El capítulo está organizado de la siguiente manera: inicialmente se explican las características y herramientas utilizadas para la creación del recorrido virtual, en la siguiente parte se da a conocer la metodología utilizada para la creación del escenario, se describen los aspectos del diseño del recorrido virtual en Unity 3D y finalmente se presentan los resultados, las conclusiones y trabajos futuros.

## 2. Recorridos virtuales

Al hacer referencia a los recorridos virtuales, es necesario partir del concepto de realidad virtual, tecnología emergente que, debido a sus características, tiene aplicación en diversas áreas. Para Pérez, Zabre e Islas (como se citó en Pérez y Ontiveros, 2011), la realidad virtual es una "representación completa o parcial de un ambiente real o ficticio, a través del uso de medios electrónicos, la cual puede incluir gráficas en 3D o imágenes, además, tiene la propiedad de ser interactiva y puede ser o no inmersiva". Esta tecnología ofrece la posibilidad de generar una sensación de inmersión real en los usuarios, para "vivenciar", conocer y/o comprender cualquier lugar, proceso o fenómeno, a los cuales muchas veces no tendría acceso.

El uso de la Realidad Virtual hace posible la creación de ambientes de aprendizaje apropiados. Los recorridos virtuales desarrollados, se consolidan como recurso didáctico que permite estimular la curiosidad y los procesos de pensamiento, para generar aprendizaje significativo a través de la experiencia en el ambiente virtual.

Para la construcción de los recorridos virtuales se necesitan diferentes componentes, como imágenes, audios, videos, textos y modelos 3D. Las imágenes aceptadas pueden ser planas en formatos convencionales 2D; sin embargo, también permite la importación y manipulación de otros tipos de imágenes en formato 360, panorámicas, imágenes HDRI o de alto rango dinámico (High Dynamic Range en inglés, o HDR), que se pueden utilizar como fondos en Unity para simular ambientes muy realistas en las aplicaciones de realidad virtual. Estos elementos se integran y manipulan de forma coherente mediante la configuración de variables, parámetros y herramientas que modifican su apariencia y funcionalidad, simulando la realidad mediante una plataforma de diseño con un potente motor de gráficos como Unity 3D.

## **2.1. Unity 3D para la creación del recorrido virtual**

---

Para la creación del ambiente virtual 3D no inmersivo, se examinaron varias herramientas que permiten crear recorridos virtuales, después de una búsqueda y exploración extensa, se determinó utilizar la versión educativa personal del software Unity 3D. Este programa hace posible la creación de contenidos 2D y 3D, puede ser utilizado por principiantes y expertos en temas relacionados con la creación de videojuegos; la visualización de los diseños se hace a través de móviles, sistemas que integren realidad virtual, computadores de escritorio, portátiles y consolas de videojuegos.

Como afirma Mula (2017), Unity 3D es el motor de desarrollo de videojuegos de mayor uso, debido a sus prestaciones, ya que da la posibilidad de generar proyectos como juegos y escenarios que pueden ser publicados y ejecutados en cualquier plataforma, ofrece documentación que facilita su funcionamiento y además tiene una interfaz amigable, sencilla y fácil de operar. Otra ventaja del software es que cuenta con tutoriales y recursos de aprendizaje que relacionan temas de estudio y actividades prácticas en niveles básicos, intermedios y avanzados; Unity 3D cuenta con licencias de uso para estudiantes y educadores que quieran diseñar actividades para ser trabajadas en el aula. (Unity Technologies, 2019).

Los modelos 3D se constituyen en el principal componente en la creación de un ambiente simulado. Un escenario bien diseñado depende de la calidad y realismo de los objetos y en algunos casos de su animación, lo cual depende en gran medida del software utilizado. Después de evaluar programas de licencia privativa, lite y de tipo open source para modelado y animación 3D, como 3ds Max, Maya, Blender y Cinema 4D, se seleccionó Sketchup.

### 2.1.1 Sketchup, herramienta de modelado y diseño

Para el desarrollo del recorrido en Unity 3D, se modelan los objetos que aparecerán en las diferentes escenas de acuerdo con su posición real y para ello se selecciona el software Sketchup de modelado 3D. Un software compatible con el motor de desarrollo de videojuegos en cuanto al soporte, lectura y representación de los archivos exportados en diferentes formatos; adicionalmente permite incorporar datos de geo-referenciación para ser utilizados en Google Earth y en modelos simulados de ubicación, ofrece una interfaz amigable e intuitiva, puede ser utilizado por usuarios no experimentados en el modelado 3D y cuenta con una versión gratuita con todas las funciones necesarias, para la creación de este tipo de proyectos.

En el escenario a diseñar los modelos 3D tienen una localización específica en concordancia con el mundo real, para lograr este proceso se requiere utilizar un sistema de ubicación geográfica. Sketchup cuenta con un módulo de posicionamiento que permite emplazar los modelos dentro del escenario teniendo en cuenta la ubicación y orientación requerida por el usuario, tomando como base las coordenadas esféricas, que se según Pérez y otros (2011) se concibe como el proceso de posicionamiento espacial de un objeto o superficie a partir de un sistema de coordenadas definido mediante el uso de un sistema de información geográfica.

## 3. Metodología

La metodología de la propuesta se desarrolla en dos fases, realizadas de forma secuencial. Las actividades establecidas van desde la planificación del modelado 3D hasta el desarrollo del recorrido virtual.

### **3.1. Creación del escenario del recorrido virtual: geo-referenciación barrio Minuto de Dios**

#### **3.1.1 Planificación del modelado 3D**

Como primera actividad se realizó la definición de la ruta metodológica para el proceso de modelado. El equipo de gestión, conformado por tres docentes de GBI lideró todo el proceso y un grupo de 1200 estudiantes de primer semestre, pertenecientes a diferentes programas académicos, llevaron a cabo el trabajo de campo para el modelado de los predios del barrio. Inicialmente se diseñó una serie de actividades de divulgación, organización logística y tecnológica, para dar a conocer a la comunidad del barrio las diferentes acciones que se pretendían realizar; las cuales se describen a continuación:

#### **Socialización del Proyecto a residentes del barrio**

La estrategia para garantizar la colaboración y participación de la comunidad tuvo cuatro acciones. Inicialmente la divulgación del proyecto se hizo mediante avisos parroquiales; luego se emitió una pauta informativa en la Emisora Minuto de Dios; como tercera acción se entregó un documento en las diferentes instituciones del sector y finalmente, se entregó un comunicado directamente a los propietarios de los predios a modelar.

#### **Identificación de manzanas**

En la Figura 1 se visualiza el plano urbanístico de la localidad 10 de Engativá, específicamente la plancha correspondiente al barrio Minuto de Dios, proporcionado por Catastro (Censo estadístico de los bienes inmuebles de Bogotá contiene la descripción física, económica y jurídica de las propiedades rústicas y urbanas), se identificaron, rotularon y enumeraron 57 manzanas en el área de interés y se realizó la visita de reconocimiento y confrontación del plano con el entorno real.



Figura 1. Plano Catastro barrio Minuto de Dios. Catastro Bogotá

## Modelado de predios

De acuerdo con los datos de georeferenciación y la información existente en el plano urbanístico, se definió un procedimiento para asegurar la creación exacta de las manzanas. A continuación, se describen los pasos para el modelado en el software Sketchup Make 8 y se presenta la figura correspondiente.

- a. En la Figura 2 se presenta la importación de la imagen tomada del plano urbanístico de Catastro e identificación de la manzana a modelar.



Figura 2. Planos del barrio. Fuente propia

- b. Incorporación de la ubicación geográfica (capa de geo-referenciación proporcionada por Google Earth) correspondiente al sector a modelar; en la Figura 3 se visualiza la demarcación de los predios que conforman la manzana.



Figura 3. Ubicación de las manzanas. Fuente propia

- c. La Figura 4 presenta la creación del archivo para el sistema de loteo de cada una de las manzanas.

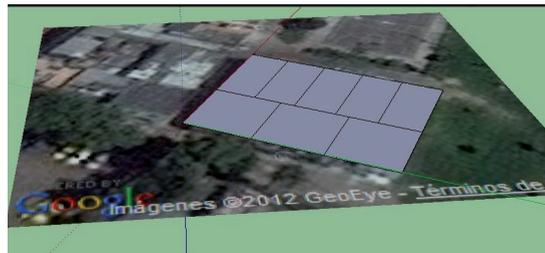


Figura 4. Ubicación de las manzanas con su loteo. Fuente propia

- d. Generación de archivos independientes para cada uno de los predios, en la Figura 5 se puede observar los “archivos de loteo”:



Figura 5. Archivo de loteo. Fuente propia.

- e. Implementación del proceso de modelado 3D en cada uno de los archivos de loteo, teniendo en cuenta las magnitudes, características reales de cada inmueble y el uso de imágenes de las fachadas y otras texturas, la Figura 6 presenta una imagen con el modelo 3D de una casa del barrio Minuto de Dios.



Figura 6. Predio modelado en 3d. Fuente propia

- f. En la Figura 7 se visualiza la conformación de las manzanas de acuerdo con la geo-referenciación de cada predio.



Figura 7. Manzana del barrio Minuto de Dios. Fuente propia

## Sistema de información

Para facilitar el intercambio de datos durante el proceso de geo-referenciación 3D, se definió un sistema de publicación de información. Como medio de

comunicación se creó una página web, en donde se integró un disco duro virtual, que permitió a los docentes y estudiantes participantes la carga y descarga de archivos.

### 3.1.2 Capacitación de participantes

#### Talleres de modelado

En el marco del trabajo colaborativo, se diseñaron ejercicios de construcción y modelado de objetos, orientados a la enseñanza del software Sketchup Make 8. Los líderes del proyecto diseñaron e implementaron videotutoriales y guías de diseño 3D, establecieron los parámetros para la captura de las fotografías de las fachadas de los predios y explicaron las herramientas dispuestas en el sitio web del proyecto.

#### Asignación de predios

A cada estudiante se le dio a conocer la nomenclatura de la casa a modelar mediante una imagen con la descripción de los datos de cada predio, es decir, el número de manzana, el consecutivo y la dirección, también se proporcionaron elementos gráficos adicionales para facilitar la ubicación de las casas, como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Planos de las manzanas y predios. Fuente propia

## Diligenciamiento de fichas de información

Para el registro de la información de los predios, se diseñó un instrumento que permitió recopilar los datos básicos. La descripción de cada edificación se hizo en relación con el número de plantas que la conforman, la existencia de elementos como local comercial, terraza y jardines, entre otros. Además, se indicó la ubicación del enlace dentro de la página web, con el fin de acceder al respectivo formulario online y digitalizar la información recolectada.

### 3.1.3 Modelado y seguimiento

Como parte del trabajo de campo se verificó la ubicación de los predios asignados y se analizaron las características de los mismos, se hizo el levantamiento de información y captura de las fotografías de las fachadas, las cuales fueron verificadas y evaluadas.

Cada predio se modeló en su respectivo archivo de loteo, sin alterar elementos como la geolocalización y las medidas; asignándole un valor de 2,20 m de altura a cada planta y 1 m adicional para la disposición de tejados o terrazas. El modelado de voladizos, balcones y jardines entre otros, se realizó mediante el método de tallado o “esculpido a mano”, en el proceso se utilizaron fotografías reales de las fachadas y se incorporaron mediante la técnica de fototexturas, para dar mayor realismo a los modelos 3D. En el proceso se utilizó la menor cantidad posible de polígonos para que el archivo de cada predio tuviera un tamaño inferior a 10 MB, medida necesaria en la aceptación de los modelos en la galería 3D Warehouse de Sketchup y su posterior publicación en la capa de modelos 3D de Google Earth. En la Figura 9 se presenta el modelo 3D de UNIMINUTO georreferenciado en Google Earth.



Figura 9. Modelo 3D de UNIMINUTO en Google Earth. Fuente propia

## Seguimiento del proceso

Los predios modelados se almacenaron en el disco duro virtual para su evaluación. La revisión se hizo con la finalidad de detectar errores en la geometría o fototexturas para determinar la aprobación, rechazo o solicitar al modelador la edición; las observaciones se registraron en la respectiva ficha de seguimiento.

### 3.1.4 Conformación del barrio

Los modelos 3D aprobados en la fase anterior, fueron validados en la plataforma de Google Earth. El proceso permitió incorporarlos en la capa de edificios 3D. Por el contrario, al recibir un informe de errores de los modelos rechazados, fue necesario realizar las correcciones respectivas.

De forma paralela a la visualización del barrio digital en Google Earth, se obtuvo una versión del barrio en el software Sketchup. La información de georreferenciación de los predios en la herramienta de modelado permitió configurar cada una de las 57 manzanas en archivos separados, como se observa en la Figura 10, los cuales al ser integrados formaron el barrio.



Figura 10. Modelo 3D manzanas del Barrio Minuto de Dios. Fuente propia

## 3.2. Diseño del recorrido virtual en Unity 3D

### 3.2.1 Actualización del barrio digital

En la primera fase del diseño del recorrido se actualizaron las fachadas de las casas y edificios del barrio Minuto de Dios. La verificación e inventario de los modelos existentes evidenció la necesidad de modelar algunos predios faltantes en las diferentes manzanas que componen el barrio. El objetivo principal consistió en adicionar detalles en cada construcción, se disminuyó la resolución de las texturas de las fachadas y, además, se modelaron elementos del entorno como canchas, árboles, canecas de basura, parqueaderos, carros, calles, parques, puentes peatonales y otros objetos que dieran mayor realismo al barrio.

En la Figura 11, se observan los cambios hechos en la fachada de una casa, en donde la canaleta, contador, timbre y otros elementos cuentan con profundidad, volumen y mayor detalle del que se había realizado anteriormente.

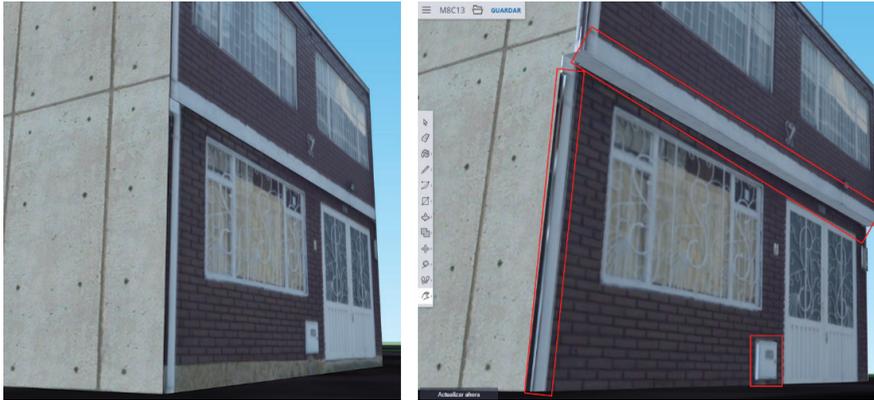


Figura 11. Edición de fachadas. Fuente propia

### 3.2.2 Creación del recorrido virtual

#### Configuración del Terreno

Una vez configurada la cuenta con la licencia educativa, se procedió a crear un nuevo proyecto con el nombre Recorrido Virtual UNIMINUTO. Para incorporar los modelos 3D fue necesario incluir un terreno el cual simula las propiedades del piso de la escena, Unity proporciona un motor del terreno que permite agregar paisajes por medio de texturas para dar un alto detalle en el juego, tiene herramientas de altura para la creación de las montañas, zonas de lagos, ríos, árboles y pasto, adicionalmente, el ambiente cuenta con efectos de viento y lluvia que incorpora el programa.

En la Figura 12, se muestra el plano del barrio Minuto de Dios que fue incorporado en el terreno. Esta imagen incluye los límites, las calles, manzanas y sitios de interés que se tuvieron en cuenta para el recorrido virtual; el mapa y el terreno fueron ajustados en función de los píxeles de la imagen, para no alterar la resolución de las texturas.



Figura 12. Plano barrio Minuto de Dios. Fuente: Ideca.

### Incorporación de Objetos 3D

Después de configurar el terreno con la textura del barrio, se procedió a revisar los formatos de archivo 3D que soporta Unity, con el fin de seleccionar el de mejor calidad dentro del ambiente virtual. Como el entorno de desarrollo es compatible con extensiones de tipo .FBX, .dae, .3DS, .dxf, .obj, se realizaron varias pruebas con diferentes formatos para eliminar fallas en los polígonos y pérdidas en la resolución de texturas; finalmente, se encontró que el mejor formato para crear el recorrido virtual es la extensión .FBX. Según (AUTODESK, 2019) este tipo de archivo se caracteriza por ser una estructura abierta utilizada para la transferencia de datos 3D, proceso que no modifica materiales, curvas, superficies y el volumen de las figuras iniciales.

Continuando con el proceso de creación del recorrido virtual, se incorporaron en la escena de trabajo de Unity los predios que hacen parte del barrio. Las casas se encuentran agrupadas y debidamente identificadas por manzanas lo que permitió agilizar el proceso de construcción del mismo, también se insertaron las canchas, senderos, puente peatonal, edificios y sitios representativos del Minuto de Dios; todos estos objetos fueron ubicados teniendo en cuenta el plano de referencia que se insertó sobre el terreno. En la Figura 13 se visualiza la manzana 5, este objeto 3D puede ser manipulado por medio de las herramientas rotar, escalar y mover del motor de videojuegos Unity 3D.

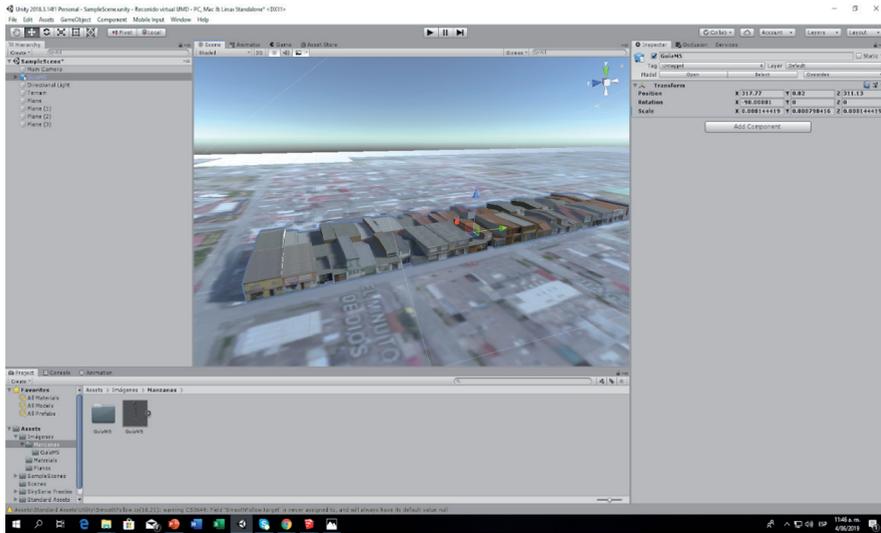


Figura 13. Objetos 3D sobre un terreno. Fuente propia

## Diseño de objetos para la navegación

Generalmente los recorridos virtuales hacen uso de un personaje principal, mediante el cual se ejecutan diferentes acciones. El recorrido desarrollado cuenta con un personaje 3D, con animaciones incorporadas, que le dan la posibilidad de avanzar, retroceder, girar 360 grados, saltar y agacharse para recolectar objetos; este Jugador porta un chaleco con el logo de UNIMINUTO y acompaña al usuario durante todo el recorrido.

El personaje tiene la posibilidad de subir y bajar de un camión de basura, objeto que está asociado a una serie de scripts o códigos escritos en el lenguaje C#. La programación permite al camión desplazarse por las calles del barrio, recolectando y reciclando basura; una de sus características principales es la incorporación de una carrocería y un conjunto de cuatro ruedas como objetos independientes, para incluir amortiguación, controlar curvas y giros del recorrido.

La configuración del vehículo requirió la manipulación de variables dentro del entorno de Unity. Desde el inspector de objetos se agregó un Rigidbody,

para configurar la masa del objeto y trabajar con la física del motor de videojuegos, por ejemplo, al peso del camión se le asignó un valor de 2000 kg aproximadamente. Las ruedas de los vehículos presentan diferentes opciones de rotación, animación y desplazamiento en un mismo eje; dentro del motor de videojuegos estos objetos se configuran como GameObject wheels, para poder manipular elementos de suspensión, fricción, rotación y agarre del objeto, dando la apariencia de estar manejando un vehículo real (Unity Technologies, 2019), en la Figura 14 se puede visualizar la configuración de las ruedas.

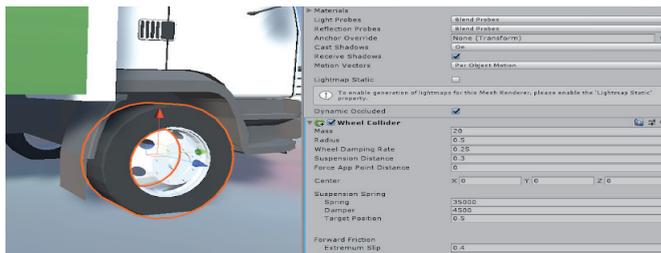


Figura 14. Configuración Wheel collider. Fuente propia.

## Explicación del Juego

El recorrido virtual cuenta con objetos que simulan basura arrojada en las calles del barrio, la actividad consiste en avanzar con el camión por los sitios emblemáticos, con el objetivo de limpiar las calles mientras se identifican los sectores más importantes. Este ejercicio fue llevado a cabo por medio de la “destrucción” de los GameObjects incorporados en el recorrido; el sistema de colisión y la función Instantite permite llevar un conteo de puntos diseñado en el plano 2D del videojuego como se observa en la Figura 15, el sistema se incrementa cada vez que se recoge un objeto. El juego finaliza cuando se recolectan todos los objetos relacionados con basuras y materiales reciclables.

Para hacer más llamativos los entornos 3D, se crean ayudas visuales para mostrar textos, pistas, imágenes y sistemas de puntos entre otros. La interface UI de Unity dispone de características para presentar objetos 2D en entornos 3D conocida como canva. Los canvas son recuadros que muestran información adicional visible la mayor parte del tiempo y se activan dependiendo de la acción del jugador principal (Unity Technologies, 2019).



Figura 15. Recolección de objetos. Fuente propia

### Uso de Minimapa

El proyecto “Barrio Digital Minuto de Dios” se basó en la georreferenciación de los predios cargados en la plataforma Google Earth, para continuar con este enfoque se diseñó un minimapa que proporciona ayudas visuales de orientación, identificación de los puntos cardinales, rutas de acceso y sitios de interés. El minimapa puede ser configurado desde la interface UI mencionada en el apartado anterior, este proceso consiste en la incorporación de una segunda cámara asociada al camión de basura, que activa una vista aérea de un sector del barrio, para georreferenciar la ubicación del jugador principal. La Figura 16 presenta la vista aérea de la ubicación en el mapa del camión de basura.



Figura 16. Minimapa. Fuente propia

## 4. Resultados

De acuerdo con la propuesta de actualización de la geo-referenciación del barrio Minuto de Dios y creación del recorrido virtual interactivo para abordar una problemática ambiental presente en este sector, se consiguieron los siguientes resultados:

### **4.1. Barrio Geomodelado**

El proceso de actualización del modelado 3D, permite observar el Barrio Minuto de Dios georreferenciado desde la herramienta Google Earth. En la Figura 17 se observa una vista panorámica del Barrio Digital creado por 2000 estudiantes de primer semestre de todos los programas académicos de UNIMNUTO, 17 docentes que trabajan proyectos de la escuela de ingeniería social, coordinados por el líder del proyecto Magister José David López; se establecieron acuerdos con la comunidad educativa del sector, quienes en su gran mayoría dieron la autorización para la toma de fotografías de las fachadas de los predios.

Durante el proceso de geomodelado se recolectaron alrededor de 15000 fotografías, las cuales fueron clasificadas y editadas por el grupo de trabajo, identificando aspectos de calidad, formato y diseño de imágenes, estrategias eficientes para la gestión de este tipo de archivos. Este proceso permitió utilizar las imágenes como fototexturas en la herramienta de modelado 3D, para presentar un diseño con el mayor realismo y detalle posible.



Figura 17. Barrio Minuto de Dios Google Earth. Fuente propia

A partir de la revisión del diseño de los 1300 predios modelados con la herramienta Sketchup, se hizo la actualización de los modelos que presentaban errores y bajo nivel de detalle en sus fachadas. El proceso de edición permitió obtener el barrio digital con el 98% de los predios que conforman el barrio Minuto de Dios. Es importante mencionar que el proyecto Barrio Digital ganó el premio en el Congreso ColombiaTic 2013, galardón que da reconocimiento a los procesos de innovación tecnológica.

## **4.2. Recorrido virtual en Unity**

El recorrido virtual se basa en el desarrollo de actividades ambientales que contribuyen al fortalecimiento de las estrategias del componente ambiental de la Facultad de Ingeniería de UNIMINUTO. El uso de la aplicación permite al usuario recolectar y seleccionar basura en sitios estratégicos del barrio, donde han sido identificadas problemáticas ambientales, con el propósito de concientizar a la comunidad sobre la importancia del cuidado de su entorno.

Durante el diseño del recorrido virtual se actualizaron y crearon los predios que hacían falta modelar, en este ejercicio se alcanzó el 100% de la construc-

ción del barrio Minuto de Dios, se trabajó en la construcción de elementos que hacen parte del ambiente como árboles, pasto, andenes, calles, parques, canecas de basura, sitios de reciclaje y desechos incluidos en diferentes zonas que sirven para ambientar las escenas construidas, como se ve en la Figura 18. La creación del recorrido abrió una nueva línea de investigación para la creación de videojuegos o entornos virtuales de aprendizaje que utilicen ambientes inmersivos como apoyo a procesos en los que se dificulta acceder o manipular objetos del entorno.



Figura 18. Recorrido virtual barrio Minuto de Dios. Fuente: propia

## 5. Conclusiones

Con esta metodología se establece el uso de las tecnologías emergentes como herramienta de innovación para la construcción social, generando bienestar en la comunidad del Barrio Minuto de Dios, por lo tanto, la georreferenciación del barrio permitió identificar y establecer zonas con necesidades especiales bien sea de seguridad, comercio, acceso vial, contaminación, entre otros.

Ahora bien, el reconocimiento de estas necesidades a través del proyecto Barrio Digital, permitió el análisis y generación de nuevos proyectos desde la comunidad académica, partiendo del enfoque social que caracteriza a UNIMINUTO, el cual, dio paso a nuevos proyectos e iniciativas de tipo social, enmarcados en el esquema del Ecosistema Inteligente, en el cual se definieron

las dimensiones de comunicación, educación, salud, seguridad, medio ambiente, espiritualidad, comercio y cultura.

En consecuencia, el desarrollo de tecnologías y su aplicación en la comunidad y la sociedad están fuertemente ligadas, permitiendo generar cambios significativos en beneficio de la calidad de vida y desarrollo social, educativo y cultural, lo cual está en concordancia con las características de las Smartcities.

Por otra parte, el uso de los productos del proyecto barrio digital permitió la reutilización de los archivos digitales en la creación del recorrido virtual, para contribuir en los procesos de concientización ambiental de la comunidad, mediante la promoción de actividades de aprovechamiento y reciclaje de las basuras, lideradas por UNIMINUTO desde el componente ambiental.

Es así como, la metodología desarrollada para actualizar y modelar en 3D los predios del barrio Minuto de Dios, es replicable por otras universidades e instituciones que deseen realizar el proyecto, de este modo UNIMINUTO se convierte en punto de referencia para la apropiación y consolidación de enfoque social desde la aplicación de tecnologías.

Este proyecto abrió nuevas líneas de trabajo y consolidó nuevos proyectos en UNIMINUTO, como es el desarrollo de una segunda fase del recorrido virtual, en la que se integran varias escenas y un personaje principal. Este avatar tiene el rol de guía ambiental de UNIMINUTO, puede subir al carro de basura, desplazarse por las calles del sector e ingresar a la universidad para realizar varios retos ambientales que se encuentran en los ocho pisos de la sede principal. La Figura 19 presenta una imagen del avatar principal dirigiéndose a las instalaciones de la universidad.



Figura 19. Cambio de nivel recorrido virtual. Fuente propia

Para recrear el interior de la universidad se tomaron fotografías 360 utilizadas para realizar mediciones, identificar objetos presentes en el entorno y obtener foto texturas con más detalle de los corredores, salones, áreas comunes y dependencias de la sede principal de UNIMINUTO. Las Figuras 20 y 21 presentan un avance del modelo 3D del primer piso del edificio C de dicha sede; en las imágenes se puede apreciar el realismo que se quiere alcanzar con estos diseños. El proceso seguido puede ser aprovechado para trabajar una de las escenas del recorrido virtual y crear espacios inmersivos haciendo uso de herramientas de realidad virtual como las gafas Oculus Rift.



Figura 20. Modelado 3D de los torniquetes UNIMINUTO sede principal. Fuente propia



Figura 21. Modelado 3D ascensor y escaleras primer piso. Fuente propia

Adicionalmente, se está trabajando en la incorporación de un mapa en línea de google maps, diseñado para crear un trazador de ruta que guíe al usuario hasta un sitio de destino, este sistema simula la interfaz gráfica que utilizan los carros en la actualidad, cuando se conectan a herramientas de geolocalización como Waze. La opción www de Unity puede ser enlazada con un mapa que trabaja en segundo plano para poder acceder a la ubicación en tiempo real del avatar; mientras se desplaza por el barrio Minuto de Dios, como se ilustra en la Figura 22; el diseño cuenta con opciones de rutas predefinidas por el usuario y vistas de mapas satelitales, calles y mapas híbridos (Google Maps Platform. 2019).



Figura 22. Minimapa vista satélite. Fuente propia

En un último proyecto se está diseñando un proceso industrial, para simular elementos utilizados en las fábricas, líneas de ensamblaje, y todo lo concerniente a seguridad industrial. El diseño virtual inmersivo puede ser llevado a las empresas como apoyo a la capacitación de empleados, visitantes y personas interesadas en conocer temas relacionados con la industria. Para lograr los objetivos propuestos se integran modelos 3D, animaciones, y programación orientada a objetos lo cual permitirá interactuar con el entorno virtual, los usuarios tienen la posibilidad de manipular los objetos a través de los mandos touch y el visor de realidad virtual. La Figura 23 muestra un ejemplo de ensamblaje de las partes de un motor.



Figura 23. Realidad aumentada industria. Fuente: Mechatraining LLC.

## 6. Bibliografía

- Aranda, H. (2014). Diseño de una visita virtual por el campus de la Universidad de Almería como base de información georreferenciada. Almería: Universidad Almería.
- AUTODESK. 2019. Acerca de la importación y la exportación de archivos FBX. Recuperado de <https://autode.sk/2VAKDj9>
- Becerra, J. R., Peñalosa, M., Rodríguez, J. E., Chacón, G., Martínez Molina, J. A., Saquipay Ortega, H.V., ... Bermúdez, V. (2019). La realidad virtual como herramienta en el proceso de aprendizaje del cerebro. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, 38(2), 98–107. Retrieved from <http://search.ebscohost.com.ezproxy.uniminuto.edu/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=137697637&lang=es&site=ehost-live&scope=site>

- Catastro Bogotá. (2015). Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. ¿Qué es Mapas Bogotá?. <http://www.catastrobogota.gov.co/recurso/mapas-bogota>
- Domínguez, G. P., & Santana-Mancilla, P. C. (2014). Mejorando la experiencia del turismo cultural con un prototipo de realidad virtual. *Avances en Tecnologías de Información*, 111.
- Enríquez, D. C., Arellano Pimentel, J. J., Hernández López, M. Á., & Nieva García, O. S. (2017). Uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores. *Aper-tura: Revista de Innovación Educativa*, 9(2), 8–23. <https://doi-org.ezproxy.uniminuto.edu/10.18381/Ap.v9n2.1049>
- Google. (2019). Google Maps Platform. Convierte al mundo en tu campo de juegos. <https://cutt.ly/nwofFq0>
- Guerrero, C. D. Q., Ballen, E. L. S., & Manrique, W. J. S. (2008). Diseño de un prototipo de sistema de realidad virtual inmersivo simplificado. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 18(1), 35-50.
- Guerrero Cuevas, B., & Valero Aguayo, L. (2013). Efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego. *International Journal of Psychology & Psychological Therapy*, 13(2), 163–178. Retrieved from <http://search.ebscohost.com.ezproxy.uniminuto.edu/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=90573141&lang=es&site=ehost-live&scope=site>
- Marcos, P. (2016). Desarrollo de una aplicación de Realidad Virtual. Obtenido de Universidad Politécnica de València: <https://bit.ly/2WrpVCT>
- Martínez, F. J. P. (2011). Presente y Futuro de la Tecnología de la Realidad Virtual. *Creatividad y sociedad*, (16).
- Mechatraining LLC. 2017. Virtual Reality Motor Maintenance by Mechatraining LLC. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=dq2RSlsQcU>
- Mula, J. (2017). Por qué debes aprender a programar con Unity: ¿Qué es Unity?. Recuperado de <https://goo.gl/6b6eMp>
- Nieto, Y., López, J., & González, C. (2016). Recorrido Virtual En Tercera Dimensión De La Sede Principal En Una Universidad De Bogotá. *Revista Especializada en Ingeniería*. ISSN 1900-6608

- Pérez, A., Botella, A., Muñoz, A., Olivella, R., Olmedillas, J., y Rodríguez, J. (2011). Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática (Vol. 173). Editorial UOC. Recuperado de <https://goo.gl/bHGhdK>
- Pérez, M. y Ontiveros, N.J. (2011, julio). Realidad virtual como una herramienta de aprendizaje integral. Boletín IIE.35(3). 133-140 Recuperado de <https://goo.gl/npH9Qd>
- Sampieri, R., Collado, C. F., y Lucio, P.B. (2008). Metodología de la investigación. (4.a ed.). Vol. 1. México, D. F.: McGraw-Hill.
- Unity Technologies. 2019. Unidad para la educación. Recuperado de <https://bit.ly/2uXM6UW>
- Unity Technologies. 2019. Wheel Collider. Recuperado de <https://bit.ly/2Ji87EM>
- Unity Technologies. 2019. Canvas. Recuperado de <https://bit.ly/2RRAKMR>



• CAPÍTULO II •

# Ibagué como ciudad inteligente: Mecanismos de inclusión a la ciudadanía

Carmen Emilia Rubio Vanegas\*, Gloria Alejandra Rubio Vanegas\*\*,  
Andrea Yaneth González\*\*\*, Sandra Acevedo Zapata\*\*\*\*  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

---

\* Ibagué, Colombia. E-mail: carmen.rubio@unad.edu.co

\*\* Ibagué, Colombia. E-mail: gloria.rubio@unad.edu.co

\*\*\* Ibagué, Colombia. E-mail: andrea.gonzalez@unad.edu.co

\*\*\*\* Bogotá, Colombia. E-mail: sandra.acevedo@unad.edu.co





# I. Introducción

De acuerdo a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) crearon un grupo focal para el estudio e implementación de las ciudades inteligentes, de tal manera que comenzaron definiéndola como: ***“Una Ciudad Inteligente y Sostenible es una ciudad innovadora que aprovecha las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y otros medios para mejorar la calidad de vida, la eficiencia del funcionamiento y los servicios urbanos y la competitividad, al tiempo que se asegura de que responde a las necesidades de las generaciones presente y futuras en lo que respecta a los aspectos económicos, sociales, medioambientales y culturales”***. En otras palabras, se busca que una Smart City se enfoque principalmente en los ciudadanos y en el mejoramiento de su calidad de vida por medio de la Tecnología, teniendo en cuenta aspectos como algún tipo de discapacidad física o mental de los ciudadanos, condiciones geográficas donde habitan, infraestructura vial, entre otros aspectos.

En una ciudad, la *economía, el gobierno, el ambiente y la sociedad* son los cuatro principales pilares que se tienen en cuenta para su desarrollo, es por ello que, los principales problemas se reflejan a través de dimensionar la ciudad en aspectos como:

- ***Ambiente y sostenibilidad,***
- ***Niveles de servicios de la ciudad***
- ***Calidad de vida.***

De esta forma, cada vez que se proyecta algún Avance en una ciudad, esta se debe encaminar hacia el **bienestar del Ciudadano**, independientemente de sus condiciones físicas, emocionales y /o socioeconómicas; es por esto, que para dar una cobertura en los aspectos anteriormente mencionados se buscó determinar qué tipo de servicio es prestado a los habitantes y como está siendo implementado. Para abordar las dimensiones anteriormente mencionadas, dentro de los factores predominantes en la creación y desarrollo de una ciudad inteligente, se encuentran aspectos como son: la tecnología (servicios en línea, educación), infraestructura (transporte, construcciones), sostenibilidad (agua, aire, residuos sólidos, ruido), gobierno (organización, administración y liderazgo), economía (capital financiero, capital humano y fuerza económica), salud (física, mental).

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son capaces de proporcionar un ambiente amigable y soluciones económicamente viables para algunos de los problemas que enfrentan las ciudades en las diferentes dimensiones anteriormente mencionadas y en especial para los ciudadanos. Por lo anterior descrito se vio la importancia de realizar un análisis que permita generar una ruta por lo cual una ciudad se puede volver inteligente, de tal manera que se puede pensar en una analogía de esta situación como cuando un paciente llega con alguna dolencia al médico, lo primero que realiza el personal es verificar cuáles son sus síntomas del paciente para luego determinar cuál es la posible enfermedad, finalizando con el diagnóstico para realizar el tratamiento pertinente según el caso. Por lo tanto, en una Investigación realizada en la Ciudad de Ibagué, en 2018, denominada **“CIUDAD INTELIGENTE: ESTUDIO PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS EN LOS SERVICIOS URBANOS DE IBAGUÉ - TOLIMA”**, se quiso determinar qué aspectos posee la ciudad de Ibagué Tolima para ser una ciudad inteligente, de esta manera en la presente investigación se verificaron aspectos tecnológicos en cuanto a:

- Conceptos, cobertura, visión, casos de uso de ciudades inteligentes y sostenibles.
- Características y requisitos de las ciudades inteligentes y sostenibles.

- Servicios eficientes a través de las dimensiones de una ciudad teniendo en cuenta su infraestructura de red y su marco arquitectónico.

De esta manera se tomó como referencia lo establecido por la International Data Corporation (IDC) en el 2012 en la búsqueda de la inteligencia como lo muestra la Figura No. 1 en la identificación del nivel de madurez en que se encontró la ciudad de Ibagué, de acuerdo a cinco (5) elementos como son: Gobierno, Edificios, Movilidad, Energía y medio ambiente y servicios. Es por ello que se analizó el conjunto de atributos y elementos establecidos por esta entidad aplicando instrumentos de recolección en la ciudad de Ibagué y de esta manera determinar el nivel de madurez en la que se encuentra

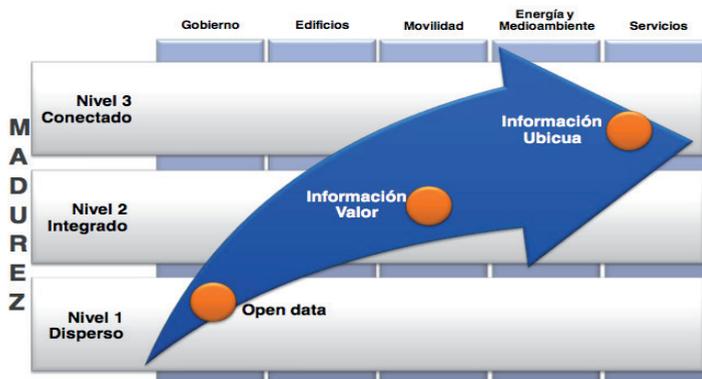


Figura No. 1 Niveles de Madurez de una Ciudad Inteligente. Fuente: IDC 2012

En la actualidad no se puede encontrar una solución mágica o universal en la que se garantice el éxito de una ciudad en su búsqueda de la inteligencia, lo que se busca es una transformación en diferentes áreas que deben tener en cuenta varios de estos elementos antes mencionados. Se deben definir rutas o políticas en los planes de gobierno de las ciudades y/o leyes nacionales o en otra medida tomar casos de éxitos en ciudades donde se haya avanzado en el camino hacia una ciudad Inteligente. Es así que, teniendo en cuenta diferentes referencias se puede comparar en aspectos como el clima, ubicación geográfica, tipo de población, economía, y su articulación en la inclusión de ciudadanos con algún tipo de discapacidad. Teniendo en cuenta la IDC las mediciones según los niveles que han establecido para conocer qué tan inte-

ligente es una ciudad se deben realizar teniendo en cuenta cada uno de los ámbitos como son: gobierno, edificios, movilidad, energía y medio ambiente, y servicios. Con esta guía se puede establecer que camino debe recorrer las ciudades para convertirse en una ciudad “Conectada” que es el nivel más alto de madurez. Todo esto converge en una atención pertinente al Ciudadano que es el objetivo final de toda ciudad inteligente, mejorar la calidad de vida de cada una de las personas que viven en ella, teniendo en cuenta cada uno de los atributos previamente mencionados.

Es por lo anterior que mediante la investigación desarrollada en el 2018 se esperó dar respuesta a las siguientes inquietudes: ¿Es Ibagué una ciudad inteligente? ¿Como realizan un proceso de inclusión tecnológica a las personas con algún tipo de discapacidad? ¿Qué le hace falta a Ibagué para convertirse en una ciudad inteligente? ¿En qué nivel de madurez se encuentra Ibagué de acuerdo con la IDC? ¿Es Ibagué una ciudad desarrollada tecnológicamente para el ciudadano? Estas fueron algunos de los interrogantes que se plantearon y por el cual se realizó un diagnóstico y análisis de medición de uno de los elementos que constituyen una ciudad inteligente para la ciudad de Ibagué.

## 2. Procedimiento

Para el desarrollo del proyecto Rubio (2018) se tuvo en cuenta las siguientes etapas:

### **2.1 Verificación bibliográfica:**

Teniendo en cuenta que el desarrollo de ciudades inteligentes en América Latina y en Colombia es muy bajo, en tal sentido en el estudio del arte, no se encontraron estudios relacionados al tema de la investigación del proyecto. Es por tal motivo que para comenzar con la investigación se extendió la búsqueda a nivel internacional de lo relacionado sobre las ciudades inteligentes el cual permitió encontrara no solo diferentes definiciones si no grupos focales que trabajaron este tema que ha tomado gran relevancia a nivel mundial. Se

encontraron diferentes conceptos que se acercaban al objetivo de la investigación entre las cuales se destacan las del MIT, Dixon e IMB.

Según el *Massachusetts Institute of Technology (2014)* “La Iniciativa de Ciudad de la Ciencia en el MIT Media Lab está explorando tecnologías para ayudar a desarrollar ciudades que facilitan la creación de características urbanas deseables, tales como vehículos eléctricos compartidos, entornos de vida adaptables, flexibles y espacios de trabajo.” Este instituto ha centrado sus esfuerzos en establecer que las ciudades inteligentes pueden ser capaces de sustentar y auto-sostenerse mediante un diseño pertinente de sus procesos promoviendo la conectividad si perder su relación con el ambiente.

En el caso de *Dixon (2012)*, “En lugar de luchar por el crecimiento físico, hoy en día el éxito de una ciudad se debe medir por la prudencia que utiliza la energía, el agua y otros recursos lo bien que se mantiene una alta calidad de vida para su pueblo, y lo inteligente que es en la construcción de la prosperidad en una base sostenible”.

Para *IBM (2012)* “El atractivo de una ciudad está directamente relacionada con su capacidad para ofrecer los servicios básicos que apoyan las oportunidades de crecimiento, crear valor económico y crear una diferenciación competitiva. Habitantes potenciales, tanto de la variedad comercial y residencial, un montón de discriminación, y que están buscando para las ciudades que operan de manera eficiente y con un propósito”.

Por otra parte, **La Universidad Externado de Colombia** en el año 2012 emitió una *guía de Territorios y ciudades Inteligentes* publicada con el fin de cómo formular el plan de desarrollo de una Smart City teniendo en cuenta planes y proyectos enfocadas a mejorar el desarrollo de la comunidad a través de las TIC, dando ejemplos explícitos y de éxito de aplicaciones generados en otras ciudades.

En cuanto a normatividad se encontró al organismo especializado de las naciones unidas para las tecnologías de la información y la comunicación ITU, según su sigla en inglés International Telecommunication Union; esta agencia

se encarga de facilitar la conectividad internacional de las redes de comunicaciones, elaborando diferentes normas técnicas que garanticen la armoniosa interconexión de redes y tecnología. Es por ello que crearon un Grupo Temático enfocado en el tema de las Ciudades Inteligentes y Sostenibles con código FG-SSG. En este grupo se puede encontrar diferentes documentos que pueden servir como guía para las ciudades que deseen enfocar sus esfuerzos en volverse sostenibles e inteligentes mediante el uso de la tecnología. Para la presente investigación orientada para la ciudad de Ibagué se tuvieron en cuenta los siguientes informes:

- Visión Global de Ciudades Inteligentes
- Ciudades Inteligentes y sostenibles
- Indicadores de Rendimiento para Ciudades Inteligentes
- Uso de las TI en Ciudades Inteligentes y sostenibles
- Gestión de las TI en Ciudades Inteligentes
- Ciberseguridad y protección de Datos

Por otra parte, se tuvo en cuenta los niveles de madurez establecidos por la *International Data Corporation IDC 2012*, para establecer qué atributos verificar para cada elemento de una ciudad inteligente como lo muestra la Figura No. 2.

		GOBIERNO	EDIFICIOS	MOVILIDAD	ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE	SERVICIOS
<b>M A D U R E Z</b>	<b>NIVEL 3 CONECTADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gobierno inclusivo</li> <li>• Información adaptable</li> <li>• Colaboración stakeholder centric</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adopción de edificios Zero-Energy (ZEB)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movilidad pública y privada pervasiva baja de emisiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes inteligentes</li> <li>• Prosumers pervasivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad Predictiva y Ubicua</li> <li>• Gestión integral de los servicios emergencia</li> </ul>
	<b>NIVEL 2 INTEGRADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gobierno Participativo</li> <li>• Compartición de información valor online</li> <li>• Colaboración entre entidades públicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penetración incremental de Edificios inteligentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataforma para la optimización del tráfico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores / Smart meters inteligente</li> <li>• Uso incremental del renovables</li> <li>• Programa de gestión de clientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de Monitorización y control</li> <li>• Plataformas ricas eServices</li> </ul>
	<b>NIVEL 1 DISPERSO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gobierno Transparente</li> <li>• Disponibilidad datos online</li> <li>• Colaboración limitada entre entidades públicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de los estándares energy class de construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de congestiones de tráfico</li> <li>• Iniciativas para disminuir emisiones (e): Carpooling; puntos de Carga PEV; Teletrabajo, Compartición bici)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo parcial de Smart Metering/ Smart Grid</li> <li>• Penetración limitada de Renovables</li> <li>• Plan de acción para bajar emisiones</li> <li>• Protección medio Ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas parciales de seguridad Ciudadana</li> <li>• Portales segregados de eCommerce, eTourims, eEducation</li> </ul>

Fig. No. 2. Adaptada de la estructura de niveles de madurez de una ciudad inteligente de la IDC.

Fuente: propia

A nivel nacional y local se tuvieron en cuenta lo emitido por el Ministerio de Transporte en cuanto la ubicación de señalización vial, Ley 01083 del 31 de Julio de 2006 “Por medio de la cual se establece algunas de las normas sobre la planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones” y Decreto No. 1.1 – 0656 de 2008 «Por medio del cual se adopta la estructura de la Alcaldía de Ibagué y se señalan las funciones de sus dependencias». Se verificaron las tecnologías utilizadas por ciudades como Medellín y Bogotá para el control de tráfico que son pioneros en estas áreas en Colombia con el fin de determinar lo que requiere una ciudad en este aspecto. En cuanto a lo que corresponde a conectividad para ciudadanos se realizó una verificación de cuál es la oferta actual de los diferentes operadores a nivel nacional y cuál sería la velocidad ideal para cualquier persona o entidad.

Para la medición de los Edificios Inteligentes que debe poseer el gobierno para el beneficio del ciudadano, se realizó la construcción de una lista de chequeo en aspectos como sistemas automatizados de recopilación de información teniendo en cuenta la población con discapacidad, sistemas de monitoreo de consumo de energía, sistemas de monitoreo a distancia de luces y elementos eléctricos, sistemas de videovigilancia, sistemas de control inteligente entre otros aspectos. Con respecto a los Servicios en Línea para los CIUDADANOS, variable como la accesibilidad e INCLUSIÓN para cualquier tipo de población de acuerdo a sus condiciones, fue uno de los aspectos más valorados en la investigación, lo cual se tomó como referencia herramientas Web que permitirá realizar diagnósticos con respecto mediciones de concurrencia, mediciones de visibilidad de buscadores, medidores de rendimiento de la página web, mediciones de la página web, adaptabilidad a cualquier tipo de dispositivo, participación ciudadana en doble vía, colaboración entre entidades Públicas, Inclusión para la población, servicios ciudadanos que aporten a las política del cero papel ( Directiva presidencial 04 de 3 de abril de 2012), y la ley antitrámites (Ley 962 de 2005).

## **2.2. Instrumentos de medición**

Para establecer cómo se encontraba la ciudad de Ibagué en el ámbito de ciudad inteligente y teniendo en cuenta cada uno de los elementos que se requieren

para lograrlo se determinaron diferentes tipos de instrumentos de medición para determinar que posee tecnológicamente la ciudad para mejorar la calidad de vida en los ciudadanos y su Inclusión. Por lo anterior se dividieron en cinco (5) ítem como lo muestra la Tabla No. 3. Desde allí se esperaba generar una matriz de todos los elementos y como están al servicio del ciudadano.

<b>Movilidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toma datos</li> <li>• Lista de Chequeo de acuerdo a la muestra obtenida</li> </ul>
<b>ENERGIA ( Alumbrado Publico), Servicios y Educación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de Chequeo</li> <li>• Ficha de observación</li> </ul>
<b>CONECTIVIDAD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software Especializado de medición de la conectividad ( ACRILYC WIFI)</li> <li>• Lista de Chequeo</li> </ul>
<b>Servicios Urbanos Online</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de chequeo</li> <li>• Software medición</li> </ul>
<b>EDUCACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TIC en el aula</li> </ul>

Tabla No. 3 Ítems de medición para la ciudad de Ibagué. Fuente: Propia

Para la **MOVILIDAD** fue necesario determinar la población total en comunas y barrios para poder hacer la aplicación de una lista de chequeo, de tal manera que se obtuvo la muestra como establece la Tabla No. 4.

<b>POBLACIÓN: Movilidad</b>			
13 Comunas de Ibagué			
474 Barrios de acuerdo a la Secretaría de Planeación Municipal.			
<b>MUESTRA</b>			
<b>TAMAÑO DE MUESTRA PARA ESTIMAR UNA PROPORCIÓN %</b>	<b>TAMAÑO DE MUESTRA PARA ESTIMAR PROPORCIÓN</b>		
	Tamaño de la población	N=	474
	Nivel de significancia	$\alpha$ =	0,05
	Nivel de confianza	1- $\alpha$ =	0,95
	Cuantil Z	Z=	1,959963986
	Desviación poblacional	P=	0,5
	Precisión	Q=	0,5
	Tamaño de muestra	Desviación PQ=	0,25
	Precisión	Error d=B=E=e=	0,05
	Tamaño de muestra	n=	212

Tabla No. 4 Población y muestra de comunas y barrios para la ciudad de Ibagué. Fuente: Propia

Mediante la Secretaría de Planeación de la ciudad se pudo adquirir información digital en formato de imágenes los mapas de cada una de las trece (13) comunas que posee Ibagué en el cual se discriminan los barrios que poseen, estados de vías, estado de transporte y estratificación; sin embargo, al solicitar el mapa de la ciudad de Ibagué con toda la información consolidada, no coincide ninguno de los datos. Es por tal motivo que uno de los productos del proyecto fue la creación de un mapa de Ibagué con todos los barrios reconocidos con el fin de ubicar los barrios a los cuales se realizaría las mediciones. A través de este instrumento desarrollado se pudo identificar los barrios por cada comuna que se generaron aleatoriamente para visitar y poder tener las mediciones que correspondía también a **ENERGÍA, CONECTIVIDAD y EDUCACIÓN**.

### **2.3. Aplicación de medición**

Durante la visita a cada uno de los barrios aleatorios que se generó para la investigación se utilizó un Drone Phantom 4 Pro como herramienta para la medición de los atributos que se estaban teniendo en cuenta en la determinación de Ibagué como ciudad inteligente. De igual medida se utilizó una lista de chequeo, en el cual se verificó aspectos como el estado de la señalización y los puntos de acceso para personas con algún tipo de discapacidad en la malla vial, evaluando así, la sostenibilidad de la ciudad para establecer cuáles son los puntos críticos en este aspecto con el fin de mejorar la calidad de vida del ciudadano ibaguereño.

En el ítem de **CONECTIVIDAD**, se tuvo en cuenta el informe emitido por la Alcaldía de Ibagué en cuanto a las zonas de wifi públicas como la muestra la Figura No. 5, para el cual en cada punto se aplicó el software de medición de velocidad Acrylic WIFI profesional, HeatMaps Acrylic WIFI, WiFi Speed Test, ya que una de las características principales de una ciudad inteligente es proveer de manera gratuita y apropiada para toda la ciudadanía el servicio de Internet, realizando un diagnóstico en cada uno de los puntos disponibles para la ciudadanía.

## Ibagué ahora cuenta con 34 zonas WiFi públicas gratuitas

### Listado de los sectores



Figura No. 5. Zonas WIFI gratuitas de la ciudad de Ibagué. Fuente: Alcaldía Municipal de Ibagué

De igual manera, en cada uno de los ítems se tuvo en cuenta el proceso de inclusión para la ciudadanía que posee algún tipo de discapacidad, para lo cual los mecanismos de socialización de estos puntos no tuvieron en cuenta la población con discapacidad visual, ya que no se tenía lenguaje Braille, tampoco existe algún equipo electrónico para explicar a las personas con discapacidad auditiva para la forma más adecuada para acceder a este servicio. En cuanto a Servicios Urbanos Online se revisaron cada uno de los portales de las entidades y secretarías que pertenecen a la alcaldía de Ibagué como son:

1. Secretaría Administrativa
2. Secretaría Apoyo a la Gestión
3. Secretaría Bienestar Social
4. Secretaría de Cultura y Turismo
5. Secretaría desarrollo rural
6. Secretaría de educación
7. Secretaría de gobierno
8. Secretaría de hacienda
9. Secretaría de infraestructura

10. Oficina Jurídica
11. Secretaría de Tránsito
12. Secretaría de Planeación
13. Secretaría de Salud
14. IBAL – Empresa ibaguereña de Acueducto y alcantarillado
15. INFIBAGUE – Instituto de financiamiento, promoción y desarrollo de Ibagué
16. IMDRI – Instituto municipal para el deporte y la recreación de Ibagué
17. Gestora urbana

En el cual se utilizó una lista de chequeo que verifica la transparencia de información al ciudadano y el proceso de inclusión en los aspectos como se indicaron anteriormente en la construcción de los instrumentos utilizados y las herramientas utilizadas.

## 3. Resultados

Uno de los primeros productos obtenidos de la presente investigación es el mapa de la ciudad de Ibagué con las comunas y barrios autorizados por la secretaría de planeación, el cual hubo que desarrollarse desde cero, en la Figura No. 6 se puede apreciar este mapa pero posee tanta información detallada como las banderillas de la muestra donde se aplicaron las mediciones, por lo tanto para ver con más detalle se puede consultar en la página del semillero en el siguiente enlace [https://www.ibaguesmartcity.com/mapa\\_ibague/](https://www.ibaguesmartcity.com/mapa_ibague/).

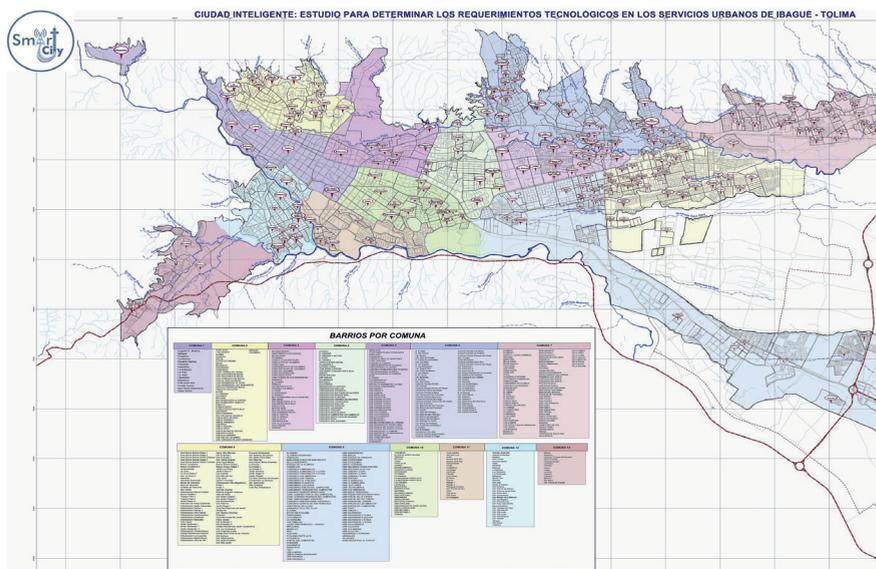


Imagen No. 6. Mapa de Ibagué con barrios de muestra para medición. Fuente: Propia

### 3.1 Movilidad

Para este ítem se verificó el teniendo en cuenta los siguientes atributos:

1. Control del tráfico
2. Control tráfico en zonas peatonales o de acceso restringido
3. Gestión de Buses, Busetas de transporte Público Municipal
4. Gestión de peajes
5. Gestión de puntos de recarga de vehículos eléctricos
6. Gestión de red de bicicletas públicas
7. Gestión de estacionamiento limitado
8. Gestión de ZONAS DE PARQUEO
9. Gestión de semáforos y señalética
10. Gestión de Paneles de información
11. Accesibilidad en establecimientos privados

12. Accesibilidad en establecimientos públicos

13. Accesibilidad en medios de transporte urbano

Con el uso de un dron se tomaron más de 2.000 fotografías en cada uno de los barrios establecidos por la muestra en la Figura No. 7 se puede apreciar la ciudad de Ibagué. Por medio de una lista de chequeo se revisaron cada uno de los atributos nombrados previamente.



Figura No. 7 Ciudad de Ibagué vista de Dron. Fuente: Propia

Respecto a la variable movilidad, entre los resultados obtenidos se puede visualizar en la Figura No. 8 Grado de servicio de la movilidad se evidenció, que la categoría con un alto grado de implementación corresponde a la gestión de red de bicicletas públicas con un 77%, seguido Gestión de Paneles de información con un 57%; de forma crítica, se evidenció que el control de tráfico por zonas peatonales, gestión de peajes, gestión de puntos de recarga de vehículos, gestión de estacionamiento limitado, gestión de zonas de parqueo, accesibilidad en establecimientos privados y la accesibilidad en medios de transporte no tienen ninguna implementación, se hace necesario desplegar mecanismos de acción para los mismos. Por otra parte, no existen espacios delimitados para personas con algún tipo de discapacidad.



Figura No. 8 Grado de servicio de la movilidad. Fuente: Propia.

### 3.2 Entorno del ciudadano

En cuanto a este ítem se revisaron los siguientes atributos, teniendo en cuenta la secretaría o entidad que revisaba cada uno de ellos:

1. Mantenimiento de parques, jardines y playas- INFIBAGUE
2. Medición medioambiental: Ruido - CORTOLIMA
3. Gestión del riego- INFIBAGUE
4. Limpieza Diaria - INTERASEO
5. Medición medioambiental: Calidad del aire - CORTOLIMA
6. Recogida de residuos- INTERASEO
7. Gestión de la red de puntos limpios – INTERASEO
8. Gestión de la red y consumo de gas en edificios municipales –ALCANOS
9. Gestión de la red eléctrica y consumo del alumbrado público – INFI-BAGUE
10. Monitorización del consumo energético en edificios privados y hogares – ENERTOLIMA
11. Consumo y calidad del agua- IBAL
12. Gestión de la red saneamiento y depuradoras- INTERASEO

De acuerdo con los resultados obtenidos en la figura No.9 en cuanto a medición medio ambiental en cuanto calidad del Aire, en el grado de transparencia del servicio Cortolima (Corporación Autónoma Regional del Tolima) su nivel

es el Máximo solo en el ámbito publicación de datos relacionados en el portal de transparencia municipal.

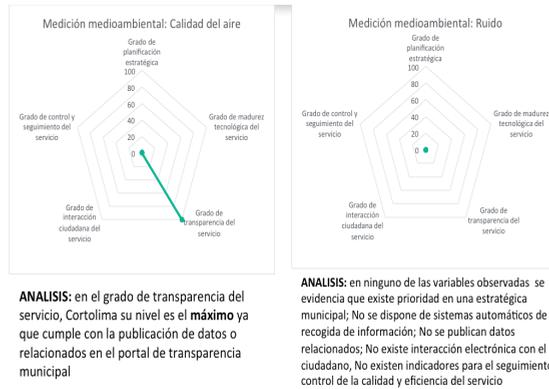


Figura No. 9 Medición medio ambiental calidad del aire. Fuente Propia

De acuerdo con los resultados la Figura No. 10, se puede apreciar que en ninguna de las variables observadas se evidencia que existe prioridad de una estrategia municipal, no se dispone de sistemas automáticos de recogida de información, no existe indicadores de seguimiento del control y calidad en la medición del ruido.

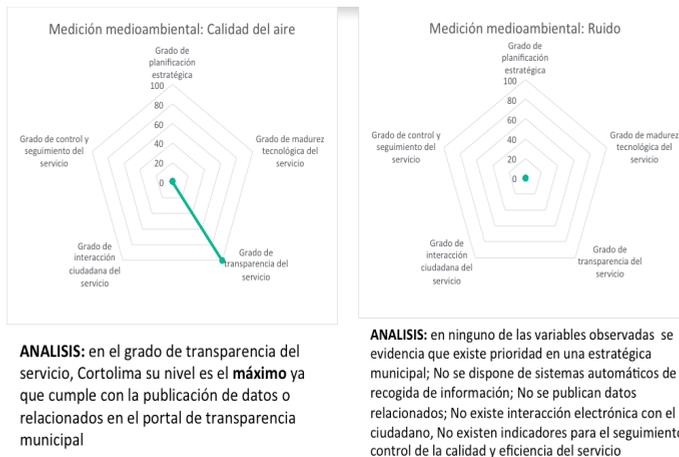


Figura No. 10 Medición ambiental de ruido. Fuente: Propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la figura No. 11 en cuanto a la gestión de la red saneamiento y depuradoras calidad del agua, este ítem

forma parte de una estrategia y/o plan municipal; adicional presentan en el portal de transparencia municipal, ya que muestran seguimiento y control de forma automática.

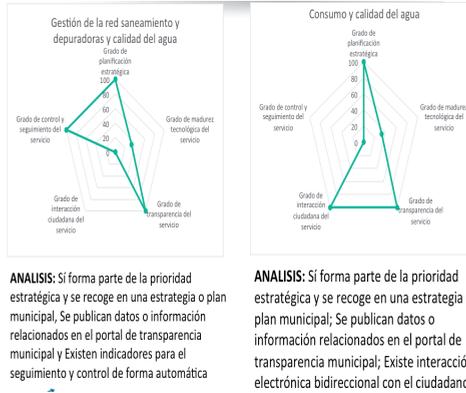


Figura No. 11 Gestión de la red saneamiento y depuradoras y calidad del agua. Fuente Propia

En la Figura No. 12 El consumo y la calidad del agua del municipio hacen parte de la prioridad estratégica; sin embargo, no hay seguimiento de cómo se presta el servicio al ciudadano y hace falta mejorar la interacción electrónica bidireccional para que se conozca todos los por menores del servicio.

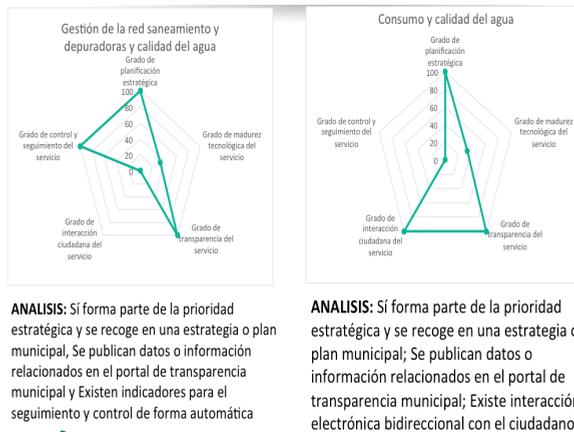


Figura No. 12 Consumo y calidad de agua. Fuente: Propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la figura No. 13 en cuanto a la recogida de residuos, no existe un grado de madurez tecnológica del servicio que permita tanto al municipio o al ciudadano, realizar un seguimiento en línea,

así como la interacción del ciudadano para determinar fallas en el proceso durante los tiempos establecidos, determinar cómo optimizar el proceso.

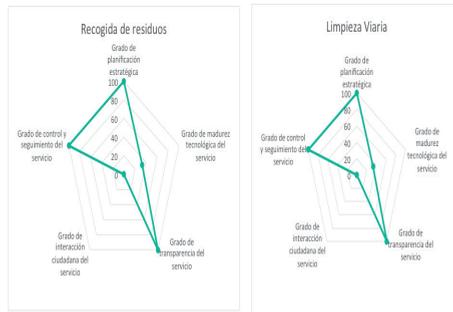


Figura No. 13 Recogida de Residuos. Fuente Propia

En la Figura No. 14 no se lleva a cabo una gestión estratégica del consumo eléctrico en cada una de las instalaciones disponibles del municipio para el proceso de ahorro de energía, no se encuentra ningún servicio con algún tipo de tecnología que permita el control del consumo diario y mensual.

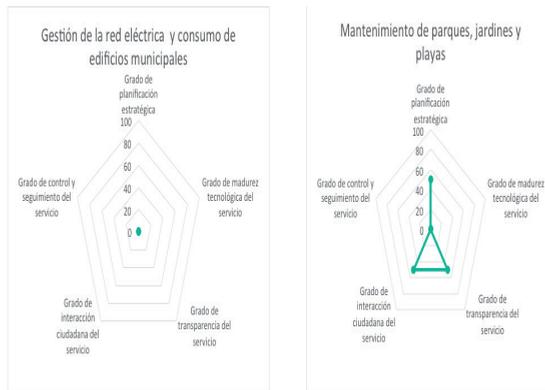


Figura No. 14 Gestión de la red eléctrica y consumo de edificios municipales. Fuente: Propia.

Para el entorno de la Ciudad de Ibagué, no existe un adecuado uso de su ambiente, hace falta mediciones estratégicas de ambiente y aplicar el proceso de sostenibilidad que se espera de una ciudad inteligente, de igual forma se tomaron los INDICADORES SMART PARA LOS SERVICIOS A LA CIUDAD en los aspectos de Grado de planificación estratégica, grado de madurez tecnológica en el servicio, grado de transparencia del servicio, grado de Interacción ciudadana del servicio y grado de control y seguimiento del servicio.

### 3.3. Gobierno

En cuanto a este ítem se realizó una evaluación de cada uno de los portales disponibles por parte del municipio en el cual se tuvieron en cuenta los siguientes atributos:

1. Portal de transparencia
2. Redes sociales
3. Trámites on-line
4. Página web corporativa
5. Páginas web sectoriales
6. Aplicaciones móviles de información y atención al ciudadano
7. Plan Estratégico Municipal y Plan de Ciudad Inteligente
8. Inventario electrónico de activos municipales
9. Cartografía electrónica

Como resultado en la Figura No.15 se evidencia la evaluación obtenida de los servicios urbano online en el cual aunque se dispone de la herramienta estas resultan ser ineficientes, no adecuados para la comunidad, por ejemplo solo existe un 70% de la transparencia de la información para el ciudadano y entre los atributos críticos se encuentra 0% de implementación de sede electrónica, el inventario de activos del municipio y en el proceso de inclusión no se encuentra ninguna implementación de servicios para personas con algún tipo de discapacidad.

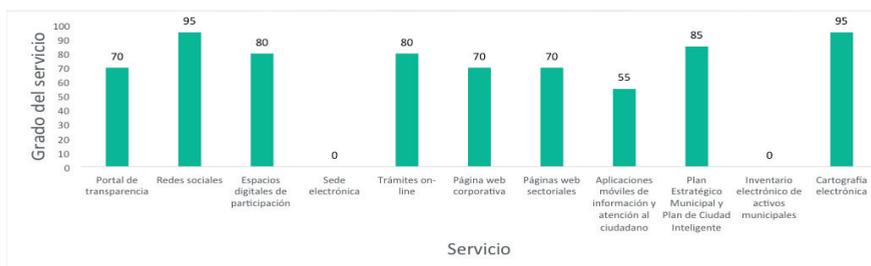


Figura No.15 Evaluación de servicios Online Municipio. Fuente: Propia

### 3.4 Personas inteligentes

De acuerdo a los resultados obtenidos en la figura No. 16 en cuanto al grado de servicio para los ciudadanos se cuenta con un porcentaje del 80% en cuanto a Plataforma local de colaboración colectiva para retos de la Ciudad (Crowdsourcing) tuvo la mayor implementación con un 80%, ya que en el indicador de Grado de incorporación de temáticas y contenidos de interés ciudadano al servicio digital, se obtuvo la calificación más alta en el aspecto de “dispone del servicio digital que incorpora la totalidad de temáticas y contenidos es decir más del 90%”, se tuvo por el contrario, que el asesoramiento y capacitación en nuevas tecnologías tuvo una menor implementación con un 55%. En cuanto al proceso de inclusión a través de las TIC desafortunadamente la ciudad de Ibagué se encuentra el 0%. De tal manera que en la actualidad no hay apoyo para el ciudadano con algún tipo de discapacidad auditiva, visual o cognitiva, mostrando que es un aspecto a mejorar para aportar a la inclusión de los ciudadanos.



Figura No. 16 Grado del servicio en personas inteligentes. Fuente Propia

## 4. Conclusiones

Una vez dimensionado esta investigación, utilizando una muestra significativa para la Ciudad de Ibagué, Tolima y de acuerdo con los resultados de la aplicación de los instrumentos y mediciones desarrolladas para el presente proyecto de investigación se pudo concluir que la ciudad de Ibagué en primera medida no puede catalogarse en ningún nivel de madurez de establecido por la referencia de la IDC, es decir que no cuenta con los atributos mínimos

para llamarse una ciudad inteligente. Uno de los aspectos relevantes obtenidos en la presente investigación fue que a pesar que el ciudadano es uno de los grandes actores y por el cual deben converger todos los atributos tecnológicos que se le deben ofrecer no se tiene en cuenta su participación en los servicios que ofrece el gobierno. De igual manera las personas que poseen algún tipo de discapacidad mental o físico no cuentan con el apoyo del municipio de Ibagué para ser participe activo de la ciudad y los servicios que ofrece. Con el avance de la Tecnología y su inclusión en la vida cotidiana surge la necesidad de establecer ciudades que utilicen el Internet de las Cosas y mejores los elementos que constituyen una ciudad en pro de la calidad de vida de sus ciudadanos.

Teniendo en cuenta el estudio desarrollado de todos los aspectos tecnológicos que debe poseer una ciudad para llegar a ser inteligente desde cada uno de elementos como lo son gobierno, edificios, movilidad, energía y medio ambiente y servicios online en Colombia no existe ninguna ciudad que posea todas las características en conjunto para obtener el primer grado de madurez. Aunque se han realizado avances en diferentes aspectos como por ejemplo en Medellín que cuentan con el centro integrado de información de tráfico o Bogotá que entre algunos puntos utiliza energía renovable para el alumbrado público, ninguna de ellas se puede nombrar como SmartCity pues para llegar a este estándar se deben cumplir con elementos específicos.

En cuanto a la inclusión se han realizado diferentes avances para apoyar a las personas con algún tipo de discapacidad en aspectos como la educación; sin embargo, todavía hace falta puntos clave como su desplazamiento por la ciudad o acceder a diferentes tipos de servicios municipales. Cada avance es significativo y solo se puede esperar mayor apoyo por parte del gobierno para que se implemente tecnologías que sirvan al ciudadano y conviertan a una ciudad en inteligente.

## 5. Bibliografía

- Aoun, Charbel, The Smart Sustainable City Cornerstone: Urban Efficiency, Schneider Electric, Web. Último acceso 19 Feb. 2016. [http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/smart-cities/998-1185469\\_smart-city-cornerstone-urban-efficiency.pdf](http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/smart-cities/998-1185469_smart-city-cornerstone-urban-efficiency.pdf)
- Arup, Accenture, Horizon, and University of Nottingham, Information Marketplaces: The New Economics of Cities, The Climate Group, Web. Último acceso 28 Feb. 2016. [http://www.theclimategroup.org/\\_assets/files/information\\_marketplaces\\_05\\_12\\_11.pdf](http://www.theclimategroup.org/_assets/files/information_marketplaces_05_12_11.pdf)
- ARUP, Transforming the 21st Century City via the Creative Use of Technology, ARUP's IT & Communications Systems Team, 01 Sept. 2011. Web. Último acceso 19 Feb. 2016. [http://www.arup.com/Publications/Smart\\_Cities.aspx](http://www.arup.com/Publications/Smart_Cities.aspx).
- Berton, Bruno, Massat, Patrice, and Collinson, Shawn, Building and Managing an Intelligent City, <http://www.accenture.com/>. Accenture Management Consulting, Web. Último acceso 22 Feb. 2016. <http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/PDF/Accenture-Building-Managing-Intelligent-City.pdf>
- Giffinger, Rudolf, et al. Smart Cities Ranking of European Medium-sized Cities, Centre of Regional Science, Vienna UT, Oct. 2007. Page 10. Web. Último acceso 28 Feb. 2016. [http://www.smart-cities.eu/download/smart\\_cities\\_final\\_report.pdf](http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf).
- González, Juan Andrés Alonso, and Rossi, Andrea, New Trends for Smart Cities, Competitiveness and Innovation Framework Programme, 2011. Web. Último acceso 13 Feb. 2016. <http://opencities.net/sites/opencities.net/files/content-files/repository/D2.2.21%20New%20trends%20for%20Smart%20Cities.pdf>
- Hitachi, Smart Cities: Hitachi, Hitachi, Ltd, Web. Último acceso 19 Feb. 2016. <http://www.hitachi.com/products/smarty/vision/concept/index.html>

IBM, IBM's Smarter Cities Challenge, IBM Corporation, July 2013. Web. Ultimo acceso 13 Feb. 2016. [http://smartercitieschallenge.org/scc/executive\\_reports/SCC-Copenhagen-Report.pdf](http://smartercitieschallenge.org/scc/executive_reports/SCC-Copenhagen-Report.pdf).

Meijer, Albert, and Bolívar, Manuel Pedro Rodríguez, *Governing the Smart Sustainable City*: Scaling-Up the Search for Socio-Techno Synergy, T EGPA 2013 (Edinburgh, September) Permanent Study Group on E-Government, 2013, Web. Ultimo acceso 28 Feb. 2016. [https://www.scss.tcd.ie/disciplines/information\\_systems/egpa/docs/2013/BolivarMeijer.pdf](https://www.scss.tcd.ie/disciplines/information_systems/egpa/docs/2013/BolivarMeijer.pdf)

Politica Antitrámites. (2005). Tomado desde 14 August 2019, from [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0962\\_2005.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0962_2005.html)

Rubio Vanegas, C., Rubio Vanegas, G., Leyton, O., & Sánchez, J. (2018). CIUDAD INTELIGENTE: ESTUDIO PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS EN LOS SERVICIOS URBANOS DE IBAGUÉ -TOLIMA. Ibagué: UNAD. Retrieved from: <https://www.ibaguesmartcity.com/>

Schneider Electric, *Smart Cities*, Schneider Electric, Web. Ultimo acceso 13 Feb. 2016. [http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/en/solutions/sustainable\\_solutions/smart-cities.page](http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/en/solutions/sustainable_solutions/smart-cities.page)

Smart Sustainable City, *Business Dictionary*, Web. Ultimo acceso 3 Mar. 2016. <http://www.businessdictionary.com/definition/smart-city.html>.

Telefónica, *What is a Smart Sustainable City?* Telefónica, Web. Ultimo acceso 28 Feb. 2016. <http://smartcity-telefonica.com/?p=373>.

Universidad Externado de Colombia. (2012). *Guía de Territorios y ciudades inteligentes*. Bogotá: Digiprint Editores.



• CAPÍTULO III •

# Ecourbanismo y diseño paisajístico con lepidópteros para el espacio público

Alba Lucía Acosta Olaya, Lina Fernanda Mojica Sánchez,  
Luz Dary Pedraza Hernández, Sandra Patricia Reyes Ortiz,  
Francisco Quiñonez, Jorge Andrés Rincón Largo  
Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA  
Universidad de Manizales





# Introducción

El espacio es una realidad relacional, su definición se ve mediatizada por otras realidades como son la sociedad y la naturaleza unidas por el trabajo, para lo cual en las ciudades y sus alrededores es de vital importancia tanto para el ser humano como para las especies silvestres que allí lleguen o habiten, se habla del entorno de las construcciones y edificios como algo formal que debe encaminarse a ser amigable y sostenible con el medio ambiente, brindando no solamente estética y placer a la vista, sino sirviendo como construcción del espacio con responsabilidad ambiental, sin embargo es importante para hacerlo, saber no solo sobre la importancia del paisajismo, sino como utilizar las plantas hospederas y nectaríferas de las mariposas en el paisaje, para hacer que estos lindos personajes de la naturaleza, decoren los jardines y espacios verdes de la ciudad.

Es importante dejar atrás las construcciones completamente grises del hormigón y el concreto, con grandes espacios completamente pavimentados sin una pizca de color natural, que pueda brindar refugio a diversas especies silvestres y al ser humano.

Además de esto, es de resaltar que las mariposas son un indicador medioambiental de lo sano que se encuentra el medio ambiente con respecto a la diversidad (de la cual nos sentimos tan orgullosos, por lo que debemos hacer un esfuerzo por conservarla); de esta manera la ciudad actúa con responsabilidad social ambiental.

## **Ecourbanismo y sostenibilidad urbana**

---

Si se quiere ahondar en el hecho urbano, debe tomarse de frente y sin tapujos la crisis que está generando en América Latina como consecuencia de su crecimiento desmedido y sin límites. Habrá que entender que esta crisis recae en el actual paradigma civilizatorio que hasta el momento se ha venido dando en una triada capital-desarrollo-crecimiento urbano muy alejada de la realidad territorial local y de la tan añorada sostenibilidad. Este crecimiento urbano, el cual se ha vuelto difuso y anquilosante, es precisamente una de las medidas que tiene el actual paradigma civilizatorio para hablar de moderno, modernización, desarrollado o de vanguardia, y que se ve reflejado en el PIB nacional y que poco o nada refleja las realidades y necesidades de las poblaciones locales que viven y sienten diariamente los problemas generados por la crisis ambiental de la cultura, particularmente en Latinoamérica.

Según explica Ángel (2002) de una manera un tanto radical, se puede decir que el ecosistema urbano no tiene problemas ambientales en el sentido moderno del término. La solución a lo que se conoce como problema ambiental no implica hacer encajar al ser humano dentro del ecosistema; por tanto, no consiste en saber conservar, sino en aprender a transformar bien. Este “saber transformar” es la clave para la sostenibilidad urbana en los países latinoamericanos, ya que no se puede escindir el crecimiento urbano de la crisis cultural y la incapacidad de las culturas locales para adaptarse de manera sostenible a los entornos. La expansión urbana viene afectando las estructuras ecológicas de las ciudades y produce impactos ambientales negativos, paisajes densos, hacinados y con tonalidades grises que contrastan y afectan de manera importante los entornos naturales.

Si observamos cuidadosamente al interior de los conflictos se puede concluir que los procesos desenfrenados de urbanización, sin bioclimática ni contexto, están llevando a la contaminación ambiental urbana y rural a la pérdida de estructuras simbólicas establecidas y a la mutación de las estéticas ambientales urbanas, ya que el carácter emblemático de las formas urbanas como territorios y campos significativos, polivalentes, polisémicos y pletóricos de alteridades que son ciento por ciento naturalezas simbólicas, exige una estetización de lo

ético-político en lo que se refiere a las decisiones y actuaciones de los actores implicados en la vida urbana como alternativa necesaria en los procesos contemporáneos de edificación de ciudades ambientalmente sostenibles, así como en la construcción de formas adecuadas de cultura urbana (Noguera, 2004: 118-119).

Bajo este enfoque se pretende dilucidar un cambio en la manera de habitar el territorio y la ciudad que apoye la idea de ambientar el urbanismo más allá del urbanismo verde, que permita tejer puentes entre lo físico y lo simbólico construyendo cultura del lugar, diseñando ciudades de manera resiliente y sostenible. Este diseño puede ser exitoso o no, eso dependerá del conocimiento que se tenga de las realidades simbólicas y establecidas del lugar.

Arturo Escobar, en su obra *Autonomía y diseño. La realización de lo comunal* (2016), hace una pregunta trascendente para la futura sostenibilidad de los territorios: “¿Podemos concebir la hipótesis de que las nociones de autonomía y comunalidad y sus prácticas asociadas, junto con la re-elaboración de formas comunales de saber, ser y hacer, establecen las bases para un nuevo pensamiento de diseño con las comunidades? (Escobar, 2016: 40). La pregunta es provocadora y crea la necesidad de buscar propuestas de diseño desde lo local, lo comunal-participativo conciencia ciudadana, lo vernáculo y desde lo emocional-simbólico de cada sociedad. Esta visión ampliada del diseño permitirá que el urbanismo transgreda sus límites establecidos hasta hoy para que, de manera expandida, se puedan crear ciudades amables, incluyentes y con paisajes sostenibles.

### **Las construcciones inspiradas en micro-hábitats de especies autóctonas y su contribución al paisajismo urbano**

---

El paisajismo en las ciudades y sus alrededores es fundamental tanto para el ser humano como para las especies silvestres que lo habiten. Se habla del entorno de las construcciones y edificios como algo formal que debe encaminarse a ser amigable y sostenible con el medio ambiente, brindando no solamente estética y placer a la vista, sino sirviendo como construcción del espacio con responsabilidad ambiental; sin embargo, es importante conocer

no solo la trascendencia del paisajismo, sino contar con el conocimiento sobre otros aspectos de él, por ejemplo, saber cómo utilizar las plantas hospederas y nectaríferas de las mariposas en el paisaje para hacer que estas hermosas especies de la naturaleza decoren los jardines y espacios verdes de la ciudad.

Para eso es necesario dejar atrás las construcciones grises del hormigón y el concreto, grandes espacios completamente pavimentados ausentes de color natural que imposibilitan la capacidad de brindar refugio a diversas especies silvestres y al mismo ser humano. El efecto de la transformación de tierras hace que se genere un mosaico de hábitats provocando un proceso de sucesión vegetal y afectando a los organismos presentes en los distintos remanentes (Gaviria y Henao, 2014), entre estos, las mariposas se pueden ver afectadas por el grado de intervención de los hábitats más rápidamente que otros grupos biológicos, por lo que han sido consideradas como una especie bioindicadora tanto de diversidad como de procesos ecológicos. Varios autores sugirieron acudir a estos insectos para realizar inventarios más eficientes (Halffter et al., 2001; Halffter, 2005). Según Chalmers (1996) los inventarios y estudios de la biodiversidad: “no solo son útiles para definir los rangos de distribución geográfica de las especies y reconocer cambios en la distribución de los organismos en el espacio y en el tiempo, sino que además apoyan la valoración económica, la exploración de posibles usos de las especies y el diseño de acciones de conservación” (Chalmers, 1996).

Las zonas verdes y los jardines en las ciudades y sus alrededores son de vital importancia y forman parte activa del paisaje, no simplemente para recreación y descanso, sino para que ahí puedan interactuar todo tipo de seres vivos, como los insectos, entre los que se encuentran las mariposas que tienen predominio en el índice de biodiversidad del sector donde se encuentran; de esta forma se evidencia la importancia de las plantas por ser “los recursos base de las cadenas tróficas que influyen en muchos aspectos de la organización de las comunidades” (Price, 1992, citado por Muriel et al, 2011: 276); en ellas se hospedan muchas larvas de insectos, además de los insectos mismos, lo que habla de la sanidad de la región. Tanto las plantas hospederas como las nectaríferas son fundamentales, debido a que sin las nectaríferas habría un

descenso en la cantidad de larvas, pues el insecto adulto se alimenta de ellas poniendo sus huevos en las hospederas.

En ciudades, poblaciones o centros urbanos, el jardín y las zonas verdes hacen parte de la cultura y estética de la ciudad, “conlleva valores o significados de tipo ambiental, configurando un paisaje, con una determinada biodiversidad incorporada” (Vélez y Herrera, 2013); al respecto, Cifuentes (2001) recomienda hacer un “mayor uso de especies vegetales autóctonas” para generar un impacto a escala local o urbana, por ser muchas veces las plantas el canal de introducción de especies animales invasoras, afectando negativamente a las locales, a tal punto que las pueden hacer desaparecer. Por este motivo resulta de especial importancia para la sostenibilidad ambiental del sector la introducción de especies locales hospederas y nectaríferas.

En el paisajismo, el ser humano planifica, diseña, gestiona, conserva y rehabilita los espacios en la ciudad, ofreciendo hábitats para especies silvestres (plantas y animales) en medios que proporcionan calidad ambiental, mejoran el microclima, brindan estética, además de ser un lugar de esparcimiento para el ser humano. Lejos están ya esos grandes espacios de hormigón y cemento que dejan una sensación de ahogo en las ciudades. Es importante mencionar aquí que en la mayoría de los casos se encuentra vegetación que no es la adecuada para el espacio público, además de no ser autóctonos, por lo que se hace imprescindible retomar las especies nativas.

Los espacios urbanos deben diseñarse de acuerdo con las necesidades de las personas que viven en ellos, pero, a la vez, sería conveniente sugerir y facilitar otras actividades, por ejemplo, que en el centro de la ciudad algunos trabajadores o empleados puedan compartir su almuerzo en contacto con la naturaleza, o que las sendas que unen diferentes barrios estén cubiertas de vegetación, de lugares de descanso o juegos, etcétera. Esto, en búsqueda de “crear, desarrollar y mantener un entorno físico natural y construido que facilite e impulse la actividad física”, lo que sumado a la necesidad de distracción de los habitantes de las ciudades es un logro por una mejor calidad de vida.

Las mariposas son excelentes modelos para estudiar el impacto de la pérdida o fragmentación del hábitat, así como el cambio climático actual dada su asombrosa biología y ecología que determinan el importante papel que desempeñan dentro de los ecosistemas, así como su alta diversidad, su capacidad de respuesta ante la intervención y su potencialidad en beneficio de la conservación de los ecosistemas. Esto se debe a que pertenecen a un grupo de organismos “modelo” extremadamente importante que ha sido usado durante siglos para investigar un gran número de áreas de estudio biológico (Zerynthia, 2010), como la ecología de comunidades (Boggs et al., 2003; Jaksic y Marone, 2007), también se han aprovechado las ventajas en el uso de estas especies como indicadores de biodiversidad (McGeoch, 1998).

De igual modo, la larga historia y popularidad del estudio de las mariposas ha proporcionado una fuente de información sobre un grupo inigualable de insectos a escala geográfica y temporal en todas partes del mundo (Zerynthia, 2010). Por tanto, los lepidópteros han sido sugeridos como excelentes bioindicadores de los ambientes húmedos tropicales (Brown, 1991; James et al., 1997), debido a su rápida respuesta provocada por su breve ciclo de vida, elevada afinidad ecológica con las plantas y alta sensibilidad a los factores abióticos y bióticos, lo cual permite evidenciar los cambios al interior del ecosistema.

Por otra parte, las mariposas son uno de los grupos de insectos diurnos más diversificados especialmente en la región tropical (Ehrlich y Raven, 1964) y presenta gran variedad de especies por cada localidad, factor que permite realizar comparaciones o labores de cartografía de biodiversidad de manera detallada (Villareal et al., 2004); su biología ha sido ampliamente investigada y quizá es el grupo de insectos más propicio para examinar patrones de diversidad y distribución biótica terrestre (Robbins y Opler, 1997).

Se habla entonces de procesos de restauración ecológica o de generar micro-sucesiones en el tiempo que podrían llevarse a cabo con los lepidópteros gracias a las ventajas antes mencionadas y a otros aspectos relevantes de estos insectos (McGavin, 2002), como el papel que juegan en la transformación de materia vegetal en materia animal durante el ciclo de huevo a adulto (Villareal et al., 2004), función esencial para llevar a buen término la cadena alimenticia

y la sucesión vegetal implantada que junto con el papel que desempeñan en la polinización de las plantas es un importante servicio ecosistémico, esencial para la humanidad.

A causa de su complejidad, dinámica, alta sensibilidad y capacidad de respuesta a los cambios mucho más rápido que otros grupos biológicos que tienen ciclos de vida largos, las mariposas se han utilizado más eficientemente y frecuentemente en investigaciones de procesos biogeográficos tendientes a comprender la diversidad de los trópicos (Matos et al., 2013) junto con análisis de impacto en sus poblaciones ante la intervención antrópica (Brown, 1982; Kremen et al., 1993). Estos estudios evidencian, resaltan y sugieren una forma de proteger y conservar los ecosistemas amenazados y su lepidóptero fauna asociada, debido a su importancia como potenciales dispersores de polen que permiten la distribución y extensión específica de las coberturas vegetales actuales, fuente de todas las interacciones al interior del sistema.

Para conservar los ecosistemas que día a día están más amenazados, tanto a nivel nacional como global, como resultado del cambio climático (Andrade, 2011), se propone la idea de mantener su estado actual, estableciendo una línea base de conocimiento para su valoración y gestión de los servicios ecosistémicos antes de que el daño ocasionado sobre estos sea irreversible.

Por último, debido a su vistosidad y facilidad de manejo en campo y laboratorio, es posible obtener información de estos insectos más rápidamente y con demandas económicas mínimas en comparación con otros grupos de estudio (Villareal et al., 2004). Tampoco es necesario contar con tiempos prolongados para observar sus ciclos de vida, y las plantas de las cuales se alimentan en estado de oruga están suficientemente identificadas, asimismo, habrá que considerar la capacidad adaptativa de algunas especies a ciertas condiciones y otras con necesidades microambientales muy estrechas (Villareal et al., 2004), lo cual se desprende principalmente de cierta estratificación, incluso a escala local, en cuanto a gradientes de luz, viento, humedad, temperatura y altitud (Ehrlich y Raven, 1964; Brown, 1991; Fagua, 1999) que, junto con la diversidad local de plantas, afectan finalmente la riqueza de especies presente, la cual se puede administrar en la medida que se van generando paulatinamente acciones

adecuadas de conservación y mitigación de impactos en los ecosistemas que día a día están más amenazados.

El efecto de la transformación de tierras hace que se genere un mosaico de hábitats provocando un proceso de sucesión vegetal que altera a los organismos presentes en los distintos remanentes (Gaviria y Henao, 2014). Las mariposas se pueden ver afectadas por el grado de intervención de los hábitats o ecosistemas más rápidamente que otros grupos biológicos, y gracias a ello son perfectos bioindicadores del estado de conservación de estos y pueden alertarnos para tomar acciones de mitigación de impactos, protección o conservación de nuestros ecosistemas amenazados en la región Orinoquía de una forma más adecuada, con tiempos y recursos que los limite antes de que se vuelva un problema irreversible que ocasione la pérdida acelerada de especies. Es por esto que se busca conocer qué cambios en la diversidad de mariposas pueden darse en cinco biotopos seleccionados con diferentes grados de intervención.

Por su parte, la capital del Meta, Villavicencio, pertenece a la zona convergente de especies de montaña y de las planicies, y hace parte del piedemonte, costado este de la Cordillera Oriental: “último frente de encuentro de los elementos norte y suramericanos, que probablemente fue un enclave de selva húmeda estable durante las fases secas del Pleistoceno. Desafortunadamente, debido a que es una zona de alta fertilidad, ha sido también una de las de mayor destrucción para su transformación en áreas de cultivo o potreros de pastoreo” (Andrade, 1998).

En vista de que nuestro propósito en esta región es aportar a la causa de cuidar, manejar y conservar los ecosistemas, somos conscientes de que generamos una simplificación en el paisaje, lo cual hace que se reduzca la mayor diversidad paisajística y la menor diversidad genética afectando la presencia de especies fundamentales para la integralidad ecosistémica. Para esto, es necesario aproximarse al estudio de la amplia variedad de lepidópteros como agentes bioindicadores del estado de conservación de estos ecosistemas amenazados. Conocer y cuidar nuestra biodiversidad es fundamental para evaluar, planear,

manejar, monitorear, conservar, ver cómo está cambiando esta diversidad, y adaptarnos o decidir hacer algo más drástico.

### **Plantaciones nectaríferas hospederas para lepidópteros: una contribución al paisajismo**

---

Los lepidópteros forman un grupo mucho más diverso y casi del doble de tamaño que el de las aves y peces marinos (que figuran entre los grupos con mayor número de especies entre los vertebrados), representando un porcentaje menor de 3.4% y 3.6% de la diversidad total registrada en Colombia con 1,889 y 2,000 especies descritas respectivamente (SIB, 2016). En invertebrados, por ejemplo, se estiman cerca de 300.000 especies más, de las cuales conocemos solo entre 10 y 20% (SIB, 2016), lo que indica que aún falta mucho por explorar e investigar sobre este tema.

Las mariposas son posiblemente el mejor grupo para evaluar y monitorear los patrones de diversidad dentro de los artrópodos terrestres (Kremen, 1992; Kremen, 1994; Villareal et al., 2004). Son muy confiables para ser utilizadas como bioindicadores en estudios de inventario o monitoreo de la biodiversidad, especialmente porque su biología y taxonomía son mejor conocidas (Villareal et al., 2004) que otros grupos biológicos; están entre los insectos más estudiados, siendo superados solo por los coleópteros (Footitt, 2009). Se estima que 90% de las especies de mariposas del mundo tiene nombre científico o ya están descritas (Robbins et al., 1996), sin embargo, el estimativo de riqueza en Colombia y a nivel global sigue siendo muy alto, aunque en suma solo se han registrado formalmente dos millones de especies de la diversidad general estimada entre cinco y 30 millones existentes en el mundo (SIB, 2016).

Colombia es el segundo país con mayor biodiversidad de mariposas en el mundo, con aproximadamente 3279 especies, Andrade et al. (2017), el número uno en endemismo con 350 especies. La región de la Orinoquia es la mejor muestreada en mariposas de toda la cordillera oriental con 473 especies Salazar et al. (2017) pese a esta riqueza es poco lo que se conoce sobre sus ciclos de vida, información básica para encaminar medidas de protección y conservación de lepidópteros.

Por otra parte, las mariposas se alimentan de una amplia variedad de angiospermas y ocasionalmente de otras plantas o animales (Ehrlich & Raven, 1964; Singer et al., 1971, Gilbert, 1984). Se encuentran en diversos hábitats que van de perturbados hasta áreas muy conservadas (Kremen et al., 1993; Caldas y Robbins, 2003), además son especies bioindicadores del hábitat o del estado de conservación, por ejemplo de bosques primarios o secundarios, así como del grado de intervención, alteración del ecosistema o perturbación ecológica (Brown, 1991; James et al., 1997), y esto "obedece a cinco aspectos fundamentales: a su alta riqueza y diversidad de especies, fácil manipulación, fidelidad ecológica, fragilidad frente a perturbaciones mínimas y corta temporalidad generacional" (Andrade, 1998). Asimismo, las mariposas se alimentan de plantas nectaríferas de floración continua, entre las que se encuentran: las lantanas (lantana cámara), la echinacea purpurea, las salvias (farinácea y cocineá), el heliotropium arborescens, cosmos sulphureos, tithonia rotundifolia y verbenas, entre otras.

## **Reconocimiento de los espacios públicos**

---

El espacio es una realidad relacional, su definición se ve mediatizada por otras realidades como son la sociedad y la naturaleza unidas por el trabajo. El espacio debe considerarse como el conjunto indisoluble del que participan la disposición de los objetos geográficos, los objetos naturales y los objetos sociales, la totalidad como unidad que deja de ser potencia para convertirse en acto. El espacio tiene gran importancia, ya que los procesos productivos plantean una reorganización de las funciones entre las distintas fracciones del territorio, esto es debido a que la mundialización de la producción extiende las posibilidades de cada lugar. El hombre adquiere un conocimiento analítico y sintético, y la capacidad de utilizar las cosas que le rodean.

El derecho a la recreación va dirigido a todas las personas y también apunta a las diferentes formas de emplear el tiempo libre como los juegos, el deporte, el ocio etc., que constituyen un elemento muy importante en la vida afectiva, física, moral y social de los habitantes que gozan de este beneficio. Mediante la interpretación de un fallo de la Corte Suprema de Justicia de Colombia podemos aproximarnos a la defensa del derecho a la recreación que realiza

el Estado como garante del mismo y, en consecuencia, como reconocimiento activo de la necesidad de recreación; por lo tanto, identifica a la recreación como una necesidad humana fundamental del hombre que se articula con el derecho de libre desarrollo de la personalidad. (Gerlero, 2011: XX). La Corte también reconoce en su sentencia, la obligación del Estado de actuar con los sectores de menos recursos, entendiéndolo que debe proveerlos de formas de recreación; finalmente vincula los beneficios aportados por la participación en el tiempo libre con las dimensiones del desarrollo comunitario, laboral y político (Gerlero, 2011).

Los conceptos sobre el espacio público tienen muchos años de tradición, si miramos en un contexto histórico, en Grecia se utilizaban pequeñas parcelas como lugares populares donde se adoraba a los dioses como Apolo y Zeus, entre otros. En este mismo orden de ideas, los grandes terratenientes en Roma ocupaban algunas áreas para diversión de unos cuantos ciudadanos propios romanos y, más tarde, se retoma esa idea en la época posclásica, donde se permite el ingreso a cualquier persona que habitara la ciudad, "en el Renacimiento un nuevo concepto va ligado a los parques privados y públicos y son las grandes sangres ricas que permiten un vistazo arquitectónico de los parques" (Rodríguez, 2003: XX). Dentro de los elementos característicos de una ciudad se encuentra ese espacio público dotado de diversiones en un ambiente sano.

Para hablar sobre bienes de uso público se debe primero determinar el bien; al señalarse que es un derecho que recae sobre una posesión es porque, de acuerdo con las relaciones jurídicas reales, se vincula un sujeto a un patrimonio, determinando o individualizando dicho bien en los elementos propios que lo caracterizan. Ahora, la palabra bien en esta definición se refiere a uno tomado como individualidad o a toda una universalidad de ellos donde se define que un sujeto puede ser propietario de cuantos bienes le sea posible adquirir (Flórez, 2012). Por otra parte, al indicarse que es un derecho que procede conforme a la Ley, la utilidad pública y el interés social opera tomando en cuenta las cargas y deberes tanto intrínsecos como extrínsecos a los que se debe someter el derecho real de dominio (Flórez, 2012: 63).

## Plantas útiles para trabajo en paisajismo

Entre las plantas hospederas se encuentran: El maracuyá o *Passiflora edulis*, planta espermatofita de la subdivisión de Angiospermas, de clase dicotiledónea, subclase arquiclamídea, del orden de las perietales, de la familia de las pasifloras. “Se deduce que la mariposa del maracuyá completa su ciclo a los 32,8 días, el huevo incuba en 5,2 días, los estadios larvales duran un total de 17,4 días, la prepupa 2,4 días y la pupa 7,8 días” Researchgate.net. (s.f.) (Figura 1).



Figura 1. Planta hospedera *Passiflora edulis*.

Acosta, A. (2018). Ilustración 1 y 2 de la planta hospedera *Passiflora edulis*. [Fotografía]. Parque metropolitano María Lucía.



Figura 2: Ciclo de vida de *Dione Juno*. 1) El adulto ovopositando en un churrusco de la planta hospedera *Passiflora edulis*, 2) Los huevos, 2) Larvas en instar uno, 4) Larva en instar cuatro, 5) Pupa de la mariposa.

Acosta, A. (2018). Ilustración del ciclo de vida de la mariposa *Dione Juno*. [Fotografías 5]. Parque Metropolitano María Lucía.



Figura 3: Mariposa adulto Dione juno posada en una planta nectarífera

Acosta, A. (2017). Ilustración de la mariposa Dione juno. [Fotografía]. Parque Metropolitano María Lucía.

***Aristolochia esae***; es una trepadora común presente en bordes de montaña, consiste en un bejuco herbáceo que en ocasiones se convierte en arbusto, “Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas); Subclase: Magnoliidae; Orden: Aristolochiales” Conabio.gob. (s.f.), de hojas alternas acorazonadas. Con esta planta se logra trabajar el diseño de estructuras verdes ya que por ser trepadora es fácil manipularla cumple con la función de ser planta hospedera para algunas especies tales como; ***Battus polydamas***, ***Parides euridemes***, ***Parides erithalion***. (Figura 4).

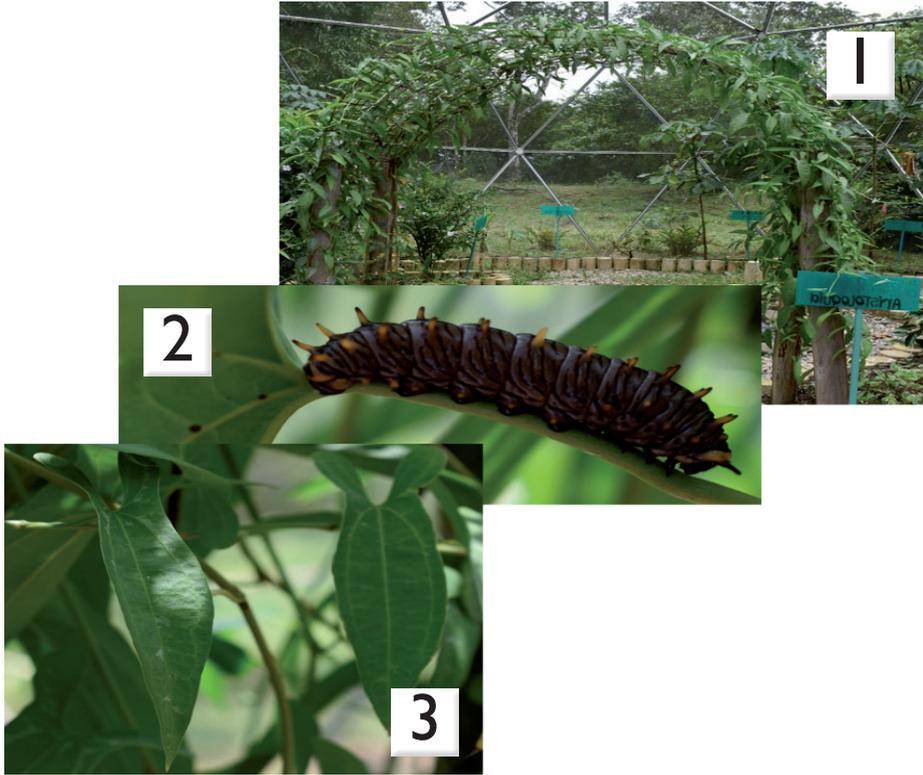


Figura 4: Planta trepadora ideal para la construcción de estructuras verdes 1 y 3) Planta hospedera *Aristolochia odoratissima*, 2) larva de la mariposa *Battus polydamas*.

Acosta, A. (2017). Ilustración 1,2,3 [Fotografía]. Parque Metropolitano María Lucía.

***Cecropia peltata*** (yaurmo o guarumo); División: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida, Orden: Rosales, Familia: ***Urticaceae***, Género: *Cecropia*; es un árbol que llega a alcanzarlos 17 m de altura, con hojas en forma de mano extendida, la flor parece una espiga, pero más corta, siendo una planta hospedera para la mariposa ***Colobura dirce***, esta especie ovoposita sus huevos en el haz de las hojas y luego emergen las larvas que se alimentaran de la misma planta durante su etapa de vida, las pupas de estas mariposas son en forma de un palo seco, esta planta la podemos utilizar para embellecer los paisajes y al mismo tiempo conservamos los ecosistemas y la vida de esta especie de mariposa. (Figura 5).

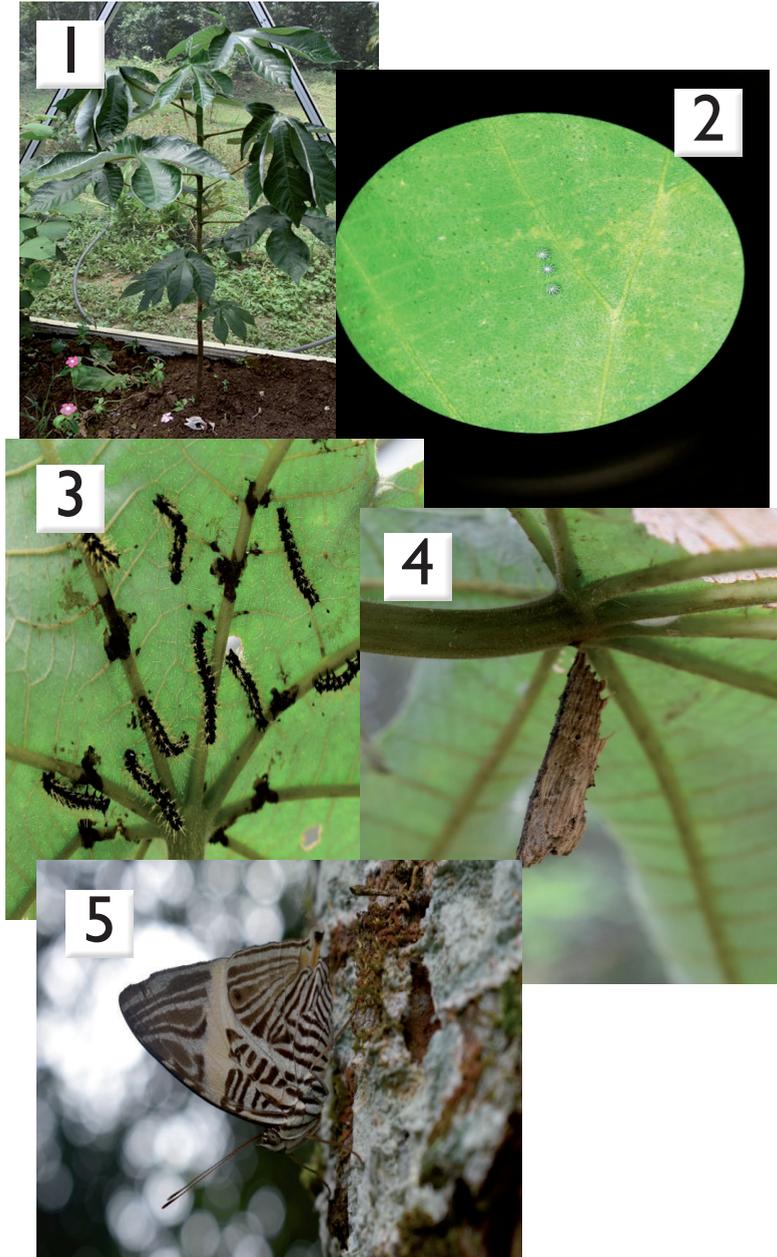


Figura 5: 1) Planta hospedera *Cecropia Peltata*, 2) huevos en la hoja de la planta hospedera, 3) Larvas en el envés de la hoja, 4) Pupa, 5) Adulto *Colobura dirce*.

Acosta, A. (2018). Ilustración 1,2,3,4,5 [Fotografía]. Parque Metropolitano María Lucia.

*Dalechampia*: planta herbácea perenne, trepadora, que requiere una estructura donde sujetarse, de la familia Spurge (Euphorbiaceae), “Las “floraciones” tienen pequeñas flores femeninas amarillas macho y marrón rojizas en una estructura llamada pseudanthia. (dos grandes brácteas circundantes, que son de color fucsia-púrpura, aparecen casi todo el año” (San Marcos Grets, s.f.) (Figura 6).



Figura 6: 1) Planta Hospedera *Dalechampia*, 2) Larva de la especie Hamadryas, 3), 4) y 5) Especies de mariposas que utilizan la planta como hospedera.

Acosta, A. (2018). Ilustración 1,2,3,4,5 [Fotografía]. Parque Metropolitano María Lucía.

Las plantas nectaríferas son aquellas de las que se alimentan las mariposas (flores que producen néctar) de floración continua, entre las que se encuentran: las lantanas (lantana cámara), la echinacea purpurea, las salvias (farinácea y coccinea), el heliotropium arborescens, cosmos sulphureos, tithonia rotundifolia y verbenas, entre otras (Figura 7)



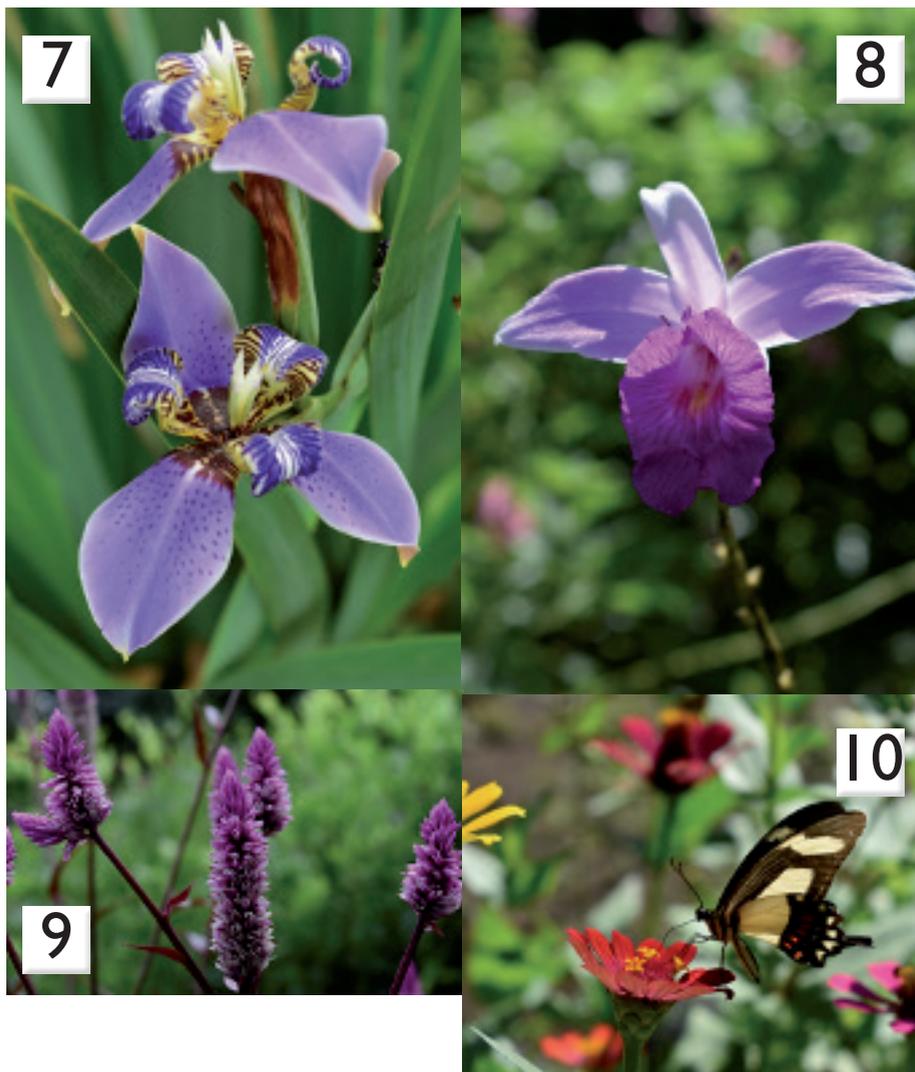


Figura 7: Plantas nectaríferas, 1) Lantana, 2) Colegialas, 3) sin identificar 4) Brunfelsia, 5) Colegialas, 6) Verbena, 7) Lirio Azul, 8) Palma orquidea, 9) sin identificar; 10) Colegialas

Acosta, A. (2018). Ilustración 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 [Fotografía]. Parque Metropolitano María Lucía.

# Conclusión

Las zonas verdes y los jardines en las ciudades y sus alrededores son fundamentales, ya que hacen parte activa del paisaje, no solo para recreación y descanso, sino como huésped y alimento de diversas especies, entre los que se encuentran las mariposas, que tienen preponderancia en el índice de biodiversidad del sector donde se encuentran; de forma que se evidencia la importancia de las plantas, por ser “los recursos base de las cadenas tróficas que influyen en muchos aspectos de la organización de las comunidades” (Price, 1992, citado por Muriel et al, 2011: 276); en ellas se hospedan muchas larvas de insectos e insectos mismos, los que habla de la sanidad de la región. Tanto las plantas hospederas como las nectaríferas tienen un papel específico, debido a que, sin las nectaríferas, hay un descenso en la cantidad de larvas, pues el insecto adulto se alimenta de ellas, poniendo sus huevos y tomando el alimento para el proceso de larva de las hospederas.

En las ciudades, poblaciones o centros urbanos, el jardín y las zonas verdes hacen parte de la cultura y estética de la ciudad, “conlleva valores o significados de tipo ambiental, configurando un paisaje, con una determinada biodiversidad incorporada” (Vélez & Herrera, 2013:7557); al respecto Cifuentes, (2001) recomienda hacer un “mayor uso de especies vegetales autóctonas”, por generar un impacto a escala local o urbana, por ser muchas veces el canal de introducción de especies invasoras, afectando negativamente a las especies locales, a tal punto que las pueden hacer desaparecer. Por lo que resulta de especial importancia para la sostenibilidad ambiental del sector la introducción de especies locales hospederas y nectaríferas. Esto, va de la mano con el paisajismo, que consiste en como el ser humano planifica, diseña, gestiona, conserva y rehabilita los espacios en la ciudad, ofreciendo hábitats para especies silvestres (plantas y animales) en medios que ofrecen calidad ambiental, mejorando el microclima, brindando estética, además de un lugar de esparcimiento para el ser humano. Lejos están ya esos grandes espacios de hormigón y cemento que dejan una sensación de ahogo en las ciudades.

Se debe tener en cuenta que al generar una mayor heterogeneidad espacial sin el manejo y aprovechamiento adecuado y sostenible de los recursos se podría fácilmente desplazar toda composición florística y faunística nativa (sin ninguna medida de conservación implementada), (Por ejemplo, con la introducción de plantas foráneas). Por tal razón, la importancia de los corredores biológicos y la conservación de remanentes al interior de matrices con gran impacto dentro de las ciudades, recrear estos espacios adaptándolos al desarrollo de las larvas y a la conservación de las mariposas, nos permitirían colaborar a pequeña y gran escala el impacto generado en la biodiversidad tanto de flora y fauna local de las ciudades y sus alrededores, y generar acciones de conservación más acertadas para proteger la integralidad ecosistémica.

## Bibliografía

- Ángel, A., (2013) *El reto de la vida. Ecosistema y cultura. Una introducción al estudio del medio ambiente*. Ecofondo, 2ª. ed., Bogotá, Colombia.
- Ángel, A., (2002) *La diosa Némesis. Desarrollo sostenible o cambio cultural*. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. Bogotá, Colombia.
- Asamblea Nacional Constituyente, (1991) *Constitución política colombiana*. Bogotá, Colombia, 6 de Julio de 1991.
- Brown, K.S. Jr., (1991) Conservation of Neotropical environments: Insects as Indicator, en Collins, M., J.A. Thomas (editores) *The conservation of Insects and their habitats*. Academic Press. N.Y., U.S.A., pp. 349-404.
- Cifuentes, P. (2001). Agua y jardín. Revista de Obras Públicas. Número 3414. pp 63-72.
- Corte Constitucional, Colombia, (2016) *Sentencia T-269/16. M.P. Calle Correa María Victoria*. [Documento en línea] en <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/t-269-16.htm>
- Corte Constitucional, Colombia, (1996) *Sala Plena. MP: Jorge Arango Mejía* (octubre 10).
- Dane, (2010) *Discapacidad*. [Documento en línea] en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/discapacidad>.

- El Tiempo, (2012) *La Eduv está 'encartada' con el parque La Llanura*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3969684>
- Escobar, A., (2016) *Autonomía y diseño. La realización de lo comunal*. Ed. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- Flórez R., J.D., (2012) *Derecho Civil. Bienes*. Editorial Temis, Colombia.
- Footitt, R. y P. Adler, (2009) *Insect biodiversity: Science and society*. Blackwell Publishing Ltda., p. 3.
- Garzón, L., (2016) Importancia de las micorrizas arbusculares (ma) para un uso sostenible del suelo en la Amazonia Colombiana. *Revista Luna Azul*. No. 42, (enero-junio), Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Huerta, J., (2006) "Discapacidad y accesibilidad - La dimensión desconocida", *Estudios sobre discapacidad en el Perú*. Tomo 5, Fondo Editorial del Congreso del Perú, [documento en línea] en [bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/920\\_gob422.pdf](https://bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/920_gob422.pdf)
- Kremen, C., R. Colwell, T. Erwin, D. Murphy, **et al.**, (1993) *Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning*. *Conservation Biology*, pp. 796- 808.
- Kremen, C., (1992) *Assessing the Indicator Properties of Species Assemblages for Natural areas Monitoring*. *Ecologic2al Applications*.
- Muriel, S., J. Montoya, A. Restrepo, J. Muñoz, (octubre de 2011) Nuevos registros de plantas hospederas y disponibilidad de recursos para mariposas ithomiini (lepidóptera: nymphalidae: danainae), en agroecosistemas de café colombianos. *Revista Actualidades biológicas*. Vol. 33, núm. 95, pp: 275-285. [En línea] en <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/actbio/article/view/14326/12596>
- Noguera, A., (2004) *El reencantamiento del mundo*. PNUMA.
- Nuestro Llano, (2013), *Revive el parque mi llanura*. (Nota periodística, abril). Recuperado.
- Palacios-Torres, R., J. Valdez-Carrasco, J. Étienne, **et al.**, (2010) Nuevos registros de plantas hospederas y distribución geográfica de *Melanagromyza floris* Spencer; *M. tomaterae* Steyskal, *M. viridis* (Frost) y *Ophiomyia lantanae*

- (Froggatt) (Diptera: Agromyzidae) en México. *Acta zoológica mexicana*, 26(1), pp. 59-71.
- Penagos, G., (1998) *Los bienes de uso público*. Ed. Doctrina y Ley Ltda.
- Pimiento, J., (2010) *Teoría de los bienes de uso público*. U. Externado de Colombia, p. 45.
- Price P. 1992. The resource-based organization of communities. *Biotropica*, 24: 273-282.
- Researchgate.net.(s.f.,) Ciclo del desarrollo de la mariposa del maracuyá en condiciones de campo. En línea en [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ciclo-de-desarrollo-de-la-mariposa-del-maracuya-en-condiciones-de-campo-De-la\\_fig1\\_320749913](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ciclo-de-desarrollo-de-la-mariposa-del-maracuya-en-condiciones-de-campo-De-la_fig1_320749913)
- Researchgate.net. (s/f) *Ciclo del desarrollo de la mariposa del maracuyá en condiciones de campo*. [En línea] en [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ciclo-de-desarrollo-de-la-mariposa-del-maracuya-en-condiciones-de-campo-De-la\\_fig1\\_320749913](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ciclo-de-desarrollo-de-la-mariposa-del-maracuya-en-condiciones-de-campo-De-la_fig1_320749913)
- Ríos, J., (2013) Condiciones de inclusión de la discapacidad frente a las barreras arquitectónicas, el reto: la inclusión. *Revista UGCIencia*, vol. 19, pp. 38-56.
- Salazar, Nielsen, Pacl., 2017. El bosque de babará. Revisitado: Nuevos registros añadidos a la lista general de especies (Lepidóptera: Rhopalocera. *Revista Boletín científico centro de museo de historia natural* 147-169.
- Documento en línea en <http://revistas.ugca.edu.co/files/journals/3/articles/89/public/89-666-1-PB.pdf> Sentencia C-530. Recuperado de [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/cc\\_sc\\_nf/1996/c-530\\_1996.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/cc_sc_nf/1996/c-530_1996.html)
- Vásquez, J., R. Zárate, C. Huiñapi, **et al.**, (2017) Plantas alimenticias de 19 especies de mariposas diurnas (Lepidóptera) en Loreto, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), pp. 35-42.
- Vega, G., (2010) *Guía de plantas hospederas para mariposarios*. Ed. Manager, Costa Rica. [En línea] en <https://books.google.com.co/books?id>
- Vélez, Restrepo Luis Aníbal; Herrera, Villa Mauricio. (Noviembre de 2013). Paisajismo y Biodiversidad. Un Estudio Exploratorio en Medellín, Colombia

Contemporary Ornamental Gardens: Trans-Nationalisation, Landscaping and Biodiversity. An Exploratory Study in Medellín, Colombia. En línea en <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v68n1/v68n1a16.pdf>



• CAPÍTULO IV •

# Modelos de Precios Dinámicos en los Servicios de Transportes en Smartcities: Un estado del arte

Luis Cobo, Universidad EAN, [lacobo@universidadean.edu.co](mailto:lacobo@universidadean.edu.co)  
Alberto Uribe Jongbloed, Universidad EAN,  
[auribejo@universidadean.edu.co](mailto:auribejo@universidadean.edu.co)





# I. Introducción

Uno de los elementos más interesantes de una *Smartcity* tiene que ver con mejorar la calidad de la movilidad urbana. Los servicios de transporte público han estado siendo utilizados desde el comienzo de la historia de los automóviles. Pero en los últimos años, servicios como Uber y Lyft, han revolucionado esta industria y han traído al mercado del transporte público, los esquemas de dinamicidad de los precios. Los esquemas de transportes basados en precios dinámicos nacieron con el objetivo de mejorar la relación de ganancia de los conductores versus la necesidad de transporte de los usuarios. Estos esquemas ya eran comunes en los pasajes aéreos, pero representaron una verdadera revolución en el transporte urbano de pasajeros dentro de la ciudad. En el presente trabajo exploramos los conceptos relacionados con la fijación dinámica de precios y los modelos que utilizan las más importantes empresas comerciales del sector, para llevar a cabo la tarea de cobrarle a los pasajeros por los viajes que realizan.

La estructura del documento es la siguiente: en la sección 2 presentamos la metodología que utilizamos para la revisión del estado del arte en los mecanismos de la fijación dinámica de precios; la sección 3 presenta los modelos encontrados en la literatura para la fijación dinámica de precios en las empresas de transporte bajo el enfoque del *ride sharing*; finalmente, concluimos el documento comparando los modelos descritos.

## 2. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo de revisión acerca del estado del arte en lo que a asignación de precios dinámicos en los transportes urbanos aplicados a las ciudades inteligentes o smartcities. Se siguieron unas series de etapas metodológicas para llevar a cabo la consecución de la información necesaria, así como la condensación de esta información y el ordenamiento de esta, que finaliza en la redacción de este trabajo.

Las principales etapas que se siguieron fueron las siguientes:

- Se elaboró inicialmente un plan de trabajo sobre las diversas tecnologías a revisar.
- Luego se inició la búsqueda bibliográfica, consultando principalmente, revistas especializadas en el tema precios dinámicos. Se encontraron muchos elementos diferentes de diferentes temáticas, que iban desde economía hasta ecología.
- Se seleccionaron aquellos artículos y trabajos más interesantes en lo que a fijación de precios de forma dinámica se refiere.
- A continuación, se enriqueció la documentación a través de entrevistas personales con profesionales conocedores en el tema, principalmente economistas, quienes asesoraron a los autores en el desarrollo del trabajo.
- Finalmente se sintetizó la información y se redactó el trabajo de revisión actual.

## 3. Resultados

- A continuación, vamos a presentar la revisión de la literatura acerca de la fijación dinámica de precios en las empresas de transporte urbano de pasajeros. Comenzaremos con una definición precisa acerca de los precios dinámicos y finalizaremos la sección con una presentación de los diversos modelos encontrados en la literatura.

### 3.1 Fijación Dinámica de Precios

---

A lo largo de la historia, los diversos ítems de consumo por el ser humano sufren de variaciones de su precio al consumidor a lo largo de su ciclo de vida. Ya para todos es normal que un determinado elemento tenga diversos precios a lo largo de un período de tiempo. No es extraño encontrar que el mismo producto cueste más en navidad y mucho menos en enero. Además, vivimos períodos de ofertas y descuentos, que buscan aumentar la demanda ante productos “pasados de moda” o que están próximos a vencerse o a ser reemplazados ante nuevas versiones de los mismos. Pero está claro que estos cambios de precios corresponden a decisiones de los tomadores de decisiones de la empresa, o a planes bien esquematizados que implican estudios previos y participación de expertos en tales cambios. Pero tal como lo establece Virgilito (2016), con el advenimiento del comercio electrónico, los días de tener precios fijos a los productos pueden desaparecer y el mercado retoma el modelo antiguo y fluido de la *fijación dinámica de precios*. ¿Pero en qué consiste este modelo? ¿Qué lo ha vuelto tan popular?

En los sitios de ventas de tiquetes aéreos, los esquemas de cambios dinámicos de precios son muy populares desde el inicio de estas plataformas comerciales de Internet. Según McAfee y Te Velde (2006), gracias a estos enfoques dinámicos, donde no sólo la ganancia para la aerolínea fue la única variable considerada, es totalmente factible que dos pasajeros sentados en sillas contiguas hayan pagado precios muy diferentes para el mismo viaje en las mismas condiciones. Pero lo que hace especial estos modelos de precios está en el hecho que muchos de ellos están basados en complejos algoritmos donde participan cientos de variables y que toman datos de entradas de muchas partes y donde la participación humana es mínima o nula. Y es que según un reciente informe de Deloitte y Salesforce (2018), más del 40% de estos algoritmos que establecen el precio de los productos de forma dinámica, usan algún mecanismo de Inteligencia Artificial (IA o AI por su nombre en inglés, *Artificial Intelligence*) sin ninguna intervención humana, y siempre en tiempo real.

Aunque podemos tener una idea acerca del tema de fijación dinámica de precios, vamos a acudir a Shpanya (2014) para una definición más formal. Según

este autor; la fijación dinámica de precios es una estrategia de precios en la cual los precios cambian en respuesta a la demanda y la oferta en tiempo real. Este enfoque de fijación de precios permite que los *retailers* puedan permanecer competitivos debido a un monitoreo constante 24/7 de las condiciones del mercado y de los precios de los productos, logrando incluso, ganancias por encima del 25% de aquellas empresas que no soportan o no realizan estos cambios dinámicos de precios.

Además que los cambios de precios son dinámicos y automáticos, los algoritmos que permiten la realización de tales cambios utilizan las siguientes estrategias que gobiernan la forma en que los precios varían, según los trabajos de (Shpnya, 2014) y (Virgillito, 2016):

- Precios segmentados: aprovechar el hecho que un cliente está dispuesto a pagar más por productos considerados *premium* o especiales. Por ejemplo, hay clientes que pueden pagar por teléfonos más caros o por estar más cerca de la cancha en contiendas deportivas.
- Precios *pico*: esto permite a las compañías vendedoras tomar ventaja de las fluctuaciones en la demanda de un determinado producto. Gracias a esto, pueden incrementar el precio cuando la demanda es alta o cuando la competencia tiene bajo inventario del producto. Esta estrategia es muy común con las aerolíneas. Por ejemplo, el precio de un tiquete en clase económica varía todo el tiempo. Si el vuelo está cerca, la aerolínea bajará los precios de los tiquetes mientras se va acercando el día del vuelo para que todos los asientos se llenen, o por el contrario subirá los precios de los tiquetes de clase económica para que la clase ejecutiva se llene.
- Precios basados en el tiempo: esto le permite a los *retailers* ajustar los precios de acuerdo con el tiempo del día o del año, o incluso tener en cuenta cuánto tiempo ha estado el producto en el mercado. Gracias a este esquema podemos encontrar que los vendedores pueden incrementar la demanda de un producto dado con solo bajar el precio de este. Microsoft usó esta estrategia al momento de establecer el precio de su consola de videojuegos, la Xbox. La versión Xbox 360 de esta consola comenzó a venderse a US\$399, sin embargo, cuando apareció la

XBox One (la siguiente generación de esta conocida consola), la Xbox 360 bajó su precio a tan solo US\$299.

- Precios de penetración: en este enfoque para fijación de precios, los negocios establecen un precio más bajo para un determinado producto que el que tendrá eventualmente con el único objetivo de persuadir a los clientes de probar su producto, previamente desconocido para ellos. De esta manera no solo están atrayendo a los clientes a su negocio, sino que los están alejando del negocio de los competidores. Una vez hayan capturado al cliente final, podrán subir el precio del producto gradualmente a medida que este se vuelva más y más popular.

Los autores concluyen que todas estas estrategias permitirán que los negocios sean día a día más competitivos, pero que no bastan para ganar la guerra de precios dinámicos en que se ha convertido el comercio electrónico. Adicionalmente, los *retailers* deberán monitorear a sus competidores y al mercado como un todo. Se necesitan aplicativos de software que realicen “inteligencia de los precios” en el campo enemigo y que a partir de esta “investigación” así como del nivel de demanda de los productos e incluso, de variables tan dispares como la tasa de cambio, tomen la decisión de un cambio de precio para el producto.

Debemos agregar que la fijación dinámica de precios ha evolucionado a algo que la autora Mahdawi (2018) denomina experiencia personal de precios. De acuerdo con la autora del artículo, más y más compañías están aprovechando toda la información que pueden reunir de sus clientes en línea, para ofrecerles ofertas, descuentos y, claro está, todo un esquema de precios a nivel personal, totalmente diferenciado al de otros clientes. De esta manera el cliente obtiene lo que desea y los vendedores logran vender sus productos con excelentes márgenes de ganancia y todo parece ser un gana-gana para los participantes en el negocio. Sin embargo, muchos clientes consideran esta práctica totalmente injusta, ya que nadie quiere pagar más que otra persona por el mismo producto. Debido a esto, muchas empresas prefieren mantener esta práctica en secreto. Tenemos que agregar que se conocen ejemplos de estas estrategias, principalmente por filtraciones de empleados o investigaciones

gubernamentales en los negocios involucrados. Por ejemplo, según el artículo de Valentino-DeVries, Singer-Vine y Soltani (2012), publicado en el *The Wall Street Journal*, la empresa Staples a través de su sitio web Staples.com ofrecía precios diferentes del mismo producto de acuerdo con la localización del comprador. Si las personas vivían cerca de un competidor de Staples, éstas obtendrían un precio inferior al precio que obtendrían aquellas personas que no tenían ninguna opción de compra cerca. Esta política fue considerada discriminatoria por algunos y la empresa decidió eliminarla de su sistema de asignación de precios.

Finalmente tenemos que indicar que estos esquemas de fijación dinámica de precios no están limitados a los negocios y firmas que funcionan por Internet, sino que también han permeado en otros campos de la economía global, haciéndolo algo imparabile y que hará parte de nuestro diario vivir por el resto de nuestros días. Vale la pena resaltar como ejemplos de la fijación dinámica de precios los trabajos de You, Luo y Luo (2012) que trata de cómo se realiza esta asignación dinámica de precios en los parques de diversiones y demás atractivos turísticos de varias empresas dedicadas a este importante sector de la economía; así también podemos resaltar el trabajo de Muller y Bourdais (2017) sobre la aplicación de precios dinámicos a las cuentas de electricidad de clientes teniendo en cuenta factores como consumo, calidad de la energía ofrecida y la hora del día; y el de Pan, Yue y Wang (2009) sobre cómo ofrecer precios dinámicos en los servicios web a partir de la calidad de servicios que tiene un proveedor de redes.

Una vez establecido de forma clara y precisa, la definición y utilidad de la fijación dinámica de precios, vamos a comenzar nuestro recorrido en lo que se refiere al servicio de transporte de pasajeros en ciudad. Este es, según nuestro conocimiento, el que mayor dinamismo ofrece y en el que mayor afectación tiene diariamente a nivel mundial debido a la gran cantidad de clientes que hacen uso de los servicios de transporte urbano compartido (*ride-sharing*). Este será el tema de la siguiente sección.

## 3.2 Precios Dinámicos en el Transporte Urbano

La llegada del comercio electrónico disparó la utilización de esquemas dinámicos para la fijación de precios. Tal como lo presentamos en la sección anterior, la compra de tiquetes aéreos fue una de las primeras industrias en utilizar este esquema y es, hasta ahora, la que mayor provecho ha obtenido de esta *filosofía* de fijación de precios. Tal como lo expresa McKenzie (2017) en su artículo, es muy frecuente ver que las empresas aéreas acuden a lo que el autor denomina *discriminación por precio*. Concluyendo que el precio discrimina casi cada aspecto relacionado con la compra de los tiquetes, comenzando desde la hora en la cual se hizo la reserva, e incluyendo el tipo de silla que desea ser reservada en el vuelo y hasta como están fluyendo las ventas para el vuelo a comprar. El autor titula que las aerolíneas son las “campeonas en la discriminación de precios (dinamicidad en los precios)”.

En cuanto a lo que se refiere a transporte urbano, los precios dinámicos están relacionados con un concepto conocido como *ridesharing*. Mecanismo conocido hace ya mucho tiempo para compartir carro en viajes o paseos, pero que con el ascenso de Internet y con el advenimiento de las aplicaciones móviles y la difusión de los GPS en los automóviles, se ha convertido en un aspecto fundamental en la economía y ha traído más de un dolor de cabeza a las autoridades locales al entrar en conflicto con la tradicional industria de los taxis (Cramer y Krueger, 2016).

### 3.2.1 ¿Qué es Ridesharing?

De acuerdo con Ridester (2018), *ridesharing* es “cualquier medio de transporte en el cual múltiples personas usan el mismo carro, camión, van o vehículo para transportarse a una destinación similar”. Dentro de esta categoría podemos incluir el *carpooling* así como los colectivos o compartir taxis.

Compañías ampliamente conocidas como Uber o Lyft también deben ser consideradas parte del mundo del *ride sharing*. De acuerdo con (Ridester, 2018), estos servicios son categorizados comúnmente como *ridesharing* en tiempo real, bajo demanda específica o *peer-to-peer*. Esto significa que el usuario del

servicio puede solicitar el transporte en tiempo real. Una vez el conductor recibe la información del solicitante, así como la localización geográfica del destino de este, el conductor se dirigirá a la destinación indicada. La diferencia con el servicio de taxi está en el hecho que los conductores de taxi deben tener algún tipo de licencia o de permiso por parte de alguna autoridad local, mientras que los conductores de Uber no necesitan tal licencia y que con solo un pase de conductor común y corriente pueden prestar el servicio de transporte, y es por esto por lo que lo denominan “servicio *ride sharing* bajo demanda o *peer-to-peer*”.

Pero no solo Uber hace parte de este convulsionado mundo de la economía y las aplicaciones del *ride sharing*. Tal como se menciona Harris (2018), además de Uber y Lyft (que sin duda son las más descargadas por clientes y más utilizadas por conductores alrededor del globo terrestre), las aplicaciones de transporte compartido en tiempo real han sufrido un verdadero boom en los últimos años. En Estados Unidos compiten con las dos anteriores, plataformas tales como Via (<https://my.drivewithvia.com/>), Gett (<https://gett.com/drivers/>), Curb y Z-Trip. En Europa (de acuerdo con Steves (2018)), aplicaciones particulares como Hailo, MyTaxi y Blacklane se han vuelto bastante populares entre turistas y usuarios locales. En otros lugares del mundo, según (Barrat, Veen, Goods, Josserand y Kaine, 2017), las aplicaciones más utilizadas para transporte compartido son Shofer, Taxify, GoCatch y Shebah, las cuáles son muy populares en Australia y el lejano oriente. En India, Ola (<https://www.olacabs.com/>) es bastante utilizada en las ciudades más importantes, y en China, Didi (<http://www.didichuxing.com/en/>) ha comenzado recientemente sus servicios de *ride sharing*, pero ya tiene las cifras impresionantes de transportar más de 450 millones de clientes a través de más de 25 millones de viajes al día. Esto es casi más de 5 veces los viajes que realiza Uber a nivel mundial. En Colombia, empresas como Cabify, Beat y miAguila, también están tomando parte de este mercado, aunque no sin problemas, ya que la regulación al respecto no es muy clara.

### 3.2.2 El Caso Uber

Tal como habíamos establecido en los párrafos anteriores, Uber (<https://www.uber.com/>) es la empresa de transporte compartido en tiempo real

más utilizado. Fue esta empresa la que tuvo la idea original, y muchas de sus decisiones y métodos afectan de una u otra manera las otras empresas de este floreciente negocio. Aunque hay muchos artículos relacionados con las consecuencias ecológicas, sociales y económicas que se derivan del negocio del *ride sharing*, queremos tratar solamente el esquema de fijación de precios dentro de esta plataforma.

Según los autores Hall, Kendrick, y Nosko (2015), Uber es una plataforma que conecta pasajeros con conductores independientes (es decir, no asociados ni pertenecientes a alguna empresa de taxi especial) que estén cerca los uno de los otros. La propia empresa indica que “Uber es una aplicación que se instala en el teléfono celular. Mediante tecnología y con un par de clics, la aplicación busca a un Socio Conductor que pueda aceptar solicitudes de viaje de los usuarios. Una vez aceptada, el Socio Conductor puede optar por usar los sistemas de navegación de la *app* hasta el punto exacto donde está el usuario para llevarlo al punto de destino que este haya señalado en su teléfono. De antemano, el usuario ya sabe quién lo va a recoger y cuánto valdrá el servicio.” (Uber, 2018a).

El funcionamiento de la aplicación es muy simple tal como lo podemos apreciar en el párrafo anterior. Los clientes abren la aplicación Uber para ver la disponibilidad de los conductores (aquellos que la empresa llama “Socios-conductores”) y el precio final del viaje y una vez tenga claro estos aspectos, solicite un viaje a su destino. El cálculo del precio del transporte solicitado depende de la hora del día a la que se hace la solicitud, así como de la distancia a viajar. Si ocurre el caso en que hay relativamente más clientes que conductores de forma tal que la disponibilidad de estos últimos es limitada y el tiempo de espera para un viaje es alto o sencillamente, no es posible realizar el transporte, Uber utiliza un algoritmo que ellos denominan *surge pricing* (Lu, Frazier, y Kislev, 2018). Este algoritmo intenta equilibrar la oferta y la demanda de transporte. El algoritmo asigna un valor “multiplicador” cuya misión es multiplicar la tarifa estándar del viaje para, de esta manera, derivar lo que los de Uber llaman “tarifa *surged*”. Este valor “multiplicador” se le presenta al cliente en la pantalla de su aplicación, y claro está, éste debe estar de acuerdo con ese valor para que la aplicación le asigne un “Socio-Conductor”.

### 3.2.2.1 ¿Cómo Funciona El Algoritmo “Surge”?

Uber opera en un mercado donde las fluctuaciones entre la oferta y demanda de transportes son bastantes variables a lo largo del tiempo (día, semana, mes o año). Los “Socios-conductores” son totalmente libres de trabajar cuando ellos los desean y es por eso por lo que la compañía Uber debe buscar cómo incentivarlos para que proporcionen sus servicios a los clientes que los requieran. Bajo estas condiciones, la teoría económica nos dice que el uso de una tarifa dinámica que indique a los clientes que los conductores son escasos e induciendo a los conductores que se olviden de las actividades que actualmente realizan y vayan a recoger clientes, cerrará la brecha entre la oferta y demanda y permitirá que tanto los conductores como los clientes (como un todo), reciban ganancias de este esquema tarifario. En conclusión, el objetivo de la tarifa “surge” es incentivar a los conductores a recoger pasajeros, cuando la demanda de clientes es alta y el número de conductores no es suficiente (Kedmey, 2014).

Aunque los detalles exactos de la implementación del algoritmo “surge” son confidenciales, el trabajo de Zha, Yin y Du (2017) nos da una idea general sobre el funcionamiento de este. Tal como hemos indicado previamente, tanto el precio pagado por el cliente como el valor ganado por el conductor se establecen vía un “multiplicador”. Este valor da lugar a dos tarifas: *surged* y *unsurged*. Cuando hay disponibilidad de conductores para atender la solicitud de un cliente, se habla de “tarifa *unsurged*”. Esta tarifa se calcula a partir del tiempo estimado que tomará el viaje, así como la distancia a viajar a través de una función fija de orden lineal que es específica de cada una de las ciudades donde se presta el servicio de Uber. En cambio, el “multiplicador” utilizado en la tarifa “surge” se calcula dinámicamente a partir de una serie de variables que se captaron a partir del comportamiento global de la aplicación en los dispositivos de los conductores y clientes. El precio que debe pagar el cliente se obtiene de multiplicar la tarifa *unsurged* por el “multiplicador “surge”. Lo que gana el conductor de cada viaje se calcula quitando una comisión fija que cobra la empresa de la cantidad total que pagó el cliente. De acuerdo con esto, mientras más grande sea el multiplicador, mayor es la ganancia obtenida por el conductor.

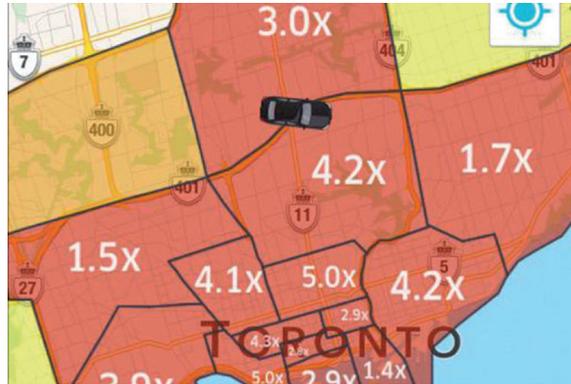
Tal como podemos observar en (Uber, 2018b), las ciudades donde opera la empresa se particionan en hexágonos uniformes que nunca se sobrepone. Cada uno de estos sectores tiene unos lados que miden aproximadamente unos 320 metros. A cada hexágono se le asigna su propio “multiplicador” surge, el cuál es recalculado regularmente y es aplicado a todos los viajes que inician en ese hexágono en un período de dos minutos. Los cambios a este multiplicador se realizan dinámicamente y gobernados por un algoritmo con poca o ninguna intervención humana. El valor del multiplicador se establece basado en el número de pasajeros que se encuentran en el proceso de usar la aplicación para realizar un viaje desde un área geográfica dada, así como también del número de conductores dentro del área o cerca de ella, y otra serie de factores adicionales que la empresa Uber maneja de manera secreta.

El diseño de este algoritmo tiene como propósito especial proteger la “salud económica” del mercado de viajes en ridesharing. Según Lu, Frazier y Kislev (2018) esto se logra balanceando la oferta y demanda en tiempo real: cuando el número de requerimientos de servicios se acerca aproximadamente a valores que van a exceder la habilidad del mercado para satisfacer esa demanda, la plataforma automáticamente aumenta el valor del multiplicador y de esa forma “racionalizar” la demanda, y al mismo tiempo atraer conductores a esas áreas donde hay pocos conductores.

Se espera entonces que los conductores prefieran estar en hexágonos con valores altos del multiplicador, ya que de esta manera tendrán pagos más altos y, estos sectores con valores altos del multiplicador se supone que tienen un mayor número de clientes y así el tiempo de espera de un conductor para conseguir un cliente será mucho menor que en otros sectores. Uber también prefiere que los conductores se muevan a áreas con valores altos en sus multiplicadores ya que su presencia en sectores de alta demanda traerá mayor satisfacción a los clientes debido a que podrán conseguir su transporte en un corto tiempo y eso será muy positivo para la aplicación y llevará a otros clientes a usar más la aplicación.

En la aplicación del conductor de Uber, éste puede conocer estos sectores de altos multiplicadores a través de una opción que visualiza el *heatmap* de la

ciudad donde se encuentra (ver la Figura 1). Los conductores pueden ver este “mapa de calor” de los multiplicadores surge al momento que ellos escogen estar disponibles para prestar el servicio de transporte.



Fuente: (Bateman, 2018)

Fig. 1: Captura de pantalla de la aplicación Uber del conductor, presentando los multiplicadores en cada uno de los sectores de una ciudad.

### 3.2.2.2 Críticas al modelo de precios surge

Varios autores han presentado las ventajas que ofrece el *ridesharing* y los grandes beneficios que se desprenden de la plataforma Uber. Por ejemplo, Cohen y Muñoz (2016), presentan un modelo de gestión de transporte compartido en ciudades inteligentes, que permite tener ciudades sostenibles a través de esquemas de economía naranja que se derivan del *ridesharing*. Otra interesante propuesta la encontramos en el trabajo de Alexander y González (2015). Estos autores presentan una solución interesante a los problemas de congestión y tráfico mediante esquemas muy organizados de transporte compartido, logrando con estos esquemas una disminución importante en la congestión automotriz y mejorando la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

Es en la parte económica donde podemos encontrar muchos trabajos sobre la forma que Uber ha influido los diversos actores que participan en este modelo. Según Cohen et al. (2016) el algoritmo surge que utiliza Uber tiene una fuerte influencia en el número de clientes que desean utilizar los servicios para realizar algún viaje. Otros resultados pueden parecer bastante obvios, pero son importantes para demostrar las bondades del modelo económico

de esta empresa. Por ejemplo, investigadores han encontrado que el precio actual de los servicios de transporte puede impactar la disponibilidad de los conductores en un área determinada de una ciudad (confirmando así la hipótesis sobre la cual se fundamenta el algoritmo de Uber), pero también influye en las zonas donde los conductores prefieren estar, e incluso el número de horas que los conductores están frente al volante o cuáles días de la semana son los mejores para salir a conducir (Hall, Horton y Knoepfle, 2017) y (Bimpikis, Candogan y Saban, 2017).

Pero también han surgido fuertes críticas al comportamiento automático del esquema algorítmico de fijación de precios. Hemos encontrado dos interesantes ejemplos al respecto: en el artículo de Vinik (2014) nos presenta lo ocurrido durante una crisis de rehenes ocurrida en Sidney, Australia a mediados de diciembre del año 2014. En este caso, el secuestrador mantuvo durante varias horas a 13 personas encerradas en un restaurante del centro de la ciudad. Como era de esperarse, muchas personas empezaron a solicitar los servicios de Uber, buscando alejarse del peligro que representaba el incidente en la zona céntrica de la ciudad. Como era de esperarse, el número de solicitudes superaba ampliamente el número de conductores disponibles. El algoritmo automáticamente incrementó el factor multiplicador de la zona, buscando atraer más conductores al centro de la ciudad, pero lo que percibió el cliente al encontrar valores tan altos para el factor multiplicador era que Uber estaba aprovechándose del dolor humano y no estaba ayudando a las personas a huir del peligro, sino que los estaba condenando a una muerte segura. Muchos criticaron también lo “injusto” y “desigual” del sistema. Esto debido a que solo los “ricos” podrían pagar esos valores tan altos que cobraban los conductores de Uber y por lo tanto podrían llegar sanos y salvos a su hogar. En cambio, los pobres, que no podrían pagar tales cifras, serían las víctimas de los atacantes al no poder costear un Uber hasta su casa. Y aunque después del evento, Uber se disculpó con los clientes y hasta ofreció viajes gratis a aquellos que se vieron afectados por los valores tan altos del transporte durante el infortunado evento, muchas personas no volvieron a confiar en este sistema de transportes y hasta prefirieron boicotear a la empresa Uber por ese comportamiento tan “inhumano” y desigual.

Se pensaría que después de tal evento, Uber debería haber modificado el comportamiento automático de la fijación de precios mediante el algoritmo surge, se notó años más tarde que el funcionamiento de este seguía sin cambio alguno. Durante el ataque terrorista a Londres en junio del año 2017, en el cual 7 personas fueron asesinadas y más de 40 resultaron heridas, se produjo una amplia demanda de viajes en Uber en la zona donde ocurrió el ataque. Esto dio origen a que el algoritmo surge entrara en acción, logrando que el factor multiplicador llegara a valores tales que un viaje podría llegar a costar a 4 veces lo de un viaje normal. Claro, las críticas no se hicieron esperar y Uber “apagó” la fijación automática de precios para los viajes en el sector hasta una hora después que el ataque finalizó (Riley, 2017).

Todo esto solo nos demuestra que todavía no estamos listos para que los algoritmos gestionen de forma automática los precios de productos o servicios como el transporte urbano en *ridesharing*. La intervención y supervisión humana va a ser siempre necesaria, precisamente por lo inesperado y anti-algorítmico del comportamiento de las personas.

### 3.2.3 Otros Modelos de Fijación Dinámica de Precios

El modelo de Uber no es el único existente, pero después de hacer una concienzuda revisión de los modelos utilizados por otras empresas competidoras de Uber, podemos fácilmente llegar a la conclusión que los esquemas utilizados por las otras compañías son muy similares o con variaciones menores, al algoritmo surge que tiene Uber:

Por ejemplo, la empresa Lyft (<https://www.lyft.com/>), uno de los principales competidores de Uber. Según el documento de la empresa sobre el cálculo del precio de un viaje en (Lyft, 2018), los precios para los viajes son calculados dinámicamente basados en una variedad de factores que incluyen la ruta a seguir hasta el destino, el tiempo del día en el cual se va a realizar el viaje, el tipo del viaje a realizar, el número de conductores disponibles, la demanda actual de viajes en la zona más una serie de costos locales o sobre cargos. Lyft utiliza el concepto de precios *prime time*. Este concepto indica que el valor normal de un viaje se verá incrementado en un porcentaje dado cuando el

viaje implica una distancia larga o cuando el número de conductores no es suficiente para satisfacer la demanda de clientes en la zona dada. Este porcentaje es conocido e informado previamente al cliente antes que seleccione al conductor que lo llevará a su destino. Podemos observar que, aunque los términos son distintos, el procedimiento es muy similar al de Uber. Y casos similares podemos encontrar en otras empresas como Sidecar (<https://www.side.cr/>) o Beat (<https://thebeat.co>). Debemos anotar aquí que en la literatura se encuentran otros modelos, que, aunque no son utilizados comercialmente, representan esquemas interesantes a ser tenidos en cuenta y actualmente se encuentran en modo teórico y aún no son usados, de acuerdo a nuestro actual conocer, por ninguna empresa comercial relacionada con el *ridesharing*.

El modelo propuesto por Qian y Ukkusuri (2017) buscan una versión del algoritmo surge mucho más justa para los clientes y que no solo beneficie a los conductores. Los autores denominan su modelo el “Esquema de Precios del *time-of-day (TOD)*”, y se basa en un enfoque donde el precio de los viajes varía dinámicamente a lo largo del día, buscando maximizar la ganancia total del sistema. Esto lo logran tomando ventaja de la naturaleza temporal y no estacionaria del mercado de los taxis. El conocido “multiplicador de precios” utilizados en otros modelos, también es utilizado en este esquema para alterar el precio dinámicamente, con la diferencia que un valor inferior a 1 para este multiplicador, representa descuentos y un valor superior a 1 indica una subida en el precio normal, conocida por autores del esquema como “tarifa premium”. Y he aquí donde está la principal diferencia entre el esquema de precios TOD y el esquema de precios *surge*, ya que éste último sólo incluye aumentos de precios y nunca descuentos. Esta política es obviamente mucho más atractiva para los pasajeros, ya que las tarifas premium que se cobran durante las horas “pico” del día son compensadas por los descuentos que se cobran durante las horas no-pico del día. Detrás de este enfoque está la filosofía de atraer más pasajeros al sistema al bajar los precios de los viajes cuando la oferta es abundante, y subir tales precios cuando la demanda es excesiva. Los autores formularon un problema de programación dinámica para encontrar las secuencias óptimas en que se deben dar los multiplicadores de precios de forma tal que se maximice las ganancias totales del sistema. Lo interesante de la solución presentada por los autores es que demuestran la factibilidad de

este enfoque, lo fácil de su implementación real a corto plazo, y sobre todo, la equidad que ofrece tanto para pasajeros como para conductores. Sin embargo, los resultados presentados son solamente teóricos y no han sido utilizados por ninguna empresa del sector del transporte urbano.

Otro esquema interesante de fijación dinámicas de precios para el mundo del *ridesharing* lo encontramos en el trabajo de Zhang, Wen, y Zeng (2016). Según los autores del artículo, los esquemas para fijar precios en estas plataformas electrónicas como Uber o Lyft, son muy parecidas a subastas, donde los pasajeros desean bajar el precio a pagar por el servicio, y los conductores desean un mayor precio para los mismos productos. Entonces, se considera que el “tire y afloje” entre los actores del sistema es lo que debería determinar el precio a pagar por cada viaje. Teniendo en cuenta este precepto, los autores proponen un modelo de “doble subasta” para la fijación del precio basado en la Teoría de Juegos. Lo interesante del modelo propuesto es que muchos de los parámetros que hacen parte del modelo son configurables y con ello logran incentivar tanto a los pasajeros como a los conductores a proporcionar valores fidedignos al sistema. Entre los parámetros que se tienen en cuenta están elementos comunes en todos los modelos como son la hora del día, la distancia entre el conductor y el pasajero, la distancia hasta el lugar donde quiere viajar el pasajero, el número de pasajeros en la zona, así como el número de conductores. Lo más interesante del modelo es que también tienen en cuenta parámetros originales como son la reputación del cliente y del conductor ante el sistema. A mayor reputación del conductor, mayor es el precio que puede solicitar este conductor a los futuros pasajeros. En cambio, para los pasajeros, a una mayor reputación ante el sistema, menor es el precio que puede solicitar para un viaje. La plataforma, utilizando mecanismos de optimización que se derivan de la teoría de juegos, maximiza la ganancia del sistema, a partir de las ofertas de los conductores y pasajeros al comenzar un viaje. Aunque los resultados presentados en el trabajo son bastante interesantes, ya que indican que los clientes pagan menos en promedio que en los otros modelos e incluso, los conductores ganan más en muchas oportunidades, el algoritmo es bastante complejo y conlleva mucho tiempo de preparación cuando el pasajero se encuentra interesado en comenzar un viaje. En este tiempo de preparación, es cuando se realiza la “negociación” del

precio, ofreciendo cada actor, valores convenientes para cada uno. El sistema determina cuando terminan las “subastas” en el momento óptimo para todos. Pero, aunque de forma teórica sea un sistema óptimo, consideramos que la necesidad de configuración de los parámetros y el período de negociación, lo hacen una plataforma poco práctica y de difícil implementación en el corto plazo por alguna empresa comercial del mercado del *ridesharing*.

### 3.2.4 Precios dinámicos en el transporte de pacientes

En lo que hemos logrado investigar, no hemos podido encontrar ningún servicio de ambulancias, paramédicos o emergencias, que use un modelo de precios dinámicos para fijar los precios que deberán pagar por el transporte de un herido a un centro de salud en una ambulancia. Este tema es muy delicado, de acuerdo con nuestra investigación y tal vez por eso, no hemos encontrado empresas comerciales que utilicen esquemas dinámicos de precios. Esta sería un área interesante de trabajo y que valdría la pena explotar.

Uber, por ejemplo, está explorando otras opciones en el negocio del transporte. Podemos encontrar servicios adicionales como *Uber Eats* (transporte de alimentos desde restaurantes afiliados), *Uber Freight* (para transporte de carga) y están investigando mucho en tecnologías relacionadas con vehículos autónomos en tierra y aire (Uber, 2018c). Pero vale la pena resaltar en esta exploración a los nuevos servicios que ofrece esta empresa el servicio denominado *Uber Health* (Collier, 2018). Aunque este servicio ofrece el servicio de transporte de pacientes a hospitales y clínicas, generalmente se tratan de pacientes viajando a citas médicas o para el transporte de medicamentos. No manejan el tema de emergencias y tampoco poseen esquemas de precios dinámicos.

### 3.2.5 Comparación de los esquemas presentados

Los retos que impone nueva la economía colaborativa y su desarrollo en la sociedad conllevan a desarrollar modelos integrales que permitan converger servicios de transporte con servicios asistenciales y profesionales, todo esto con el objetivo de construir ciudades sostenibles e inteligentes. Con la revisión

aplicada en el presente trabajo a los diferentes modelos, podemos identificar que los enfoques son diversos, algunos con enfoque teórico y poco prácticos y otros, aunque automatizados y prácticos requieren de supervisión humana.

La Tabla I a continuación nos presenta una comparación de los elementos positivos y negativos de los trabajos encontrados sobre el tema de fijación dinámica de precio.

Plataforma	Elementos Positivos	Elementos Negativos
UBER	<ul style="list-style-type: none"> <li>Favorece a los socios conductores al ofrecerle capacidad de elegir zonas y clientes.</li> <li>El esquema de tarificación conocido como <i>surge pricing</i> atrae a conductores a sitios con mayor cantidad de clientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No favorece al cliente, al ofrecerle siempre opciones costosas en zonas con muchos usuarios.</li> <li>Es el socio conductor quien tiene la última palabra en cuanto a qué cliente escoger y qué precio ofertar.</li> </ul>
LYFT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliza un esquema de precios dinámicos considerando parámetros muy diversos como el tiempo del día, la distancia al destino y la distancia al cliente, lo cual puede favorecer al conductor.</li> <li>Los precios se incrementan de forma más controlada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No tiene en cuenta al cliente para la fijación de los precios.</li> </ul>
TOD (Qian y Ukkusuri, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Más equidad entre los conductores y pasajeros al ofrecer no solamente precios más altos que lo normal en "tiempos pico", sino también que ofrece descuentos para carreras más baratas para los pasajeros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Teórico, no existe ninguna implementación comercial del algoritmo.</li> </ul>
Trabajo de (Zhang, Wen, y Zeng, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basado en teoría de juegos, optimiza en tiempo real y usando parámetros diversos para favorecer al mismo tiempo al pasajero y al conductor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo teórico, y no es fácil implementar en tiempo real, por el tiempo que necesita para la configuración de los parámetros necesarios para iniciar su funcionamiento.</li> </ul>

Tabla I: Comparación de los elementos positivos y negativos de los algoritmos de fijación dinámica de precios.

## 4. Conclusiones

En este documento presentamos un detallado estudio sobre los conceptos relacionados con el *ridesharing*, la fijación dinámica de precios en las diversas industrias de transporte. Exploramos cómo las diversas empresas del sector del *ridesharing* realizan los procesos de fijación de precios dinámicos y presentamos modelos teóricos mucho más justos o de mejor desempeño que los modelos utilizados por las empresas comerciales del sector. También exploramos los enfoques encontrados en la literatura para la fijación dinámica de precios en el transporte de pacientes, y encontramos que no hay muchos estudios al respecto.

A partir de esta investigación realizada, surgen varios trabajos investigativos interesantes que utilizan los resultados aquí presentados. Por ejemplo, la construcción de un modelo para la fijación de precios dinámicos para el servicio de ambulancias. Otro tema interesante relacionado con el mercado del *ridesharing* está relacionado con mecanismos para encontrarle el mejor conductor para un determinado pasajero. Actualmente, el algoritmo escoge al más cercano al pasajero, pero podrían explorarse mecanismos más inteligentes para realizar esta asignación.

Otro enfoque de investigación sobre *ridesharing* puede ser el estudio del posible impacto de la innovación cruzada de sectores tradicionales como lo son el sector de hotelero y de tiquetes aéreos a los nuevos mercados en transporte médico y de plataformas colaborativas para identificar el desarrollo de metabuscadores y aplicaciones de comparación de precios que les facilite a los usuarios de los servicios una mayor libertad en la compra de los servicios.

Por otro lado, la llegada de las aplicaciones de *ridesharing* a la sociedad ha permitido el desarrollo de un mercado laboral informal y formal, muchos prestadores de servicios de transporte utilizan varias plataformas en simultáneo por lo cual se abre una ventana a investigación para identificar modelos o esquemas que les faciliten el acceso a los servicios, comparar beneficios y conectar con usuarios pacientes.

## 5. Referencias

- Virgillito, D. (2016). El arte y magia de fijar precios dinámicos. Retrieved October 15, 2018, from <https://es.shopify.com/blog/116364869-el-arte-y-magia-de-fijar-precios-dinamicos>
- McAfee, R. P., & Te Velde, V. (2006). Dynamic pricing in the airline industry. *Handbook on Economics and Information Systems*, Elsevier.
- Deloitte & SalesForce. (2018). Consumer Experience in The Retail Renaissance - How Leading Brands Build A Bedrock With Data. Retrieved from [https://cl.sfdstatic.com/content/dam/web/en\\_us/www/documents/e-books/learnconsumer-experience-in-the-retail-renaissance.pdf](https://cl.sfdstatic.com/content/dam/web/en_us/www/documents/e-books/learnconsumer-experience-in-the-retail-renaissance.pdf)
- Shpanya, A. (2014). Why dynamic pricing is a must for ecommerce retailers. Retrieved October 16, 2018, from <https://econsultancy.com/why-dynamic-pricing-is-a-must-for-ecommerce-retailers/>
- Mahdawi, A. (2018). Is your friend getting a cheaper Uber fare than you are? Retrieved October 17, 2018, from <https://www.theguardian.com/commentisfree/2018/apr/13/uber-lyft-prices-personalized-data>
- Valentino-DeVries, J., Singer-Vine, J., & Soltani, A. (2012, December 24). Websites Vary Prices, Deals Based on Users' Information. *The Wall Street Journal*. New York, New York, USA. Retrieved from <https://www.wsj.com/articles/SB10001424127887323777204578189391813881534>
- You, Y., Luo, L., & Luo, T. (2012). Dynamic pricing model in tourism attractions. In *ICSSSM12* (pp. 513–517). <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2012.6252290>
- Muller, A., & Bourdais, R. (2017). Dynamic Pricing for Local Energy Management: Towards a Better Integration of Local Production. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 6749–6754.
- Pan, W., Yue, W., & Wang, S. (2009). A Dynamic Pricing Model of Service Provider with Different QoS Levels in Web Networks. In *2009 International Symposium on Information Engineering and Electronic Commerce* (pp. 735–739). <https://doi.org/10.1109/IEEC.2009.160>

- McKenzie, J. (2017). The economics behind Uber's new pricing model. Retrieved January 10, 2018, from <http://theconversation.com/the-economics-behind-ubers-new-pricing-model-78180>
- Cramer, J., & Krueger, A. B. (2016). Disruptive change in the taxi business: The case of uber. *American Economic Review*, 177--182. <https://doi.org/10.1257/aer.p20161002>
- Ridester. (2018). Introduction to Ridesharing - Lesson 1 - What is Ridesharing? Retrieved October 18, 2018, from <https://www.ridester.com/training/lessons/what-is-ridesharing/>
- Steves, R. (2018). Easy Riders: Taxis and Ride-Sharing in Europe. Retrieved September 17, 2018, from <https://www.ricksteves.com/watch-read-listen/read/articles/easy-riders-taxis-and-ridesharing-in-europe>
- Barrat, T., Veen, A., Goods, C., Josserand, E., & Kaine, S. (2018). As yet another ridesharing platform launches in Australia, how does this all end? Retrieved November 4, 2018, from <http://theconversation.com/as-yet-another-ridesharing-platform-launches-in-australia-how-does-this-all-end-98389>
- Harris, C. (2018). Beyond Lyft And Uber: The Top 10 Ridesharing Startups of 2018. Retrieved November 8, 2018, from <https://ridesharecentral.com/top-10-ridesharing-startups-of-2018>
- Hall, J., Kendrick, C., & Nosko, C. (2015). The effects of Uber's surge pricing: A case study. The University of Chicago Booth School of Business.
- Uber. (2018a). Descubre qué es Uber y cómo puede ayudarte en tu día a día. Retrieved November 12, 2018, from <https://www.uber.com/es-CO/blog/que-es-uber-colombia/>
- Uber. (2018b). How surge pricing works. Retrieved October 17, 2018, from <https://www.uber.com/en-CO/drive/partner-app/how-surge-works/>
- Lu, A., Frazier, P., & Kislev, O. (2018). Surge Pricing Moves Uber's Driver Partners. *Ssrn*, i. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3180246>
- Kedmy, Dan. (2014). This Is How Uber's "Surge Pricing" Works. Retrieved October 1, 2018, from <http://time.com/3633469/uber-surge-pricing/>

- Zha, L., Yin, Y., & Du, Y. (2017). Surge Pricing and Labor Supply in the Ride-Sourcing Market. *Transportation Research Procedia*, 23, 2–21. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.002>
- Bateman, C. (2018). Uber takes heat for jacking prices during TTC outage. Retrieved October 17, 2018, from [https://www.blogto.com/city/2015/06/uber\\_takes\\_heat\\_for\\_jacking\\_prices\\_during\\_ttc\\_outage/](https://www.blogto.com/city/2015/06/uber_takes_heat_for_jacking_prices_during_ttc_outage/)
- Cohen, B., & Muñoz, P. (2016). Sharing cities and sustainable consumption and production: towards an integrated framework. *Journal of Cleaner Production*, 134, 87–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.133>
- Alexander, L. P., & González, M. C. (2015). Assessing the Impact of Real-time Ridesharing on Urban Traffic using Mobile Phone Data. *Proceedings of UrbComp'15*, 1–9.
- Cohen, P., Hahn, R., Hall, J., Levitt, S., & Metcalfe, R. (2016). Using big data to estimate consumer surplus: The case of uber (No. w22627). National Bureau of Economic Research.
- Hall, J. V., Horton, J. J., & Knoepfle, D. T. (2017). Labor market equilibration: Evidence from uber. Technical Report, Working Paper. Retrieved from <https://zdoc.site/labor-market-equilibration-evidence-from-uber-john-j-horton.html>
- Bimpikis, K., Candogan, O., & Saban, D. (2017). Spatial pricing in ride-sharing networks. In *Proceedings of the 12th workshop on the Economics of Networks, Systems and Computation* (p. 5). Retrieved from [https://web.stanford.edu/~kostasb/publications/ride\\_sharing.pdf](https://web.stanford.edu/~kostasb/publications/ride_sharing.pdf)
- Vinik, D. (2014). Uber's Prices Surged in Sydney During the Hostage Crisis, and Everyone Is Furious. Retrieved September 23, 2018, from <https://newrepublic.com/article/120564/during-terrorist-attack-sydney-uber-imposing-surge-pricing>
- Riley, C. (2017). Uber criticized for surge pricing after London terror attack. Retrieved November 12, 2018, from <https://money.cnn.com/2017/06/04/technology/uber-london-attack-surge-pricing/index.html>

- Lyft. (2018). How to estimate a Lyft ride's cost. Retrieved October 12, 2018, from <https://help.lyft.com/hc/en-us/articles/115013080308>
- Qian, X., & Ukkusuri, S. V. (2017). Time-of-Day Pricing in Taxi Markets. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(6), 1610–1622. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2614621>
- Zhang, J., Wen, D., & Zeng, S. (2016). A Discounted Trade Reduction Mechanism for Dynamic Ridesharing Pricing. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(6), 1586–1595. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2506660>
- Uber. (2018c). Uber - What we offer. Retrieved October 12, 2018, from <https://www.uber.com/en-CO/about/uber-offerings/>
- Collier, R. (2018). Uber enters medicine but disrupting health care may prove difficult. *CMAJ*, 190(24), E756--E757. <https://doi.org/10.1503/cmaj.1095615>





• CAPÍTULO V •

# El diseño universal, la co-creación y las TICs como herramientas para mejorar la movilidad en las ciudades inteligentes

Implementación de una metodología de  
investigación cualitativa enfocada identificar  
claves para un proyecto de movilidad  
inteligente

Camilo Ramírez Nates, Beatriz Tsukamoto Ushida,  
Marcelo Herrera Martínez  
Universidad El Bosque, Universidad de San Buenaventura





# I. Introducción

La inclusión de personas con distintos tipos de discapacidad es prioridad tanto en políticas nacionales como internacionales. Las tecnologías de la información y de la comunicación han posibilitado estos mecanismos, brindando soluciones tecnológicas de vanguardia. Como ejemplos palpables de ello, tenemos (Meijer, 1993), (Csapo et al, 2017).

Una ciudad inteligente, por tanto, implementa estos mecanismos para asegurar la igualdad de condiciones entre las personas que la integran. De esta manera, los impedimentos que diversos grupos experimentan debido a situaciones aleatorias y/o arbitrarias con los que la vida los ha enfrentado, se sobreponen, al menos en un alto porcentaje, al interactuar con el entorno a través de herramientas tecnológicas apropiadas.

Sin duda alguna, uno de los problemas más destacados de Bogotá es su precaria movilidad, cuestión que se agudiza con la carencia de servicios ágiles y eficientes a la hora de brindar información de rutas, precios y otros, en los sistemas de transporte público.

Paralelo a esto, desarrollos europeos, norteamericanos y asiáticos, despliegan niveles de confort y eficiencia en este tipo de servicios, que puede significar modelos a seguir para los países latinoamericanos.

Pantallas interactivas, señalización digital y distintos tipos de realidad virtual y aumentada son algunos de los ejemplos con los que estos países aseguran una

mejor calidad de servicio a la población, en conjunción con el uso adecuado de la tecnología. El presente capítulo, presenta una visión real de un sistema universal para el transporte urbano que conjuga elementos de diseño, ingeniería y estética en un prototipo.

## 2. Ciudades Inteligentes, definiciones y posturas

El concepto de ciudades inteligentes tiene diferentes definiciones y enfoques dependiendo del organismo o entidad regulatoria que lo defina. Sin embargo, en la mayoría de los casos estas definiciones se rigen por dos ejes fundamentales: 1) el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) y 2) la sostenibilidad (Joyanes, 2018). Dentro de estas definiciones se encuentra una que nos llama más la atención, y es la que define el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) de la siguiente forma:

Una ciudad inteligente es aquella que **coloca a las personas en el centro de desarrollo**, incorpora Tecnologías de la Información y Comunicación en la gestión urbana y usa estos elementos como herramientas para estimular la formación de un gobierno eficiente **que incluya procesos de planificación colaborativa y participación ciudadana**. Al promover un desarrollo integrado y sostenible, las Ciudades Inteligentes se tornan más innovadoras, competitivas, atractivas y resilientes, **mejorando así las vidas de las personas que habitan en ellas** (Bouskela et al, 2016).

Desde la sociología, la antropología y el diseño, esta definición es interesante, ya que no solo incluye a la tecnología como eje central de la ecuación, sino que también da un valor importante al ciudadano como usuario del sistema.

De esta forma, cuando se lee “**colocar a las personas en el centro de desarrollo**”, se imagina ciudades que, como Ámsterdam, están diseñadas para dar prioridad al peatón, luego a la bicicleta y por último al carro. Cuando leemos “**procesos de planificación colaborativa y participación ciudadana**”, se ve desde el lente del Diseño Centrado en el Usuario (DCU) y se conciben es-

trategias con metodologías de Co-creación y herramientas generativas<sup>1</sup> que permitan que, de una u otra forma, la ciudadanía se involucre en el desarrollo de las ciudades inteligentes. Por último, cuando se lee **“mejorar las vidas de las personas que habitan en ellas”** se entienden ciudades inteligentes cuyo fin primordial es buscar el bienestar y calidad de vida de los ciudadanos.

Desde esta perspectiva, en este capítulo se cuenta la experiencia de un proyecto de investigación financiado por la Universidad El Bosque y desarrollado en convenio con la Universidad de San Buenaventura cuyo principal objetivo es: “Diseñar un sistema de información multimodal, para personas con discapacidad motriz, perceptiva y sin discapacidad, que ayude a mejorar el flujo de información de los sistemas de transporte público, teniendo en cuenta los principios y metodologías de diseño universal”.

Aunque el proyecto está muy enfocado al diseño de información, este se integra directamente al concepto de ciudades inteligentes ya que busca agilizar las dinámicas de los sistemas de movilidad, utilizando tecnologías como *big data*, *internet de las cosas (IoT)*, *sensores*, *comunicación machine to machine (M2M)* e *inteligencia artificial (AI)*, entre otras. Sin embargo, es importante tener en cuenta que durante esta etapa de desarrollo del proyecto, el objetivo principal fue comprender a profundidad las necesidades de los usuarios; por tal razón diseñamos un protocolo de investigación usando metodologías de investigación cualitativa, de diseño centrado en el usuario (DCU) y de diseño universal.

---

1 Según Sanders y Stappers (2012) la investigación a través del diseño generativo permite que los usuarios propongan soluciones creativas a situaciones actuales de un problema. De esta forma, las herramientas generativas son el medio por el cual los usuarios transmiten las ideas de forma gráfica y tangible a través de varios recursos como dibujos, collages de imágenes, maquetas, etc.

### 3. Descripción de los principales sistemas de información para transporte público encontrados a nivel nacional e internacional

Antes de comenzar con la etapa de investigación de usuario, realizamos un estudio sobre el estado del arte de los sistemas de información del transporte público a nivel local e internacional. Esta revisión, se dividió en tres partes: 1) revisión sobre referentes nacionales, 2) revisión sobre referentes internacionales y 3) revisión sobre referentes tecnológicos apalancados en pantallas interactivas, complementadas con las prestaciones que brinda la cuarta revolución industrial.

#### 3.1. Referentes nacionales tradicionales

En Colombia existen varios proyectos que aseguran la accesibilidad de personas en condición de discapacidad a los servicios de transporte público, en esta sección se hará una breve reseña de los proyectos más relevantes: En primer lugar se describe brevemente cómo funciona en la actualidad el sistema de información del Sistema integrado de transporte público (SITP) para personas sin discapacidad y personas en condición de discapacidad auditiva; en segundo lugar se describe las opciones que tienen las personas en condición de discapacidad visual para obtener información en el SITP (Bogotá) y el MIO (Cali); y en tercer lugar se describen dos opciones que tienen las personas con dificultad de movilización a través de una Aplicación móvil diseñada en Medellín y en algunos buses del SITP en Bogotá.

#### Sistema informativo de paraderos del SITP

Actualmente, el sistema de información del SITP consta de una bandera ubicada cerca de los paraderos, estas banderas tienen información relacionada con: número del paradero, nombre y dirección del paradero, listado de rutas que usan el paradero, rutas especiales y complementarias, otras rutas y números de contacto. La información aparece con diferentes tipos y tamaños de letra,

con convención de colores y con códigos numéricos los cuales, si no se tiene un manual no son fáciles de comprender.

## Señalización Braille para sistemas de transporte en Bogotá y Cali

Para la renovación de paraderos del sistema de transporte MIO de la ciudad de Santiago de Cali - Colombia, se implementó un sistema de información para personas con discapacidad visual, el que consta de placas de acero inoxidable (Figura 1a) con información en código braille la cual indica la ubicación del paradero e información general sobre las rutas que transitan por este lugar. (El Tiempo, 2014).

Otro proyecto similar realizado en los paraderos del SITP en la ciudad de Bogotá fue una prueba piloto en la cual se instalaron alrededor de cincuenta láminas amarillas (Figura 1b) con código Braille en paraderos de “rutas accesibles” (rutas que cuentan con buses con tecnología para discapacidad motriz, visual y auditiva); la información que se encuentra en las placas es: el nombre del paradero, la vía principal en la que está ubicado el paradero, la vía secundaria con la que cruza y el número de la línea de asistencia telefónica 195 que sirve como ayuda para orientar a los usuarios (Ortiz, 2016).



**Figura 1. A) Placas metálicas con braille en el MIO de Cali. (El Tiempo, 2014) & B) Placas braille en SITP. (Inicia campaña “me movizo con braille”, sistema de lectoescritura para personas con discapacidad visual, 2016)**

## MappAccesible, herramienta tecnológica para la inclusión social.

Esta herramienta es una plataforma digital, que permite a los usuarios acceder a información relacionada con las características de accesibilidad de los espacios que visitan diariamente. La plataforma permite ingresar información como comentarios, fotos e incluso permite que los espacios puedan ser renqueados mediante un sistema de puntos. En este momento el sistema funciona solo en la ciudad de Medellín – Antioquia, sin embargo, en la medida que los usuarios empiecen a colocar información de otras ciudades, esta podría expandirse y replicarse. (MappAccesible, 2019).

### 3.2. Referentes Internacionales tradicionales.

A nivel internacional se encontraron soluciones planteadas tanto desde el diseño inclusivo como desde el diseño universal, de esta forma se hará una breve reseña de: Una aplicación diseñada en una universidad de España que ayuda a personas ciegas tomar el transporte público; se explicará el funcionamiento de una iniciativa para el metro de Londres; se explicarán los sistemas de accesibilidad para personas que se desplazan en silla de ruedas en los buses de Albacete - España y en las estaciones del Bus Rapid Transit (BRT) en Curitiba - Brasil; se mostrarán dos sistemas de información polivalentes, uno de un panel de ascensor y otro de un plano háptico realizados por una empresa española, los cuales generan accesibilidad para personas ciegas incorporando principios de diseño universal y, finalmente, se mostrarán dos ejemplos de diseño universal implementados en los aeropuertos de Bremen - Alemania y de Ámsterdam - Holanda.

### Sistemas de inclusión para personas en condición de discapacidad visual

TorBus es una aplicación diseñada en la Universidad de Almería - España, la cual permite aumentar la autonomía de las personas ciegas en el uso del transporte público. Dicha aplicación se apoya en el sistema de respuesta auditiva VoiceOver para permitirle al usuario acceder a distintas opciones como, por ejemplo: indicación de la posición exacta, la distancia en metros de las distintas paradas del autobús, las líneas de bus operativas tanto de ida como

de regreso y una opción que usando la brújula del iPhone dirige a la persona hasta la parada del autobús más cercana, entre otras ayudas. (González, 2015)

Por otro lado, teniendo en cuenta que el sistema de transporte de Londres (Underground) es uno de los más complejos del mundo debido a la cantidad de líneas, conexiones e incluso en las estaciones más complejas varios niveles, la empresa Ustwo creó Wayfindr; un sistema que ayuda a personas en condición de discapacidad visual a desplazarse dentro del metro mediante un sistema de sensores (beacons) que, dependiendo del lugar donde se encuentre la persona, le va indicando la dirección de su destino a través de retroalimentación auditiva.

### **Sistemas de inclusión para personas con discapacidad auditiva**

Como lo menciona el documento de Bettger & Pearson (1989), en estados como Massachusetts, a finales de los años ochenta, se evidenciaron problemas para las personas con discapacidad auditiva en el transporte público, principalmente, debidos a la falta de acceso a la comunicación oral cuando se usa el autobús, el metro y el avión. Así mismo, se recalca el problema que representa que el personal de transporte no logre interactuar de manera adecuada con el pasajero con esta dificultad. Como solución, en este estudio se propone la instalación de tableros de lectura electrónicos, alarmas de emergencia visual y monitores táctiles y, por supuesto, el uso de sesiones de entrenamiento.

### **Sistemas de inclusión para personas con dificultades de movilidad**

En 1980 nace en Curitiba - Brasil la red integrada de transporte (RIT) que consiste en un sistema de buses (Bus Rapid Transit, BRT) que recorre toda la ciudad con acceso a estaciones exclusivas para los buses. Este sistema, en el cual fue inspirado Transmilenio, fue pensado para ser inclusivo y por esta razón tiene rampas y ascensores (Figura 2a) que permiten el acceso a personas con dificultad de movilidad a las estaciones del BRT.

Por otro lado, la estación de buses de Albacete (España), la cual es una de las mejores adaptadas para personas con diferentes capacidades, cuenta con: dos parqueaderos exclusivos para personas con discapacidad, servicio higiénico accesible, un sistema de rutas internas de la estación pensado para

que no tenga obstáculos innecesarios, un parque automotor con sistemas de plataformas para personas con sillas de ruedas que permite cambiar las sillas normales por las sillas de ruedas (Figura 2b).

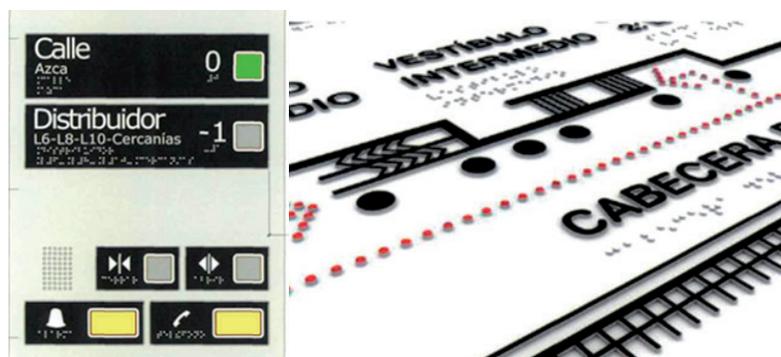


*Figura 2. A. Accesibilidad en estaciones de Curitiba – Brasil (Punto noticia, 2012) & B. Accesibilidad en flota de buses vía Albacete – España (Hernández, et al., 2011)*

## Diseño de información teniendo en cuenta principios de diseño universal

La compañía española SOOTEC, S.l. desarrolló estos dos proyectos teniendo en cuenta principios de diseño universal. El primero (Figura 3a) es una propuesta de diseño del panel de control para los ascensores de la red de transporte del metro de Madrid, la cual integra información visual como textos, iconos y signos pensados para personas sordas y sin discapacidad y adicionalmente maneja retroalimentación táctil a través de códigos Braille. Por otro lado, la Figura 3b muestra el prototipo de un plano háptico diseñado para el Área de

Movilidad y Accesibilidad del Consorcio Regional de Transportes de Madrid, el cual, a través de textos alfabéticos, código Braille y figuras en alto relieve presta información para usuarios con diferentes habilidades (Hernández, et al., 2011).



*Figura 3. A. Diseño de botonera accesible para ascensores & plano háptico Consorcio Regional de Transportes de Madrid (Hernández, et al., 2011)*

### Ejemplo de diseño universal en aeropuertos europeos.

En el aeropuerto de Bremen - Alemania (Figura 4a), instalaron un sistema de comunicación visual y táctil que ayuda a personas con diferentes habilidades a ubicarse y encontrar la ruta hacia su destino. En la parte superior cuenta con una pantalla de visualización que contiene textos, íconos y colores contrastantes para ayudar a personas con deficiencia visual a encontrar la información deseada. Adicionalmente, se idearon una forma de guiar a las personas en condición de discapacidad visual a través de un cambio de textura en el piso.

Finalmente, uno de los ejemplos más relevantes en términos de diseño universal es el manejo de información de Schiphol, el aeropuerto de Ámsterdam (Figura 4b). Utilizando el concepto de wayfinding los diseñadores se encargaron de que cualquier usuario “independientemente de sus habilidades perceptivas y motoras” pueda utilizar el sistema de una forma eficaz y fluida. Las características más importantes de diseño de la señalización son: la utilización de iconografía cuidadosamente diseñada como apoyo a los textos para facilitar la comprensión de estos, el manejo de textos cortos pero puntuales lo cual permite agrandar la letra para asegurar la visibilidad de todas las personas, la

selección de una tipografía muy legible (Frutiger) para asegurar la legibilidad, el manejo de contrastes fuertes de colores para resaltar información importante y la utilización de mapas generales de ciertas zonas con el fin de que los usuarios se hagan una idea acertada de la distribución del espacio para asegurar la movilidad de los usuarios por el aeropuerto.



Figura 4. A. Diseño universal en el aeropuerto de Bremen - Alemania (Hernández, et al., 2011) & B. Diseño universal en el aeropuerto de Ámsterdam - Holanda (NP Nova Polymers, 2016)

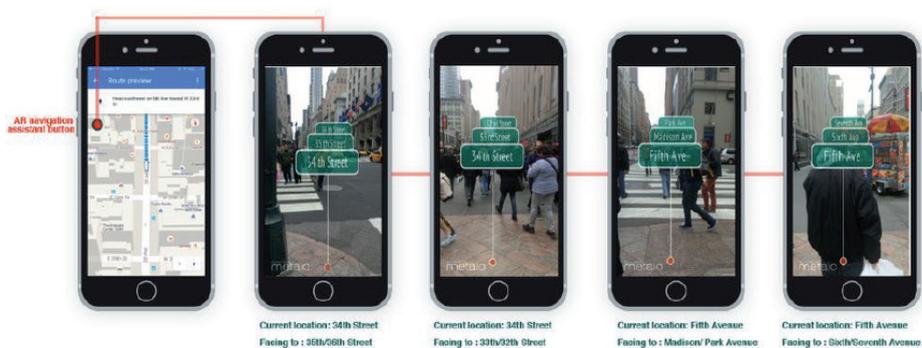
### 3.3. Referentes apalancados en pantallas interactivas

La digitalización de la información es un fenómeno en ascenso; cada vez se encuentran más productos y servicios que utilizan pantallas digitales para acercarse a los usuarios de una marca o producto o llamar la atención de los clientes potenciales con las cuales es posible interactuar y navegar. En esta parte se hace una breve revisión de algunos productos que utilizan estas pantallas con el fin de mejorar la experiencia de uso en los sistemas de movilidad.

En esta parte se muestran algunos ejemplos de aplicaciones de celular que mejoran la experiencia de los sistemas de transporte público, un ejemplo de los mapas interactivos implementados en la ciudad de Nueva York y se explica el sistema de señalización digital y algunos ejemplos de implementación en el transporte público.

#### ZIFEI WANG – Navigating New York City

Zifei Wang es una empresa de diseño interactivo situada en Estados Unidos, la cual desarrolló una aplicación móvil para mejorar la navegación en la ciudad, esta aplicación cuenta con un sistema de geolocalización y utiliza tecnología de realidad aumentada para que el usuario pueda ver en tiempo real, los metadatos de las calles principales (Ver figura 5).



**Figura 5.** Características básicas de ZIFEI WANG, aplicación móvil para movilidad en Nueva York. Tomado de: (ZIFEI WANG: Navigating New York city, s.f.)

## WalkNYC

WalkNYC es un sistema de mapas digitales que brindan información multimodal para transeúntes en diferentes lugares de la ciudad de Nueva York el cual consta de un recurso visual universal que empleando iconos y señales claras y concisas. Este proyecto se instaló durante el verano de 2013 en cuatro áreas de la ciudad. (Ver Figura 6)



Figura 6. Características básicas de WalkNYC, aplicación móvil multimodal. Tomado de: (WalkNYC, s.f)

### Señalización digital (digital signage)

La señalización digital o “digital signage” en inglés se enfoca más que todo al diseño de pantallas interactivas destinadas a realizar campañas y activaciones de marca. Estas pantallas interactivas pueden utilizarse en sitios cerrados como centros comerciales (Figura 7), aeropuertos, oficinas, entre otros y con algunas modificaciones, en espacios abiertos como parques, plazoletas y corredores de las ciudades. Esta tecnología, permite que los usuarios interactúen con las

marcas, adquieran información de los productos y/o servicios (ver Figura 8) y así mismo permite que las compañías contratantes recolecten información sobre los hábitos de consumo de sus clientes potenciales.



Figura 7. Ejemplo de Digital Signage en centro comercial. Tomado de: (Industry, s.f.)



Figura 8. Digital Signage enfocado en la promoción de productos. Tomado de: (Industry, s.f.)

Adicionalmente, esta tecnología permite que, utilizando sistemas de navegación, geolocalización, IoT entre otros, se pueda acceder a información importante para los ciudadanos. Es el caso de los “digital signage pedestrians” los cuales son módulos interactivos que, a través de interfaces digitales, pueden proveer

información para mejorar la experiencia de navegabilidad de las personas en las urbes a través de los sistemas de transporte público (Ver Figura 9).



Figura 9. Digital Signage Pedestrians – sistema enfocado en la navegación y orientación dentro de los sistemas de transporte. Tomado de: (Kafka, s.f.)

### 3.4. Conclusiones

El transporte inteligente es el enfoque de las ciudades inteligentes destinado a optimizar los sistemas de transporte en una ciudad con el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs).

En esta sección se identifican algunas soluciones que varios países han adoptado con respecto al tema. La piedra angular de este análisis es la necesidad del ser humano de contar con información necesaria y suficiente para poder llevar a cabo sus respectivas actividades; en este caso, movilizarse de manera cómoda, segura y eficaz de un lugar a otro. Desde esta perspectiva, este conocimiento

de la información de la movilidad de transporte de una ciudad (con todas sus variables concernientes a rutas, horas de llegada, entre otras) es menor para una persona con algún tipo de discapacidad (visual, auditiva, motriz). Debido a esto, la presente investigación se enfoca en el desarrollo de herramientas tecnológicas que puedan suplir de una manera adecuada esta falencia.

Para esta tarea se diferencia entre el término sistema de información, el cual le brinda información al viajero acerca de aspectos específicos del proceso de movilidad, y el término sistema de orientación, el cual debe asegurar una orientación segura, confiable y rápida en los espacios de las estaciones y terminales de transporte.

En términos generales, según las evidencias del estado del arte el sistema de transporte público a nivel nacional, no cuenta con opciones multimodales que faciliten el flujo de información, la accesibilidad y el uso de los sistemas de transporte en las distintas ciudades ya que, en su mayoría, las soluciones existentes son parciales y desarticuladas.

Tanto a nivel nacional como a nivel internacional la mayoría de las soluciones encontradas se enfocan desde el punto de vista de diseño inclusivo y no desde el punto de vista del diseño universal lo cual sugiere que hay muy pocas organizaciones trabajando desde estos principios y que todavía no existe una conciencia colectiva hacia los beneficios que podría traer.

A nivel internacional se destacan los proyectos que aplican el concepto de Diseño universal en España (SOOTEC, S.I), Alemania y Holanda. En otros países se dan soluciones parciales.

Los proyectos de diseño universal son costosos en términos de infraestructura, por lo cual es necesario hacer un planeamiento riguroso para que las adaptaciones cubran la mayor parte de las necesidades de la población. Sin embargo, desde el punto de vista del manejo de la información se pueden implementar soluciones de diseño universal modificando parcialmente la infraestructura existente y garantizando el flujo de información y la accesibilidad a personas con diferentes habilidades perceptivas y de motricidad.

## 4. Diseño universal, diseño centrado en el usuario y multimodalidad. Ciudades inteligentes para todos.

En esta parte del capítulo se definen los lineamientos teóricos que se utilizan como punto de partida para el desarrollo del proyecto de investigación y se menciona su relación con el concepto de ciudades inteligentes. De esta forma, se citan las definiciones de los conceptos de diseño universal y accesibilidad; se habla sobre el concepto de diseño centrado en el usuario (UCD), se toca el tema de la multimodalidad con relación a la discapacidad y, finalmente, se explica la relación e importancia de los tres conceptos con relación a las ciudades inteligentes.

### 4.1. Diseño universal y accesibilidad.

El diseño universal es un enfoque estratégico para la planificación y el diseño de productos y entornos de una manera que promueva una sociedad inclusiva que garantice la plena igualdad y participación de todos.

Ron Mace, arquitecto estadounidense, fundador del Centro de Diseño Universal de la Universidad Estatal de Carolina del Norte lo define como el diseño de productos y entornos que puedan ser utilizados por todas las personas, en la mayor medida posible, sin necesidad de adaptación o diseño especializado. Su objetivo principal es el de crear objetos y espacios muy fáciles de usar por una gran parte de la población, independientemente de sus capacidades (Mace, Hardie, & Place, 1990).

El Centro de Diseño Universal y la Universidad de Carolina del Norte en los Estados Unidos establecieron los siete principios de diseño universal: "1) Uso equitativo, 2) Flexibilidad en el uso, 3) Uso simple e intuitivo, 4) Información perceptible, 5) Tolerancia al error, 6) Esfuerzo físico bajo y 7) Tamaño y espacio para el acceso y el uso" (Mace, 1997).

La Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) realizó una traducción de los principios de diseño universal (Hernández, Fefa, Borau, & García, 2011) obtenidos del Centro de Diseño Universal de Estados Unidos, estos son:

**Equidad de uso:** El diseño es útil y comercializable para personas con diversas capacidades (...).

**Flexibilidad de uso:** El diseño se adapta a un amplio rango de preferencias individuales y capacidades (...).

**Simple e intuitivo:** El diseño es fácil de entender independientemente de la experiencia, conocimiento, nivel cultural o capacidad de concentración (...).

**Información perceptible:** El diseño transmite la información necesaria de forma eficaz para el usuario, independientemente de las condiciones ambientales o de sus capacidades sensoriales.

**Tolerancia al error:** El diseño minimiza el peligro y las consecuencias negativas producidas por acciones accidentales o no intencionadas (...).

**Bajo esfuerzo físico:** El diseño debe ser usado de forma cómoda y eficiente con el mínimo esfuerzo.

**Espacio suficiente de aproximación y uso:** Dimensiones y espacio apropiadas para permitir el acercamiento, alcance, manipulación y uso independientemente de tamaño del cuerpo del usuario, su postura o movilidad.

“La accesibilidad es un conjunto de características que hacen posible que cualquier entorno, servicio, sistema de gestión o mantenimiento se diseñe, ejecute o sea apto para el máximo número de personas posible” (Alonso López, 2002, p 21).

## **4.2. Diseño centrado en el usuario (DCU)**

Desde el punto de vista del diseño de productos tecnológicos, la mayor problemática es que aspectos como el desarrollo ingenieril y la factibilidad productiva y económica cobran demasiada importancia, dejando de lado el espacio para entender realmente lo que los usuarios quieren, desean y necesitan. Por su parte, el diseño centrado en el usuario (Pea, 1987) busca resolver las necesi-

dades concretas del usuario final, en este caso de las personas en condición de discapacidad o sin discapacidad perceptiva o motriz, consiguiendo la mayor satisfacción y mejor experiencia de uso posible con el mínimo esfuerzo de su parte. En particular, DCU es un término que describe el proceso en el cual el usuario final influye y determina la forma que tomará el diseño (Bainbridge, 2004), y donde su interacción se da, en mayor o menor grado, durante todo el proceso de diseño. Para el desarrollo de esta metodología se siguen seis principios básicos de DCU que son los siguientes (como se citó en Sánchez, 2011, párr.33):

1. El diseño está basado en una comprensión explícita de usuarios, tareas y entornos.
2. Los usuarios están involucrados durante el diseño y el desarrollo.
3. El diseño está dirigido y refinado por evaluaciones centradas en usuarios.
4. El proceso es iterativo.
5. El diseño está dirigido a toda la experiencia del usuario.
6. El equipo de diseño incluye habilidades y perspectivas multidisciplinares (como se citó en Sánchez, 2011)

Finalmente, es importante mencionar algunas ventajas del uso de este enfoque en el desarrollo de productos:

1. Los productos son más eficientes, efectivos y seguros.
2. Los usuarios desarrollan un sentido de propiedad y apego al producto.
3. Los productos requieren menos rediseño y se integran más rápidamente a su entorno de uso.
4. El proceso colaborativo generará soluciones más creativas a los problemas (Pea, 1987).

### **4.3. Enfoque multimodal y discapacidad**

---

En el ámbito de la salud humana, una discapacidad física se puede definir como una condición física que impide el desempeño cotidiano de personas

dentro de los estándares de un grupo social, así, una persona con algún tipo de discapacidad no puede desempeñarse de forma eficiente y efectiva dentro de la sociedad ni en sus actividades cotidianas (Disabled world, 2017). Aunque a través del tiempo la tecnología ha sido la principal herramienta de ayuda para la movilidad de personas en condición de discapacidad, existen algunas limitaciones en el desplazamiento en entornos urbanos, como por ejemplo el uso del transporte público. Generalmente en estos casos, la persona en condición de discapacidad debe solicitar ayuda a un tercero, lo cual limita su autonomía e independencia. Hasta el momento en la revisión del estado del arte realizada no es evidente la existencia de sistemas de información multimodal que mejoren la accesibilidad a sistemas de transporte público.

La retroalimentación o en inglés *feedback* es la forma en que los seres humanos recibimos información detallada del entorno, esto nos sirve para informarnos sobre lo que está sucediendo en un momento determinado y los pasos a seguir (Norman, 2010). Cuando se diseña un producto no solo se debe tener en cuenta los factores formales y técnicos sino también el factor comunicativo, de esta forma y teniendo en cuenta las modalidades perceptivas del ser humano (vista, oído, tacto, olfato y gusto) se diseña el sistema de comunicación entre objeto y sujeto a partir de las necesidades del usuario y las características del entorno. En condiciones normales, las personas utilizan los cinco sentidos para obtener información de los objetos que utilizan cotidianamente y de su entorno. Sin embargo, las personas que no cuentan con una o dos modalidades tienen que adaptarse al entorno para poder seguir con su vida cotidiana. En el reino animal, los individuos que no se adaptan tienden a desaparecer; afortunadamente, los seres humanos tienen la capacidad de adaptarse a su entorno, así como de influenciar y modificar los objetos, herramientas y, en general, el entorno según las capacidades y necesidades de cada individuo o, en el mejor de los casos, generar adaptaciones que sirvan para todos.

Desde esta perspectiva, el objetivo de estas herramientas es presentar a las personas en condición de discapacidad la información proveniente del entorno de la forma más apropiada, comunicando así la información capturada por

medio sensores de manera eficiente. Las tres modalidades que se usan principalmente son la retroalimentación visual, auditiva, y táctil, de las cuales las dos últimas son las que se utilizan para proyectos de inclusión y, en general, están orientadas primordialmente a la identificación de obstáculos presentes en el entorno. Para la modalidad auditiva, la ubicación del obstáculo en el espacio tridimensional es representada mediante sonidos, generalmente tonos, con una frecuencia y amplitud dependientes de las características del obstáculo; el sistema hace uso de funciones de transferencia de cada oído del usuario (head-related transfer functions) con el fin de incorporar la sensación de tridimensionalidad al estímulo generado. Por su parte la retroalimentación táctil hace uso de dispositivos hápticos que generan vibraciones, fuerzas o movimientos que son transmitidos al usuario través de un guante o de otro tipo de transductor ubicado, generalmente, en las manos del usuario. Al diseñar un sistema de retroalimentación multimodal es importante considerar dos condiciones esenciales para garantizar el adecuado desempeño del dispositivo: 1) La información entregada al usuario no debe interferir de manera significativa con el uso de información sensorial proveniente del ambiente. Por ejemplo, si se usa retroalimentación auditiva a través de audífonos, el sonido emitido por estos no debería impedir a la persona percibir sonidos del entorno. 2) Si se trata de realimentación táctil a través de un guante, las vibraciones generadas por el mismo no deberían impedir a la persona usar libremente sus manos (Marion & Michael, 2008).

#### **4.4. Ciudades inteligentes para todos**

---

Para diseñar ciudades inteligentes amigables, intuitivas y que sirvan para todos, es importante tener en cuenta los canales de comunicación de los diferentes tipos usuario. Para tal fin, la multimodalidad es una buena opción ya que permite manejar la misma información, transmitiéndola por los canales visual, auditivo y táctil. Sin embargo, durante una entrevista con personas con discapacidad visual, identificamos que algunos de ellos utilizan el sentido del olfato para obtener información del entorno, por ejemplo, una forma de ubicarse en un trayecto en bus es identificar los olores de la panadería que está cerca de la estación en la que se tienen que bajar. El descubrimiento de esta

“retroalimentación natural<sup>2</sup>” (Norman, 2010) es interesante ya que nos hace pensar si hemos explorado lo suficiente los sistemas de retroalimentación que diseñamos para las personas con discapacidad. Este tipo de descubrimientos se generan debido a la implementación de estrategias de diseño centrado en el usuario y detonan ideas innovadoras que permiten crear soluciones novedosas, acertadas, realistas y enfocadas a mejorar la “experiencia de uso” de las urbes en este caso.

## 5. Enfoque metodológico del proyecto

Como el objetivo de la investigación de usuario era *“Identificar las necesidades, frustraciones y deseos de personas con discapacidad perceptiva, motora o de aquellas sin discapacidad, en el flujo de información de los sistemas de transporte público, por medio de herramientas de investigación cualitativa”*, se seleccionó una metodología llamada *Contextmapping*<sup>3</sup>, la cual, a través del uso de herramientas de Co-creación generativas, permite acceder a los niveles de conocimiento más profundos de los usuarios (tácito y latente) y a través de ejercicios de creación plástica permite a los usuarios visualizar escenarios futuros ideales, teniendo en cuenta sus experiencias del presente y el pasado (Sanders and Stappers 2012).

Para llevar a cabo la investigación de usuario, lo primero que se realizó fue una selección y distribución en grupos focales; después, diseñamos un protocolo de investigación el cual se dividió en cuatro partes: 1) definición del enfoque temático, 2) desarrollo de las preguntas preliminares de investigación, 3) desarrollo de mapa de suposiciones y 4) planeación de actividades; posteriormente se diseñaron las herramientas de co-creación generativas y finalmente, se realizaron algunas pruebas piloto para ajustar las herramientas

---

2 Según Norman (2010) la retroalimentación natural es la información intuitiva que no ha sido diseñada intencionalmente y que nos indica lo que ocurre en una situación particular o lo que tenemos que hacer. Un ejemplo es cuando colocamos a cocinar algo y se nos olvida, el olor de la comida quemándose nos indica que algo anda mal.

3 El *Contextmapping* es una metodología de investigación cualitativa que ayuda a entender las relaciones entre producto - usuario - contexto, permite identificar necesidades tácitas y latentes y proponer soluciones a través del uso de herramientas generativas.

de investigación, de acuerdo a las necesidades del proyecto (Ramírez Nates, Tsukamoto Uchida, & Herrera Martínez, 2019).

## **5.1 Selección y distribución de participantes para las sesiones de co-creación**

---

Teniendo en cuenta que uno de los enfoques principales es desde la perspectiva del diseño universal, para este proyecto se quiso abarcar a la mayoría de los usuarios, segmentándolos de acuerdo con sus canales de comunicación y sus habilidades motoras. De esta forma, se planeó armar cuatro grupos de cuatro a ocho participantes cada uno, los cuales se agruparon de la siguiente manera: Participantes con discapacidad auditiva, participantes con discapacidad visual y baja visión, participantes con discapacidad motriz y participantes sin discapacidad; los participantes con discapacidades combinadas como sordomudos o con discapacidades cognitivas extremas no se tuvieron en cuenta ya que ellos dependen de un cuidador para hacer sus actividades cotidianas.

## **5.2 Desarrollo del protocolo de investigación**

---

Para poder llevar a cabo la investigación de usuario lo primero que realizamos fue el protocolo de investigación el cual, como mencionamos arriba, se dividió en cuatro partes: 1) definición del enfoque temático y objetivo de investigación, 2) desarrollo de las preguntas preliminares de investigación, 3) desarrollo de un mapa de suposiciones y 4) planeación de actividades.

### **1. Definición del enfoque temático y del objetivo de investigación de usuario**

Para comenzar con la planeación de la investigación se identificaron dos tipos de información que se quería obtener; la primera y más general, relacionada con la experiencia de los usuarios en el transporte público y la segunda y más específica, relacionada con los sistemas de información en el transporte público. A partir de esto, se define el objetivo de investigación de usuario el cual fue: *“Identificar, necesidades, frustraciones y deseos para usuarios tanto en condición de discapacidad perceptiva o motora como aquellos sin discapacidad*

*del servicio de transporte público, por medio de herramientas de investigación cualitativa, con el fin de adquirir conocimiento profundo sobre la experiencia en el transporte público y sus sistemas de información que nos permitan generar requerimientos de diseño”.*

## **2. Desarrollo de las preguntas preliminares de investigación**

A partir de esto se comienza a plantear las preguntas que se quieren resolver y se dividen en los dos tipos de información mencionados con anterioridad:

- a) preguntas sobre la experiencia de los usuarios en el transporte público y
- b) preguntas sobre los sistemas de información en el transporte público.

### **a. Preguntas sobre la experiencia de los usuarios en el transporte público**

¿Cómo es la línea de tiempo de la experiencia para cada uno de los usuarios?, ¿Qué es lo que más se dificulta dentro de la línea de tiempo?, ¿Cuáles son los momentos críticos en la línea de tiempo?, ¿Cómo se puede diseñar un producto que no le afecte el vandalismo en Bogotá?, ¿Para las personas es mejor contar con controles físicos o digitales?, ¿Cómo es la experiencia actual a la hora de tomar el transporte público?, ¿Qué es lo que más se dificulta?, ¿Cuáles son los puntos débiles y fuertes de la experiencia dependiendo del tipo de usuario? y ¿Para los usuarios cuáles son las peores y mejores experiencias en el uso del transporte público?

### **b. Preguntas sobre los sistemas de información en el transporte público**

¿Actualmente cómo se recibe la información?, ¿Qué funciona?, ¿Qué no funciona?, ¿Qué hace falta?, ¿Qué tipo de información necesita cada tipo de usuario?, ¿Qué información es de vital importancia en cada uno de los momentos críticos para asegurar una experiencia positiva?, ¿Cuáles son los principales problemas a la hora de recibir la información?, ¿Cómo es la mejor forma para recibir la información y dar retroalimentación dependiendo del tipo de usuario?, ¿Qué sentidos son deseables y qué sentidos son necesarios a la hora de recibir la información?, ¿La retroalimentación de olfato es una opción?, ¿Cómo hacer para

que el sistema sea más intuitivo?, ¿Dónde debería estar ubicado el producto?, ¿Qué es lo que más desea el usuario en cuanto al tipo de información y la forma como se recibe?, ¿Cómo sería un escenario ideal en el cual se pueda mejorar el flujo de información en el transporte público de Bogotá, teniendo en cuenta las necesidades de los diferentes tipos de usuario?, ¿Qué tecnologías son las más adecuadas para aplicar en este proyecto?, ¿Cómo implementar una solución de diseño universal? y ¿Cómo podríamos asegurar que la información llegue al usuario cuando se está en un entorno congestionado (sonido ambiental alto)?

Estas preguntas fueron la base para la construcción del material de investigación que se menciona más adelante.

### **3. Desarrollo de un mapa de suposiciones**

Antes de comenzar con la investigación de usuario, se realiza un mapa de suposiciones con el fin de identificar las preconcepciones que teníamos antes de comenzar la fase de descubrimiento y así, más adelante, poder validar la información que se conocía, la que se creía conocer y la que se necesitaba conocer. El mapa de suposiciones se enfoca desde nuestra percepción sobre las necesidades de los diferentes tipos de usuario con respecto al uso y manejo de información de los sistemas actuales de transporte público.

#### **a. Suposiciones de personas en condición de discapacidad auditiva**

Para las personas con discapacidad auditiva de nacimiento es más difícil recibir información alfanumérica: son más independientes que las personas con ceguera, su sistema de percepción se basa en la vista, el tacto y el olfato (en ese orden) y el canal visual es el más importante, seguido por el tacto; algunos no saben leer, por lo cual es difícil adquirir información presentada en el alfabeto alfanumérico.

#### **b. Suposiciones de personas en condición de discapacidad visual**

Generalmente dependen de terceros: detestan depender de otros por lo cual anhelan ser más independientes, utilizan el oído, tacto y olfato (en ese orden de importancia) para ubicarse y recibir información del entorno y para ellos es muy difícil hacer un trayecto nuevo. Asimismo, reciben información mediante código Braille; este tipo de información en código Braille en el sistema de transporte es muy básica, por lo tanto, si la información va a ser entregada de modo audible, qué tanto puede afectar el ruido de fondo (ruido por tráfico, conversaciones, industrias, etc.) a esta entrega.

### c. Suposiciones de personas con discapacidad motriz

Para este tipo de discapacidad, el acceso a la información es difícil de alcanzar, así como el acceso a los buses es complicado.

### d. Suposiciones de personas sin discapacidad

La información es desordenada, cambiante, redundante y confusa; por lo tanto, se necesita una curva de aprendizaje para poder entender la información de forma adecuada.

## 6. Planeación, diseño de herramientas de investigación y prueba piloto

La planeación de las actividades se desarrolló teniendo en cuenta las características de la metodología de Contextmapping, la cuales se dividen en dos grandes partes: una actividad sensibilización y un taller de co-creación con herramientas generativas. Para la actividad de sensibilización se diseñó un librito que consta de cinco ejercicios de diez minutos cada uno para realizar una semana antes de la sesión de co-creación y para el taller se estimó un tiempo de duración de dos horas aproximadamente y se dividió en cuatro grandes etapas: introducción, ejercicio de círculo de valores, ejercicio de *Customer Journey* y finalmente, ejercicio de creación de escenarios ideales y futuros (ver Tabla 1).

<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>		
<b>Etapa</b>	<b>Actividad</b>	<b>Duración/min</b>
1	<b>Introducción</b>	5
2	<b>Círculo de valores</b>	20
Cambio de ejercicio		5
3	<b>Costumer Journey</b>	35
Refrigerio		15
4	<b>Creación de escenarios ideales</b>	40
<b>TOTAL TIEMPO</b>		<b>120</b>

**Tabla 1.** Cronograma de actividades de la sesión de Co-creación.

## 6.1 Diseño del material de investigación y prueba piloto

Dentro de la metodología del Contextmapping el librito de sensibilización tiene dos objetivos: por un lado, obtener la información general del proyecto, la cual, en este caso es sobre la experiencia de uso del sistema de transporte público y por el otro lado, lograr que los usuarios piensen en la problemática general antes del llegar al taller de co-creación. De esta forma se diseñó una herramienta que constaba de cinco ejercicios de diez minutos cada uno los cuales los participantes, tenían que desarrollar uno por día. Los ejercicios fueron los siguientes: 1) una línea de tiempo en la cual los participantes tenían que identificar los momentos más importantes durante un trayecto de en el transporte público, 2) tenían que escribir tres experiencias positivas y tres experiencias negativas durante algún trayecto en especial, 3) tenían que escribir y dibujar los momentos más estresantes a la hora de usar el transporte público, 4) tenían que organizar unas palabras predefinidas dependiendo del orden de importancia para ellos y 5) describir y dibujar su paradero ideal. Al inicio de la sesión generativa los participantes debían entregar los librillos a los investigadores. La Figura 10 muestra la carátula del librito de sensibilización.



Figura 10. Carátula del librito de sensibilización (Ramírez Nates et al., 2019).

El segundo formato que se diseñó fue el de la herramienta del círculo de valores; con esta herramienta se pretendía descubrir cuál era el tipo de información más importante y menos importante para los diferentes tipos de usuario. De esta forma, los participantes deberían escribir en el centro mínimo diez palabras que comunicaran la información más importante para ellos y en el círculo externo, diez palabras que manifestaran la información que no era tan importante para ellos. Con el fin de detonar ideas, se imprimió una hoja tamaño carta con la información que usualmente existe en los paraderos actuales. En la Figura 11 se puede ver el formato del círculo de valores y las instrucciones de la actividad.

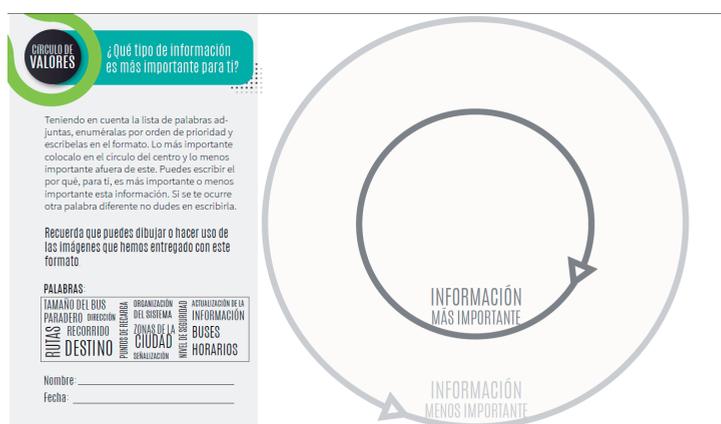


Figura 11. Formato de la herramienta Círculo de Valores (Ramírez Nates et al., 2019).

El tercer formato que se diseñó fue un *Customer Journey* simplificado, con el que se pretendía identificar la información más importante a través de la línea de tiempo. De esta forma, se diseñó una herramienta en la cual se mostraba una línea de tiempo que constaba de los catorce pasos más importantes a la hora de usar el sistema de transporte público en el eje horizontal y cinco preguntas para contestar en cada uno de los 14 pasos en el eje vertical las cuales eran: ¿Cómo me gustaría obtener la información?, ¿Qué es lo que más se me dificulta a la hora de encontrar la información que quiero?, ¿Cómo busco la información que quiero encontrar?, ¿Cuál es la información que realmente necesito o quiero obtener? y ¿Cuál es la información que actualmente obtengo? (Ver Figura 12).

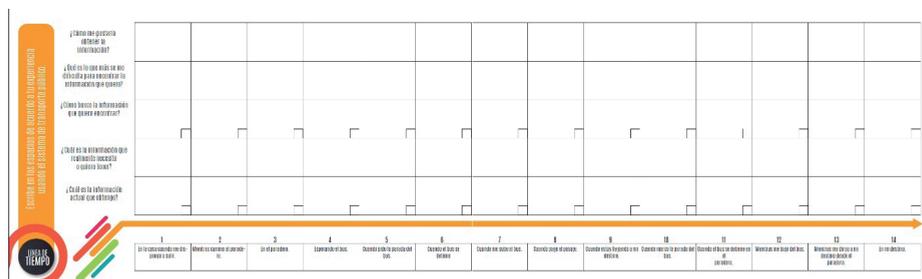


Figura 12. Formato de la herramienta *Customer Journey*.

El cuarto formato constaba de un espacio en blanco en el cual los participantes tenían que bocetar o construir el escenario ideal con respecto a cuatro preguntas ¿Qué momento de la línea de tiempo podría mejorar?, ¿Qué tipo de información quiero recibir?, ¿Cómo voy a recibir esta información? y finalmente ¿Dónde y cuándo voy a recibir dicha información? Adicionalmente a este formato, se realizó una galería de imágenes detonantes alusivas a elementos tecnológicos con el fin de generar ideas prospectivas. La Figura 13 muestra el formato que se desarrolló y las indicaciones para los participantes.





**Figura 14.** Ejercicios realizados por estudiantes de séptimo semestre del programa de diseño industrial de la UEB en la prueba piloto.

La prueba piloto evidenció que la herramienta de la línea de tiempo era muy extensa y compleja para llenar en el tiempo destinado para la sesión y que parte de la información obtenida no era relevante.

Por esta razón se optimizó pasando de catorce a nueve pasos en la de la línea de tiempo (eje horizontal) y de cinco a dos preguntas en el eje vertical; adicionalmente se mejoró el sistema para colocar el nivel de satisfacción de cada momento (ver figura 15). Las demás herramientas fueron cambiadas de manera mínima, como colocar los nombres y mejorar la redacción de las instrucciones.

**NIVEL DE SATISFACCIÓN:**

1 2 3 4 5

**PREGUNTAS (EJE V):**

1. ¿Qué es la información que realmente necesitas?

2. ¿Qué es lo que más te ha impresionado respecto a la información que te dio?

**PASOS (EJE H):**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EN UN MOMENTO DEL PROCESO DE ALTA	REVISAR EL ESTADO DE LOS DATOS	EN EL MOMENTO DE REVISAR EL DATO	COMPARAR PARA EL MOMENTO DEL DATO	COMPARAR EL DATO CON OTROS DATOS					

**Figura 15.** Formato la herramienta del Customer Journey mejorado (Ramírez Nates et al., 2019).

## 7. Investigación de usuarios

Durante esta etapa del proyecto se realizaron cuatro sesiones generativas con los diferentes tipos de usuario: la primera fue con personas sin discapacidad, la segunda se realizó con personas con discapacidad motriz, la tercera con personas con discapacidad auditiva y la cuarta con personas con discapacidad visual.

## 7.1 Sesiones de co-creación con herramientas generativas.

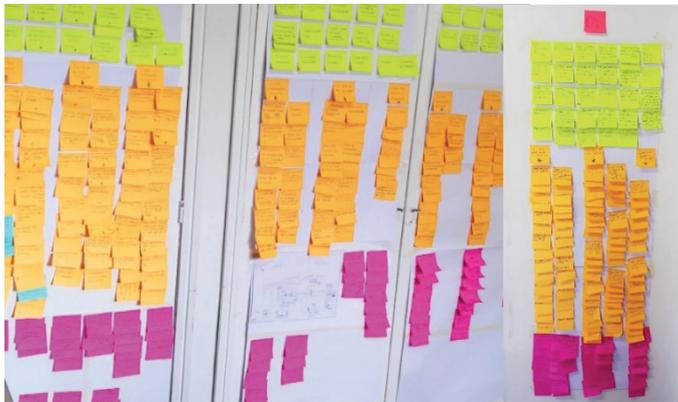
Las sesiones de co-creación se realizaron entre el 25 de agosto y el 12 de octubre de 2019. La primera sesión se desarrolló con ocho personas sin discapacidad en las instalaciones de la Universidad El Bosque (UEB). Sin embargo, debido a la dificultad de congregar a todas las personas con discapacidad motriz en un mismo día, esta investigación se dividió en dos partes una realizada con tres personas el 15 de septiembre y la otra realizada con dos personas el 6 octubre en las instalaciones de la Universidad El Bosque. Por otro lado, el 1ro de octubre se realizó la sesión generativa con cinco personas con discapacidad auditiva en las instalaciones del Instituto Nacional para Sordos *INSOR* (para esta sesión se contó con un servicio de traducción de lenguaje de señas), y, finalmente, el 12 de octubre se realizó la sesión generativa con seis personas con discapacidad visual y baja visión en las instalaciones del Centro de Rehabilitación para Adultos Ciegos (CRAC), ( para esta sesión los participantes con discapacidad visual contaron con la ayuda de familiares o acudientes para realizar los ejercicios planteados). La Figura 16 muestra los resultados de algunas de las maquetas de escenarios futuros realizadas por los cuatro tipos de usuarios.



**Figura 16.** Resultado de los escenarios ideales creados durante las sesiones generativas. En orden de izquierda a derecha maqueta de personas sin discapacidad, maqueta de personas con discapacidad motriz, maqueta de personas con discapacidad auditiva y maqueta de personas con discapacidad visual.

## 7.4 Análisis de la información

Como se obtuvo bastante información cualitativa, para tabular toda la información se decidió organizarla realizando cuatro pilas de información dependiendo de cada uno de los tipos de usuario y estas a su vez fueron divididas en tres partes dependiendo de cada uno de los ejercicios realizados durante la sesión generativa. De esta forma, se utilizaron *post-it* verdes para colocar la información obtenida con la herramienta del círculo de valores, se utilizaron *post-it* naranja para colocar la información obtenida con la herramienta del *Customer Journey* y se utilizaron *post-it* fucsia para las ideas obtenidas con la herramienta de desarrollo de maquetas ideales (ver Figura 17).



*Figura 17. Distribución de la información dependiendo del tipo de usuario y el tipo de herramienta generativa utilizada.*

Posteriormente, para los cuatro grupos de usuarios se combina la información del círculo de valores y el *Customer Journey* con el fin de encontrar los grupos de información (clústeres) más relevantes para cada tipo de usuario. Una vez definidos los clústeres, se realiza una tabla comparativa donde se coloca todos los grupos de información obtenidos por los cuatro tipos de usuario, se coloca la información más relevante de cada uno y se contrasta la información exclusiva por discapacidad y la información en común por clúster (Ver Tabla 2).

A grandes rasgos, la información más importante que se encuentra para la ciudad de Bogotá tiene que ver con desarrollo de la cultura ciudadana enfo-

cada a generar conocimiento y empatía por parte de los usuarios del sistema de transporte público con respecto a los diferentes tipos de discapacidad, la personalización del sistema para identificar las necesidades puntuales de cada uno de los usuarios y el desarrollo de estrategias que ayuden a mejorar la seguridad dentro de los sistemas de transporte público.

CLUSTER	PSD	PDA	PDV	PDM	
<b>Tipo Info</b>					
<b>Retroalimentación</b>					
<b>Accesibilidad</b>					
<b>Infraestructura</b>					
<b>Tecnología</b>					
<b>Seguridad</b>					
<b>Internet</b>					
<b>Recargas</b>					
<b>Personalización</b>					
<b>Cultura ciudadana</b>					
	Info general Info en paraderos Info en el buses	Info en común			
	<b>Info exclusiva x discapacidad</b>				

Tabla 2. Sistema de comparación de información por clústeres y discapacidad.

## 8. Reflexiones y visión prospectiva sobre el concepto de ciudades inteligentes.

Desde la perspectiva de este proyecto (diseño de un sistema de información multimodal para servicios de transporte público), se concluye que para diseñar una ciudad inteligente humanizada, accesible y eficiente se debe tener en cuenta tres aspectos principales que son: 1) la co-creación y participación de los ciudadanos en el desarrollo de la ciudad, 2) la inclusión de personas con diferentes habilidades desde el punto de vista del diseño universal y no desde la accesibilidad y 3) el uso de las TIC enfocado a crear ciudades que se adapten y evolucionen según las necesidades de los ciudadanos “Ciudades Vivas”.

## **8.1 Co-creación y participación ciudadana.**

---

Para diseñar una ciudad inteligente enfocada en el ciudadano debemos partir del hecho que los usuarios (ciudadanos) son los expertos en el “uso” de la ciudad y son los que conocen a profundidad todos los problemas que se generan diariamente y las diferentes oportunidades de mejora. Por esta razón, su participación en las etapas iniciales de diseño de ciudad es importante, ya que, estudiando sus comportamientos y forma de pensamiento, a través de herramientas generativas podemos acceder a los niveles de conocimiento más profundos (tácito y latente) de las personas para realizar ejercicios de co-creación que conlleven a plantear soluciones más innovadoras y eficientes.

También es importante tener en cuenta que, dependiendo del contexto sociocultural, cada ciudad es diferente y tiene necesidades generales que podrían ser escaladas a cualquier otro tipo de ciudad y necesidades específicas que son particulares a su entorno y a sus habitantes. Por esta razón, es importante identificar o desarrollar herramientas de co-creación ciudadana que permitan acceder a información general que pueda ser replicada en otros contextos e información particular que solo sirva para un tipo de ciudad específica.

Por otro lado, a la hora de realizar políticas públicas y desarrollos urbanos es importante tener en cuenta las necesidades de los ciudadanos para así poder alinearlas con las necesidades gubernamentales y no al contrario.

## **8.2 Diseño de ciudades inteligentes desde los principios del diseño universal.**

---

Para planear el desarrollo de una ciudad inteligente que sirva para “la mayor cantidad de personas posible” (diseño universal), es importante entender la diferencia entre el concepto de diseño para la inclusión y diseño universal. El primer concepto se enfoca en construir adaptaciones que permiten, a las personas con algún tipo de discapacidad, acceder a los mismos servicios que las personas sin discapacidad pueden acceder; un ejemplo claro es cuando,

en las escaleras de un edificio se construye un ascensor para silla de ruedas el cual se adapta al espacio y solo puede ser utilizado por personas con discapacidad motriz. En contraste, el enfoque del segundo concepto plantea qué desde la planeación inicial, se puedan plantear soluciones que sirvan tanto para personas con discapacidad como para personas sin discapacidad; este enfoque “igualitario” elimina totalmente la discriminación y hace que las ciudades sean más amables; como ejemplo, en vez de fabricar asientos para silla de ruedas, desde el inicio, se podría pensar en construir espacios más planos o con rampas que permitan ser utilizadas por “todos”.

A pesar que este enfoque pueda verse más retador y costoso a corto plazo, se verán más beneficios que problemas a largo plazo. Por lo tanto, es importante empezar a pensar en ciudades multimodales para que los diferentes tipos de usuario puedan acceder a la misma información generando empatía y cultura ciudadana entre los individuos que las componen.

### **8.3 La tecnología en función del usuario y la “ciudad viva”**

---

La implementación tecnológica es uno de los elementos más importantes de las ciudades inteligentes, sin embargo, ésta debería estar en función del ciudadano y no en contra, en este sentido debería ser robusta y disimulada en el back-end con el fin de asegurar el correcto funcionamiento y proporcionar confianza a los ciudadanos y por el contrario, simple y evidente en el front-end con el fin de lograr interacciones más naturales, intuitivas y eficientes que nos lleven a crear curvas de aprendizaje más sencillas.

Así mismo, esta debería fomentar la personalización de los productos y servicios asociados a las ciudades inteligentes, a través de tecnologías como la *biometría*, los *wearables*, *internet de las cosas*, *inteligencia artificial* y *Big Data*. Esto, con el fin de recolectar información y detectar patrones colectivos e individuales para generar predictibilidad. De esta forma se podría decir que la ciudad inteligente ideal es aquella que entiende las necesidades de sus ciudadanos, las atiende, se transforma y evoluciona constantemente, es decir una *ciudad viviente*.

## 9. Referentes

- Alonso López, F. (2002). Plan de accesibilidad, *ACCEPLAN* (1st ed., p. 21). Madrid: *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Instituto de Migraciones y Servicios Sociales*.
- MapAccesible. (2019). Recuperado de <http://mappaccesible.com/>
- Bettger, G. R., & Pearson, T. J. (1989). Accommodating deaf and hard-of-hearing persons on public transportation systems in Massachusetts. *Transportation research record*, 1209, 16-18.
- Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C., & Facchina, M. (2016). La ruta hacia las smart cities: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente (Vol. 454). *Inter-American Development Bank*.
- Bainbridge, W. S. (2004). *Berkshire encyclopedia of human-computer interaction*. Berkshire Publishing Group LLC.
- Csapo, A., Spagnol, S., Herrera-Martinez, M., Bujacz, M., Janeczek, M., Ivanica, G., . . . Unnthorsson, R. (2017). Usability and Effectiveness of Auditory Sensory Substitution Models for the Visually Impaired. *142th AES Convention*. Berlin.
- El Tiempo. (2014). Braille para que los invidentes circulen seguros en el Masivo. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14687199>
- Disabled world. (2017). Definitions of disability. Recuperado de <http://www.disabled-world.com/definitions/disability-definitions.php>. Recuperado el 27 de marzo de 2017.
- González, V. (2015). Una aplicación para ayudar a los invidentes a coger el autobús. *MuyInteresante.es*. Recuperado de <http://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/una-aplicacion-para-ayudar-a-los-invidentes-a-coger-el-autobus>
- Hernández, J., Fefa, I., Borau, J. L., & García, C. (2011). Accesibilidad universal y diseño para todos. *Arquitectura y urbanismo: Fundación ONCE*.
- Industry, W. (s.f.). *Winnsen Industry*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de <https://www.winnsen.com/>

- Inicia campaña “me movilizo con braille”, sistema de lectoescritura para personas con discapacidad visual. (2016) Recuperado de <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/149274/inicia-campaa-me-movilizo-con-braille-sistema-de-lectoescritura-para-personas-con-discapacidad-visual/>
- Joyanes, L. (2018). Industria 4.0. La cuarta revolución industrial.
- Kafka. (s.f.). *Kafka*. Recuperado el 11 de Febrero de 2019, de Comunicación Digital Inteligente: [www.kafka.com](http://www.kafka.com)
- Mace, R. (1997). The principles of universal design, version 2.0. *Raleigh, NC: The Center for Universal Design at North Carolina State University*.
- Mace, R. L., Hardie, G. J., & Place, J. P. (1990). Accessible environments: Toward universal design. *Center for Accessible Housing, North Carolina State University*.
- Marion, A. H., & Michael, A. J. (2008). Assistive technology for visually impaired and blind people.
- Meijer, P. (1992). An experimental system for auditory image representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 112-121.
- Norman, D. A. (2010). El diseño de los objetos del futuro: *La interacción entre el hombre y la máquina* (Vol. 82). Grupo Planeta (GBS).
- NP Nova Polymers. Symbols and Design. Recuperado de <https://www.nova-polymers.com/symbols-and-design/> Recuperado el 27 de junio de 2016.
- Ortiz, V. (2016). *Prueba piloto de señalización braille en paraderos del SITP*. PORTAL INCI. Recuperado de <http://www.inci.gov.co/noticias/enlaces-de-interes/989-pruebapilotodesenalizacionbrailleensitp>
- Pea, R. D. (1987). User centered system design: new perspectives on human-computer interaction. *Journal educational computing research*, 3, 129-134.
- Punto noticias. (2012). Expertos de Curitiba expondrán su experiencia al público marplatense. Recuperado de <https://punto-noticias.com/21-05-2012-expertos-de-curitiba-expondran-su-experiencia-al-publico-marplatense/>
- Ramírez Nates, C., Tsukamoto Uchida, B., & Herrera Martínez, M. (2019). Diseño de herramientas generativas para el desarrollo de sesiones de

co-creación con personas con discapacidad perceptiva, motriz y sin discapacidad enfocado a sistemas de transporte público. *18° Festival Internacional de la Imagen*, (pág. 534). Manizales.

Sanders, L., & Stappers, P.J. (2012). *Convivial design toolbox: Generative research for the front end of design*. BIS.

Sánchez, J. (2011). En busca del Diseño Centrado en el Usuario (DCU): definiciones, técnicas y una propuesta. Recuperado de: <http://www.nosolousabilidad.com/articulos/dcu.htm>

WalkNYC. (s.f.). *WalkNYC*. Recuperado el 15 de Julio de 2019, de Signage and Environmental Graphics: [www.pentagram.com](http://www.pentagram.com)



• CAPÍTULO VI •

# Redes de nueva generación en ciudades inteligentes - Estado de arte del modelo de predicción de inundación por encharcamiento

Carlos Felipe Gómez Jiménez, Efraín Molano Parra,  
Ricardo Alfonso Sanabria\*  
Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO

---

\* Bogotá, Colombia. E-mail: [ricardo.sanabria.a@uniminuto.edu](mailto:ricardo.sanabria.a@uniminuto.edu)





# I. Introducción

En la actualidad, la humanidad se enfrenta al desafío de la preservación de los recursos naturales, los cuales se caracterizan por ser renovables y no renovables, siendo el agua uno de los elementos más importantes debido a que es parte integrante de los ecosistemas naturales, primordial para el sostenimiento de la vida en el planeta y factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible.

Teniendo en cuenta que día a día la escasez del agua es mayor, los diferentes representantes de gobiernos y grupos ambientalistas han diseñado estrategias para la conservación de los recursos hídricos. Las ayudas tecnológicas permiten crear aplicaciones no electrónicas capaces de automatizar procesos para el ahorro del agua. Existen proyectos que promueven a partir del uso de herramientas provistas con internet de las cosas (IoT) el tratamiento de aguas residuales, los cuales mediante procesos renovables puede reciclarla y reutilizarla; otros que buscan generar responsabilidad social de recuperación y economización del recurso, en el ambiente de prevención de los malos hábitos de consumo hídrico, y en este caso, a partir de recolección de datos acerca del flujo de aguas lluvias en los sumideros que la conducen hacia depósitos específicos, llevando a cabo el análisis del impacto causado por las inundaciones por encharcamiento de un sector de la ciudad, lo cual conlleva a múltiples problemáticas en el tema de salud, movilidad y daños en el espacio público y privado.

La mayoría de los proyectos que se han desarrollado, se basan en el tratamiento de las aguas residuales mediante procesos sistematizados los cuales por medio de sensores ayudan a mantener los niveles máximos y mínimos de los depósitos de agua evitando desbordamientos o falta de insumo, estos sistemas están guiados en cada uno de sus procesos por componentes electrónicos para su monitoreo, haciendo de este procedimiento un proceso automático con alto porcentaje de fiabilidad.

A partir de lo anterior y utilizando las nuevas tecnologías para formular proyectos que se ajusten a los objetivos de desarrollo sostenible en la construcción de ciudades inteligentes, se propone la creación de un modelo de predicción de inundación por encharcamiento en el Barrio Minuto de Dios, dividido en cinco fases; la primera, un estado del arte y prueba de simuladores que permitan establecer patrones de recolección de datos utilizando dispositivos electrónicos con tecnología IoT, en la segunda fase el diseño y creación de un dispositivo electrónico que permita recolectar los datos de las variables temperatura, velocidad del flujo de agua, presión, acidez del agua y humedad el aire, a partir de sensores que alimenten bases de datos en la nube mediante redes de nueva generación y el desarrollo tridimensional del sistema pluvial del barrio Minuto de Dios teniendo en cuenta los modelos geológicos y geotécnicos para establecer las posibles amenazas que forman taponamientos en los sumideros de las zonas, cuando las precipitaciones son fuertes; una tercera fase la implementación del dispositivo en diferentes sumideros para la recolección, almacenamiento y análisis de información de las variables descritas anteriormente y que a su vez establezca una estimación media de vehículos en diferentes zonas del barrio haciendo uso de analítica de datos. Una última fase, es el diseño del modelo de inundación de encharcamiento que permita hacer predicciones de estos fenómenos meteorológicos (lluvias) dado que son impredecibles y tienen un rápido inicio y curso, por lo que además de alertas tempranas, se puede proponer un adecuado manejo del ciclo de agua en el sector a los diferentes actores que participan en el proceso, para impactar a una comunidad aquejada en gran manera por este fenómeno.

A continuación, se hará un breve recorrido por algunos conceptos a tener en cuenta para el desarrollo del caso de estudio “inundación por encharcamiento

en el Barrio Minuto de Dios” y establecer los requerimientos para realizar el modelo de predicción.

## 2. Estado de arte: Redes de nueva generación en ciudades inteligentes

### 2.1. Redes de nueva generación

Existen numerosas definiciones de redes de nueva generación (New Generation Net), sin embargo, la más utilizada en el contexto nacional corresponde a:

“Una NGN es una red basada en conmutación de paquetes capaz de proveer Servicios de Telecomunicaciones a los usuarios y capaz de hacer uso de múltiples tecnologías de transporte de banda ancha con habilitación de atributos de calidad de servicio y en la cual las funciones relacionadas con servicios son independientes de las tecnologías de transporte que les soportan. Permiten a los usuarios a su elección acceso ilimitado a las redes y a los servicios y proveedores de los mismos. Soporta movilidad generalizada la cual permite provisión ubicua y consistente de los servicios a los usuarios”

A partir de lo anterior se puede vislumbrar una gran cantidad de situaciones en las cuales los adelantos tecnológicos en telecomunicación, internet de las cosas, protocolos de transmisión de datos y muchos otros, tienden a utilizar preferencialmente redes de nueva generación en una búsqueda constante por lograr convergencia en fiabilidad y servicios. Dado que las redes de nueva generación (NGN) son variadas en características y usos, se hace necesario para este estudio acotar el ecosistema de telecomunicaciones 5G.

#### 2.1.1. Redes de quinta generación 5G

La tecnología de Radio Acceso de quinta generación (5G) es un componente clave de las NGN. Ésta admite una gran cantidad de dispositivos conectados satisfaciendo las necesidades de comunicación en tiempo real y de alta con-

fiabilidad en el uso de las aplicaciones de misión crítica; además proporciona conectividad inalámbrica para una amplia gama de nuevas soluciones tecnológicas y casos de uso, incluidos dispositivos portátiles, hogares inteligentes, control y seguridad de tráfico, infraestructura crítica, procesos industriales y entrega de medios a muy alta velocidad. Como resultado, también acelera el desarrollo del internet de las cosas (IoT), convirtiéndose en un factor clave para la IoT global. Las principales características incluyen tasas de datos muy altas (generalmente de orden Gbps), latencia extremadamente baja, un gran aumento en la capacidad de la estación base y una mejora significativa en la calidad de servicio (QoS) percibida por los usuarios (Agjwal, 2016). Algunos autores analizan en detalle el potencial de las tecnologías 5G para el IoT al considerar los aspectos tecnológicos y de estandarización. Además, presentan los nuevos cambios masivos de negocios que un estrecho vínculo entre IoT y 5G, puede causar en el ecosistema del operador y los proveedores. En la integración de 5G e IoT se propone un modelo de cuatro capas que se aplica a una Smart City o infraestructura de hogar inteligente y conecta los elementos usando tecnologías como 5G, Internet of Things, nube de cosas e inteligencia artificial distribuida.

En consecuencia, la relación fundamental que conllevan estos dos conceptos, (5G e IoT) es el soporte que 5G le proporciona a IoT, justificado en el aumento exponencial de la cantidad de dispositivos conectados, los cuales requieren elementos de red escalables para manejar este crecimiento. A diferencia del 4G, el 5G se desarrolló para soportar las necesidades de un gran ancho de banda en un tiempo de espera reducido, la variedad de frecuencias que empleará, la manera en que están pensadas las antenas y la posibilidad de construir una red en franjas que le permiten, en teoría, responder a todas estas situaciones. También podrá ofrecer una cobertura a gran escala, no perder la señal en interiores o subsuelos y reducir al máximo el tiempo de respuesta (El Espectador, 2018).



Figura 1 Servicios de la red 5G. Fuente propia

Es importante resaltar que Colombia ha iniciado investigaciones del uso de la tecnología 5G junto a Claro Colombia y Nokia, quienes en sus análisis permiten visualizar el abanico de oportunidades que puede desarrollar dicha tecnología al país. Sus primeros avances permiten calcular la velocidad del internet en comparación a 4G (Córdoba & Andrés, 2019), hasta 10 veces más rápido, permitiendo con ello la explotación en el campo del Internet de las Cosas (IoT). La apuesta que quieren realizar estos grandes de la tecnología en el país permitirá a los colombianos tener hogares inteligentes, con nuevos dispositivos conectados a la red, ofreciendo novedosos servicios, caracterizado por brindar herramientas de comunicaciones, video, entretenimiento, voz, intereses, bases de datos, equipos de computo y seguridad, como se puede evidenciar en la Figura 1: Servicios de la red 5G. La implementación de esta tecnología es un reto para Colombia, pues al ver el desarrollo y promoción de la red 5G en Estados Unidos y Japón con sus avances e innovaciones sobre la interconectividad, la velocidad del internet y el IoT, presura la salida de dicha red en 2020, ya que lo que resta para su uso es el despliegue de la misma en el territorio nacional (El Espectador, 2018).

## **2.2. Internet de las cosas (Internet of Things, IoT)**

El internet de las cosas (IoT) es el empoderamiento de los objetos para reunir información y actuar por sí mismas sin ayuda de los seres humanos, haciendo

de este proceso una transformación de captura por medio de los objetos. El objetivo principal de IoT, es emitir información en tiempo real permitiendo la toma de decisiones en tiempos ínfimos, optimizando el actuar cotidiano en el trabajo, en las personas, en los sistemas y en el tiempo. Actualmente, Internet de las cosas está compuesto por una colección dispersa de redes diferentes y con distintos fines. A medida que evoluciona, estas redes y muchas otras estarán conectadas con la incorporación de capacidades de seguridad, análisis y administración (Evans, 2011). Esta inclusión permitirá que IoT sea una herramienta aún más poderosa, y que adquiera una gran importancia, porque se trata de la primera evolución real de Internet, IoT ya ha logrado que Internet sea sensorial lo que nos permite ser más proactivos y menos reactivos (Écija, 2015). Para esto podemos establecer entonces, que los dispositivos con tecnologías anteriores se conectaban por medio de circuitos cerrados y cableado, entre otros; pero con esta herramienta (IoT) los objetos se conectaran a través de sensores y actuadores realizando funciones y acciones activas de manera simultánea mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

### 2.2.1. Conectividad de IoT

Para entender un poco más como se realiza la conectividad de los objetos por medio de esta herramienta se definirán los conceptos de sensores, actuadores y controladores.

#### 2.2.1.1. Sensores

Son los encargados de recoger la información teniendo en cuenta los parámetros del servicio establecido acorde a lo que se desea hacer y optimizar del mundo real (flujo, humedad, temperatura, peso, presión, niveles químicos en la atmósfera, concentraciones del polvo, radiación solar, fallas de motores, diámetros en las grietas y tallos de los árboles, entre otros) y tomar decisiones en tiempo real. (Del Valle, 2017)

### 2.2.1.2. Actuadores

Son aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado, modificando los estados de un sistema. Su función es generar el movimiento de los elementos según las órdenes dadas por la unidad de control (Ramírez, 2016). Generan una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica o gaseosa, por este motivo se requieren dispositivos que realicen funciones de fuerza, movimiento, estabilidad, control de fluidos, temperatura o señales de alarma. Los actuadores no procesan la información, sino que ejecutan órdenes producidas por una señal emitida desde el controlador (Martín-Garín, 2018).

### 2.2.1.3. Controladores

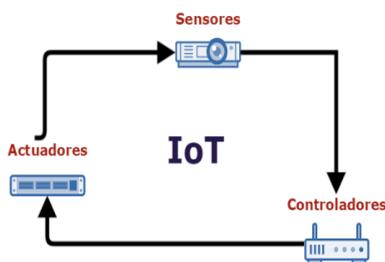


Figura 2 Conectividad de IoT

Son los encargados de controlar las entradas y salidas del sistema, admitiendo gestionar los datos y ejecutando los comandos de un ordenador. Este ordenador debe estar conectado las 24 horas del día para realizar las funciones específicas en tiempo real, satisfaciendo las necesidades de los servicios aplicados (Gaudiano, 2011). Siendo parte de un conjunto de equipos activos que integran los componentes IoT, intercambiando conexiones con los actuadores y sensores, como se evidencia en la Figura 2: Conectividad de IoT.

## 2.2.2. Arquitectura IoT

IoT busca implementar una arquitectura de información emergente que permita facilitar el intercambio de bienes y servicios en la sociedad, multitecnología y multiprotocolo.

Objetivo: Crear un mundo y un entorno inteligente de servicios que presta y ofrece en cada uno de los sectores económicos (salud, transporte, educación, comercio, industria, agricultura, entre otros) y los retos de las ciudades inteligentes (Espinal, 2015). Compuesta por la capa de aplicación, capa de red y capa de percepción, como se puede evidenciar en la Tabla 1: Arquitectura IoT.

Tabla 1 Arquitectura IoT

<b>Composición</b>		
Capa de aplicación	Capa de red	Capa de percepción
Computación en la nube	Red Neuronal de IoT	Redes de sensores

Fuente Propia

### 2.2.2.1. *Capa de Aplicación*

Es la encargada de analizar y procesar la información de datos capturados y controlar las aplicaciones de los objetos de un entorno inteligente, utilizando la tecnología de computación en la nube.

### 2.2.2.2. *Capa de red*

Es el cerebro (red neuronal) de IoT. La capa de red incluye y maneja la red convergente de comunicación e internet, gestión de la red, centro inteligente de procesamiento y centro de información. Es la encargada de transmitir y procesar la información obtenida de la capa de percepción.

### 2.2.2.3. *Capa de percepción*

Es la encargada de identificar el objeto y recopilar la información que contiene el objeto en sensores, etiquetas de códigos de barra, lectores, etiquetas RFID, redes de sensores entre otros (Espinal, 2015).

## 2.2.3. Ventajas y desventajas del internet de las cosas

### 2.2.3.1. Ventajas

- Comunicación e intercambio de datos: Dado que hoy en día casi todo lo que se realiza para la gestión de la información debe estar conectado a la nube, el IoT facilita la comunicación e intercambio de datos por medio de controladores, ofreciendo facilidad de acceso, transferencia de datos y comunicación entre los procesos.
- Simplicidad en las tareas cotidianas: Cada día las acciones que se realizan a diario permiten acoger una gran posibilidad de funciones, los cuales se nos permite por medio de la activación de los electrodomésticos, a través de dispositivos con las diferentes acciones operacionales.
- Atención inmediata en sector de la salud: La inmediatez de los servicios es una característica fundamental que permite la mejora y calidad de vida del paciente, ejemplo de ello, las personas con afecciones cardíacas se les puede monitorear el ritmo cardíaco a través de sensores que midan el número de pulsaciones evitando y previniendo infartos al miocardio o un reloj que alarme al usuario el tiempo de tomar un medicamento, entre otros servicios.
- Seguridad: Diferentes mecanismos y procesos entre objetos permitirá la asistencia inmediata, ejemplo de ello, en el sector de transporte si un vehículo que se encuentra en movimiento y se vara o está presentando problemas mecánicos, se espera que el mismo vehículo pueda enviar mensajes de alerta solicitando un servicio de grúa, mecánicos, o a la policía para informar que se encuentra en una situación de peligro.
- Sabiduría: Los objetos interconectados realizarán el proceso de transferencia de conocimiento por medio de las interconexiones y su interacción, la información de este resultado será convertido en sabiduría, para beneficio de la sociedad y el mundo actual.

### 2.2.3.2. Desventajas

- Estabilidad: Estabilidad de la conexión, debido a que un requisito indispensable de IoT es la capacidad de disponer de una conexión a internet suficientemente estable, facultad de este proceso en la que intervienen terceros los cuales deben garantizar un servicio estable, eficiente y confiable.
- Vulnerabilidad: Información sensible y personal que se almacenará en la nube, gracias a la interconexión entre los objetos, haciendo de la información personal, financiera y datos de los usuarios se encuentren en constante riesgo de ataques cibernéticos, distribución de los virus entre otros.
- Fragilidad: La dificultad que se presenta en el momento de controlar la cantidad de información capturada, ya que los datos almacenados en internet no garantizan el control y seguridad de la información, característica de falta de integridad y fragilidad de acceso a la información.
- Dependencia: La dependencia en los servicios ofrecidos por los objetos hacen que los usuarios o las personas tiendan a acostumbrarse y a depender del todo de la tecnología, existe la posibilidad de que no siempre se pueda disponer de la tecnología, por circunstancias de energía, estado climático, interferencia de señales, pérdida de señal, entre otros, generando en el usuario final ansiedad e incertidumbre.

### 2.3. Ciudades inteligentes

*Ciudad inteligente: ciudad que supera sus retos mediante la aplicación estratégica de bienes, servicios y redes ICT, para proveer servicios a sus ciudadanos y gestionar su infraestructura” (Ericsson AB, 2011)*

En la actualidad se escuchan muchos conceptos nuevos, con sentidos extravagantes o que pareciese fuesen tomados de películas o video juegos, tales como *redes de nueva generación* capaces de acercar en ínfimas cantidades de tiempo a personas o sitios lejanos, dispositivos que almacenan datos y los

analizan “*inteligentemente*” en la nube, *internet de las cosas* que conlleva a que algunos electrodomésticos puedan tomar decisiones propias y, muchos otros vocablos que desarrollan pensamientos dignos de películas de ciencia ficción.

No obstante, en la casa, en el supermercado y en otros sitios tan comunes como una cafetería o un restaurante se puede leer la palabra *SMART* otro extranjerismo, el cual hace énfasis en adelantos tecnológicos que superan las barreras anteriores de velocidad, desempeño y funcionalidad. Este pequeña palabra que tiene una connotación inmensa puede aplicarse a objetos, se pensaría, pero a ciudades, sitios o personas, ¿cómo?. *Smart City* o ciudad inteligente es un concepto, en apariencia novedoso, que se viene construyendo desde los años ochenta debido al rápido crecimiento urbano unido con la integración de la tecnología que afecta de forma directa a la sociedad; con estos elementos surgen nuevos retos enfocados a una urbe en donde desbordan teorías propias de telecomunicaciones, electrónica, inteligencia artificial, minería de datos, y otras ciencias que enmarcan la gestión del conocimiento en busca de nuevos mercados en el desarrollo científico de las ciudades al servicio de la población.

En la práctica el concepto de Ciudad Inteligente realmente es simple, se compone de tres elementos: *monitoreo*, *transporte* y *control*, pero estos tres elementos se repiten en si mismos, por ejemplo en *internet de las cosas* se pretende monitorear los objetos y nuestro esquema vuelve y se repite, monitoreo, transporte y control, monitorear variables, transportar información y realizar acciones de control (bien lo podemos describir desde la electrónica monitorear, sensor, transductor, acondicionador de señal, conversor A/D. Transportar, enviar los datos digitales o análogos al controlador el cual hoy en día tienen un amplio espectro, un PLC, un microcontrolador, FPGA, una Raspberry, un computador, etc.

El control tiene la característica de guardar, presentar, transmitir, analizar información y tomar las decisiones frente a las variables de entrada; los datos de salida del controlador se transmiten en digital o se convierten de digital a análogo para actuar sobre el sistema), pero el sistema tiene un fin, un objetivo, IoT en las ciudades inteligentes por si sola no tiene un objetivo, es tan solo una infraestructura a la cual se conectan sensores, dispositivos, aplicaciones,

software (en su amplio espectro) por lo que al darle un fin a la infraestructura podemos según Arquímedes asignarle un deseo y un intelecto práctico, hoy en día desde los sistemas inteligentes buscamos simplificar estas acciones de los sistemas complejos y los sistemas emergentes (Puerta, 2010) para que el objetivo que se persiguen al crear Smart Cities sea iminentemente social .

## Evolución histórica del término Ciudades inteligentes

En este orden de ideas, se pueden establecer un sin número de significantes del concepto que está en boca de todos aquellos que hablan de tecnologías digitales, ciudadanos digitales, conservación del medio ambiente a través de tecnologías y en fin todo lo relacionado con Ciudad Inteligente. Pero retrospectivamente ¿qué es y de dónde viene la evolución de éste término?

Las Ciudades inteligentes se pueden establecer de acuerdo a sus aspectos más relevantes, los cuales transforman los diferentes ecosistemas creados para la convivencia de la humanidad con el ambiente; estos se pueden agrupar así: Áreas de conocimiento, alertas tempranas, servicios, tecnologías, arquitecturas de red, lugares, actores e Impactos propiamente dichos. Así entonces podemos citar en primera instancia la *Aldea global* concepto de Marshall McLuhan que acuña a inicios de los años 70 (McLuhan, 1995) para describir el impacto estructural de las tecnologías sobre la sociedad hablando de la globalización del entorno y posibles futuros de la tecnología, y los respectivos cambios tecnológicos llevados a cabo por las sociedades. Así se puede revisar desde los aspectos anteriormente citados los cambios que dan lugar a esta llamada Aldea global y sus componentes, como las áreas, alertas, servicios, actores, lugar, tecnología, arquitectura de red e impactos, como se evidencia a continuación en la tabla 2: Aldea Global.

Tabla 2 Aldea Global

Áreas	Alertas	Servicios	Actores	Lugar	Tecnología	Arquitectura de red	Impactos
Medios	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Afectación personas a las personas</li> <li>2. Cambian dinámicas sociales</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Televisión</li> <li>2. Radio</li> <li>3. Prensa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Productores</li> <li>2. Televidentes.</li> <li>3. Escuchas radio</li> <li>4. Lectores prensa</li> </ol>	1. Global	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Televisión análoga</li> <li>2. Radio Análogo</li> <li>3. Prensa impresa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Distribución local auto</li> <li>2. Distribución global avión</li> <li>3. Red de televisión</li> <li>4. satelital</li> <li>5. red AM-FM</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Masificación comunicación</li> <li>2. Cambio dinámicas sociales</li> </ol>

Fuente: Propia

A partir de estas conjeturas (Mitchell, City of Bits: Space, Place, and the Infobahn (On Architecture), 1995) describe actividades realizadas en las ciudades, las cuales crean nuevos escenarios y conexiones a partir de la multitud de aplicaciones en el uso del internet para la ciudad, nuevo paradigma en la planificación arquitectónica y urbana al identificar a la ciudad como si esta fuese un ser vivo y sus estructuras, en analogía con el software, las redes de comunicaciones, los sensores, las calles, las vías, y las estructuras; desde su función de protección, refugio, uso de recursos (agua, tierra), movilidad y economía, evolucionando a la creación de redes como las de energía, agua, transporte, calefacción y aire acondicionado; teniendo condiciones (Input/Output) como las de un ser vivo (ciborg).

Teniendo en cuenta todos estos cambios en la segunda mitad del siglo XIX se suman redes de logística y suministro en el área de la telefonía, radio y telégrafo, y un siglo después se amplían las telecomunicaciones digitales, el internet, la telefonía celular y se consolida como un servicio el acceso a las redes de datos (Mitchell, Ciudades Inteligentes, 2007). Esta metáfora describe cómo desde los sistemas nerviosos (Mitchell, If architecture is a system of enclosures and networks, now, with the information networks, buildings acquire a kind of nervous system, 2004) que permiten por medio de los sensores experimentar cambios en su entorno interno y externo responder a alguna situación como un organismo de forma coordinada.

Como se evidencia en la tabla 3: Ciudad de Bits, donde se aborda sus componentes, como las áreas, alertas, servicios, actores, lugar, tecnología, arquitectura de red e impactos.

Tabla 3. Ciudad de Bits

Áreas	Alertas	Servicios	Actores	Lugar	Tecnología	Arquitectura de red	Impactos
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Movilidad</li> <li>2. Diseños automóbiles</li> <li>3. Diseño espacial urbano</li> <li>4. Sostnimiento energético urbano</li> <li>5. Movilidad bajo demanda</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Congestión vehicular</li> <li>2. Congestión vial</li> <li>3. Parques</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Movilidad</li> <li>2. Energía Urbana</li> <li>3. Parqueaderos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseñadores autos General Motors.</li> <li>2. Planeación ciudad</li> <li>3. Ciudadanos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. USA</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vías vehiculares</li> <li>2. Automóvil</li> <li>3. Energía</li> <li>4. Sensorica</li> <li>5. Comunicaciones inalámbricas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Red Wireless con infraestructura (vía, semáforos, intersecciones etc.)</li> <li>2. GPS</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mejora espacios urbanos</li> <li>2. Mejora movilidad</li> <li>3. Mejora condiciones ambientales</li> </ol>

Fuente: Propia

En una línea de tiempo aparece entonces el concepto de Ciudad Senseable trabajo realizado por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) con el grupo de investigación Senseable city lab “imaginario urbano y la innovación social a través del diseño y la ciencia” (Librino, 2019), iniciando su investigación con el análisis de microclimas, análisis geoespacial de las ciudades bajo diferentes variables de parámetros de modelamientos urbanos, este grupo tiene un trabajo continuo desde el año 1997 hasta la actualidad trabajando en diseño arquitectura y soluciones inteligentes para las ciudades, un proyecto derivado de esta experiencia es Live Singapore (Ratti, 2011) que busca visualizar información en vivo de diferentes variables urbanas por una colección de datos en tiempo real mejorando la toma de decisiones de forma dinámica con el entorno y la realidad del momento por medio de una plataforma abierta de datos; en el caso de Colombia, en Medellín, con ruta N se esta trabajando

con Senseable City Lab del MIT de Boston (Ruta N Medellín, s.f.) en el planteamiento de proyectos relacionados en esta área, aunque el término ciudad senseable esta acuñado desde 1997 en el MIT está cogiendo de nuevo fuerza para sumarlo a la descripción de ciudades inteligentes.

Últimamente, se han dedicado a crear modelos de predicción para establecer imágenes geográficas o de datos relevantes para de ésta manera distinguir a cada urbe. El porcentaje de imágenes que el modelo clasifica correctamente de la ciudad es su puntuación de distinción.

Si bien cada ciudad tiene su propia identidad visual, a menudo comparten similitudes visuales entre sí. El modelo cuantifica la similitud entre dos ciudades dadas como el porcentaje sumado de imágenes que el modelo clasificó erróneamente como la otra ciudad. A su vez Ciudad Senseable se caracteriza por los siguientes componentes: áreas, alertas, servicios, actores, lugar, tecnologías, arquitectura de red e impactos, como se evidencia en la tabla No. 4.

Tabla 4. Ciudad Senseable

Áreas	Alertas	Servicios	Actores	Lugar	Tecnologías	Arquitectura de red	Impactos
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Representación de información</li> <li>2. Big data</li> <li>3. Desarrollo urbano</li> <li>4. Colección de datos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comportamiento social</li> <li>2. Espacios de parqueo</li> <li>3. Vías</li> <li>4. Fuego</li> <li>5. Contaminación</li> <li>6. Uso de tecnologías.</li> <li>7. Cooperación urbana</li> <li>8. Conducta.</li> <li>9. Economía</li> <li>10. Estratificación</li> <li>11. Transporte</li> <li>12. Clima</li> <li>13. Ciberterrorismo</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelos virtuales</li> <li>2. Realidad aumentada</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. secretaria de ciudades.</li> <li>2. Empresas.</li> <li>3. ONG</li> <li>4. Universidades</li> <li>5. Ciudadanos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. USA</li> <li>2. Italia</li> <li>3. Singapur</li> <li>4. Italia</li> <li>5. Inglaterra</li> <li>6. Francia</li> <li>7. Macedonia</li> <li>8. Colombia</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Software Big Data</li> </ol>	N/A	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reconocimiento de datos ocultos de la ciudad</li> </ol>

Fuente Propia

Digital place, del año 2000, es una propuesta de Thomas Horan quien es director ejecutivo del Instituto de Tecnología de Información y Claremont y profesor asociado en la Facultad de Ciencias de la Información de la Universidad de Claremont el cual toma como base a William Mitchel y replantea los lugares cotidianos de la ciudad como hogares, lugares de trabajo, bibliotecas, escuelas y comunidades, analizando como la tecnología digital permite dinamizar la relación entre las actividades y el lugar, por ejemplo el trabajo, los negocios, la residencia que pueden estar en un mismo lugar y resalta los espacios virtuales contraponiendo los espacios donde las personas interactúan como los parques, restaurantes y cafés, como se puede evidenciar en la tabla 5: Digital Place, donde se abordan las áreas, alertas, servicio, actores, lugar, tecnología, arquitectura de red e impactos. Horan propone un nuevo modelo de construcción de ciudad basado en la conectividad para construir comunidades y enfatiza en la necesidad de que el diseño y la integración democrática deben ser el centro de la construcción de la ciudad (Horan, 2000).

Tabla 5. Digital Place

Áreas	Alertas	Servicio	Actores	Lugar	Tecnología	Arquitectura de red	Impactos
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Virtualidad</li> <li>2. Lugares digitales</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comportamiento social</li> <li>2. Cambian dinámicas sociales</li> <li>3. Conducta.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelos virtuales</li> <li>2. Espacios virtuales</li> <li>3. Teletrabajo</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Empresas</li> <li>2. Gobierno</li> <li>3. Ciudadanos</li> <li>4. Academia</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Global</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Software virtualización</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Red con infraestructura</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambio dinámicas sociales</li> <li>2. Mejora movilidad</li> <li>3. Mejora condiciones ambientales</li> </ol>

Fuente: Propia

Otro elemento son las tecnopolis de Manuel Castells y Peter Hall, donde se estudia la sociología industrial y urbana surgida por la sociedad de la información cuyo fin es generar los materiales básicos de la economía de la información (Castells M. &, 2001) para generar nuevos motores de desarrollo económico por medio de la categorización de cinco formas de desarrollo de alta tecnología en los países industrializados: complejos industriales, ciudades científicas,

parques tecnológicos, cambio industrial de grandes ciudades mundiales hacia una base de industria de alta tecnología y por último, el proceso conflictivo de formación de nuevos centros de innovación tecnológica cada una con realidades muy diversas. Además de lo anterior, los autores hablan de tres caras de la tecnópolis: la reindustrialización, el desarrollo regional y la creación de sinergias, es decir, la generación de una nueva información de alto valor a través de la interacción humana, la sinergia puede darse desde diferentes actores creando nuevas formas de organización social. “Emerge una forma social y espacial: la ciudad informacional. No es la ciudad de las tecnologías de la información profetizada por los futurólogos. Ni es la tecnópolis totalitaria denunciada por la nostalgia del tiempo pasado. Es la ciudad de nuestra sociedad, como la ciudad industrial fue la forma urbana de la sociedad que estamos dejando. como se puede evidenciar en la tabla 6: Tecnópolis, donde se abordan las áreas, alertas, servicio, actores, lugar, tecnología, arquitectura de red e impactos. Es una ciudad hecha de nuestro potencial de productividad y de nuestra capacidad de destrucción, de nuestras proezas tecnológicas y de nuestras miserias sociales, de nuestros sueños y de nuestras pesadillas. La ciudad informacional es nuestra circunstancia” (Castells M., 1998)

Tabla 6. Tecnópolis

Áreas	Alertas	Servicio	Actores	Lugar	Tecnología	Arquitectura de red	Impactos
1. Sociología industrial 2. Sociología urbana 3. Sociedad de la información	1. Economía	1. Reindustrialización. 2. Desarrollo regional 3. Creación de sinergias	Sociedad en general	1. Global	2. Toda la tecnología	N/A	1. Cambio estructura de ciudad

Fuente: Propia

En el año 2006 se trabaja con el término Digital City donde se introdujo una arquitectura común de varios niveles genéricos para las ciudades digital, asignado a la ciudad inteligente una capa de software y servicios dentro de la arquitectura y puede tener varios enfoques alternativos para casos de TIC

metropolitanas (Anthopoulos, 2014). Igual se suma el concepto de territorio digital el cual es el trabajo con datos geoespaciales pero este se a acotado en los últimos años a la suma de aplicaciones de redes sociales. como se puede evidenciar en la tabla 7: Digital City, donde se abordan las áreas, alertas, servicio, actores, lugar, tecnología, arquitectura de red e impactos.

Tabla 7. Digital City

Áreas	Alertas	Servicio	Actores	Lugar	Tecnología	Arquitectura de red	Impactos
1. Tic 2. Datos Geoespaciales	1. Uso de aplicaciones	1. Aplicaciones Tic	1. Empresas 2. Gobierno 3. Ciudadanos 4. Academia	1. Global	1. Software 2. GPS	1. Red con infraestructura	1. Apropiación social en el uso de tecnologías

Fuente: Propia

En conclusión, podemos definir a una ciudad inteligente como un ecosistema de capital humano y social estrechamente relacionado con una infraestructura de comunicaciones que propician un ambiente de aprendizaje e innovación a través de centros de educación superior con elevados niveles de rendimiento en gestión aunado a una teoría de desarrollo sostenible.

### 2.3.1. Factores de creación y funcionamiento de las ciudades inteligentes

Además de los factores históricos que han ido construyendo el concepto de ciudad inteligente se deben establecer los factores de creación y funcionamiento de éstas, las cuales se convierten en los pilares del nuevo paradigma que a partir de las tendencias tecnológicas coadyuvan a construir espacios geográficos que enmarcan mejor calidad de vida optimizando el consumo de energía, las fuentes renovables de energía y la reducción de emisión nociva. (Benítez & Ortega, 2015)

Las ciudades para alcanzar la calidad de inteligentes y sostenibles, deben desarrollar nueve dimensiones según una de las publicaciones especializadas en el tema (IESE Cities in Motion, 2019), como se evidencia en la Tabla 8 Ranking Ciudades inteligentes en Colombia, para la cual Bogotá está en la posición 117, Medellín en la 134 y Cali en la 148 del ranking mundial con los factores como se muestran a continuación:

Tabla 8. Ranking Ciudades inteligentes en Colombia

Ciudades	Bogotá	Medellín	Cali
Ranking	117	134	148
Gobernanza	34	113	146
Planificación Urbana	112	87	155
Tecnología	125	143	155
Medio Ambiente	89	114	118
Proyección Internacional	76	155	170
Cohesión Social	159	143	114
Movilidad y Transporte	148	107	151
Capital Humano	106	132	140
Economía	124	140	143

Fuente: Cities in Motion 2019

Un dilema más en este nuevo acontecer del término Ciudades inteligentes, o lo que se aspira que estas grandes urbes de humanidad, conocimiento, cultura y sociedad, política y economía sean debe estar íntimamente relacionado con los factores que Dorota Sikora Fernández ilustra en su artículo *Factores de desarrollo de las ciudades inteligentes (ver Figura 4)* (Sikora, 2017) y que día a día se ven fortalecidos por los diversos grupos de investigación en el tema.

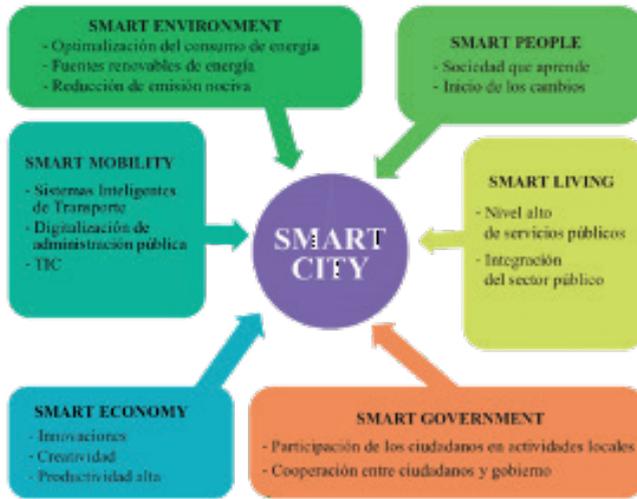


Figura 3. Las dimensiones de la ciudad inteligente. Fuente: elaborado por Sikora Fernández sobre la base de [www.smart-city.eu](http://www.smart-city.eu).

### 2.3.2. Desarrollo sostenible en las ciudades inteligentes

Las ciudades inteligentes han surgido, como ya se había mencionado, gracias a la relación directa con el desarrollo tecnológico debido a que los ecosistemas propios de éstas son efectivos logrando una mejor calidad de la vida urbana. Estas nuevas ciudades pretenden ser sostenibles al cumplir los objetivos de desarrollo (ODS) (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME, 2015) (Figura 4).



Figura 4 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Tomado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/>

Así mismo la creación de espacios públicos con baja o nula contaminación, mejorar la movilidad, la seguridad y el bienestar en general utilizando herramientas de IoT y sistemas analíticos de Big Data.

### *2.3.2.1. Objetivos de desarrollo sostenible*

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) incluyen nuevas esferas como el cambio climático, la desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible y la paz y la justicia, entre otras prioridades. Los Objetivos están interrelacionados, con frecuencia la clave del éxito de uno involucrará las cuestiones más frecuentemente vinculadas con otro (Programa de las naciones unidas para el desarrollo, 2015).

Estos objetivos buscan establecer una interrelación global con el fin de mejorar la vida en el planeta, y busca opciones para las generaciones futuras. Por otra parte, son una guía para la adopción e implementación de estrategias y mecanismos para enfrentar los desafíos ambientales, de hábitat y gobernanza del mundo en general.

### *2.3.2.2. Las TIC avanzadas en el desarrollo de la ciudad inteligente*

Las ciudades inteligentes futuras necesitan las tecnologías de las TIC como núcleo para poder manejar los desafíos innovadores a través de la incorporación de una red sólida, sostenible y altamente apalancada que proporcione conectividad, inteligencia, seguridad y gestión energética eficiente. A continuación, se discuten las principales tecnologías contribuyentes.

- **5G**

Las cualidades generales que lo distinguen de los sistemas actuales, incluido LTE Advanced, están surgiendo razonablemente por consenso en las presentaciones de fabricantes de equipos y académicos, (Gómez & Angarita, 2018). El desafío ya no es la capacidad de transferencia medida como bits / segundo, sino que la atención se centrará en la entrega eficiente en términos de servicios y experiencias. Los servicios orientados a la experiencia incluirán que se

nos informe lo que necesitamos, cuando lo necesitemos, en función de una combinación de perfiles de usuario y ubicación; esta información se entrega sin demora e incluye asistencia para encontrar lo que es relevante con una posibilidad fácil de rechazar o anular la asistencia. En esencia, 5G es el sistema de comunicaciones que finalmente puede lograr lo que se ha prometido desde hace tiempo: cualquier persona en cualquier lugar puede ponerse en contacto con quien sea o lo que sea, en un sistema centrado en el ser humano que satisface las necesidades del usuario.

- **Big Data**

El uso de IoT y otras tecnologías futuras de Internet proporciona una gran cantidad de datos, es decir, Big Data. Estos datos deben analizarse y gestionarse de forma adecuada para extraer patrones, que sean utilizables para aplicaciones, servicios y enfoques integrados de TIC. Ejemplos de servicios son salud pública, sistemas de información pública, gestión de la ciudad, eficiencia energética, transporte, seguridad y servicios de emergencia, gestión de residuos y gestión del agua. Común para estos servicios es que los datos necesitan adquisición, almacenamiento y procesamiento en un servidor de ciudad inteligente local o en una plataforma de procesamiento en la nube. Los datos procesados se pueden utilizar para desarrollar nuevos servicios como la economía inteligente, la gobernanza inteligente, el entorno inteligente y la movilidad inteligente. En este documento, algunos de estos servicios serán considerados y discutidos (Eiman, 2015).

- **Internet de las cosas (IoT)**

El IoT se considera como el siguiente gran paso en la evolución de Internet. La Comisión de la UE ha escrito un plan de acción de IoT para Europa, (Mamta, 2016) que establece que el internet de las cosas modificará drásticamente la forma en que nuestras sociedades funcionan en los próximos 5 a 15 años. Una combinación de Internet y las tecnologías emergentes, como las comunicaciones inalámbricas, el conocimiento del contexto y las redes de sensores inalámbricos integrados, transforma los objetos cotidianos en IoT inteligentes y sensibles al contexto. Por lo tanto, los objetos comúnmente conocidos

como la ropa, el embalaje de alimentos, los cepillos de dientes, etc. estarán equipados con algún nivel de AI con acceso a Internet. Por lo tanto, estos IoT ofrecerán características de comunicación y conocimiento del contexto, y compartirán cierto nivel de pseudo inteligencia dependiendo de su capacidad de procesamiento y de la limitación de potencia consumida. Se ha predicho que 7 billones de dispositivos inalámbricos serán utilizados por 7 mil millones de personas en 2020, es decir, más de mil dispositivos para cada ser humano en la tierra, muchos de estos serán IoT (Amendola, 2014).

- **Inteligencia artificial**

El área de aplicación para Inteligencia artificial (AI) abarca una amplia gama de aplicaciones, como juguetes, herramientas de investigación científica, diagnóstico médico y control de robots. Además, muchos de los servicios actuales están basados en IA integrada, por ejemplo, aspiradoras de navegación automática, motores de recomendación, motores de juegos, cajas de cambios de automóviles, reconocimiento de voz y robots industriales. Los entornos inteligentes en el área de hogar inteligente necesitan implementar servicios sensibles al contexto que sean capaces de manejar las actividades cotidianas, como arreglarse, comer, beber, tomar medicamentos y cocinar. Estos sistemas deben poder interactuar con cientos o incluso miles de sensores. Además, deben ser capaces de manejar datos voluminosos y ricos, lo cual es muy desafiante para el proceso de aprendizaje y predicción de la IA (Améndola, 2018). En general, los servicios sensibles al contexto se agregan a los hogares inteligentes mediante el uso de sistemas basados en inteligencia artificial. Este sistema necesita poder aprender actividades del comportamiento de los usuarios, es decir, cuando el usuario se mueve y realiza acciones dentro del hogar inteligente. Cuando se aprenden estas acciones, el sistema debe ser capaz de detectar la "situación de aprendizaje" con un alto grado de probabilidad y debe ser capaz de realizar las acciones aprendidas de forma autónoma. Ofreciendo servicios como iluminación inteligente, calefacción, seguridad y sistemas de entretenimiento a sus usuarios. La casa inteligente individual está equipada con un sistema AAI, que controla y procesa sus servicios domésticos inteligentes. Al combinar estos sistemas AAI, utilizando 5G para acceder a Internet y los

servicios CoT, se crea la base de TIC para una ciudad inteligente como un Smart Home Integrado y Smart City.



Figura 5 Hogares Inteligentes. Fuente Propia

## 2.4. Manejo del agua en ciudades inteligentes

El ciclo del agua juega una parte integral del sistema urbano, influyendo en cada pilar de la sociedad urbana y su funcionalidad, sustentando poblaciones, generando energía, apoyando el turismo y la recreación. Esta convergencia fomenta el crecimiento urbano, ya que más de la mitad de la población mundial reside actualmente en áreas urbanas (ONU, 2014). La disponibilidad y distribución de los recursos hídricos está intrínsecamente vinculada a este incremento poblacional, a las actividades económicas, a las grandes cantidades de desechos y contaminación de gases de efecto invernadero, que aumentan la susceptibilidad de la ciudad a los riesgos representados por los desastres, así como a los impactos del cambio climático. Por lo tanto, el crecimiento desenfrenado en las áreas urbanas plantea desafíos socioeconómicos y ambientales para los residentes, empresas, industrias y gobiernos por igual. A partir de esto se plantean desafíos importantes para los planificadores urbanos en términos de una gestión eficaz y sostenible del agua.

Alcanzar los objetivos de seguridad del agua significa mantener niveles aceptables para cuatro riesgos del agua: de escasez de agua (por ejemplo, sequías), exceso de agua (por ejemplo, inundaciones) y contaminación del agua, y a los riesgos de socavar la resiliencia de los ecosistemas relacionados con el agua (OCDE, 2016). Este enfoque evidencia una mayor conciencia de la importancia de abordar los desafíos relacionados con el agua desde una perspectiva integrada y holística, considerando tanto los niveles aceptables de riesgos como sus posibles consecuencias (económicas, ambientales, sociales) en los actores urbanos.

El servicio urbano de agua debe, por tanto, garantizar una gestión adecuada del suministro y la distribución del agua, el proceso de tratamiento y todos los servicios que se relacionen con el tema. A través de franquicias la industria del agua urbana puede proporcionar servicios de agua potable y residuales para las ciudades, con esto, los servicios públicos están extendiendo constantemente la cadena de servicio incluidas las siguientes áreas:

- Servicio de agua cruda: el desvío de agua cruda es necesario para facilitar el tratamiento y la distribución a la población de la ciudad.
- Servicios de suministro de agua: tratada de forma segura a diversos sectores dentro del entorno urbano, incluidos los sectores residencial, comercial e industrial.
- Servicios de drenaje: a través de redes de tuberías, cuya importancia radica en salvaguardar la salud pública y prevenir inundaciones.
- Servicios de tratamiento de aguas residuales: necesaria para garantizar la protección del medio ambiente.
- Servicio de agua recuperada: como valor agregado para clientes y usuarios industriales, o como plantas de energía.

Con la necesidad de estos recursos cualquier reducción en la cantidad o calidad tendrá un efecto adverso en el sistema urbano, dado que las ciudades aumentan su producción y consumo centralizados, y los patrones de uso del suelo que cambian rápidamente, la gestión sostenible de éstos constituye un tema complejo. Equilibrar el desarrollo económico y la sostenibilidad se vuelve aún más problemático considerando los impactos actuales y esperados

del cambio climático (por ejemplo, el aumento del nivel del mar; la escasez de agua), además de la vulnerabilidad asociada con el envejecimiento de la infraestructura.

En este contexto, los sistemas de agua inteligentes se pueden caracterizar como sistemas con “un alto grado de automatización, tiempos de respuesta rápidos o la capacidad de capturar información en tiempo real, capacidad de transmitir datos entre ubicaciones remotas e instalación de procesamiento de datos, lo cual es inmensamente útil al momento de interpretar y presentar a las empresas de servicios públicos y usuarios finales los resultados de las estrategias adoptadas y las nuevas responsabilidades que subyacen (Glenis, 2013). Si bien estos sistemas combinan innovaciones tanto técnicas como no técnicas, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ofrecen cada vez más posibilidades operativas novedosas a los gestores de agua urbanos (ITU-T Focus Group on Smart Sustainable Cities, 2014).

Los enfoques de la gestión inteligente del agua (SWM) buscan promover un desarrollo y una gestión sostenible de los recursos hídricos a través de la integración de productos, herramientas y soluciones de TIC, proporcionando así la base para un enfoque sostenible en la gestión consumo del agua. El bajo costo de algunos productos de las TIC, así como sus rápidos índices de rotación cuando se aplican en entornos urbanos, están fomentando enfoques nuevos e innovadores para garantizar un suministro de agua seguro y adecuado para los habitantes de las ciudades. Estas tecnologías se pueden adaptar para monitorear y diagnosticar continuamente los problemas, priorizar y administrar los problemas de mantenimiento, y utilizar los datos para optimizar todos los aspectos de la red de gestión del agua urbana.

Aprovechar el potencial de las TIC en las ciudades mediante el uso de la SWM puede contribuir a superar los desafíos socioeconómicos, culturales y ambientales relacionados con el agua, así como equipar a las ciudades con tecnología para mitigar los impactos del cambio climático.

#### 2.4.1. Problemas del manejo urbano del agua

Las ciudades dependen de múltiples sistemas de infraestructura de servicios públicos que se caracterizan por su complejidad, así como por los altos costos de inversión y administración. En los próximos años, se espera que las ciudades y otros centros urbanos enfrenten desafíos de distribución de recursos asociados con un aumento en el flujo de población, problemas de energía debido al agotamiento de los recursos de combustibles fósiles, mayores gastos de inversión, mantenimiento en espiral y costos de gestión debido al envejecimiento. Infraestructura y aprovechamiento inadecuado de los recursos del suelo, entre otros. Los sistemas innovadores y nuevos sustentables son esenciales para minimizar el impacto de estos desafíos emergentes.

Basado en el contexto presentado hasta ahora, la provisión de agua limpia y confiable constituye un área clave para el funcionamiento de los sistemas urbanos. La urbanización rápida, la pobreza y la decadencia urbana, el liderazgo político y la gobernanza débiles, la infraestructura insuficiente e inadecuada, los problemas de inversión y de fijación de precios, se encuentran entre los factores clave que se refuerzan mutuamente y que afectan al sistema de gestión del agua de una ciudad. Estos factores se exageran aún más por los impactos del cambio climático y otros factores de estrés ambiental, que en última instancia acentúan los desafíos de la gestión del agua y restringen la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos urbanos. Los impactos del cambio climático, entre otros factores de estrés, exageran el complejo conjunto de desafíos que afectan a los sistemas de gestión del agua en zonas urbanas (por ejemplo, infraestructura envejecida, problemas de saneamiento urbano). Al mismo tiempo, estos desafíos afectan la efectividad de los sistemas de gestión del agua para prepararse, resistir, recuperarse y adaptarse a estos impactos.

### **2.4.2. Gestión del agua en las ciudades Inteligentes**

La gestión del agua está estrechamente relacionada con el desarrollo de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente, y también conlleva una gestión adecuada de la demanda de servicios públicos y la rentabilidad.

En consecuencia, la gestión urbana del agua debe garantizar el acceso a la infraestructura y los servicios de agua y saneamiento, gestionar la lluvia, los residuos y las aguas pluviales, así como la contaminación de la escorrentía, mitigar las inundaciones, las sequías y las enfermedades transmitidas por el agua, al mismo tiempo que protege el recurso de la degradación. La urbanización acelerada, especialmente en el mundo en desarrollo, junto con las crecientes preocupaciones por la seguridad del agua frente al cambio climático y el envejecimiento de la infraestructura, han desafiado la implementación efectiva de estas disposiciones. En la economía global integrada de hoy, las innovaciones en telecomunicaciones han creado una valiosa oportunidad para abordar estos desafíos del agua dentro de las ciudades, al tiempo que mejoran la gestión del agua en zonas urbanas.

Al reconocer los desafíos que enfrenta el sector del agua, las partes interesadas de la academia, las corporaciones y el sector de las TIC han desarrollado herramientas de inteligencia del agua que utilizan las TIC para aliviar los problemas mundiales del agua. El papel que desempeñan los sistemas de agua inteligentes en la optimización de la eficiencia, la eficacia y la flexibilidad de los activos de infraestructura de agua y aguas residuales y su gestión constituye un tema de creciente atención. Las TIC ofrecen oportunidades valiosas para mejorar la productividad y la eficiencia dentro del sector del agua, con el objetivo de contribuir a la sostenibilidad del recurso. Estas tecnologías permiten el monitoreo continuo de los recursos hídricos, brindando monitoreo y medición en tiempo real, realizando mejoras en el modelado y diagnóstico de problemas, permitiendo así un mantenimiento adecuado y la optimización de todos los aspectos de la red de agua.

La creciente disponibilidad de medios más inteligentes y habilitados por las TIC para administrar y proteger los recursos hídricos del planeta ha llevado al desarrollo de una gestión inteligente del agua (SWM). El enfoque de SWM promueve el consumo sostenible de los recursos hídricos a través de la gestión coordinada del agua, mediante la integración de productos, soluciones y sistemas de TIC, destinados a maximizar el bienestar socioeconómico de una sociedad sin comprometer el medio ambiente. La SWM se puede aplicar a múltiples sectores (por ejemplo, industrias y agricultura) y entornos urbanos.

En las ciudades, SWM se esfuerza por lograr tres objetivos principales mediante la utilización de las TIC, a saber: (a) gestión y distribución coordinadas de los recursos hídricos, (b) mayor protección ambiental y (c) provisión sostenible de servicios públicos y esfuerzos económicos.

Dentro de los entornos urbanos, la implementación de SWM puede realizar mejoras significativas en la distribución del agua, ayudando a disminuir las pérdidas debidas al agua no recaudada, y ayudando a mejorar la gestión de aguas residuales y aguas pluviales. El papel de la calidad y confiabilidad del agua de SWM, garantiza una gestión adecuada de los sistemas ecológicos, reduce la pérdida de agua debido a las fugas, reduce los costos operativos y mejora el control y la elección del cliente. Estas mejoras aumentan la eficiencia del sector del agua, al tiempo que contribuyen a su sostenibilidad económica, ya que los municipios y las empresas de servicios de agua tienen mayor capacidad para recuperar los costos del agua que no recibe ingresos, incluida la detección de conexiones ilegales.

## **2.5. Tecnologías en SWM**

Las herramientas de SWM se pueden clasificar en las seis áreas principales enumeradas a continuación. Cabe señalar que los ejemplos proporcionados no se limitan a estas áreas, sino que pueden superponerse a otras:

1. Adquisición e integración de datos (por ejemplo, redes de sensores, tuberías inteligentes, medidores inteligentes).
2. Difusión de datos (por ejemplo, transmisores de radio, fidelidad inalámbrica (WiFi), Internet).
3. Modelización y análisis (por ejemplo, sistema de información geográfica (GIS), Mike Urban, Aquacycle, evaluación y mejora de la sostenibilidad de los recursos y sistemas de agua urbanos (AISUWRS) y agua subterránea urbana (UGROW).
4. Procesamiento y almacenamiento de datos (por ejemplo, software como servicio (SaaS), computación en la nube).

5. Gestión y control (por ejemplo, control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), herramientas de optimización).
6. Visualización y soporte de decisiones (por ejemplo, herramientas de sistemas de información y comunicación basados en la web).
7. Restitución de datos e información a los servicios técnicos de las ciudades y a los usuarios finales (por ejemplo, herramientas para compartir información sobre el agua y los servicios).

### 2.5.1. Sistemas de información geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) permiten capturar, gestionar, analizar y mostrar información geográfica para la descripción de activos subterráneos (red de agua, alcantarillado, etc.) y la toma de decisiones. SIG tiene una amplia gama de aplicaciones en varios sectores (por ejemplo, recursos naturales, servicios públicos, transporte, seguridad pública y defensa). Su integración puede mejorar la gestión de datos, especialmente en proyectos de gran volumen, ya que proporcionan una visualización de resultados de alta calidad (particularmente en modelos de simulación hidráulica), lo que permite un análisis adicional para informar la toma de decisiones.

Los SIG permiten la visualización y el análisis de los recursos hídricos y los datos de la actividad humana al vincular la información geográfica con la información descriptiva. Esto es muy valioso para la gestión del agua urbana al evaluar la calidad del agua y las operaciones diarias a escala local y regional. Otros problemas, como las inundaciones, también se pueden mitigar con el uso de información geográfica, ayudando a identificar áreas críticas que están en riesgo. Esto es necesario en el desarrollo de mapas de peligros, así como en la planificación de las respuestas de emergencia. La utilización de SIG ofrece un análisis más robusto, mayor eficiencia y costos reducidos.

Al integrar la información de los satélites de recursos, los SIG pueden cubrir grandes cuencas hidrográficas que están ocupadas por algunas ciudades. Combinado con los patrones locales de lluvia, los datos meteorológicos e hidrológicos, así como los sistemas de drenaje, la información geográfica y las

interfaces mejoran la gestión de las aguas pluviales urbanas mediante el fortalecimiento de la gestión del drenaje y la mejora de la reutilización del agua de lluvia, lo que ayuda a reducir la prevalencia de las inundaciones urbanas.

### 2.5.2. Computación en la nube

La computación en la nube utiliza una capacidad de potencia de computación externa que está fuera del límite de la infraestructura de un usuario, para ejecutar programas o aplicaciones. Los entornos de nube generalmente permiten las siguientes funcionalidades: monitorear y administrar la computación sin participación humana, amplio acceso a la red para permitir la entrega de servicios informáticos, acceso a través de varias redes y dispositivos heterogéneos, capacidad tecnológica para ampliar o reducir los recursos computacionales rápidamente y, según sea necesario, capacidad para compartir en múltiples aplicaciones, así como para rastrear aplicaciones / huéspedes para propósitos de facturación.

Los sistemas de nube en entornos urbanos también permiten una alta eficiencia y una alta utilización de los recursos agrupados para un mejor equilibrio de la carga de trabajo y la computación a través de múltiples aplicaciones, brindando a los administradores de aguas urbanas una amplia gama de posibilidades en el modelado por computadora y el almacenamiento de datos. La gestión de inundaciones urbanas es otra área donde la computación en nube es cada vez más utilizada.

Más allá de su interés tecnológico, varias ciudades, como la privacidad de los datos, la seguridad y la propiedad, deben ser claramente validadas por las ciudades antes de cualquier despliegue masivo de soluciones de computación en la nube.

### 2.5.3. Modelos, herramientas de optimización y soporte de decisiones

La gestión del agua basada en modelos ha evolucionado a lo largo de los años para mejorar la calidad, la cantidad y los costos operativos del suministro global de agua a través de aplicaciones de modelado integrales. Este software de modelado incorpora, en cierta medida, los procesos observados en el mundo

real (por ejemplo, a través de ecuaciones, algoritmos y escenarios) y contiene varias herramientas de visualización y visualización de datos para interpretar los resultados de los sistemas de tuberías de distribución de agua, datos de monitoreo de la calidad del agua y sistemas de gestión de aguas residuales, entre otra información relevante para el apoyo a la decisión. Múltiples modelos han sido utilizados por gestores de agua urbanos como Mike Urban, Aquacycle, AISUWRS y UGROW, entre otros.

Las herramientas de optimización apuntan a encontrar las mejores soluciones técnicas, ambientales y financieras de los modelos. Por lo tanto, las herramientas y los principios de optimización han hecho posible el desarrollo de modelos prescriptivos para la gestión óptima de los sistemas de recursos hídricos a gran escala, incorporando incertidumbres ubicuas en la predicción de los procesos naturales y los impactos económicos. El uso de herramientas de optimización puede desempeñar un papel importante en la toma de decisiones efectivas hacia la planificación, diseño y operación de los sistemas de recursos hídricos.

Los modelos, las herramientas de optimización y las herramientas de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de la red de los recursos hídricos urbanos contribuyen a calcular y pronosticar el consumo, reducir los costos mediante la optimización de las operaciones, planificar y evaluar estrategias, y también a realizar estudios de vulnerabilidad para informar el diseño de la estrategia (Torres, 2018).

#### **2.5.4. Herramientas de comunicación y sistemas de información basados en la web.**

La gestión de la información y el conocimiento son cada vez más reconocidas como características importantes para la efectividad del sector del agua. Un problema clave que enfrenta el sector es la existencia de un gran cuerpo de datos complejos, desestructurados y fragmentados. Las interfaces basadas en web y las plataformas en línea proporcionan una solución para permitir la gestión, visualización y recuperación efectivas de la información relevante requerida por los administradores / operadores del agua, los planificadores urbanos, los gobiernos y el público.

Los servidores basados en la web ofrecen acceso a información integrada de fuentes de datos heterogéneas, así como herramientas innovadoras para el análisis y evaluación de problemas como el cambio climático, la escasez de agua, la salud humana, el saneamiento y la urbanización, todos factores clave que se deben considerar como parte de los recursos urbanos. La integración de dichas herramientas de comunicación basadas en la web que utilizan estándares de comunicación abiertos permite que una variedad de partes interesadas se conecte al sistema y utilicen los recursos disponibles.

Al mismo tiempo, los sistemas de comunicación e información pueden permitir que tanto el público en general como los administradores tengan acceso a información relevante, fomentando la transparencia y la visibilidad de las actividades actuales relacionadas con el agua por parte de usuarios especializados (por ejemplo, administradores del agua, municipalidades, gobiernos), facilitando la creación de confianza y participación del público / partes interesadas. Una interfaz intuitiva y fácil de usar fomenta la accesibilidad y difusión de datos, especialmente para el público.

Los gobiernos y los municipios utilizan herramientas de sistema de información y comunicación basadas en la web para proporcionar información relevante sobre el agua al público, así como para proporcionar alertas tempranas (por ejemplo, alertas de inundación). También permiten a los administradores de aguas urbanas acceder a información relevante, como datos de lluvia, almacenamiento y distribución, entre otros, lo que ayuda a informar los procesos de toma de decisiones en múltiples niveles.

La seguridad de los datos y los sistemas es un punto clave que debe abordarse cuidadosamente antes de cualquier implementación de tecnologías basadas en la web para ciudades y servicios públicos, y en cumplimiento con las normas y políticas corporativas existentes.

### 3. Caso de Estudio: “Integración entre las Redes de nueva generación y la inundación por encharcamiento en el Barrio Minuto de Dios”

El Semillero de Investigación Redes de Nueva Generación en Ciudades Inteligentes, tiene como objetivo desarrollar soluciones tecnológicas a problemáticas sociales, que conlleven a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible y por consiguiente, al reformular el funcionamiento de las principales infraestructuras anteriores se da paso a las tendencias de las nuevas ciudades inteligentes. Esto se ha verificado en una situación que aqueja al barrio minuto de dios, en la localidad décima de la ciudad de Bogotá, Colombia; la cual en la temporada invernal es un completo caos para la salud, la movilidad, y el acontecer normal de las personas que transitan el lugar, bien sea por su estudio o trabajo, o porque viven en el sector.

Al realizar un estudio más profundo de esta problemática la facultad de ingeniería de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, desde sus diferentes disciplinas se plantean el reto de la creación y puesta en marcha de un **“Modelo de predicción de inundación por encharcamiento”**. En la primera fase se delimita el área de trabajo y se organizan los datos meteorológicos recolectados por la red de la Universidad.

#### **3.1 Delimitación del área de trabajo**

---

El trabajo de investigación se desarrolla en el barrio digital Minuto de Dios en la ciudad de Bogotá D.C, Colombia. La zona específica de trabajo se delimita en las siguientes direcciones: (Ilustración 6.)

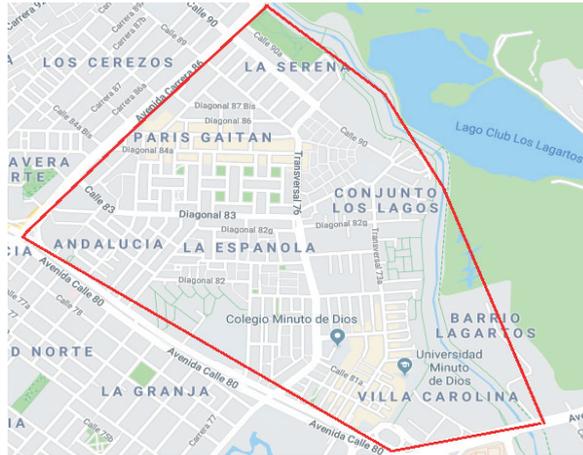


Figura 6. Delimitación del área de trabajo

Desde Av. 80 No. 85<sup>a</sup> - 86 hasta Av. Cali 9 – 11; Desde Av. Cali 9 – 11 hasta Kr 72C bis 90<sup>a</sup> – 99; Desde Kr 72C bis 90<sup>a</sup> – 99 hasta Cl 93 No. 72<sup>a</sup> – 51; Desde Cl 93 No. 72<sup>a</sup> – 51 hasta Cl 81B 72 – 28; Desde Cl 81B 72 – 28 hasta Cl 81<sup>a</sup> 72 – 19; Desde Cl 81<sup>a</sup> 72 – 19 hasta Av. 80 No. 85<sup>a</sup> – 86.

### 3.2. Red meteorológica UNIMINUTO

En el marco de la Convocatoria Interna para Apoyar la Investigación Interdisciplinar e Interinstitucional en la Sede Principal de la Corporación Universitaria Minuto de Dios se aprobó el proyecto de investigación titulado “Instrumentación Hidrometeorológica del Campus Universitario UNIMINUTO. Sede Principal y Regional Cundinamarca” durante el año 2014. En el mes de febrero de 2015 se suscribió el acta de inicio y se realizó el proceso de compra de las primeras estaciones meteorológicas. Durante la ejecución del proyecto se definió, como parte integral del mismo, la construcción de la Red Meteorológica UNIMINUTO (RMU) operada por el programa de Ingeniería Civil de la Sede Principal como un paso inicial en el desarrollo de un Sistema de Monitoreo Hidroclimático, de Calidad de Aire y Agua proyectado a futuro y enmarcado dentro del sistema de investigaciones CTI&S-UNIMINUTO. (Red Meteorológica UNIMINUTO, 2019)

La instrumentación meteorológica permite caracterizar la variabilidad espacio-temporal del clima rural y urbano mediante la captura, almacenamiento y procesamiento de información climatológica de alta resolución temporal para el desarrollo de proyectos académicos interdisciplinarios. A su vez, la consolidación de datos climatológicos provenientes de la red, permite establecer alianzas nacionales con entidades académicas y oficiales con las cuales se comparte información con fines de investigación y desarrollo de tecnologías para múltiples propósitos.

Desde este actor, insumo primordial para establecer los periodos de mayor precipitación y humedad se recogieron los datos de los dos últimos años en los ítems que se relacionan en la ilustración 7



**RED METEOROLÓGICA UNIMINUTO**  
**BOLETÍN METEOROLÓGICO MENSUAL**

UNIMINUTO  
Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
Bogotá, D.C. - Colombia

25 años

Día climatológico	Temperatura del aire (°C)			Humedad relativa del aire (%)			Precipitación (mm)	Máxima Radiación Solar (W/m2)
	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media		
1	29.70	18.90	23.48	96	49	75.22	11.60	1020
2	29.30	19.20	23.25	93	55	74.40	0.00	1130
3	26.90	19.20	21.62	97	61	83.17	3.00	918
4	29.90	19.20	23.43	93	49	74.72	1.20	1025
5	29.30	19.30	23.91	88	50	69.13	0.00	1086
6	28.50	19.60	23.59	87	55	69.56	0.00	1174
7	28.70	19.70	23.32	80	56	71.80	0.00	1042
8	31.30	19.90	24.86	83	46	66.01	0.00	1125
9	29.70	20.10	23.61	88	54	71.75	0.40	893
10	28.70	20.60	22.90	82	54	74.12	0.00	1074
11	28.60	20.30	23.38	81	54	72.12	0.00	995
12	29.90	19.80	24.50	84	49	68.10	0.00	1246
13	29.70	19.30	23.87	84	48	68.03	0.00	1028
14	31.20	19.30	25.01	81	42	60.71	0.00	1049
15	30.80	20.10	24.68	77	47	63.05	0.00	1107
16	29.20	19.70	23.82	83	52	66.68	0.00	1018
17	28.10	20.50	23.42	81	54	70.35	0.00	1130
18	28.80	20.70	24.59	82	51	63.04	0.00	1158
19	31.20	20.80	25.32	80	48	64.24	0.00	1116
20	29.60	20.90	25.26	81	49	63.05	0.00	1078
21	31.90	21.90	26.66	79	48	63.63	0.00	1058
22	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0
23	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0
24	20.00	18.30	18.91	96	76	89.78	0.00	0
25	29.40	17.80	23.79	91	51	73.02	0.20	970
26	28.40	20.60	23.06	93	56	74.00	1.00	1035
27	29.70	18.90	23.07	96	49	76.85	1.20	1058
28	29.50	18.90	23.90	97	51	71.80	0.00	940
29	28.20	20.50	23.38	89	58	73.52	1.20	969
30	28.80	19.70	22.37	96	56	82.41	0.60	1027
31	24.10	18.20	21.08	97	80	88.99	0.20	448

Tabla: Información de la base de datos de la Estación

Ilustración 7 Red meteorológica - Boletín mensual

### 3.3. Sistema de recolección de aguas servidas.

El desarrollo de las zonas urbanas implica la dotación de servicios, de acuerdo con la magnitud, importancia y auge que vaya adquiriendo cada una de éstas, esto incluye acueductos, redes eléctricas, telefónicas, de datos y viales fundamentalmente. Como el estudio se basa en el manejo adecuado del agua, y la inundación causada por diversos factores que afectan a la red de colectores, desde el sumidero con sus rejillas, los tramos de acueducto subterráneo y por ultimo los depósitos hacia los cuales está dirigido, no ahondaremos en los otros sistemas implícitos que se relacionan anteriormente. Para esto se utilizan los mapas y convenciones propios del acueducto pluvial y de alcantarillado que se muestran en la ilustración 8 – 9.



Figura 8. Sistema de Acueducto – Alcantarillado Pluvial – Sanitario - Local - Sumideros

Sistema de Acueducto	Sistema de Alcantarillado Pluvial	Sistema de Alcantarillado Sanitario
Aduccion —	Box Culvert Local Pluvial —	Box Culvert Troncal —
Conduccion —	Box Culvert Troncal Pluvial —	Box Culvert Local —
Estación de Bombeo 	Red Troncal Pluvial 	Red Troncal 
Planta de Tratamiento 	Pondaje 	
Tanque 		
Macromedidores 		
Red Matriz — Red Matriz		
Distrito 		

Figura 9. Convenciones del sistema de acueducto y alcantarillado de la zona

Tabla 9: Definición de elementos del sistema de alcantarillado

DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
Colectores terciarios	Son tuberías de pequeño diámetro (150 a 250 mm de diámetro interno, que pueden estar colocados debajo de las veredas, a los cuales se conectan las acometidas domiciliarias.
Colectores secundarios	Son las tuberías que recogen las aguas de los terciarios y los conducen a los colectores principales. Se sitúan enterradas, en las vías públicas.
Colectores principales	Son tuberías de gran diámetro, situadas generalmente en las partes más bajas de las ciudades, y transportan las aguas servidas hasta su destino final.
Conexiones domiciliarias	Son pequeñas cámaras, de hormigón, ladrillo o plástico que conectan el alcantarillado privado, interior a la propiedad, con el público, en las vías.
Estaciones de bombeo	Como la red de alcantarillado trabaja por gravedad, para funcionar correctamente las tuberías deben tener una cierta pendiente, calculada para garantizar al agua una velocidad mínima que no permita la sedimentación de los materiales sólidos transportados. En ciudades con topografía plana, los colectores pueden llegar a tener profundidades superiores a 4 - 6 m, lo que hace difícil y costosa su construcción y complicado su mantenimiento. En estos casos puede ser conveniente intercalar en la red estaciones de bombeo, que permiten elevar el agua servida a una cota próxima a la cota de la vía.
Líneas de impulsión	Tubería en presión que se inicia en una estación de bombeo y se concluye en otro colector o en la estación de tratamiento.

### 3.4. Metodología

La metodología llevada a cabo en el proyecto “Modelo de predicción de inundación por encharcamiento” ha sido trabajada bajo el ciclo de vida del software (Ilustración 10), ya que ésta nos permite identificar, analizar y construir los componentes que hacen parte del funcionamiento de ciudades inteligentes, a través de equipos activos que intervienen de una manera interrelacionar:



Figura 10. Ciclo de Vida. Fuente Propia

### 3.4.1. Análisis

Es la primera fase del ciclo de vida, en el cual consiste en llevar a cabo el análisis de los requerimientos necesarios para llevar a cabo el proyecto, los requisitos expresan las necesidades que contribuyen a la solución o propuesta del proyecto, en esta etapa se ha logrado identificar:

- Definición de los requerimientos: Proceso por el cual se realizó la identificación, definición de los requisitos que intervienen en el proyecto, así como, sus características, y elementos que lo componen.
- Requisitos funcionales: Describen las funciones señaladas dentro del levantamiento de información.

### 3.4.2. Diseño

El diseño se define en [IEEE610.12-90] como "el proceso para definir la arquitectura, los componentes, los interfaces, y otras características de un sistema o un componente" y "el resultado de este proceso." Para esta etapa se logró llevar a cabo las siguientes fases:

- Contexto de componentes: Identificación de los componentes para la construcción del proyecto.

### 3.4.3. Construcción

Esta fase hace referencia a la construcción o elaboración del producto, así como, su combinación, verificación y depuración entre los componentes, la construcción, por lo general, produce el mayor número de elementos de configuración que se necesitan gestionar en un proyecto de software (archivos de código fuente, contenido, casos de pruebas, etc.).

### 3.4.4. Pruebas

Hacer pruebas es una actividad que tiene el objetivo de evaluar y mejorar la calidad del producto, identificando defectos y problemas.

Las pruebas del software consisten en verificar el comportamiento de un programa dinámicamente a través de un grupo finito de casos de prueba, debidamente seleccionados del, típicamente, ámbito de ejecuciones infinito, en relación con el comportamiento esperado.

## 3.5. Hallazgos

Además de los elementos meteorológicos recolectados por la estación UNIMINUTO y los datos cartográficos y pluviales suministrados por el sistema de información geográfico del Agustín Codazzi, faltaba analizar las velocidades de transmisión y flujo de datos en la zona; para esto se utilizó el simulador OMNETPP y se encontraron varios aspectos, que se trataran a continuación:

- Una vez recolectados los datos y analizada las primeras muestras se utiliza el simulador OMNETPP (Figura 7), para caracterizar algunas variables y utilizar análisis Big Data. El simulador utilizado permite hacer mejor uso de sus herramientas básicas para realizar cualquier tipo de configuración de red, mejorando la comprensión de las actividades ge-

neradas y la comunicación que se realiza por cada componente dentro de un nivel jerárquico establecido.

- La transmisión de segmentos apunta al máximo de ventana (64 kb) dividido entre el RTT (Round Time Trip), y para el resto se divide el número de bits recibidos en un intervalo de tiempo por dicho intervalo de tiempo, (50 segundos).

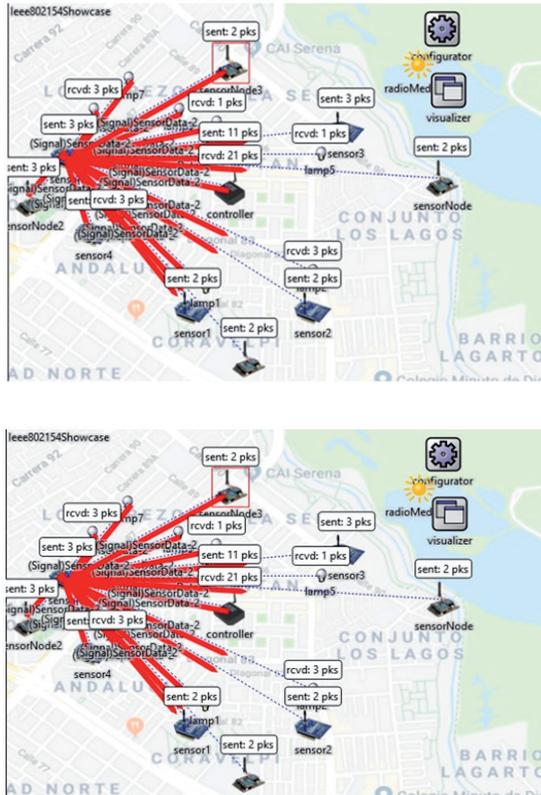


Figura 11. Simulación de una red con tecnología 5G en el contexto IOT con ayuda del simulador

Se establece que la transmisión de datos de los nodos y los sensores tiene segmentos de incremento y decremento de la velocidad en la misma, ya que con las simulaciones establecidas se identifica que se requiere mayor participación de velocidad al envío de la información desde el nodo al sensor y posterior a ello la recepción de dicha información desde el sensor hasta el nodo, requiere de una participación inferior de velocidad.

Posterior a la configuración de los nodos y sensores en el barrio digital, se procede a realizar la verificación de la transmisión de datos entre los sensores, solicitando establecer parámetros de velocidad entre sí.

Finalmente, la verificación de la transmisión de información se concluye con un ping que se direcciona a la IP de configuración entre los Nodos y los sensores. Las pruebas confirman interacción entre información exitosa.



- Obstrucciones: Durante los recorridos de toma de evidencias gráficas y trabajo de campo realizado por el grupo de trabajo, se evidenciaron algunas obstrucciones causadas por los habitantes causando con ello taponamiento del sistema alcantarillado y con ello inundaciones en torrenciales aguaceros. Dichas obstrucciones son causadas por basuras y lodo.



- Además de las basuras se encuentran también maleza que nace en las rejillas del sumidero.
- Se identifican algunas calles que no tienen sumideros (alcantarillas) donde desemboque el almacenamiento de aguas pluviales.

## 4. Fase I. Análisis de Requerimientos del “Modelo de predicción de inundación por encharcamiento”

A partir del análisis documental y el registro fotográfico, se evidenciaron fallencias superficiales que impiden el normal recorrido de las aguas para llegar a los recolectores; además de esto durante las precipitaciones fuertes de lluvia también se encuentra que algunos de los tramos de alcantarillado subterráneo están tapados, o que su capacidad es limitada y se reboza el agua que viene siendo conducida por ellos; toda vez que las aguas residuales que son arrojadas por las viviendas y los negocios comerciales se mezclan con las anteriores.

La zona específica de trabajo se delimita en direcciones establecidas segmentadas por nodos, logrando mejor agrupamiento de datos recolectados, como se puede evidenciar en la figura 12.



Figura 12. Delimitación de la zona por nodos

Una vez establecidas las necesidades y las variables para tratar se determinan los requerimientos de software para la creación, desarrollo e implementación del modelo. En las tablas 10.x se encuentran descritos las principales exigencias.

Tabla 10-1: Datos recolectados. Elaboración propia

Nombre	RF1-Datos recolectados
Resumen	Se deberá almacenar la información de todos los sensores cada 60 segundos en la base de datos
Entradas	Datos de sensores
Resultados	Tener acceso a la información recolectada en un rango de 60 segundos

Tabla 10-2: Promedio hora. Elaboración propia.

Nombre	RF2-Promedio hora
Resumen	Se deberá poder visualizar el promedio de los datos almacenados por cada sensor en un rango de 60 minutos
Entradas	Información almacenada recolectada en el transcurso de 60 minutos de los sensores
Resultados	Promedio de las condiciones de los sensores por hora

Tabla 10-3: Promedio hora. Elaboración propia.

Nombre	RF3-Promedio Día
Resumen	Se deberá poder visualizar el promedio de los datos almacenados por cada sensor en un rango de 24 horas
Entradas	Información almacenada recolectada en el transcurso de 60 24 horas de los sensores

Resultados	Promedio de las condiciones de los sensores por día
------------	---

Tabla 10-4: Alarma. Elaboración propia.

Nombre	RF4-alarma
Resumen	Según los cálculos realizados en relación de caudal se mostrará una alarma para detectar un cambio anómalo.
Entradas	datos sensor
Resultados	Advertencia por parámetros desfasados

Tabla 10-5: Interfaz Web. Elaboración propia

Nombre	RF5-Interfaz web
Resumen	Se requiere un diseño web para la visualización de los datos recolectados de forma ordenada y accesible desde cualquier equipo.
Entradas	Información almacenada en base de datos
Resultados	Informe en pantalla o impreso

Tabla 10-6: Seguridad. Elaboración propia.

Nombre	RF6-Seguridad
Resumen	Se crearán usuarios con diferentes niveles de seguridad autenticados por un usuario y una clave.
Entradas	
Resultados	Toda la información será protegida y seccionada según el tipo de usuario

Luego de realizar el levantamiento de requerimientos, llevamos a cabo la identificación de componentes, como se evidencia en la tabla 11.

Tabla 11: Identificación de componentes.

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
SENSOR DE AGUA	<p>El sensor de agua, también conocido como sensor de nivel, es un instrumento que activa una alarma de nivel de agua en el punto en el que ha sido instalado, para conseguir la automatización del llenado de recipientes como tanques y depósitos, entre otros.</p> <p>Su funcionamiento se basa, por norma general, en dos elementos clave: por un lado, tenemos un receptor de señal que detecta el momento en el que el nivel de agua ha llegado al punto fijado; y, por otro lado, contamos con un interruptor de nivel de agua, que activa el aviso en el momento que recibe la señal de dicho receptor.</p> <p>De esta manera, mediante el sensor de agua se consigue automatizar procesos de llenado y control de líquidos en tanques y otros recipientes.</p>

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;">SENSOR DE PRESIÓN</p>	<p>Un sensor de presión es un dispositivo capaz de medir la presión de gases o líquidos. En este contexto, la presión es una expresión de la fuerza necesaria para impedir la expansión de un fluido. Normalmente se expresa en términos de fuerza por unidad de área. En general, los sensores de presión funcionan como un transductor; es decir, generan una señal en función de la presión a la que se someten. Para los propósitos de este artículo, esa señal es eléctrica.</p> <p>Los sensores de presión se utilizan en miles de aplicaciones cotidianas de control y monitorización. También se pueden utilizar para medir de forma indirecta otras variables, como flujo de fluidos/gases, velocidad, nivel de agua o altitud. Los sensores de presión también pueden denominarse transductores de presión, transmisores de presión, registradores de presión, indicadores de presión, piezómetros y manómetros, entre otros nombres.</p>
<p style="text-align: center;">SENSOR DE HUMEDAD</p>	<p>El sensor de humedad es un aparato de lectura utilizado en espacios interiores para controlar la humedad del aire y la temperatura. Las magnitudes medidas por el sensor de humedad se transforman en una señal eléctrica normalizada, cuya intensidad suele estar comprendida entre 4 y 20 m. Un material semiconductor es el encargado de determinar con precisión los valores de humedad y temperatura que se corresponden con la señal emitida.</p> <p>Este tipo de sensores son especialmente útiles en los sistemas de ventilación mecánica, ya que permiten regular el caudal de aire renovado en función de la humedad ambiental. Estos sistemas pueden emplearse tanto en viviendas individuales como colectivas. En este último caso se utilizan sistemas de ventilación individualizados que llevan a cabo un barrido y posterior renovación del aire contaminado de los locales. Al ser independiente se consigue disponer de aire interior de calidad y autonomía en el consumo de cada vivienda.</p>

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
SENSOR DE TEMPERATURA	<p>Es un dispositivo que se comunica de forma digital. Cuenta con tres terminales: Vcc, GND y el pin Data. Este sensor utiliza comunicación por protocolo serial digital OneWire.</p> <p>Este protocolo de comunicación permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable. A diferencia de otros, que utilizan dos o más líneas de comunicación digital. Para leer el sensor con un Arduino es necesario utilizar dos librerías que deben ser instaladas antes de cargar el código a nuestra placa de desarrollo.</p>

Fuente: propia

## 5. CONCLUSIONES

Una de las motivaciones principales que todo semillero de investigación debe tener es buscar soluciones a las problemáticas de su entorno en primera instancia, debido a ello, nace este proyecto de investigación y la puesta en marcha de la solución a una problemática tan compleja es solo alcanzable en fases, que deben arrojar productos que, serán insumos de las siguientes etapas.

No es desconocido que todo comienzo es arduo, pero en este caso ha sido muy enriquecedor ver como una afluencia de disciplinas y actores aportan su conocimiento para lograr un fin, la red meteorológica UNIMINUTO que aporta datos importantes sobre humedad presión y precipitaciones fundamentalmente, el programa de tecnología en electrónico de la misma institución que aporta lo necesario para brindar una opción para los sensores y la parte de hardware de los componentes con tecnología IoT y por último, el programa de Tecnología en informática que realiza todo el levantamiento de información, análisis de requerimientos y un borrador de segunda etapa al comenzar el modelado del sistema de alcantarillado subterráneo y un desarrollo web para analítica de datos.

En la segunda fase se encontrará una mayor claridad de los eventos meteorológicos y su influencia en los nodos de la zona, así como su impacto de movilidad y taponamiento, resultados éstos que se buscan concluir.

## Referencias

- Agiwal, M. R. (2016). Next generation 5g wireless networks. *IEEE Communications*, 1617-1655.
- Améndola, L. (2018). *Inteligência Artificial, Seo E O Marketing No Brasil*. Appris.
- Amendola, S. e. (Abril de 2014). RFID Technology for IoT-Based Personal Healthcare in Smart Spaces. *IEEE Internet of things Journal*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/6780609/citations?tabFilter=papers#citations>
- Anthopoulos, L. &. (Agosto de 2014). Smart Cities and their roles in City Competition. *International Journal of electronic governement research*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/264653851\\_Smart\\_Cities\\_and\\_Their\\_Roles\\_in\\_City\\_Competition\\_A\\_Classification](https://www.researchgate.net/publication/264653851_Smart_Cities_and_Their_Roles_in_City_Competition_A_Classification)
- Benítez, L., & Ortega, M. (2015). *Las TIC y la gestión de los desafíos de sostenibilidad energética de las ciudades inteligentes*. Recuperado el 21 de 8 de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5248691>
- Brys, C. &. (2016). A semantic model for electronic government and its enforcement in the province of Misiones. *Electronic Governement and International Journal*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/310705806\\_A\\_semantic\\_model\\_for\\_electronic\\_government\\_and\\_its\\_enforcement\\_in\\_the\\_Province\\_of\\_Misiones\\_Argentina](https://www.researchgate.net/publication/310705806_A_semantic_model_for_electronic_government_and_its_enforcement_in_the_Province_of_Misiones_Argentina)
- Carlos, G. T. (2016). INTEL RED 5G. *Tesis de grado: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/antgon93/intel-red-5g-61277568>
- Castells, M. &. (2001). *"Las tecnópolis del mundo. La formación de los complejos industriales del siglo XXI*. Alianza.

- Castells, M. (1998). Tecnologías de la información, estructuración económica y el proceso urbano-regional. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. Obtenido de <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-98.htm>
- Córdoba, G., & Andrés, F. (2019). *Comparativo entre la tecnología de redes 4G y 5G y los beneficios de su implementación en Colombia*. Recuperado el 20 de 8 de 2019, de <http://repository.usc.edu.co:9191/xmlui/handle/123456789/189>
- D., S. F. (2017). Factores de desarrollo de las ciudades inteligentes. *Revista Universitaria de Geografía*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/318662037\\_Factores\\_de\\_desarrollo\\_de\\_las\\_ciudades\\_inteligentes/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/318662037_Factores_de_desarrollo_de_las_ciudades_inteligentes/citation/download)
- Del Valle, L. (2017). *107 aplicaciones del IoT usos prácticos en el mundo real*. Obtenido de [programarfacil.com: https://programarfacil.com/podcast/aplicaciones-del-iot-reales/](https://programarfacil.com/podcast/aplicaciones-del-iot-reales/)
- Écija, A. (2015). UNA APROXIMACION A ALGUNOS ELEMENTOS DE INTERNET DE LAS COSAS. *Excis Group*. Obtenido de <https://www.ecix-group.com/una-aproximacion-algunos-elementos-de-internet-de-las-cosas/>
- Eiman, A. &. (2015). Aplicaciones de Big Data a Ciudades Inteligentes. *Journal of Internet Services and Applications*. Obtenido de <https://jisajournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13174-015-0041-5#Abs1>
- El Espectador. (26 de Febrero de 2018). La red 5G, piedra angular de la revolución digital. *Tecnología, El Espectador*.
- Ericsson AB. (2011). Shaping sustainable cities in the networked society.. Obtenido de [ericsson.com: https://www.ericsson.com/en/trends-and-insights/networked-society-insights](https://www.ericsson.com/en/trends-and-insights/networked-society-insights)
- Espinal, L. A. (2015). *Gestión de dispositivos integrados en una Arquitectura de la Red de las Cosas*. Recuperado el 19 de 8 de 2019, de <http://oa.upm.es/38797>
- Evans, D. (2011). Internet de las cosas, cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. *CISCO*. Obtenido de [https://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf)

- Gaudio, P. (2011). El Internet de las cosas: un sistema nervioso mundial. *Fundación de la Innovación Bankinter*. Obtenido de [http://www.belt.es/expertos/imagenes/XV\\_FTF\\_El\\_internet\\_de\\_las\\_cosas.pdf](http://www.belt.es/expertos/imagenes/XV_FTF_El_internet_de_las_cosas.pdf)
- Glenis, V. e. (2013). Flood modelling for cities using Cloud computing. *Journal of Cloud Computing*. Obtenido de [http://icfr2013.ex.ac.uk/papers/D3\\_Glenis.pdf](http://icfr2013.ex.ac.uk/papers/D3_Glenis.pdf)
- Gómez, E. J., & Angarita, N. J. (2018). *Ciudades inteligentes frente a las apuestas de la agenda 2030 y desarrollo sostenible*. Recuperado el 20 de 8 de 2019, de <http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/6398/1/2018-castañeda-y-vásquez-ciudades-inteligentes-agenda-2030..pdf>
- González, T. C. (16 de Abril de 2016). Intel Red 5G. *Tesis de grado: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/antgon93/intel-red-5g-61277568>
- Horan, T. (2000). *Digital Places: Building our City of bits*. Washington: Urban Land Institute.
- IESE Cities in Motion. (2019). Índice IESE Cities in Motion. *Business School University of Navarra*. Obtenido de [https://media.iese.edu/research/pdfs/ST-0509.pdf?\\_ga=2.174319714.1329917055.1566435267-946851110.1566435267](https://media.iese.edu/research/pdfs/ST-0509.pdf?_ga=2.174319714.1329917055.1566435267-946851110.1566435267)
- inteligentes., A. d. (s.f.).
- ITU-T Focus Group on Smart Sustainable Cities. (2014). Smart water managements in cities. *ITU-T Focus Group*.
- Librino, F. e. (Agosto de 2019). Home-work Carpooling for Social Mixing. <http://senseable.mit.edu>. Obtenido de [http://senseable.mit.edu/papers/pdf/20190802\\_Librino-et-al\\_Home-workCarpooling\\_Transportation.pdf](http://senseable.mit.edu/papers/pdf/20190802_Librino-et-al_Home-workCarpooling_Transportation.pdf)
- Mamta, A. &. (2016). Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey. *IEEE Xplore Digital Library*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7414384>
- Martín-Garín, A. M. (2018). Internet de las cosas y plataformas de código abierto como herramientas de apoyo para la construcción 4.0. *researchgate.net*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/327560507\\_Internet\\_de\\_las\\_cosas\\_y\\_plataformas\\_de\\_codigo\\_abierto\\_como\\_herra](https://www.researchgate.net/publication/327560507_Internet_de_las_cosas_y_plataformas_de_codigo_abierto_como_herra)

mientas\_de\_apoyo\_para\_la\_construccion\_40\_Internet\_of\_things\_and\_ open\_source\_platforms\_as\_support\_tools\_for\_construction\_40

- McLuhan, M. &. (1995). *La aldea global*. Barcelona: Gedisa S.A.
- Mitchell, W. (1995). *City of Bits: Space, Place, and the Infobahn (On Architecture)*. Massachusetts: MIT Press.
- Mitchell, W. (2004). If architecture is a system of enclosures and networks, now, with the information networks, buildings acquire a kind of nervous system. *Dialnet.unirioja.es*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3683491>
- Mitchell, W. (Octubre de 2007). Ciudades Inteligentes. *UOC papers*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2577136.pdf>
- OCDE. (Diciembre de 2016). RECOMENDACIÓN DEL CONSEJO SOBRE EL AGUA. *oecd.org*. Obtenido de <https://www.oecd.org/water/Recomendacion-del-Consejo-sobre-el-agua.pdf>
- ONU. (10 de Julio de 2014). *Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*. Obtenido de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>
- Programa de las naciones unidas para el desarrollo. (6 de Julio de 2015). <https://www.undp.org>. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/>
- Puerta, G. &. (2010). Effects of Topology and Mobility in Bio-Inspired Synchronization of Mobile Ad Hoc Networks. *researchgate.net*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/215562596\\_Effects\\_of\\_Topology\\_and\\_Mobility\\_in\\_Bio-Inspired\\_Synchronization\\_of\\_Mobile\\_Ad\\_Hoc\\_Networks/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/215562596_Effects_of_Topology_and_Mobility_in_Bio-Inspired_Synchronization_of_Mobile_Ad_Hoc_Networks/citation/download)
- Quesada, E. M. (2018). *Ciudades inteligentes: Retos para la gestión pública desde una perspectiva crítica y comparada*. Recuperado el 20 de 8 de 2019, de <https://conferences.epistemopolis.org/index.php/cienciassociales/cs2018/paper/view/7157/0>
- Ramírez, M. D. (16 de 2016). Diseño de un Método para Identificar Necesidades y Oportunidades Para la Implementación de Internet de las Cosas

- (IoT) Aplicable a Oficinas de Trabajo. *Repositorio Institucional Universidad Distrital*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/5343>
- Ratti, C. e. (2011). Live singapore The pulse of the city in real-time. <http://senseable.mit.edu>. Obtenido de <http://senseable.mit.edu/livesingapore/index.html>
- Red Metereologica UNIMINUTO. (30 de Julio de 2019). <http://www.uniminuto.edu/web/redmeteorologica/home>. Obtenido de <http://www.uniminuto.edu/web/redmeteorologica/home>
- Ruta N Medellín. (s.f.). <https://www.rutanmedellin.org/es/>. Obtenido de <https://www.rutanmedellin.org/es/>
- Sikora, F. D. (2017). Factores de desarrollo de las ciudades inteligentes. *Revista Universitaria de Geografía*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/318662037\\_Factores\\_de\\_desarrollo\\_de\\_las\\_ciudades\\_inteligentes/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/318662037_Factores_de_desarrollo_de_las_ciudades_inteligentes/citation/download)
- Torres, A. (13 de Febrero de 2018). *Beyond Green*. Obtenido de Más allá de lo verde: <http://www.alisdanielatorres.com/>
- Tracy, P. (6 de Diciembre de 2016). *RCWirelessNews*. Obtenido de Big Data Analytics, Fundamentals, Internet of Things (IoT): <https://www.rcwireless.com/2016/12/06/internet-of-things/sensor-iot-tag31-tag99>
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. (2015). *World leaders adopt Sustainable Development Goals*. Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/en/home/presscenter/pressreleases/2015/09/24/undp-welcomes-adoption-of-sustainable-development-goals-by-world-leaders.html>





• CAPÍTULO VII •

# Hacia una taxonomía de Ciudades inteligentes

Manuel Dávila Sguerra  
Parque científico de Innovación Social – Uniminuto  
Ciencias y tecnologías para la vida





# Resumen

El término Ciudades inteligentes es uno de tantos que se están involucrando en el nuevo vocabulario en la época de la Transformación digital. Antes de considerar a esto como un "estado del arte", las ciudades han utilizado tecnologías para su funcionamiento pero dados los avances de la época, llegó el momento de tratar estos procesos con la formalidad requerida para evitar el crecimiento de las ciudades con "parches" tecnológicos en lugar de hacerlo con procesos planeados. Existe, entonces, la necesidad de construir una taxonomía que defina lo que puede ser el diseño de una Ciudad Inteligente. Pero esto no se construye desde una oficina con personas "encerradas" emitiendo opiniones, a veces soportadas solo por un sentido común. Al contrario, consideramos que se deben escuchar a los expertos que están pensando en la construcción de estos procesos y no solo de la región en donde vivimos sino aquellos que lo están haciendo en otros países. En este capítulo se ha querido reunir las opiniones expresadas por expertos de Colombia, República Checa, Barcelona (España) y Canadá, que aunque no representan la totalidad de proyectos que se quisiera, si son los que la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas – ACIS, reunió en la publicación sobre Ciudades Inteligentes en la edición número 148 en el año 2018. Al mirar con detalle los resultados, ideas y conclusiones de las investigaciones del grupo convocado se espera aportar hacia la creación de esa taxonomía de Ciudad Inteligente para Colombia.

# Introducción

Un tema de gran importancia a nivel mundial es la transformación que está sufriendo el mundo alrededor de las nuevas tecnologías. El proceso de cambio en las sociedades es un asunto permanente, pero en esta época se identifica por darse a una velocidad inusitada, a tal punto que en ocasiones no hay conciencia de lo que está sucediendo hasta cuando la sociedad capta que aquello que era tradicional ha desaparecido.

El cine, por ejemplo, que era una actividad que se llevaba a cabo solo en las salas apropiadas era una actividad que implicaba desplazamiento y hasta motivo de encuentro social, hoy en día se hace en las casas y aunque aún hay público para las salas de cine, el cambio se ha hecho evidente. Muchas oficinas postales han sido reemplazadas por el correo electrónico y otras formas de comunicación centradas en internet; de hecho, la época de los telegramas en los cuales había que escribir corto para abaratar las comunicaciones fue desapareciendo. Los mapas en papel han sido reemplazados por aplicaciones georreferenciadas y la presencia permanente e instantánea en la red eliminó la posibilidad de “no estar”, como se estilaba decir cuándo alguien no quería pasar al teléfono.

Algunas de las tecnologías que están transformando a la sociedad hasta el 2022 son presentadas por IEEE en un reporte que previene de los cambios actuales y del próximo futuro (IEEE, 2014), dando por sentado que estamos entrando a una nueva época. Sin embargo, hay ciertos principios de la vida cuya transformación fundamental no es tan clara como lo es todo lo referente al ser humano mismo y en este sentido vale citar a Platón en el libro de la República en la cual explica por qué se constituye la Polis (La ciudad). Sócrates dice: “La ciudad nace, en mi opinión, por darse la circunstancia de que ninguno de nosotros se basta a sí mismo, sino que necesita de muchas cosas” (Platón, 2006, 139). Esta mención se trae porque dentro de la transformación no se debe olvidar que el centro es el ser humano y que no se debe pensar en las tecnologías por encima de las personas. Tal vez sea conveniente mirarla por ejemplo como una extensión de su cuerpo que le ayude a una mejor forma

de vida. Desafortunadamente los excesos comerciales tienden a dar más importancia a los dispositivos y tecnologías que a las personas.

Esta definición tan simple de la República de Platón sigue siendo vigente después de dos mil cuatrocientos años, asunto que da la esperanza que lo seres humanos permanecerán vigentes a pesar del cambio del entorno que se ofrece para operar en la vida.

Uno de esos temas transformadores es el que aquí se trae sobre las Ciudades Inteligentes con el propósito de ir avanzando no solo en las tecnologías emergentes que se aplican o se aplicarán en las ciudades, sino sobre todo de cómo el ser humano va a estar presente en esta transformación de su entorno y citar los esfuerzos que se hacen en Colombia para definir lo que deben ser la Ciudades Inteligentes del país.

Por ese motivo en este documento se hace referencia a una publicación del mes de Julio del 2018 en la revista SISTEMAS de la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas ACIS, dedicada a las Ciudades Inteligentes (Acis, 2018) que para su realización se reunió a un grupo de profesionales de varios países, incluidos República Checa, España, Canadá y Colombia que están trabajando en el tema y que han sumado a los conceptos sobre este paradigma y que fueron de mucha ayuda en la intención de ir creando una taxonomía al respecto.

## El “para qué”, dispuesto por Barcelona

Uno de los casos para seguir es el de la ciudad de Barcelona, modelo de ciudad que ha adoptado la tecnología como base para mejorar la infraestructura y que es un ejemplo de la tecnificación de ciudades para pasar de menos avanzadas a más avanzadas rompiendo así las desigualdades de tipo social. El doctor Carlos Monzo, doctor en Tecnologías de la Información e investigador de la Universidad Oberta de Cataluña e investigador sobre los avances de la ciudad de Barcelona, considera que uno de los peligros al diseñar estos procesos es la forma excesivamente tecnológica de pensar en las ciudades modernas y caer en el peligro de perder el sentido del “para qué” pues no es simplemente aplicar tecnologías sin rumbo presionados por el exceso de la oferta actual.

Por otro lado, deben contemplarse los aspectos de gobierno de la ciudad y la interrelación con los ciudadanos incentivando el uso del paradigma del open data de tal manera que esta filosofía de lo abierto logre extender el nombre de ciudad inteligente a territorio o región inteligente ya que las ciudades no son las únicas en las cuales se mueven los seres humanos. El mismo profesor Carlos Monzo observa que bajo esa manera de pensamiento se desarrolló Barcelona que hoy en día se le puede calificar como una Ciudad Inteligente exitosa (Acis, 2018, 18-29).

## Las leyes como regulador para la armonía de las ciudades

Como representante del sistema político de la ciudad de Bogotá, el concejal José David Castellanos Orjuela, abogado y candidato a la Maestría en Administración de Empresas, compartió su investigación sobre ciudades inteligentes (Acis, 2018, 19), comenzando por describir con datos precisos la inflexión positiva en el modelo de administración y de gestión de la seguridad ciudadana en Bogotá. Su primer énfasis fue la disminución de homicidios, hurtos y lesiones personales bajo una administración tradicional de la ciudad, pero haciendo uso de algunas tecnologías modernas. Consideró fundamental analizar lo que otros países han desarrollado encontrando diferentes acciones que han sido exitosas en diferentes ciudades.

En Singapur, por ejemplo, fue el sistema de cámaras lo que le permitió al gobierno local no solo predecir situaciones peligrosas en ambientes tumultuosos sino conocer los patrones de comportamiento de los ciudadanos que permitieron influir para el cumplimiento de las leyes y reducir los índices de criminalidad. New York tomó, entre otros, el camino de vigilar los focos de criminalidad utilizando aplicaciones que a través de correlaciones de lugar, clima y tiempo permitió identificar lugares en donde ocurrían situaciones de orden criminal. Adicionalmente intensificó la actualización del historial delincriminal. Se puede decir que la ciencia de los datos es uno de los elementos fundamentales para que a través de estadísticas y correlaciones se identifiquen no solo los criminales sino los aspectos de tiempo y lugar más susceptibles. Chicago hizo

su apuesta con el manejo de mapas de tal manera que la llamada cartografía social permitió mantener una información actualizada para el control de la ciudad. Adicionalmente puso atención al sistema de alumbrado, no solo para que hubiera sitios más iluminados, que invitan a mejores comportamientos de los ciudadanos, sino al uso de lámparas con tecnología LED para disminuir el consumo energético.

Su investigación incluyó un total de 10 ciudades y al lado de las ya mencionadas estuvieron San Francisco, Londres, Berlín, Barcelona, Portland, Tokio y Melbourne con ranking en los temas de movilidad, salud, seguridad y productividad, temas que deben ser contemplados.

Estos y otros análisis de su investigación enriquecieron las posibles acciones para Bogotá como Ciudad Inteligente, permitiendo añadir algunas a la taxonomía que se intenta construir. Como las siguientes:

Interconexión de los sistemas de información gubernamentales para normalizar los procesos de vigilancia y control.

Interrelacionar los sistemas de alarmas privados que ponen los ciudadanos en sus barrios, con los del sistema oficial de tal manera que los mismos ciudadanos ayuden a actualizar los datos pertinentes para que los sistemas de información se robustezcan y aumenten los resultados de la seguridad ciudadana.

Aumentar la formación tecnológica ciudadana para que se explote debidamente el talento humano que contribuya al buen manejo de las tecnologías escogidas.

Enfatizando en el diseño de una ciudad inteligente ha incluido información sobre seguridad de 10 ciudades de Asia, Estados Unidos, Europa, Japón y Australia y su desempeño en áreas de movilidad, salud, seguridad y productividad.

El abogado y académico Marco Antonio Pérez Useche, director del Observatorio de Sociedad, Gobierno y Tecnología de Información, de la Facultad de Derecho de la Universidad Externado de Colombia, se orienta sobre los temas

de orden jurídico y centra el éxito de una Ciudad Inteligente en construir la inteligencia del territorio a partir del origen de la vida: la naturaleza (Acis, 2018, 36). Considera que las TIC, si bien permiten mejorar el desempeño de los procesos de la administración pública, las empresas y el funcionamiento de los sistemas de la ciudad no han logrado cambiar las mentes de las personas.

Considera que los gobiernos locales y los líderes de las ciudades deben asumir la responsabilidad de los efectos del cambio climático, del deterioro del medio ambiente y el crecimiento de consumo de los recursos naturales. La inteligencia de las ciudades debe estar en conexión con la inteligencia de la naturaleza. No deben ser diseñadas solo bajo el concepto empresarial ni lineamientos mecanicistas sino especialmente bajo un concepto social y de cara al planeta que nos acoge.

## La ciencia de los datos

El profesor César Orlando Díaz Benito, profesor titular del Departamento de Ingeniería de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, como experto en Ciencia de los Datos, y un posdoctorado, puso su sello, enfatizando la importancia de la tecnología, los sensores y Big Data (Acis, 2018, 40). Para él, el manejo de los datos son una base fundamental.

El valor de los dispositivos se basa en que son los generadores de los datos para que sean analizados para encontrar patrones de la conducta de los ciudadanos. Tecnológicamente hablando ya se tiene en Colombia un resultado positivo al haber resuelto el problema de la última milla, contamos con una NREN (National Research Education Network) que se llama RENATA (Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada) y bien usado todo esto, las tecnologías del Big Data nos permitirán predecir situaciones que harán mejor la vida de la gente si se toman decisiones antes de que ocurran hechos desastrosos.

Hace una referencia al grupo de Ciudades inteligentes creado en RUMBO con varias universidades en donde se han identificado los temas más pertinentes que deben ser incluidos en el diseño de este tipo de ciudades: desde la espiritualidad o desarrollo humano, hasta comercio, medio ambiente, salud,

comunicaciones y seguridad. En este tema se requiere seguridad de las dos partes, ciberseguridad (confianza digital) o seguridad propia del ciudadano, de los dispositivos o de sus bienes y servicios. Las tecnologías por su lado, acercan a las personas especialmente por la existencia de la computación en la nube y considera que no se debe tener temor en incluirlas al máximo siempre y cuando se rijan por el beneficio de la sociedad representada por la universidad, empresa, estado y sociedad que deben trabajar mancomunadamente centradas en ser humano y la consecuente educación a la ciudadanía.

## Las multinacionales

Jorge Enrique Vergara Mattos, Chief Technical Office de la IBM también centró su intervención en el foro, en la importancia de las Ciudades Inteligentes de cara al ciudadano y en el mejoramiento de los niveles de vida (Acis, 2018, 44). Insistió en la importancia del “para qué” de estos esfuerzos, sin olvidar la necesidad de educar a los habitantes en estos temas en que la tecnología influencia la vida cotidiana. Señaló, además, que la información será un elemento fundamental para el control del crimen y el mejoramiento de los sistemas de salud. La presencia de una multinacional en este debate, como es el caso de la IBM, nos trae otros aspectos que se deben tener en cuenta pues aparece el lenguaje del mundo de la infraestructura tecnológica y el asunto de los datos que aparecen en cifras de billones anuales y en muchos de los casos no estructurados. En concepto de esta multinacional aun no existe un concepto consistente de una Smart City, sino que hay aplicación de tecnologías en la ciudad, asunto que es lo que precisamente mueve al grupo de Ciudades Inteligentes de Rumbo pues se cree que hay una conciencia general de la no existencia de un modelo o estado del arte.

Considera que lo importante no es una visión de un ciudadano inteligente sino un ciudadano educado y un gobierno que piense a largo plazo y basar el diseño de las ciudades en las opiniones de las comunidades y las personas. Los aspectos tecnológicos deben estar regidos por tres pilares: instrumentación, interconexión e inteligencia. Los paradigmas de computación cognitiva en que las máquinas “aprenden” permitirán tomar decisiones en tiempo real y devolver

la apropiación de la información a las personas. Ve en el Blockchain la base para que esto sea posible. En cuanto a las prioridades menciona el transporte, medio ambiente, control de la polución en sonido y ruido, seguridad pública, energía, agua, planeamiento urbano y arquitectura.

Recuerda la conocida frase del fundador de la IBM: "Pensar". Desafortunadamente las personas le han asignado muchas responsabilidades a los dispositivos y es ahí uno de los énfasis de la nueva sociedad, que sea el ser humano el que controle a la tecnología y no lo contrario. Debe haber claridad de lo bueno y de lo malo de la tecnología y el buen diseño de una Ciudad Inteligente radica que esta pueda proveer los servicios para el desarrollo de sus ciudadanos.

## Lo social

Diane Yisell Osorio, directora de la Escuela de Ingeniería Social de Uniminuto, en el momento del foro, compartió la experiencia en el proyecto del Barrio Digital Minuto de Dios que se llevó a cabo bajo su dirección (Acis, 2018, 34). En su participación enfatizó en lo social, en la importancia de lograr a través de la tecnología el bienestar de los ciudadanos y en el "para qué" de este tipo de proyectos. Igualmente, por tratarse de una realización concreta, compartió el significado de trabajar con entidades del Estado, en particular con la Policía Nacional, en lo relacionado con las aplicaciones de alarmas para emergencias en contacto con los cuadrantes.

Hace énfasis en la necesidad de convocar a todos los estamentos de la sociedad, no solo a la educación superior sino a la educación básica y media pues los niños y los jóvenes son los llamados a la verdadera transformación de la sociedad. Si bien se necesita de la sociedad civil y las empresas, no basta la tecnología misma si no existe una conciencia del "qué" y el "para qué" y tener en cuenta que quienes deben definir lo que se quiere son los ciudadanos mismos y tener en cuenta que la densidad de las ciudades crece cada vez más pues muchos habitantes del campo están migrando a las ciudades.

En cuanto a la tecnología que se debe usar hace referencia a como, el Barrio digital de Uniminuto se desarrolló en su totalidad usando software libre y

debe ser este paradigma uno de los más importantes porque permite el libre desarrollo tecnológico de estudiantes, profesores y profesionales. No se debe olvidar que el centro de todo esto es el ser humano.

Enumera también los temas centrales de ese proyecto que se centró en el desarrollo humano, los asuntos de carácter espiritual, la comunicación, las energías alternativas, la cultura y la salud, todo para buscar un mejoramiento en la calidad de vida de los ciudadanos. Anota la pérdida de contemplación de lo humano hasta el punto que el teléfono inteligente, la nevera y las mascotas cibernéticas han tomado el papel de lo que antes era lo natural y concluye diciendo que nosotros mismos somos los responsables de lo que usamos y no podemos sobreponer la tecnología a la ética.

## Las dificultades

Iván Daniel Rincón, director de Iniciativas de Conectividad de la Provincia de British Columbia en Canadá, viene trabajando en ese país sobre comunidades inteligentes (Acis, 2018, 34).

Determina que la principal dificultad para convertir a las ciudades en inteligentes se centra en el desencuentro. Esto hace que se implanten tecnologías a la velocidad de su aparición, pero no reflejan las necesidades de las comunidades. Por eso, los análisis deben ser de largo plazo y bien pensados y la base para que todos los desarrollo pensados sean factibles es la existencia de conectividad e internet en los diferentes sitio de la ciudad a la par que se mantengan actualizadas las nuevas tecnologías como el 5G y las que vengan para acelerar los procesos de comunicación; el avance del IOT como generador de datos que pueden ser estudiados por procesos de inteligencia artificial es fundamental; los sistemas deben “aprender” ya que es la única manera de responder en los tiempos adecuados. Por otro lado, las decisiones deben ser tomadas en trabajo conjunto con la academia, el gobierno y las empresas de tecnologías. Por eso es importante la implementación de “Social Networking” que reúna a los habitantes de todos los géneros, estatus social y otros factores de diversidad humana para que los ciudadanos sientan que la ciudad es suya.

En cuanto a las ideas de cambios fundamentales en los seres humanos por cuenta de las nuevas tecnologías, considera que los seres humanos no cambiarán en lo fundamental de su ser, incluidas muchas costumbres como se nota por ejemplo en los hispanos. Hace notar que la comunidad tecnológica ha tenido que vivir una transformación permanente y que la sociedad se ha venido adaptando sin detrimento de los resultados pues aun los trabajadores se transforman de acuerdo con las nuevas alternativas. Menciona el caso del Gobierno de British Columbia que inclusive ha regresado a técnicas médicas basada en el contacto personal del médico con el paciente después de probar técnicas altamente automatizadas como el contacto vía internet para diagnósticos clínicos.

## Laboratorios virtuales para la investigación

El profesor Miroslav Svitek, especialista en tecnologías inteligentes, PhD de la Universidad Técnica Checa de Praga, no estaba en el panel, pero fue entrevistado y se pudo dialogar con él sobre el proyecto SynopCity Virtual HUB, herramienta colaborativa para diseñar ciudades inteligentes como un conector entre el lugar físico, el virtual y los sistemas sociales para el intercambio de datos y procesos (Acis, 2018, 14). Su énfasis fue la importancia de la creación de plataformas para el diseño colaborativo en el diseño de ciudades inteligentes como la que tienen en la república Checa: SynopCity Virtual HUB.

Este laboratorio permite representar la conexión entre un lugar físico y virtual, los sistemas sociales y físicos para la recopilación de datos, el modelado dentro y fuera de las ciudades y sus alrededores. Sus investigaciones lo han llevado a aclarar que los problemas de las ciudades tienen una alta dependencia de su tamaño. Ahora, los asuntos de las redes sociales deben utilizarse para la gestión estratégica pues eso involucra asuntos técnicos como los servidores y al mismo entorno de comunicación de la ciudad.

Todos esto lo han venido observando en el laboratorio, aclarando que es un ambiente totalmente virtual para la investigación e inclusive se ha implementado una plataforma en 3D en la Universidad Técnica Checa para experimentar

con avatares. En Praga está totalmente involucrada la universidad reforzando lo que algunos de los expertos que estamos citando han mencionado en el sentido que la relación Universidad - Estado debe ser fortalecida para este tipo de proyectos. La presencia de la Universidad ha permitido involucrar en el estudio, tecnologías como la realidad aumentada, la realidad virtual la inteligencia artificial y de ahí la importancia de los investigadores de la comunidad académica.

## La seguridad

El ingeniero Roberto Omar Andrade de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador y Tania Gualí, de la misma universidad, experta en Analítica de datos, escribieron en la revista centrados en la ciberseguridad y la protección de la privacidad y proponen la investigación como base para el fortalecimiento de la seguridad (Acis, 2018, 50). No ahorran esfuerzos en prevenir los peligros de Internet de las Cosas (IoT), y se refieren a Big Data, BlockChain y la Inteligencia Artificial. Para ellos es claro que todo debe estar dirigido a los ciudadanos, no sin antes definirlo como un asunto complejo que requiere trabajo conjunto.

Citando a la UIT, a Frost y Sullivan y sus propias ideas, presentaron una enumeración importante de aplicaciones que pueden ser implementadas en una ciudad inteligente. Hacen énfasis en la infraestructura requerida para lograr éxito en los proyectos, pero fundamentalmente prenden la alarma sobre los riesgos que traen consigo las nuevas tecnologías no solamente de los ataques cibernéticos o la vulnerabilidad de los dispositivos sino también en la pérdida de privacidad de los ciudadanos. Para mitigar estos riesgos insisten en la necesidad de planificación estratégica, táctica y operacional.

## Universidad - Estado

El Ingeniero electrónico Gabriel Andrés Alzate Acuña, miembro de la red de Investigaciones RITA de la Universidad Distrital, entidad que está muy cerca del Distrito de Bogotá y que tiene altos niveles en temas de investigación,

explica la necesidad de involucrar plataformas tecnológicas en las Ciudades Inteligentes, debido al cúmulo de datos generados por la conectividad que contempla sensores (IOT) instalados en muchas partes de la ciudad (Acis, 2018, 64). Así mismo, se refiere a la administración de la ciudad en el ámbito financiero, en gobierno, movilidad, salud y medio ambiente. Anota la necesidad de involucrar tecnologías como el Big Data y el BlockChain, entre otras.

Menciona los campos de implementación para lograr gobierno inteligente, ciudadano inteligente, ambiente inteligente, movilidad inteligente sobre lo cual han realizado estudios de lo que está sucediendo en otros países y en algunas ciudades colombianas que vienen trazando planes para implementar estos paradigmas que los clasifican dentro de la teoría de la complejidad. Pero lo que hay que resaltar en este caso es la presencia de una universidad distrital, es decir perteneciente o ligada a la gobernanza de la ciudad que crea de esta manera un vaso comunicante entre universidad y Estado, fundamental para el diseño de estos procesos.

## Barrio digital

Si una ciudad está conformada por un conjunto de barrios, como se llaman en Bogotá, la creación de un Barrio Digital aporta debido que la posibilidad de replicar los resultados en otros barrios, haciendo mejoras e inclusión de nuevas ideas y soluciones y puede ser un mecanismo para sacar adelante un proyecto de Ciudades Inteligentes. El Ingeniero Manuel Dávila Sguerra, director de Ciencias y Tecnologías para la Vida del Parque Científico de Innovación Social de Uniminuto narra cómo el Barrio Minuto de Dios, en donde está la Universidad, desarrolló un trabajo para volverlo digital con la participación de profesores y estudiantes (Acis, 2018, 58). Este proyecto ganó el premio Computerworld, como la mejor aplicación de sistemas de 2014 y fue tomado como referencia por RUMBO, la Red Universitaria Metropolitana de Bogotá, para crear el grupo de Ciudades Inteligentes.

El proyecto ha logrado resultados como la georreferenciación en 3D del Barrio, la implementación de la realidad aumentada para los pequeños co-

mercios del barrio, la implementación de estas tecnologías en los museos, la educación gratuita a ciudadanos vulnerables como la tercera edad, los niños y los sordos, la generación de energía alternativa por el roce de automóvil al rodar por la calle o por el caminar de las personas plasmado esto en un “tapete” piezoeléctrico”, buscando cumplir con la taxonomía expresada por la Licenciada Yíssel Osorio cuyas intervenciones se mostraron en el numeral de lo social en este capítulo. Este trabajo, netamente práctico, fue galardonado por Computerworld como la mejor aplicación del 2014 en Colombia y en el 2019 se le concedió la patente al proyecto del “tapete piezoeléctrico” para generar energía caminando. Adicionalmente, este fue el proyecto que motivó la creación del grupo de Ciudades Inteligentes de Rumbo que entre otras cosas ha incentivado la escritura de este libro: las experiencias particulares de las universidades

## Conclusiones

Uno de los temas más mencionados en las comunidades académicas es el relacionado con la triada Universidad, Empresa y Estado. Pero igualmente, es un término relativamente abstracto cuando se quiere indagar sobre su efectividad. Adicional a esto, y teniendo en cuenta la manera como las nuevas tecnologías están transformando a la sociedad (Dávila, 2017), a esta triada se le ha agregado la sociedad, es decir que ahora se debe hablar de Universidad, Empresa, Estado y Sociedad y precisamente uno de los casos en donde el tema de sociedad es fundamental, es el de Ciudades Inteligentes.

Pero esa unión entre los estamentos mencionados, Universidad-Empresa-Estado-Sociedad, no es un tema que haya avanzado notoriamente en Colombia pues la academia, las empresas y el Estado van cada uno por su lado, preocupados de cumplir sus propios planes de desarrollo, pero, sin embargo, la academia siempre ha intentado unirse y ser atendida para este desarrollo conjunto lo cual es un propósito permanente a pesar de las dificultades.

Mientras existe el peligro que el Estado legisle basado solamente en las ofertas del mercado tecnológico, la academia por su lado considera que antes de

pensar en inversiones es importante pensar en el contexto social, humano y relacional de parte de los ciudadanos que conforman el territorio rural o urbano que se quiere impactar con estas tecnologías. En una palabra, las tecnologías deben ser vistas como medios para conseguir el bienestar de los ciudadanos y no como centro de las soluciones.

Eso es entonces lo que pretende RUMBO con el grupo de Ciudades Inteligentes y como se puede observar en este capítulo, ese es el aporte de la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas – ACIS con los debates que se han mencionado.

En general el foro y publicaciones de la revista Sistemas de ACIS muestra la preocupación de centrar en el individuo los proyectos de Ciudades Inteligentes sin escatimar la presencia internacional de la cual se puede aprender, pero sin olvidar los propósitos locales.

Una de las conclusiones es la diversidad de temas que se deben contemplar dentro de lo que se ha denominado una taxonomía para Ciudades Inteligentes dentro de los cuales destacamos los tratado aquí como por ejemplo: la visión originaria de lo que es una ciudad, la definición clara del “Para qué” de las propuestas, las leyes que rigen en una sociedad, la ciencia de los datos como ayuda para captar los pensamientos de los ciudadanos que ayuden a diseñar servicios pertinente, la presencia de las multinacionales con criterio social no solamente comercial, la innovación social como motor de las reflexiones, la claridad en los aspectos que dificultan la apropiación de lo que son las Ciudades Inteligentes, la necesidad de laboratorios tecnológicos para probar las diversas plataformas, la seguridad informática y la relación de la academia con el Estado y finalmente incluir los diferentes servicios que en un primer diseño de Ciudad Inteligente se consideren útiles para la gente.

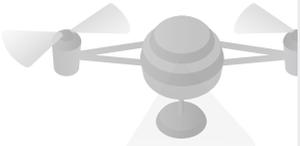
Las experiencias mencionadas en este documento se suman a los estudios del grupo de Ciudades Inteligentes de Rumbo para continuar complementando la taxonomía de Ciudades Inteligentes. El grupo ha venido trabajando de manera continuada en reuniones quincenales, ha logrado publicar y hacer ponencia en el exterior y ha participado en diversas actividades en Colombia, reuniendo

los logros de las universidades que han trabajado en temas de la Ciudad y que hayan demostrado resultados bien sea en prototipos o en aplicaciones concretas. Consistente con el manifiesto que se ha venido construyendo, se ha acercado a entidades del Estado, especialmente al ministerio de TIC que le ha confiado la revisión del documento sobre Ciudades Inteligentes para Colombia. Considera que el avance para publicar un modelo de Ciudad bajo estos paradigmas para el País está cada vez más cerca y que permita que las universidades colombianas sean consideradas como consultores válidos para contribuir y no dejar esto en manos de empresas interesadas solo en el comercio de sus tecnologías.

## Bibliografía

- ACIS. (2018). Ciudades inteligentes. Revista SISTEMAS de ACIS, 148
- IEEE. (2014, febrero). Technologies in 2022. IEEE CS 2022 Report. IEEE Computer Society, 14
- Platón (2006), La República. (José Manuel Pabón y Manuel Fernández Galiano), Madrid, España: Alianza Editorial
- Dávila. (2017). Sociedad Transformada. Bogotá Colombia. Corporación Universitaria Minuto de Dios.





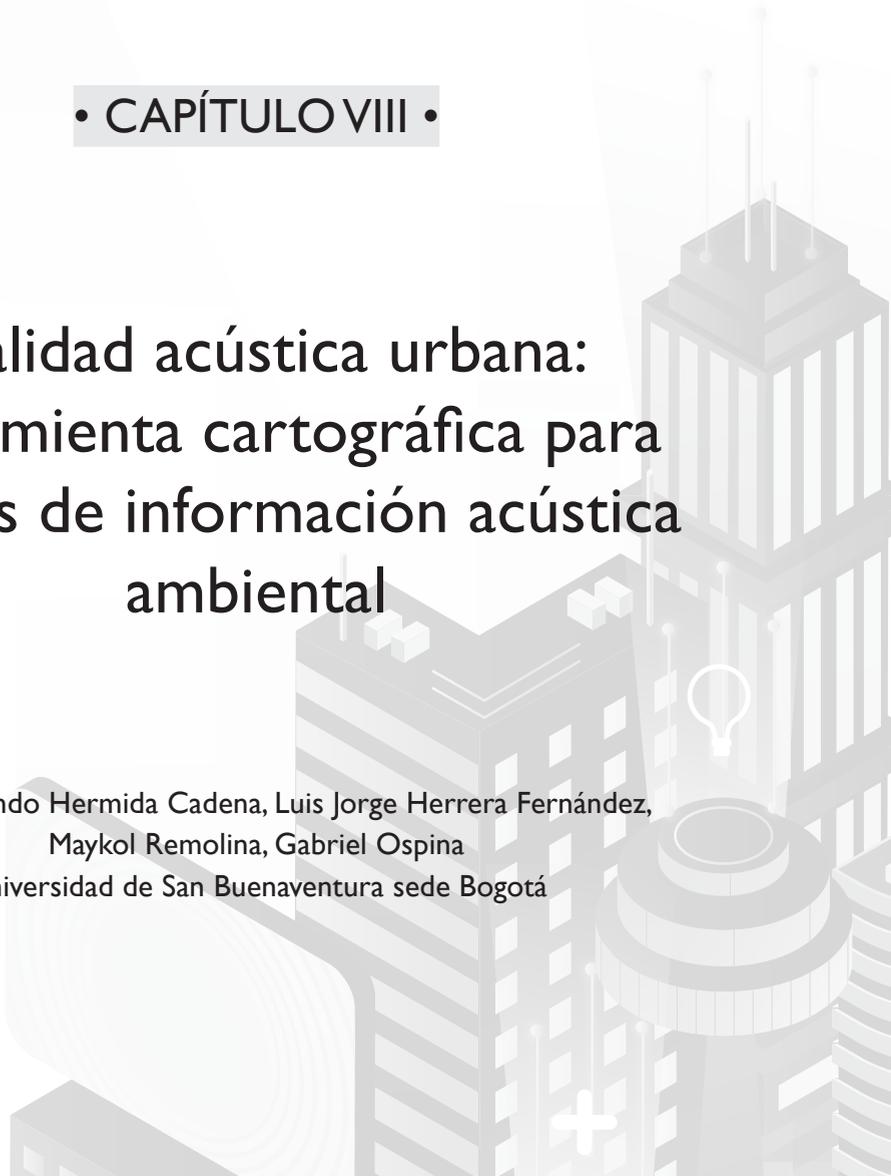
# Parte II

## Acústica Sostenible

### • CAPÍTULO VIII •

# Calidad acústica urbana: herramienta cartográfica para análisis de información acústica ambiental

Luis Fernando Hermida Cadena, Luis Jorge Herrera Fernández,  
Maykol Remolina, Gabriel Ospina  
Universidad de San Buenaventura sede Bogotá





# I Introducción

La densificación de la población mundial de personas en conglomerados urbanos es cada vez mayor. Según datos del departamento de asuntos económicos y sociales de Naciones Unidas, el 55% de la población mundial vive en centros urbanos (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2018), mientras que en América Latina y países del caribe es del 81%. Teniendo en cuenta que el mismo informe prevé que para el año 2020 estas cifras se incrementarán al 68.4% a nivel mundial (en Europa y América latina llegarán al 83.7% y 87.8% respectivamente), los problemas y desafíos relacionados con la necesidad de diseñar, planear y gestionar entornos urbanos que ofrezcan calidad de vida<sup>1</sup> a los habitantes de las ciudades son cada vez mayores.

Los procesos de densificación traen consigo un incremento de actividades y prácticas de todo tipo, lo que su a su vez genera un incremento en las emisiones acústicas en las ciudades. Considerando el peligro potencial sobre la población urbana generado por los crecientes niveles energéticos acústicos y el impacto de los mismos en la calidad de vida de las personas, la Organización Mundial de la Salud e investigadores de diferentes partes del mundo han generado diversos tipos de documentos en donde, además de advertir de los riesgos a los que se exponen los habitantes de las ciudades (perturbación del sueño,

---

1 Este documento asume el concepto de calidad de vida dado por la Organización Mundial de la Salud, donde la calidad de vida se define "en función de la manera en que el individuo percibe el lugar que ocupa en el entorno cultural y en el sistema de valores en que vive, así como en relación con sus objetivos, expectativas, criterios y preocupaciones", considerando elementos físicos, psicológicos, de grado de independencia, de relaciones sociales, del entorno y del nivel espiritual (OMS, 1996).

hipertensión arterial, efectos fisiológicos y en la salud mental), se presentan recomendaciones, guías y criterios para la medición, control y disminución de dichas emisiones (Basner & McGuire, 2018; Brown, Kang, & Gjestland, 2011; Clark & Paunovic, 2018; European Environmental Agency, 2014; Lercher, Van Kamp, Lindern, & Botteldooren, 2016; Medvedev, Shepherd, & Hautus, 2015; Van Kamp, Klæboe, Brown, & Lercher, 2016; World Health Organization (WHO), 2018)"ISBN": "0003-682X"; "ISSN": "0003682X"; "abstract": "The study of soundscapes involves diverse fields of practice, diverse approaches and diverse disciplinary interests. The field overlaps with the much larger and established field of environmental noise management, and also intersects, to various degrees, with other areas of acoustics such as sound quality, human acoustic comfort in buildings, and music - and also with non-acoustic fields such as wilderness and recreation management, urban and housing design, and landscape planning and management. Working Group 54 of ISO/TC 43/SC 1 has been formed with a remit of standardization for perceptual assessment of human sound preference (in outdoor space.

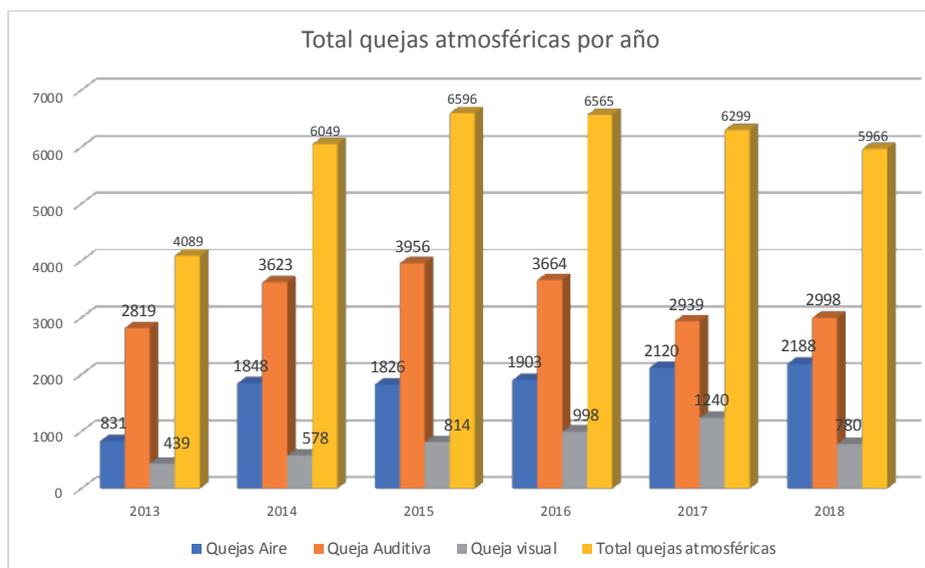


Figura 1. Total de quejas atmosféricas en la ciudad de Bogotá entre el 2013 al 2018 (datos obtenidos en bruto de la secretaría de ambiente de la ciudad de Bogotá)

Pasando al campo nacional, Naciones Unidas proyecta que para el año 2020 el 81.4% de la población colombiana viva en áreas urbanas. La ciudad de Bogotá, el principal conglomerado urbano de Colombia con cerca de 8'000.000 de habitantes en el 2017 y que representa casi la quinta parte de la población del país, no ha sido ajena a la problemática acústica ambiental. Según datos de la Secretaría de Ambiente de Bogotá, entre los años 2013 y 2018, cerca del 60% del total de quejas atmosféricas de la ciudad provenían de quejas auditivas<sup>2</sup> (ver datos Figura 1). Los datos permiten apreciar un leve decremento en las quejas en los últimos tres años, aunque en la evolución temporal se puede ver que este factor se consolidó como un elemento dominante en la molestia respecto a agentes atmosféricos expresado por las personas.

En relación con los enfoques tradicionales de control y gestión acústica ambiental, estos normalmente se centran en la caracterización del entorno acústico a partir de análisis energéticos, buscando determinar de esta forma el grado de confort o molestia de las personas generado por las emisiones acústicas. Una de las principales herramientas usadas bajo este enfoque es el mapa de ruido, que representa cartográficamente los niveles de presión sonora en el espacio. Los mapas de ruido se han consolidado como la herramienta por excelencia en los procesos de gestión acústica ambiental, siendo bastante útiles cuando la información se cruza con los mapas de sensibilidad a fin de obtener mapas de conflicto. Sin embargo, uno de sus principales problemas de esta herramienta es que solo ofrece información energética de los lugares y deja de lado aspectos perceptivos de las personas, elemento fundamental en procesos de evaluación de calidad de vida y en el emergente concepto de calidad sonora.

Respecto al concepto de calidad sonora, según Blauert este concepto se relaciona con la adecuación de un sonido en el contexto de un objetivo o una tarea específica (Blauert, 2005). Si bien ha sido un concepto tradicionalmente aplicado al diseño de automóviles (N. Otto, Amman, Eaton, & Lake, 1999; N. C. Otto, 1997), o de diferentes tipos de dispositivos, en los últimos años se ha

---

2 Datos en bruto obtenidos de la Secretaría de ambiente de Bogotá <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/seguimiento-a-quejas-y-soluciones>

tenido un acercamiento a diferentes campos de la acústica (Ottobre & Recuero, 2005). La esencia del concepto de calidad sonora radica principalmente en la necesidad de evaluar diferentes sonidos a partir de parámetros objetivos (niveles de presión sonora, tiempo de reverberación, etc.) y parámetros subjetivos (agradable, desagradable, brillante o monótono) a fin de determinar si las características sonoras se ajustan a las necesidades o usos de determinado objeto. En el campo de la acústica ambiental este acercamiento se da debido a la necesidad de redireccionar y profundizar los procesos de control y gestión acústica ambiental, a fin de diseñar y gestionar entornos acústicos urbanos que se ajusten a las necesidades, usos y prácticas de los usuarios de los espacios urbanos. Un ejemplo claro de la aplicación del enfoque de calidad sonora en la acústica ambiental se puede apreciar en la apropiación del concepto de Paisaje sonoro en los estudios ambientales. A continuación, se presenta una breve descripción de este concepto.

Después de que Schafer propusiera el término de paisaje sonoro como el ambiente sonoro de un lugar determinado (Schafer, 1977), ha sido fuerte y variada la actividad investigativa en relación al desarrollo y consolidación de este concepto y su forma de evaluación. Derivado del término inglés *landscape*, las definiciones de paisaje sonoro han incluido conceptos que van desde ambiente acústico, ambiente sónico, ambiente sonoro, pasando por el espacio aural y el ambiente de sonido (Brown et al., 2011), llegando actualmente a la definición presentada por la norma ISO 12913-1, donde se propone que el paisaje sonoro es "el ambiente acústico percibido, experimentado y/o comprendido por las personas, esto en su contexto" (International Standard Organization (ISO), 2013). Según Traux, los paisajes sonoros son un reflejo de las actividades desarrolladas en los lugares y de sus prácticas culturales, por lo que cada paisaje sonoro es único e irrepetible. En el marco conceptual propuesto por la norma ISO se puede ver con claridad el énfasis que se da a la forma en que el entorno acústico es percibido y entendido por el individuo, el grupo o la sociedad, lo que supone que el paisaje sonoro existe a través la percepción humana (Brown, 2011), haciéndose necesario para su estudio un enfoque interdisciplinar (Davies et al., 2009).

Por otra parte, si bien es cierto que el enfoque tradicional de los estudios de ambientes acústicos urbanos está relacionado principalmente con el confort y molestia frente al ruido y sus efectos en la salud, teniendo como uno de sus principales resultados el desarrollo de normas que regularan los niveles de ruido según horarios y tipos de suelos (haciendo para ello uso de indicadores de ruido como el LAEQ, el L10, el L90, el L50, el Lmax (Adams et al., 2006)), las tendencias actuales muestran la necesidad de analizar los entornos acústicos considerando a las personas, pues son ellas quienes finalmente experimentan y entienden el entorno acústico. A lo anteriormente expuesto ha de sumarse que las políticas tradicionales de control de ruido requieren cada vez de más recursos, pues a medida que se disminuyen los niveles de presión sonora, la relación costo beneficio necesaria para lograr disminuir más decibeles se hace a su vez más alta (Kang, 2007).

Es por lo anterior que el concepto de paisaje sonoro se posiciona como un elemento importante en la evaluación de entornos acústicos, pues partiendo del control de los altos niveles de emisiones acústicas, el objeto principal es la persona y su percepción del entorno. Sin embargo, este enfoque propone no solo un cambio de paradigma en los estudios de acústica ambiental, sino que a su vez trae más desafíos. Para empezar, ya no solamente se habla de confort y molestia percibida en el entorno acústico (como ha venido siendo con el enfoque tradicional), sino que se han explorado otro tipo de atributos perceptuales asociados a la experimentación de los entornos acústicos, siendo la actividad y la cantidad de eventos sonoros algunos de los atributos comunes en los diferentes modelos propuestos (ver los modelos perceptivos bidimensionales de Axelsson (Axelsson, Nilsson, & Berglund, 2010) y Cain (Cain, Jennings, & Poxon, 2013) "ISBN": "0003-682X", "ISSN": "0003682X", "abstract": "People have emotional reactions to the built environment, and the sonic environment is one of the major contributing factors of people's experiences of places. It is useful for decision makers such as planners, architects, engineers and designers to understand the link between the soundscapes of built environments, and their resultant emotional reactions within users of those environments. This understanding can allow these decision makers to make better informed decisions about built environment design, and achieve the desired positive emotional responses from users. The issue under question, and the subject of this paper;

was to understand and define the emotional dimensions of a soundscape, and then to explore how the resultant dimensional space could have a practical application in decision making. Through data generated through the Positive Soundscapes Project, a Principal Component Analysis was conducted to decompose descriptors of the urban soundscape into two independent emotional dimensions. It was found that the two independent emotional dimensions of a soundscape relate to its "Calmness" and "Vibrancy", and these could be positioned to describe a 2-Dimensional (2-D) así como los trabajos de Guillén y López Barrio (Guillén & López, 2007), Jeon (Jeon, Lee, Hong, & Cabrera, 2011), Pheasant (Pheasant, Horoshenkov, Watts, & Barrett, 2008), Kawai (Kawai, Kojima, Hirate, & Yasuoka, 2004)). Además, se hace necesaria la exploración de otro tipo de descriptores acústicos que permitan una mayor correlación entre las evaluaciones objetivas y las evaluaciones subjetivas, la construcción de metodologías que permitan evaluar aspectos objetivos y subjetivos de entornos acústicos, así como el desarrollo de herramientas cartográficas que permitan analizar toda la información objetiva y subjetiva recabada en los procesos de medición, la cual es útil en los procesos de gestión y diseño urbano.

Así mismo, se requiere desarrollar herramientas que permitan presentar a los administradores y diseñadores de entornos acústicos la información objetiva (producto de los niveles energético y/o de los demás indicadores acústicos) y de la información subjetiva (obtenida gracias a las valoraciones de las personas).

En Colombia la evaluación de ruido ambiental viene siendo realizada a partir de la resolución 0627 del año 2006 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, 2006), la cual a su vez es aplicada a partir de la gestión de las corporaciones autónomas regionales y diferentes autoridades ambientales. Esta resolución es de obligatorio cumplimiento y especifica que todas aquellas ciudades con más de 100.000 habitantes deben desarrollar mapas de ruido, los cuales deben ser renovados cada cuatro años. El espíritu de la resolución se relaciona con la necesidad de evaluar los niveles sonoros existentes, usando como una de sus herramientas los mapas de ruido. Así mismo, en el Anexo 3, capítulo III de la misma resolución, se recomienda la necesidad de realizar

encuestas a la población afectada, así como la adquisición de datos demográficos y demás información necesaria que permita un análisis más detallado. Sin embargo, no se presenta ningún tipo de recomendación o lineamientos para este tipo de actividades. En este sentido, podría decirse que, si bien la actual resolución en los últimos años ha servido para dar un paso adelante en la evaluación de la acústica ambiental en el país, la misma no ofrece herramientas para la evaluación de las experiencias ambiental de las personas en diferentes entornos acústicos, limitando las posibilidades de diseño y gestión de espacios diseñados urbanos.

Puede verse entonces que en el contexto colombiano existe la necesidad de ampliar los marcos conceptuales relacionados con el estudio de espacios acústicos urbanos. Es necesario para ello, no solo proponer y desarrollar metodologías para la evaluación de la calidad acústica urbana sino también construir herramientas que aporten de forma efectiva a la evaluación de la calidad sonora ambiental.

Este capítulo de libro recoge parte del ejercicio investigativo enfocado en procesos de evaluación de calidad sonora urbana. Específicamente el documento se centra en el desarrollo de una herramienta gráfica que ofrezca información subjetiva y objetiva potencialmente útil para la gestión y diseño urbano de entornos acústicos. El caso de estudio escogido para el desarrollo de este proyecto es el Parque el Lago de la ciudad de Bogotá (conocido también como el parque de los novios), el cual hace parte del gran complejo del Parque Simón Bolívar. Se ha centrado el trabajo en este tipo de espacios debido a la gran importancia de los parques en el cotidiano de las personas urbanas, dado que como apunta Brambilla, “los parques desempeñan un papel esencial en la promoción de la salud al proporcionar a los individuos el acceso a la naturaleza. De hecho, los parques pueden ayudar a las personas a recuperarse, al menos temporalmente, del estrés, y ofrecen oportunidades de relajación de la contaminación acústica a la que la población está expuesta en la vida cotidiana” (Brambilla, Gallo, Asdrubali, & D’Alessandro, 2013; Brambilla, Gallo, & Zambon, 2013).

## 2. Aspectos conceptuales: Descriptores acústicos, Calidad Sonora y Paisaje sonoro

### 2.1. Parámetros acústicos

Los parámetros acústicos más usados en procesos usados en proyectos relacionados con acústica ambiental son los siguientes:

**Nivel continuo equivalente (Leq):** Nivel de una señal constante que tendría la misma energía que una señal variable en exactamente el mismo periodo de tiempo. Representa la energía acústica promediada en el tiempo, y la norma ISO 1996-1 lo define como:

$$L_{Aeq T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] dB \quad (1)$$

Donde  $p_A^2(t)$  representa la presión acústica instantánea ponderada A durante el proceso de medición y  $p_0^2$  es la presión acústica de referencia (20  $\mu$ Pa) (UNE-ISO, 2005).

**Nivel de presión sonora máximo ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo (Lmax):** Según la ISO 1996-1 es el mayor nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo durante un intervalo de tiempo determinado.

**Nivel percentil:** Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y tiempo superado en el N% del periodo de tiempo considerado. Es común el uso de los percentiles 10, 50 y 90 en el estudio de acústica ambiental y laboral.

La Figura 1 presenta los diferentes descriptores energéticos usados en el campo de la acústica.

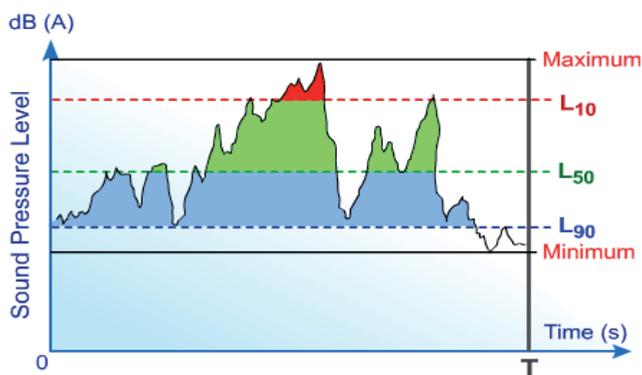


Figura 2. Descriptores acústicos energéticos. Leq, L10, L90, L50, Lmax y Lmin. Imagen obtenida de [http://www.epd.gov.hk/epd/noise\\_education/web/ENG\\_EPd\\_HTML/m2/types\\_3.html](http://www.epd.gov.hk/epd/noise_education/web/ENG_EPd_HTML/m2/types_3.html)

Así mismo, son también usados descriptores como las diferencias de percentiles L10-L90 y el rango de SPL, que representan las variaciones del nivel de presión acústica respecto a valores percentiles y a valores ponderados.

*Sonoridad:* La sonoridad de un sonido puede ser definida como una medida perceptual del efecto contenido energético del sonido en el oído. Derivado de las curvas isofónicas (o de igual sonoridad), es uno de los parámetros psicoacústicos más usados.

$$N = \int_0^{24 \text{ bandas}} N' dz \quad (2)$$

donde  $N'$  es la sonoridad específica para cada una de las 24 *z-bandas críticas* (International Standar Organization (ISO), 1975).

## 2.2. Calidad Sonora

La calidad sonora (sound quality) permite ampliar el diseño sonoro tradicional, cuyo enfoque está centrado principalmente en minimizar los niveles de ruido. Bajo el enfoque de la calidad sonora, dos sistemas con el mismo nivel de energía pueden tener calidades sonoras totalmente diferentes, por lo que el control

de ruido no funciona para todos los casos. Por ejemplo, una autopista y una fuente de agua pueden tener los mismos niveles de energía acústica, aunque en los dos casos la percepción de dichos sonidos sea totalmente diferente. A veces el sonido alto es sinónimo de potencia y en determinadas ocasiones puede ser útil. Es por esto por lo que, no solo es importante ver la cantidad de energía emitida por una fuente acústica, sino analizar también en detalle la calidad sonora del producto.

Según Lyon la calidad sonora "es una reacción perceptual al sonido de un producto que refleja las reacciones del oyente a lo aceptable que el sonido del producto es" (Lyon, 2000, 2003), mientras que Blauert apunta que la calidad sonora es la adecuación de un sonido en el contexto de un objetivo o una tarea específica (Blauert, 2005). Jenuit considera que la calidad sonora es "el grado en que la totalidad de los requerimientos individuales hechos de un evento auditivo son satisfechos". Fog y Pedersen apuntan que la calidad sonora se refiere a "adecuar el sonido a un producto. Este es evaluado en base a la totalidad de las características auditivas del sonido, con referencia a una gama de características deseables que se evidencian en la situación cognitiva y emocional del usuario". Otra forma de analizar la calidad sonora es dividir el proceso llevado a cabo durante la evaluación de la calidad sonora (naturaleza física del sonido, procesos físicos en el oído, procesos cognitivos y finalmente el método de cuantificar tal evento).

La mayoría de indicadores de calidad sonora se pueden dividir en los que cuantifican algún aspecto físico (nivel de presión sonora, contenido energético), y los que intentan cuantificar algún efecto físico que tiene lugar en el oído (sonoridad, tono, etc.). En el primer caso, se asume que una medida física particular siempre va a producir un efecto particular, mientras que en el segundo caso se asume que un efecto físico particular siempre va a generar una respuesta cognitiva particular.

En relación con la forma de evaluar la calidad sonora, existen dos procesos que deben ser desarrollados: pruebas objetivas y pruebas subjetivas. Posterior a los procesos de evaluación deben desarrollarse pruebas de correlación, para verificar si parámetros acústicos responden a las valoraciones subjetivas.

Respecto a las pruebas subjetivas, se pueden tener de varios tipos, desde el uso de personas no entrenadas hasta la aplicación de pruebas en personas expertas en la evaluación de sonidos. Los métodos más usados son: *Rank order* (orden de rango), *Response scales* (escalas de respuestas), *Paired comparison* (pares comparados), *Diferencial Semántico* y *Estimación de magnitudes*.

### **2.3. Paisaje sonoro**

Derivado del término inglés *landscape*, la norma ISO 12913-1 define al paisaje sonoro como "el ambiente acústico percibido, experimentado y/o comprendido por las personas, esto en su contexto", siendo el entorno acústico el "sonido de todas las fuentes sonoras que fueron modificadas por el ambiente" (International Standard Organization (ISO), 2013). Esto marca a su vez una diferencia entre el entorno acústico y el paisaje sonoro, pues mientras el primer término hace referencia a la interacción de fuentes sonoras con su espacio, el segundo se refiere a la percepción de dicho entorno.

Así mismo, dos conceptos importantes en el análisis de paisajes sonoros está relacionado con los sonidos fundamentales y con las marcas sonoras. Los primeros se refiere a aquellos sonidos que se encuentran presentes en el entorno acústico la mayoría del tiempo de escucha, mientras que las marcas sonoras representan a los sonidos que dan un carácter o identidad a los entornos acústicos (Schafer, 1977).

Bajo este enfoque el paisaje sonoro existe a través la percepción humana del entorno acústico de un lugar (Brown, 2011), por lo que su diseño y gestión se condiciona a aspectos únicos de cada lugar relacionados con el contexto y el posible uso (Hermida, Pavón, Soares, & Bento-Coelho, 2019) Basel, Switzerland. Design, planning, and management of the urban soundscape require various interacting fields of knowledge given the fact that it is the human person that experiences and provides meaning to the urban places and their acoustic environments. The process of environmental perception involves contextual information that conditions people's responses and outcomes through the relationship between the variables Person, Activity, and Place. This research focuses on the interaction between Person and Place and its impact on responses and

outcomes from listeners with different geographical origin and background. Laboratory studies were conducted in the cities of Lisbon (Portugal. En esta misma línea, el concepto de paisaje sonoro amplía el panorama para diseñadores acústicos pues, al considerar una serie de atributos perceptuales alternos al confort y molestia frente al ruido, no se limita a controlar altos niveles de energía por considerarlos dado que no necesariamente aquellos paisajes con mayores LAEQ son considerados los menos confortables para determinados espacios (ej. fuentes de agua en parques), o por el contrario aquellos paisajes que tenían más bajos LAEQ eran los más confortables (Hermida & Pavón, 2019; Liu, Kang, Behm, & Luo, 2014).

## **2.4. Cartografía**

La cartografía es la ciencia de la elaboración y uso de mapas. Dichos mapas pueden ser de varios tipos (informativos, artísticos, etc.) requiriéndose principalmente que cumplan dos atributos fundamentales: la posición de los elementos a representar y los atributos que se desean representar. En este sentido es posible agrupar los mapas en tres categorías principales, acorde a las funciones y usos de los mismos: Mapas topográficos (muestran elementos como carreteras, edificios, aguas, etc.), Mapas especiales (cartas marítimas o de aviación) y Mapas temáticos (que incluyen elementos como aspectos temporales, geológicos, o de vegetación).

Según Rystedt, para el diseño de mapas se requiere de un proceso iterativo, donde debe ser claramente establecido el uso y necesidades del mapa. Para ello se plantean objetivos que se desean alcanzar con la herramienta cartográfica. Posterior a esto se hace necesario que establecer los símbolos que representarán los diferentes aspectos a representar, a lo cual debe considerarse también aspectos de jerarquía visual a fin de conseguir un proceso simple y efectivo de comunicación (Rystedt, 2016).

En el campo de la acústica ambiental, el uso de las herramientas cartográficas se ha centrado principalmente en la presentación espacial de estados o situaciones acústicas (reales o pronosticadas) en función de indicadores acústicos (generalmente relacionados con la cantidad de energía existente en

determinados espacios). Estos indicadores se pueden relacionar con los niveles máximos de ruido permitidos según la legislación local, con las personas o viviendas afectadas existentes en los lugares en estudio y hasta con datos de exposición sonora, a fin de generar planes y medidas de acción y mejora en los entornos urbanos.

#### **2.4.1 Aspectos objetivos y subjetivos en herramientas cartográficas para el análisis de la calidad acústica urbana.**

Como se ha mencionado en la sección anterior, los mapas de ruido se han centrado en la presentación de datos objetivos por lo que, considerando las tendencias actuales que sugieren incluir procesos perceptuales en la evaluación de los entornos urbanos, se hace necesario incluir información subjetiva en este tipo de herramientas. A continuación, se presentan algunos trabajos desarrollados bajo este enfoque.

##### ***A field is to play. Enacting mental images of the soundscape (Patelli, 2016)***

Este es un estudio enfocado en el comportamiento de una población con respecto a los sonidos en diferentes espacios públicos, analizando la relación entre los habitantes y su entorno a través del compromiso público. Este proyecto describe la posibilidad de concebir el arte público como un proceso diseñado y localizado usándolo como base para crear relaciones íntimas entre las personas y su entorno. Según Patelli, los aspectos de paisaje sonoro e imágenes mentales son representaciones mentales individuales y colectivas del mundo geográfico a los que las personas atribuyen ciertas interpretaciones dándole al sujeto un empoderamiento dentro de cierto ambiente y respaldando la orientación geoespacial (Patelli, 2017).

El proyecto consistió en un proceso inclusivo, que involucró a los participantes durante un total de dos meses, desde las interacciones en línea a distancia, hasta el encuentro y la conversación, la colaboración y la producción. Para ello se realizó una ronda de veinte entrevistas. Las preguntas y respuestas sobre las relaciones personales con el paisaje sonoro local se grabaron y compartieron

en una plataforma en línea, puesta a disposición por los artistas. Dentro de las preguntas de los artistas se encuentra:

***”¿Qué sonidos ambientales puedes recordar, a partir de la experiencia recurrente de tus patrones de movilidad diarios o más frecuentes?”; ”¿Qué sonidos asocias con tu infancia, tu adolescencia, tu adultez?”; ¿Qué sonidos asocias con mañanas, tardes, noches, noches? ”;***

Las preguntas invitaban explícitamente a los entrevistados a dar forma a sus recuerdos y en particular a los sonidos del pasado, a percepciones que no necesariamente se pueden encontrar fácilmente en el ambiente sónico actual del valle. Se concluyó que, a través de la implementación de prácticas artísticas, los sonidos pueden activar un conjunto de valores emocionales en el entrevistado que los recuerda, y en los oyentes, a medida que animan la intimidad recuerdos. Involucró a los habitantes locales y a los actores internacionales en un proceso compartido de exploración y producción, mostrando cómo ambos pueden ser relevantes localmente y de manera más amplia. Al hacerlo, facilitó la emergencia de una mayor conciencia entre los participantes de su papel central en la construcción de un lugar; y por lo tanto de posibles futuros compartidos, alternativa a las narrativas globales genéricas.

### ***Context sensitive noise impact mapping (Klaeboe et. Al., 2006)***

En la primera parte de este documento, se deriva un indicador de exposición ajustado al entorno sonoro del vecindario, NALden. Los valores NALden están diseñados para ser utilizados como entrada a las relaciones de exposición-efecto tradicionales para mejorar las estimaciones de impacto de molestias (Klæboe, Engelién, & Steinnes, 2006). En la segunda parte del documento se desarrollan e implementan procedimientos espaciales genéricos, produciendo presentaciones de mapas en forma de áreas contiguas de calidad vecinal. La calidad de cada vecindario se determina a partir de los impactos de molestia previstos para los residentes.

Las preguntas de molestia distinguen entre la situación fuera del apartamento y dentro del apartamento. Algunos ejemplos de este tipo de pregunta son:

”¿Puedes oír el ruido del tráfico cuando estás justo afuera del apartamento? ¿Es el ruido altamente, ¿Algo o no es molesto para ti? En relación a la molestia en el interior de vivienda las preguntas fueron: ¿Oyes el ruido del tráfico (cuando) dentro de tu vivienda? En caso afirmativo: ¿Este ruido es alto, algo o no molesto para ti?

Los niveles más altos de ruido de tráfico equivalente que se encuentran cerca de una vivienda son utilizados inicialmente por Klæboe para indicar la calidad del paisaje sonoro del vecindario. La definición operativa del nivel máximo de ruido del vecindario ( $L_{neigh, max}$ ) es, por lo tanto, el valor de exposición al ruido equivalente más alto encontrado en viviendas o en áreas de pavimento dentro de una distancia fija (75 m) de un apartamento.

El apantallamiento proporcionado por edificios intermedios, o un lugar más alejado de la carretera principal implica una exposición mucho menor en la fachada más expuesta para los apartamentos B y C (60 dB), que para A (72 dB).

Las relaciones exposición-efecto para la molestia por ruido y ruido del tráfico rodado, como las derivadas, se obtienen sin control estadístico para la calidad del paisaje sonoro del vecindario. Esto significa que los grados de molestia informados se obtuvieron de residentes de diferentes barrios, algunos con entornos sonoros relativamente silenciosos y otros con ruidos acústicos relativamente ruidosos. Finalmente se propone un conjunto de procedimientos para lograr el ajuste del entorno sonoro del vecindario al  $L_{den}$  (indicador de fachada).

### ***Mapping of Soundscape (Kang et Al, 2017)***

Este trabajo presenta múltiples enfoques que permiten obtener mapas de paisajes sonoros, lo que implica considerar técnicas diferentes para la obtención de información subjetiva y objetiva. En primera medida, como herramientas de mapeo de campo sonoro, se presentan el mapeo de campo sonoro a microescala, el cual permite analizar pequeños espacios como plazas o calles específicas, el mapeo de campo sonoro de macroescalas, que permiten la presentación en 2D de áreas acústicas más amplias.

Otra técnica para el mapeo de paisajes sonoros presentado en este documento se relaciona con las percepciones humanas de fuentes en espacios específicos, información que se sobreponen con información visual (el mapa) a fin de configurar una herramienta cartográfica con información diversa (Aletta, Kang, & Axelsson, 2016). Respecto a la recolección de información, fueron entrenados oyentes de tal forma que reconocieran diferentes tipos de sonidos asegurándose por diferentes técnicas que la información recolectada por los participantes fuera confiable. De esta forma fueron estudiados diferentes paisajes sonoros (buscando que dentro de los mismos existiera gran diversidad), a diversas horas, permitiendo representar en cartografías elementos relacionados con las fuentes sonoras y los espacios en estudio.

Finalmente se consideran válidas técnicas de mapeo que incluyan información psicoacústica (con indicadores como *loudness*, *sharpness* y *roughness* en el lugar) e información relacionada con el significado del lugar (que se obtiene a partir de entrevistas y técnicas de recolección de información principalmente relacionadas con la sociología).

### ***Exploring spatial relationships among soundscape variables in urban areas: A spatial statistical modelling approach (Hong, J y Jeon, J, 2017)***

Este trabajo explora procesos de cartografía de aspectos espaciales de paisajes sonoros. Para ello recopilaban información física, acústica y perceptual de la parte norte de Seúl, Corea del Sur. Para el proceso de investigación, se dividió el área de estudio (Aproximadamente 2 en 125 mallas (imagen 1(b)) con dimensiones principalmente de 150 m x 150 m (se usaron dimensiones diferentes en caso específicos) (Hong & Jeon, 2017). La morfología en el área de estudio presentaba una variación la cual fue caracterizada en 6 sectores específicos como se muestra a continuación: Áreas residenciales, Áreas comerciales con alta densidad. Áreas comerciales con baja densidad. Distrito central de negocios. Áreas verdes y espacios públicos urbanos. Corrientes urbanas.

La percepción de fuentes sonoras y la calidad percibida del paisaje sonoro fueron evaluados utilizando una escala de intervalo de 5 pasos. Las fuentes de sonido se clasificaron como: Tráfico: Automóviles, autobuses y motos. Sonidos

Humanos: Hablar, pasos de peatones y actividad humana. Sonidos Naturales: Agua, cantos de pájaros y viento, Otros: Ruido de construcción, ruido mecánico y música.

Además de lo anterior, se pidió a los oyentes que indicaran la calidad general del paisaje sonoro de cada lugar, esto una escala de respuesta de cinco pasos. Así mismo se analizaron parámetros psicoacústicos (*loudness* y *sharpness*).

Finalmente, considerando la información recolectada, fue realizado un análisis de regresión espacial local y global, a fin determinar la autocorrelación espacial en la predicción de la calidad del paisaje sonoro, encontrando dependencia de aspectos espaciales con la calidad de paisajes sonoros.

### 3. Metodología

El desarrollo de la herramienta cartográfica que incluya aspectos objetivos y subjetivos aplicado a la evaluación de la calidad sonora urbana se realizó siguiendo tres etapas, tal cual se presenta en la Figura 3.



Figura 3. Metodología para el desarrollo de herramientas cartográficas de calidad sonora urbana.

Para la primera etapa se analizaron diferentes trabajos relacionados mapas de paisajes sonoros presentados en la sección anterior, así como los modelos de atributos perceptuales acústicos propuestos por Axelsson, Cain, Kawai y López Barrios. Así mismo se consideraron aspectos de uso, tiempo de estadía en el espacio público y frecuencia de visitas considerando que esta información es relevante pues contribuye a la formación de significado de los lugares (Her-mida et al., 2019) Basel, Switzerland. Design, planning, and management of the urban soundscape require various interacting fields of knowledge given the

fact that it is the human person that experiences and provides meaning to the urban places and their acoustic environments. The process of environmental perception involves contextual information that conditions people's responses and outcomes through the relationship between the variables Person, Activity, and Place. This research focuses on the interaction between Person and Place and its impact on responses and outcomes from listeners with different geographical origin and background. Laboratory studies were conducted in the cities of Lisbon (Portugal).

Teniendo en cuenta que una herramienta cartográfica representa gráficamente un área o espacio específico de la tierra acorde a una escala determinada, en la segunda etapa se exploraron colores, convenciones y otro tipo de herramientas que permitan representar los aspectos objetivos y subjetivos considerados en la primera etapa. Esta etapa se realizó con software especializado en este tipo de aplicaciones, que permite sobreponer diferentes tipos de información en una sola representación cartográfica.

Por último, para la tercera etapa se aplicó la metodología planteada para el desarrollo de cartografías de calidad sonora urbana en el estudio del Parque El Lago. Será usado el software de simulación acústica CadnaA en el proceso de desarrollo del mapa de ruido, para lo cual deberá hacerse un levantamiento de fuentes acústicas, conteo de vehículos y demás aspectos relacionados con el proceso de simulación. Los procesos de recolección de información objetiva y subjetiva serán realizados en tres meses.

### **3.1. Lugar en estudio**

Los parques públicos actúan como reguladores del equilibrio ambiental, garantizando el uso del espacio libre para la recreación y ocio para todos los habitantes del país (Brambilla, Gallo, Asdrubali, et al., 2013; Brambilla, Gallo, & Zambon, 2013). Al mismo tiempo, envuelve los principales elementos de la estructura ecológica, de esta forma, mejora las regulaciones ambientales del territorio urbano. En Bogotá, los parques distritales se clasifican de la siguiente forma:

Parques de escala regional: Se caracterizan por sus grandes dimensiones y altos valores ambientales para el Distrito Capital.

Parques de escala Metropolitana: El área de estos parques cubre un área mayor a 10 hectáreas destinadas al desarrollo para la recreación y con un valor fundamental en sus paisajes, la ubicación de estos parques debe abarcar todo el territorio de la ciudad.

Parques de escala zonal: Su área está alrededor de 1 a 10 hectáreas con fundamento en las actividades relacionadas con la recreación activa de grupos sociales, equipado con polideportivos, canchas, piscinas, y pistas de patinaje.

Parques de escala vecinal: Se caracterizan por tener áreas de menor tamaño, entre 1 a 3 hectáreas, destinadas a la recreación, reunión e integración de la comunidad o barrio también denominadas zonas verdes o cesiones para parques.

Parques de bolsillo: Son áreas libres con cierta similitud a los parques de escala vecinal, tienen un área menor a 1000 metros a la redonda con la función principal de la recreación de niños y personas de la tercera edad.

En este caso, el parque en estudio es el parque de los novios o Parque El Lago. Este es un parque de escala metropolitana y forma parte del complejo del parque Metropolitano Simón Bolívar, construido alrededor de un nacimiento de agua convertido en lago, que comenzó a funcionar en agosto de 1975. Ubicado en la localidad de Barrios Unidos y como punto estratégico, colinda con la avenida calle 63. Este parque abarca un área de 23 hectáreas las cuales incluyen diferentes subestructuras deportivas como campos de fútbol, un sendero peatonal con más de 1000 metros, 19 kioscos disponibles para la comunidad. Gracias al lago se pueden ejercer diferentes deportes como kayak y para la recreación botes de pedal.

En la actualidad, en el complejo se realizan diferentes eventos distritales como El Festival de Verano el cual lleva cerca de 20 años realizándose en estos lugares por su atractivo natural y su espacio.

## **3.2. Obtención de información de calidad sonora para entornos acústicos urbanos**

### **3.2.1 Caracterización acústica y simulación acústica**

Para la caracterización acústica de los lugares en estudio se consideró el parámetro acústico tradicional por excelencia: el nivel continuo equivalente (Leq). La toma de información se realizó en los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2018, realizando un total de 24 puntos de medición en diferentes puntos dentro y fuera del parque en estudio. Para la toma de datos se usaron sonómetros tipo 1, acorde a la norma ISO 1996 para la toma de datos ambientales.

Para el proceso de simulación, realizado en el software Cadna A, se tuvo en cuenta las diferentes características descriptivas de El Parque de Los Novios como: curvas de nivel, sectorización de zonas del parque, principales vías de acceso y fuentes sonoras representativas.

Para las curvas de nivel se utilizaron los softwares Google Earth y Global Mapper, ya que estos permiten la exportación de archivos .kmz (Keyhole Markup Zip), los cuales se importan desde Cadna A. Para la sectorización de zonas verdes, de parqueo, viales, de semaforización, residenciales, entre otras, se utilizaron las herramientas básicas de Cadna A para su formación. Así mismo el software, analiza las diferentes zonas que pueden llegar a ser fuentes sonoras como: avenidas principales y secundarias, zonas de semaforización, concentraciones de energía en edificaciones, entre otras.

Una vez completo el mapa descriptivo del lugar, se introdujeron los diferentes datos necesarios para la simulación como: número de autos livianos y pesados, tipo de asfalto, velocidad promedio de los automóviles, humedad, temperatura, entre otros. Estos datos se tomaron por medio de conteo de carros en rangos de tiempo de aproximadamente 15 minutos, llevando a cabo a la vez la respectiva medición de ruido ambiental y midiendo la temperatura promedio del lugar.

Se tomaron como fuentes principales la Avenida Carrera 30 y la Avenida Calle 63, las vías que presentaron un mayor flujo vehicular y las fuentes más representativas auditivamente al interior del parque. Finalizado el mapa de ruido, se procedió a realizar la respectiva simulación para cada uno de los meses estudiados.

### 3.2.2 Evaluación subjetiva

Para la prueba in situ, fueron encuestadas un total de 66 personas en los tres meses de observación. Los atributos perceptuales evaluados fueron los propuestos en el modelo bidimensional de Axelsson, tomando los ejes principales de este modelo (Agradable, Caótico, Excitante/vibrante, Uniforme (sin eventos), Calmo, Desagradable, Agitado/variado, Monótono). El tipo de prueba usado en la evaluación subjetiva es el de escala de respuesta semántica, preguntando al oyente ¿en qué extensión considera que los siguientes 8 factores describen el ambiente sonoro escuchado?"; los oyentes tenían cinco niveles de respuesta: de acuerdo completamente, de acuerdo parcialmente, ni de acuerdo ni en desacuerdo, parcialmente en desacuerdo y totalmente en desacuerdo. Para el procesamiento de datos, cada uno de estos niveles tomaron valores entre +1 a un paso de 0.5, siendo +1 concuerdo completamente y -1 totalmente en desacuerdo, y la naturalidad con la que los sujetos responden a este tipo de pruebas. Además, a los oyentes les fue consultada la frecuencia con la que visita, el motivo de esta al parque y aspectos relacionados con el grado de satisfacción de aspectos visuales y de dotación del lugar.

### 3.2.3 Evaluación objetiva

Para el diseño de la herramienta cartográfica fueron seguidos los elementos de diseño propuesto por Bengt Rystedt, considerando: 1) los objetivos del mapa, 2) los aspectos a representar, 3) los símbolos a usarse y finalmente 4) jerarquía visual y comunicación.

Respecto a los aspectos objetivos, fue realizado un mapa de ruido, el cual fue calibrado usando como referencia fuentes de ruido de tráfico rodado. La gama de colores usado corresponde a lo propuesto por la resolución 0627

del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. La presentación de diferentes capas de información objetiva y subjetiva fue en el software libre QGIS.

## 4. Resultados obtenidos

El objetivo de la herramienta cartográfica de calidad acústica urbana es “Diseñar e implementar una herramienta cartográfica que comunique aspectos objetivos y subjetivos de los entornos acústicos de parques urbanos”.

Para el diseño de la herramienta cartográfica de calidad sonora se proponen los siguientes lineamientos metodológicos:

- a. Determinar la información acústica objetiva a incluir en el mapa de calidad acústica.
- b. Determinar los aspectos subjetivos a incluir en el mapa de calidad acústica.
- c. Escoger los símbolos y formas de representación gráfica que permita comunicar los aspectos objetivos y subjetivos del entorno acústico.
- d. Ponderar la jerarquía de información en el desarrollo de la herramienta cartográfica.
- e. Implementar la información obtenida.

### **4.1. Aspectos objetivos y subjetivos necesarios para la representación cartográfica de paisajes sonoros**

Considerando las referencias presentadas en la sección 2.4.1, puede apreciarse qué aspectos energéticos, taxonómicos, de respuestas a corto plazo son algunos de los elementos más comunes en los procesos de análisis de entornos acústicos.

Por lo anterior, se considera que los aspectos a representar en la herramienta cartográfica son:

- » Tiempo de estancia en el entorno de estudio.

- » Motivo de la visita.
- » Sonido característico o que caracteriza el lugar.
- » Nivel de agrado presente en el entorno (obtenido a partir de los 8 atributos perceptuales de Axelsson).
- » Nivel de variación presente en el entorno (obtenido a partir de los 8 atributos perceptuales de Axelsson).
- » Nivel de presión sonora.

#### **4.2. Símbolos y formas de representación de la herramienta cartográfica de paisajes sonoros.**

Teniendo claro los aspectos a representar, es importante establecer los símbolos a usar en este proceso. Para ello fue realizado un estudio de las formas más comunes de representación cartográfica. La Tabla I presenta los resultados obtenidos.

De la tabla I puede apreciarse que la forma de representación visual es bastante amplia, pasando por representación con colores, anillos, puntos, etc. Por lo anterior, se decidió que para este proceso de representación se usarían los símbolos descritos en esta tabla.

Se toma como idea principal que el nivel de presión sonora sea el fondo que contraste el resto de símbolos y se presentan las variaciones de energía a partir de cambios de colores. Para ello fue ajustado mediante las mediciones realizadas en los puntos de encuestas, los datos obtenidos fueron representados mediante curvas isofónicas e importadas en QGIS con representación en tonalidades de color que varían en función de 4 decibeles (dB) desde 30 dB hasta 90dB donde el color azul representa los valores mínimos, el verde nivel intermedio y rojo niveles máximos.

El tiempo de estancia fue representado mediante simbología de reloj de arena con variación en color y asociado a la respuesta predominante en el punto de análisis.

El motivo de la visita fue representado mediante simbología asociada a cada una de las ocho opciones posibles (de paso, lectura, descanso, meditación, trabajo, contemplación, actividad física, otro), la frecuencia de las respuestas se ajustó con el tamaño del objeto representado. La mayor frecuencia en las respuestas fue meditación y contemplación respectivamente.

El sonido característico o que caracteriza el lugar fue representado mediante simbología asociada a cada una de las cinco opciones posibles (máquinas, naturaleza, sonido de tráfico, sonidos humanos), la frecuencia de las respuestas se ajustó con el tamaño del objeto representado. La mayor frecuencia en las respuestas fue sonidos naturales.

El nivel de agrado y variación presente en el lugar fue representado mediante figuras geométricas (círculos) con variaciones de color en su interior asociado a los rangos o intervalos de las respuestas (-1.0, -0.5, 0, 0.5, 1.0). La Figura 4 presenta las convenciones usadas.

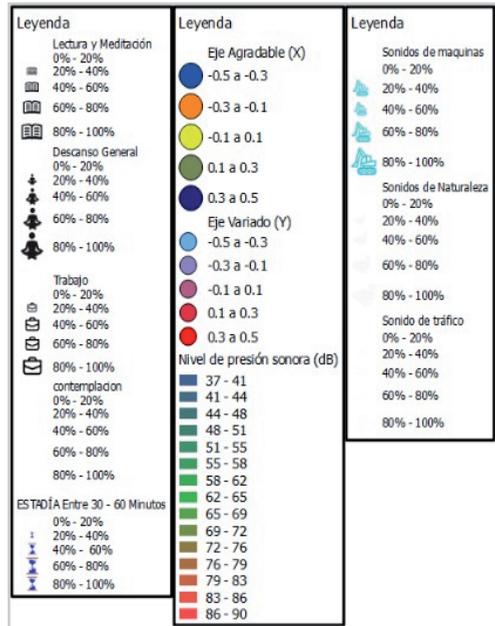


Figura 4. Cuadro de convenciones de la herramienta cartográfica.

Tabla 1. Simbología usada en procesos cartográficos.

INFORMACION ARTICULOS Y LIBROS						
ARTICULO	AUTOR	AÑO	PROPUESTA	VARIABLES	FORMA DE REPRESENTACION	OBSERVACIONES
Extended Cartographic Interfaces for Open Distributed Processing	Peter Sykora, Olaf Scnåble, Lonut Losifescu, Lonez Hurni	N/A	Forma de representar mediante modularidad la cual organiza productos y procesos complejos de manera eficiente	Carto ML	Color	STATLAS PROJECT (Análisis estadístico) Y THE ORCHESTRA PROJECT (Arquitectura para la gestión de riesgo)
					Puntos	
					Simbología	
					Áreas	
					Ancho de línea	
					Propiedades volumétricas	
				Transparencia		
				Estrellas	DiaML (fig6)	
				Gráficos de porcentajes		
				Diagramas		
				Rectángulo		
				Polígono		
Elipse						
Círculo	Cartografía primitiva en array y escaladas					
Anillo						
Sector						

INFORMACION ARTICULOS Y LIBROS						
ARTICULO	AUTOR	AÑO	PROPUESTA	VARIABLES	FORMA DE REPRESENTACIÓN	OBSERVACIONES
Smart Cartographic Functionality for Improving Data Visualization in Man Mashups	Panchaud, Nadia H, Losifescu Enescu, Lunut Humi, Lorenz	NA	Trabajo mediante 21 geoportales	Límites administrativos	Letras	El orden de las capas normalmente se presenta en el orden de selección
				infraestructura de transporte	Geografía	
				Hidrografía	Línea continua	
				Imágenes satelitales	Línea discontinua	
				Mapas de base	Puntos	
				Cobertura del suelo	Cuadros	
				Relieve	Contrastes	
				Catastro	Dispersión	
				Biodiversidad	Simbología	
				Población	Colores	
				Clima	Landuse	
				Energía	Áreas	
				Historia	Geometría	
						N/A

INFORMACION ARTICULOS Y LIBROS							
ARTICULO	AUTOR	AÑO	PROPUESTA	VARIABLES	FORMA DE REPRESENTACIÓN	OBSERVACIONES	OBSERVACIONES EXTRAS
Symbolization and Generalization to Map Water Pipe Data Flow and Water Quality at Different Scale	Anne Ruas and Ha Pham	2015	Un esquema de datos que describe la información requerida para asignar un mayor nivel de detalle.	Presión	Figura geométrica	Sistema implementado mediante mapeo web	N/A
				Cloro	Línea		
				Dirección del agua	Geometría con relleno		
				Velocidad del agua	Tonalidades		
					Círculos		
					Puntos		
	Flechas						
Métodos y técnicas de la cartografía temática	María del Consuelo Gómez	2004	Símbolos geométricos proporcionales. Símbolos de vectores o flechas.	VARIABLES VISUALES Y CUANTITATIVAS	VARIABLES VISUALES: tamaño, forma, orientación, textura o granos.	Las variables pueden describir diferentes proporciones dependiendo de su color, tamaño y figura.	N/A

INFORMACION ARTICULOS Y LIBROS							
ARTICULO	AUTOR	AÑO	PROPUESTA	VARIABLES	FORMA DE REPRESENTACION	OBSERVACIONES	OBSERVACIONES EXTRAS
La cartografía temática	Ing. Álvaro Dávila	2005	Formas de implementación; puntual, lineal, areal, zonal o polígono.	Variables visuales: cualitativas y cuantitativas	Forma, tamaño, color, calor, textura, orientación.	N/A	N/A
Conceptos cartográficos	Gobierno de España	N/A	Creación e interpretación de normas lingüísticas cartográficas y técnicas de representación.	Dimensiones, nivel de medida, distribución.	Fenómenos puntuales, lineales, superficiales, volumétricos, espacio-temporales.	Escala nominal, ordinal, cuantitativa o de intervalo. Fenómenos continuos y discretos.	N/A
Mejora de los sistemas de cartografía del territorio Colombiano	Instituto geográfico Agustín Codazzi	2007	Símbolos geométricos proporcionales. Símbolos de vectores o flechas.	Variables visuales: cualitativas y cuantitativas	Símbolo de punto, de línea, de área y de volumen.	Formas de representación de lugares geográficos. Parametrización de formas, colores y texturas.	N/A

### 3.3. Simulación del parque El Lago

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el proceso de simulación. El montaje de puntos de medición, mallas de cálculos en el software de simulación y mapa de ruido se presentan en las Figuras 5, 6 y 7. Así mismo, los resultados producto de la comparación entre los puntos de medición para calibración y los datos de simulación se presentan en las Tablas 2, 3 y 4.

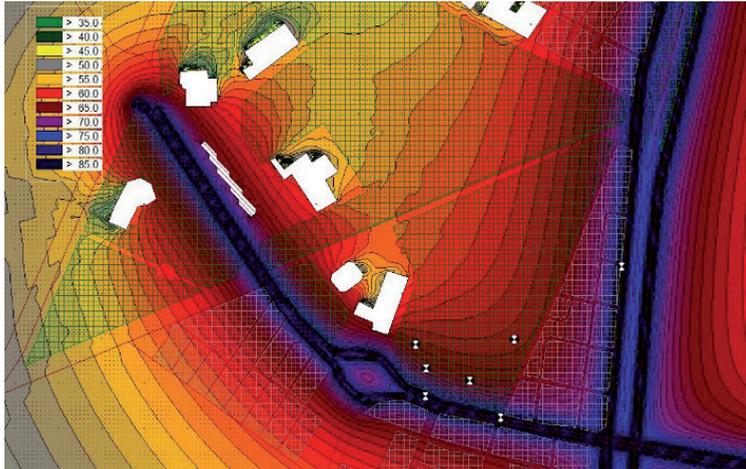


Figura 5. Mapa de ruido mes de septiembre

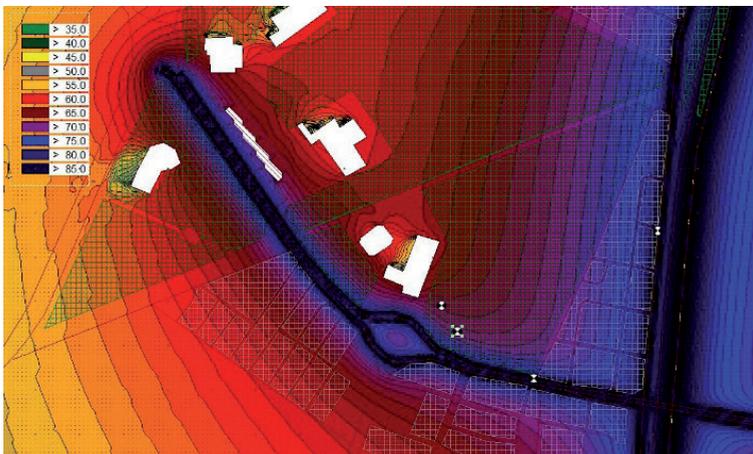


Figura 6. Mapa de ruido mes de octubre

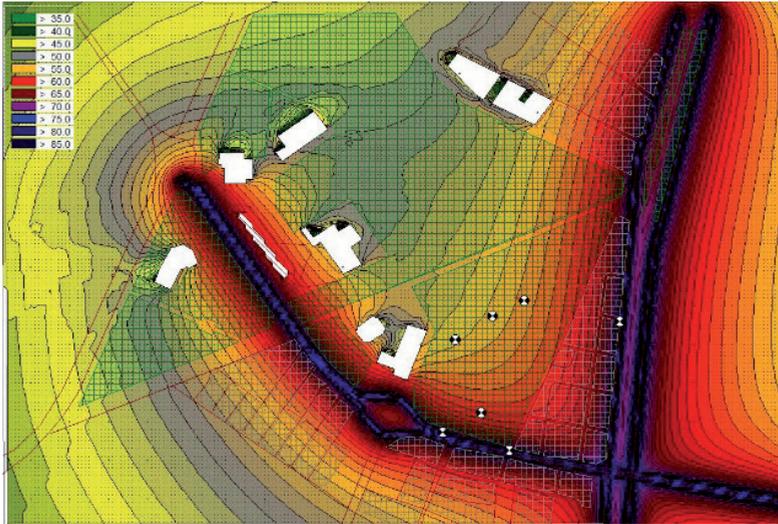


Figura 7. Mapa de ruido mes de noviembre

La Tabla 2 presenta el registro de los datos pertenecientes al mes de septiembre, se puede observar que la variación asociada a los puntos externos del parque (P1S, P2S, P3S,) para la calibración del software Cadna A presentan una variación máxima de 2.5 dB. Las variaciones presentadas en las mediciones de calibración se encuentran en un margen de error aceptable.

Tabla 2. Comparación datos septiembre: medidos vs. simulados.

Punto	Medición Leq(A)	Simulación Leq(A)	Diferencia dB(A)
P1S	87,2	84,7	2,5
P2S	83,7	82,2	1,5
P3S	84	82	2

La Tabla 3 presenta el registro de los datos pertenecientes al mes de octubre, se puede observar que la variación asociada a los puntos externos del parque (P1O y P2O) para la calibración del software Cadna A presentan una variación máxima de 1.3 dB, por lo que se encuentran dentro del rango de diferencia establecido.

Tabla 3. Comparación datos octubre: medidos vs simulados.

Punto	Medición Leq(A)	Simulación Leq(A)	Diferencia dB(A)
P1O	85,6	85,9	0,3
P2O	83,7	82,4	1,3

La Tabla 4 presenta el registro de los datos pertenecientes al mes de noviembre, se puede observar que la variación asociada a los puntos externos del parque (PIN, P2N) para la calibración del software Cadna A presentan una variación máxima de 1.3 dB.

Tabla 4. Comparación datos noviembre: medidos vs. simulados

Punto	Medición Leq(A)	Simulación Leq(A)	Diferencia dB(A)
P1N	76,5	77,1	0,6
P2N	74,3	75,6	1,3

Por lo anterior se considera que los resultados obtenidos para el proceso de simulación y caracterización objetiva son satisfactorios.

#### 4.4. Evaluación subjetiva.

La Tabla 5 presenta algunos estadísticos descriptivos relacionados con las medidas de tendencia central. Se puede apreciar que las variaciones de medias y medianas no son significativas, lo que se confirma a su vez con las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis para N muestras independientes (Tabla 6).

Tabla 5. Estadísticos descriptivos para pruebas in situ.

Atributo	Descriptor	Septiembre		Octubre		Noviembre	
		Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.
Agradable	Media	0,4667	0,08949	0,5556	0,11354	0,5278	0,14837
	Mediana	0,5		0,5		0,75	
	Varianza	0,24		0,232		0,396	
	Desv. típ.	0,49013		0,48169		0,62948	

Atributo	Descriptor	Septiembre		Octubre		Noviembre	
		Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.
Caótico	Media	-0,4167	0,08333	-0,4167	0,11611	-0,3611	0,11995
	Mediana	-0,5		-0,5		-0,5	
	Varianza	0,208		0,243		0,259	
	Desv. típ.	0,45644		0,49259		0,50891	
Excitante	Media	-0,0833	0,09909	-0,0556	0,13938	-0,0556	0,12712
	Mediana	0		0		0	
	Varianza	0,295		0,35		0,291	
	Desv. típ.	0,54272		0,59133		0,5393	
Uniforme	Media	-0,0167	0,11367	0,1111	0,15422	-0,1111	0,12495
	Mediana	0		0		0	
	Varianza	0,388		0,428		0,281	
	Desv. típ.	0,62261		0,6543		0,53014	
Calmó	Media	0,5333	0,08949	0,5833	0,12942	0,4167	0,14148
	Mediana	0,5		0,75		0,5	
	Varianza	0,24		0,301		0,36	
	Desv. típ.	0,49013		0,54906		0,60025	
Desagradable	Media	-0,4167	0,08333	-0,3056	0,11532	-0,5556	0,08938
	Mediana	-0,5		-0,5		-0,5	
	Varianza	0,208		0,239		0,144	
	Desv. típ.	0,45644		0,48926		0,3792	
Agitado	Media	-0,15	0,07638	-0,25	0,10106	-0,2778	0,12924
	Mediana	0		-0,25		-0,5	
	Varianza	0,175		0,184		0,301	
	Desv. típ.	0,41833		0,42875		0,54832	
Monótono	Media	-0,1	0,09408	-0,0278	0,1105	-0,3056	0,13491
	Mediana	0		0		0	
	Varianza	0,266		0,22		0,328	
	Desv. típ.	0,51528		0,4688		0,57238	

Tabla 6. Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (in situ)

	Agradable	Caótico	Excitante	Uniforme	Calmo	Desagradable	Agitado	Monótono
Chi-cuadrado	1,153	0,119	0,086	1,145	0,952	2,568	1,547	2,408
Grados de Libertad	2	2	2	2	2	2	2	2
Sig. asintót.	0,562	0,942	0,958	0,564	0,621	0,277	0,461	0,3

Respecto a los tiempos de permanencia de las personas en el parque en estudio según el mes de observación, la Figura 8 presenta los resultados obtenidos.

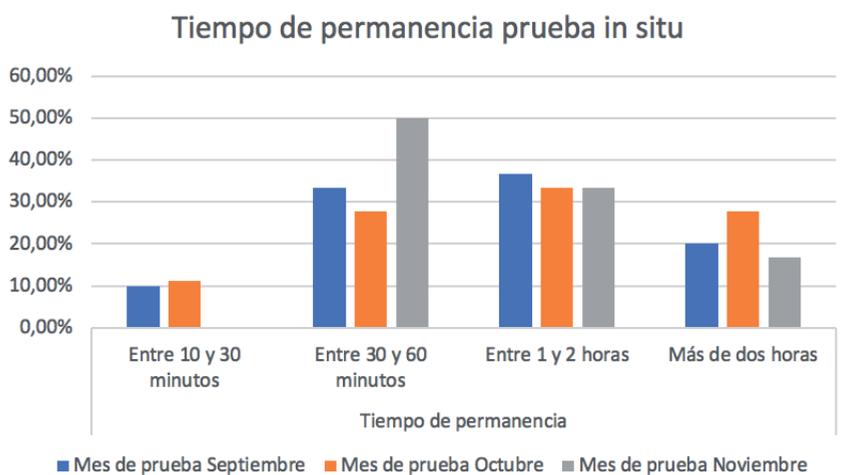


Figura 8. Comparación de tiempos de permanencia según el mes de evaluación subjetiva (prueba in situ).

La Figura anterior permite apreciar pequeñas variaciones en los tiempos de permanencia según el mes de análisis. Lo anterior fue ratificado con las pruebas de razón de verosimilitud y de Chi cuadrado presentadas en la Tabla 7, que permite apreciar que no existe asociación entre las variables de tiempo de permanencia y mes con un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

Tabla 7. Pruebas de asociación de variables según tiempo de permanencia y mes de evaluación subjetiva (prueba in situ).

Prueba estadística	Valor	g.l.	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	3,869(a)	6	0,694
Razón de verosimilitudes	5,092	6	0,532
Asociación lineal por lineal	0,004	1	0,952
N de casos válidos	66		

Respecto al uso del lugar según el mes, los resultados se presentan en la Figura 9.

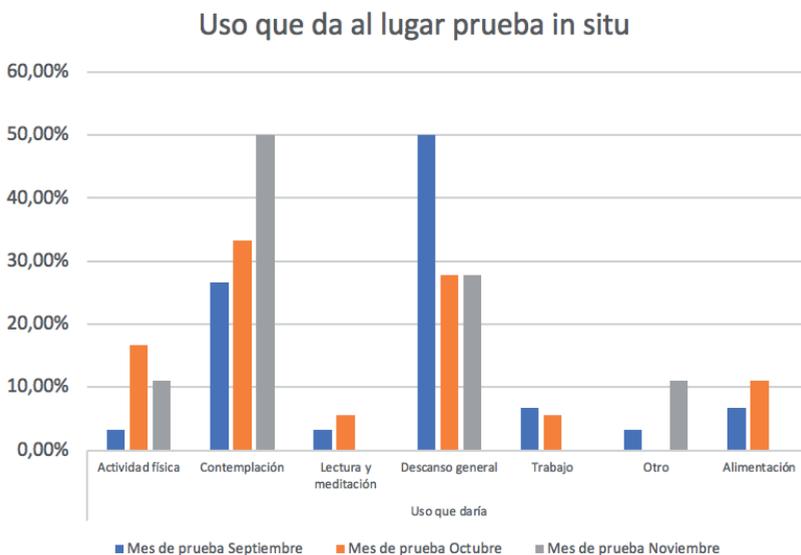


Figura 9. Comparación de uso del lugar según mes de prueba (prueba in situ).

Si bien la figura anterior muestra pequeñas variaciones respecto al uso que se da al espacio según el mes, estas variaciones no representan una asociación estadísticamente significativa entre estas dos variables. Esta conclusión se alcanza luego de aplicar las pruebas de asociación entre variables razón de verosimilitud y Chi cuadrado (Tabla 8).

Tabla 8. Pruebas de asociación de variables según uso y mes de evaluación subjetiva (prueba in situ).

	Valor	g.l.	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	12,796(a)	12	0,384
Razón de verosimilitudes	15,339	12	0,223
Asociación lineal por lineal	2,892	1	0,089
N de casos válidos	66		

- Consideraciones relacionadas con la evaluación in situ teniendo en cuenta tres meses de observación.
- No se presentan diferencias estadísticamente significativas en los atributos perceptuales según el mes de observación.
- No existe asociación estadísticamente significativa entre las variables “tiempo de permanencia” y “mes de observación”.
- No existe asociación estadísticamente significativa entre las variables “uso que da al espacio” y “mes de observación”.

#### 4.5. Diseño e impresión de la herramienta cartográfica

El diseño de impresión se realizó con la opción de diseño de impresión del software QGIS, empleando una impresión de 1100 milímetros x 770 milímetros y ajustándola al área de estudio (Parque de los Novios).

Inicialmente se añadió un mapa nuevo, se ajustaron las dimensiones de impresión en: Diseño → Tamaño de página → Personalizado y se le asignó un ancho de 1100 unidades y un alto de 770 unidades; teniendo en cuenta que las unidades se encuentran en milímetros, se ajustan las dimensiones de los símbolos a representar y se añade una nueva leyenda la cual tiene las convenciones de los datos representados. Finalmente se crean copia de los datos representados los cuales fueron situados en el punto de origen. Las convenciones se ubicaron en la parte superior e inferior izquierda como se muestra a continuación en los mapas pertenecientes al mes de septiembre, octubre, noviembre y un mapa general de todas las mediciones (Figuras 10 a 13).

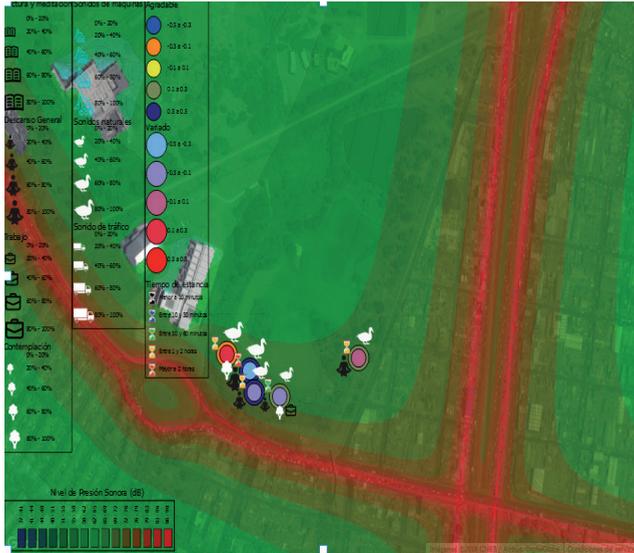


Figura 10. Representación cartográfica de septiembre.

En la Figura 10, se plasmaron los resultados pertenecientes al mes de septiembre, en la gráfica se representaron los resultados de 24 encuestas promediadas en cinco puntos georreferenciados.

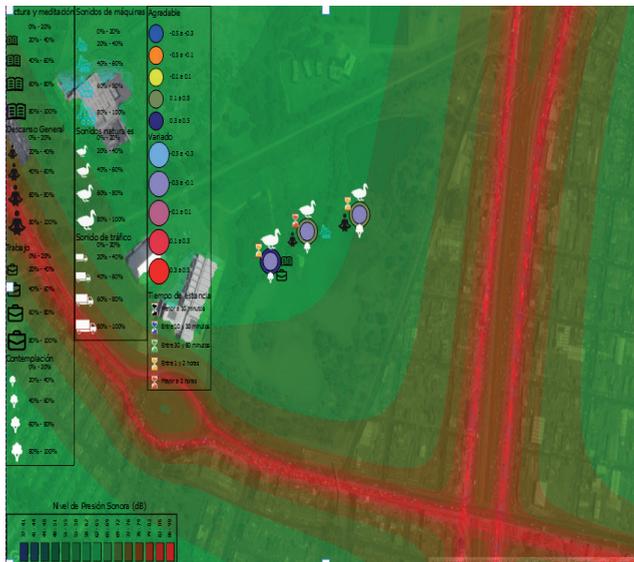


Figura 11. Representación cartográfica de octubre.



En la Figura 13, se plasmaron los resultados pertenecientes a los meses de septiembre, octubre y noviembre; en la gráfica se representaron los resultados de 60 encuestas promediadas en doce puntos georreferenciados.

## 5. Conclusiones

El enfoque de calidad sonora en el estudio de entornos acústicos permite ampliar la visión en la forma de representación de los espacios públicos urbanos. De esta forma es posible pasar de los tradicionales mapas de ruido y mapas de contorno, a Mapas de calidad acústica urbana. Este cambio representa asumir, en una herramienta tradicional (los mapas), el cambio de paradigma que implica la inclusión de aspectos subjetivos en herramientas con contenido objetivo. Es decir, implica la necesidad de encontrar formas de representación de paisajes sonoros en herramientas gráficas.

Considerando lo anteriormente dicho, debe establecerse una diferencia entre los mapas de ruido y los mapas de calidad acústica (concepto propuesto por los autores de este proyecto). Mientras los mapas de ruido representan principalmente información relacionada con la carga energética a la que se ve sometido un espacio (y que cruzada con los mapas de sensibilidad permiten obtener los mapas de conflicto), la propuesta de los autores consiste en ampliar a Mapas de calidad acústica, donde además de elementos objetivos (ej. Cantidad de energía ponderada), se presentan aspectos subjetivos como impresiones a corto plazo y decisiones a mediano y largo plazo de las personas.

Teniendo en cuenta que la información ofrecida por los mapas de calidad acústica es mucho mayor que la de los mapas de ruido, implica a su vez que las utilidades también son mayores. En este caso, para un diseñador y/o administrador urbano es potencialmente útil obtener información de respuestas y salidas de las personas en los entornos urbanos, dado que a partir de ello es posible planear mejoras, potenciar el entorno y trabajar en la necesidad de desarrollar espacios coherentes entre el entorno acústico y su uso determinado.

Respecto al uso de la herramienta cartográfica, se encontró que el lenguaje visual presenta un gran potencial, ofreciendo una diversa gama de posibilidades

a la hora de expresar diferentes tipos de información acústica. En el estudio de documentación se encontró que la cartografía ha sido usada tanto en estudios acústicos, topográficos y hasta artísticos, lo que permite afirmar la sentencia hecha anteriormente.

En relación con el desarrollo de la herramienta, se considera que el QGIS es de gran utilidad en la implementación de mapas de calidad sonora, pues además de ser un sistema que permite la georreferenciación de toda la información, también permite la sobreposición de diferentes capas de información objetiva y subjetiva. Además de lo anterior, es una herramienta de acceso libre que puede trabajar en diferentes plataformas, lo que la convierte en un sistema flexible y potente.

## 6. Bibliografía

- Adams, M., Cox, T., Moore, G., Croxford, B., Refaee, M., & Sharples, S. (2006). Sustainable soundscapes: noise policy and the urban experience. *Urban Studies*, 43(13), 2385–2398. <https://doi.org/10.1080/00420980600972504>
- Aletta, F., Kang, J., & Axelsson, Ö. (2016). Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.02.001>
- Axelsson, Ö., Nilsson, M. E., & Berglund, B. (2010). A principal components model of soundscape perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), 2836–2846. <https://doi.org/10.1121/1.3493436>
- Basner, M., & McGuire, S. (2018). WHO environmental noise guidelines for the european region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph15030519>
- Blauert, J. (2005). *Communication Acoustics*. (J. Blauert, Ed.), *Communication Acoustics*. Springer. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Brambilla, G., Gallo, V., Asdrubali, F., & D'Alessandro, F. (2013). The perceived quality of soundscape in three urban parks in Rome. *The Journal*

of the Acoustical Society of America, 134(1), 832–839. <https://doi.org/10.1121/1.4807811>

- Brambilla, G., Gallo, V., & Zambon, G. (2013). The soundscape quality in some urban parks in Milan, Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(6), 2348–2369. <https://doi.org/10.3390/ijerph10062348>
- Brown, A. L. (2011). Advancing the concepts of soundscape and soundscape planning. In *Proceedings of ACOUSTICS 2011* (pp. 10–14). Gold Coast.
- Brown, A. L., Kang, J., & Gjestland, T. (2011). Towards standardization in soundscape preference assessment. *Applied Acoustics*, 72(6), 387–392. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.01.001>
- Cain, R., Jennings, P., & Poxon, J. (2013). The development and application of the emotional dimensions of a soundscape. *Applied Acoustics*, 74(2), 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.11.006>
- Clark, C., & Paunovic, K. (2018). Who environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and quality of life, wellbeing and mental health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph15112400>
- Davies, W. J., Adams, M. D., Bruce, N. S., Marselle, M., Cain, R., Jennings, P. A., ... Plack, C. J. (2009). The Positive Soundscape Project: A synthesis of results from many disciplines. In *38th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2009, INTER-NOISE 2009* (Vol. 1, pp. 663–672). Ottawa. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84870040778&partnerID=tZOtx3y1>
- European Environmental Agency. (2014). *Good practice guide on quiet areas*. Luxembourg: European Environmental Agency. <https://doi.org/10.2800/12611>
- Guillén, J., & López, I. (2007). Importance of personal, attitudinal and contextual variables in the assessment of pleasantness of the urban sound environment. In *19th International Congress on Acoustics ICA* (pp. 1–6). Madrid.

- Hermida, L., & Pavón, I. (2019). Spatial aspects in urban soundscapes: Binaural parameters application in the study of soundscapes from Bogotá-Colombia and Brasília-Brazil. *Applied Acoustics*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.10.011>
- Hermida, L., Pavón, I., Soares, A. C. L., & Bento-Coelho, J. L. (2019). On the person-place interaction and its relationship with the responses/outcomes of listeners of urban soundscape (Compared cases of Lisbon and Bogotá): Contextual and semiotic aspects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph16040551>
- Hong, J.Y., & Jeon, J.Y. (2017). Exploring spatial relationships among soundscape variables in urban areas: A spatial statistical modelling approach. *Landscape and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.08.006>
- International Standar Organization (ISO). (1975). ISO 532B Method for calculating loudness level.
- International Standar Organization (ISO). (2013). 12913-1 Acoustics — Soundscape — Part 1 : Definition and conceptual framework. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jeon, J.Y., Lee, P.J., Hong, J.Y., & Cabrera, D. (2011). Non-auditory factors affecting urban soundscape evaluation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(6), 3761–3770. <https://doi.org/10.1121/1.3652902>
- Kang, J. (2007). *Urban sound environment*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Kawai, K., Kojima, T., Hirate, K., & Yasuoka, M. (2004). Personal evaluation structure of environmental sounds: Experiments of subjective evaluation using subjects' own terms. *Journal of Sound and Vibration*, 277(3), 523–533. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2004.03.013>
- Klæboe, R., Engelién, E., & Steinnes, M. (2006). Context sensitive noise impact mapping. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2005.12.002>
- Lercher, P., Van Kamp, I., Lindern, E. Von, & Botteldooren, D. (2016). Perceived Soundscapes and Health-Related Quality of Life, Context, Restoration,

- and Personal Characteristics. In J. Kang & B. Schulte-Fortkamp (Eds.), *In Soundscape and the Built Environment* (pp. 133–160). CRC Press.
- Liu, J., Kang, J., Behm, H., & Luo, T. (2014). Effects of landscape on soundscape perception: Soundwalks in city parks. *Landscape and Urban Planning*, 123, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.003>
- Lyon, R. H. (2000). *Designing for Product Sound Quality*. CRC Press.
- Lyon, R. H. (2003). Product sound quality: From perception to design. *Sound and Vibration*, 108(5), 2471. <https://doi.org/10.1121/1.4743110>
- Medvedev, O., Shepherd, D., & Hautus, M. J. (2015). The restorative potential of soundscapes: A physiological investigation. *Applied Acoustics*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.03.004>
- OMS. (1996). La gente y la salud. *Foro Mundial de La Salud*, 17, 385–387. Retrieved from [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/55264/WHF\\_1996\\_17\\_n4\\_p385-387\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0A](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/55264/WHF_1996_17_n4_p385-387_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0A)  
[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/55264/1/WHF\\_1996\\_17\\_n4\\_p385-387\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/55264/1/WHF_1996_17_n4_p385-387_spa.pdf)
- Otto, N., Amman, S., Eaton, C., & Lake, S. (1999). Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds. SAE Technical Paper Series (Vol. April). <https://doi.org/1999-01-1822>
- Otto, N., Amman, S., Eaton, C., & Lake, S. (2001). Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds. *Sound and Vibration*, April(April), 1–14. <https://doi.org/1999-01-1822>
- Otto, N. C. (1997). Listening test methods for automotive sound quality. In *Audio engineering Society*. New York: Audio engineering Society.
- Ottobre, D., & Recuero, M. (2005). Propuesta de encuestas para la determinación de la calidad acústica de teatros y salas de concierto. In *Inter-Noise 2005*. Rio de Janeiro.
- Patelli, P. (2017). A field is to play. Enacting mental images of the soundscape. *Emotion, Space and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.emospa.2016.11.002>
- Pheasant, R., Horoshenkov, K., Watts, G., & Barrett, B. (2008). The acoustic and visual factors influencing the construction of tranquil space in ur-

- ban and rural environments tranquil spaces-quiet places? *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(3), 1446–1457. <https://doi.org/10.1121/1.2831735>
- Rystedt, B. (2016). Cartografía. In F. Ormeling & B. Rystedt (Eds.), *El mundo de los mapas* (pp. 1–7). International Cartographic Association.
- Schafer, R. M. (1977). *The Tuning of the World. First Soundscapes*. Random House. <https://doi.org/10.2307/3345272>
- Territorial, M. de ambiente vivienda y desarrollo. (2006). Resolución 0627.
- UNE-ISO. (2005). UNE-ISO 1996-1 Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, P. D. (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Online Edition*. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2007.03.023>
- Van Kamp, I., Klaeboe, R., Brown, A. L., & Lercher, P. (2016). Soundscapes, Human Restoration and Quality of life. In J. Kang & B. Schulte-Fortkamp (Eds.), *Soundscape and the Built Environment* (pp. 43–68). CRC Press.
- World Health Organization (WHO). (2018). *Environmental Noise guidelines for the European Region*. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080873>.





• CAPÍTULO IX •

# Absorción acústica de fibras de caña de azúcar de origen natural que se producen en Colombia con aplicaciones en la construcción

Darío Alfonso Páez Soto, Luis Jorge Herrera Fernández,  
Marcelo Herrera Martínez  
Universidad de San Buenaventura sede Bogotá





# I. Introducción

En 1992, en la ciudad de Río de Janeiro (Brasil), las Naciones Unidas se reunieron para definir los planteamientos de lo que es conocido actualmente como “Desarrollo Sostenible y Sustentable”. Con la ejecución de estos principios se busca mantener un equilibrio del ecosistema global, en términos de preservación ecológica, aprovechamiento de recursos, así como la disminución de fenómenos y realidades nefastas como el hambre, la enfermedad y la pobreza.

Dentro del área de “Acústica”, esta Agenda, conocida como Agenda 21, definida por la comisión de Brundtland, define específicamente:

1. Disminuir los niveles de ruido - Los niveles de ruido que induzcan impedimento auditivo son inaceptables.
2. El ruido que deteriore la calidad de vida, causando perturbaciones en el sueño, interferencia en la palabra, y/o molestia severa es inaceptable.
3. El ruido que interfiera con la comunicación del habla, con el aprendizaje y con la enseñanza es inaceptable.

A parte de la problemática del ruido, la comisión de Brundtland también define como precepto básico:

El desarrollo sostenible también incluye tecnología con un mínimo de consumo de energía y de material, primariamente construcciones de poco peso hechas de material reciclable en edificios, máquinas y vehículos.

Además de esto el desarrollo del proyecto busca contribuir al desarrollo de la industria en el país, tanto a nivel tecnológico como a nivel social, mediante la creación de sistemas propios especializados de acústica, que sean capaces de competir con el mercado actual tanto en calidad como en innovación en aspectos funcionales y tecnológicos.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Sistemas de acondicionamiento acústico

Los sistemas de acondicionamiento acústico son descritos de manera completa por (Trevor J. Cox, 2004). Los absorbentes acústicos y difusores acústicos se encuentran dentro de esta denominación. Son diseñados para la adecuación y acondicionamiento de salas de estudio, salas de conferencias, salas de ensayo, teatros, cámaras anecoicas y en general cualquier lugar que requiera de tratamiento acústico. Este tratamiento acústico se realiza para adecuar los niveles de reverberación y reflexiones tempranas de la sala, así como para homogenizar el campo sonoro.

### 2.2. Sistemas de aislamiento acústico

Los sistemas pasivos de aislamiento acústico son descritos de manera completa en el libro *Industrial Noise Control and Acoustics* de Randall F. Barron (Barroun, 2003). El aislamiento acústico generalmente puede ser conseguido a través de paneles, particiones, barreras acústicas, silenciadores y cajas acústicas, dependiendo de la aplicación concreta. El aislamiento acústico se realiza para mitigar la transmisión sonora en salas adyacentes, la transmisión sonora por ruido de las estructuras, ruido aéreo y minimizar la diferencia entre los niveles de presión sonora entre el exterior y el interior de un edificio o lugar en general.

### 2.3. Construcción sostenible

La construcción es una de las actividades que mayor importancia tiene para la sociedad moderna, puesto que esta impulsa la economía de las poblaciones, por su alto consumo tanto de energía en términos de materiales, como

también en mano de obra que se traduce en generación de empleos, por lo tanto, el impacto que tiene sobre el medio es alto. El crecimiento acelerado de las ciudades alrededor del mundo demanda grandes cantidades de materiales para mantener el ritmo de su crecimiento, sumado a estos también están los recursos naturales de origen renovable y no renovable que se requieren para mantener dichas ciudades, entre estos se pueden nombrar los recursos hídricos, la energía eléctrica, los combustibles fósiles, la alimentación y demás servicios involucrados en la acción de habitar un espacio, lo anterior tiene un impacto sobre el medio ambiente porque desde hace más de una década, estos recursos se están agotando a mayor velocidad.

Para abordar el tema de la construcción sostenible, y por ende los materiales utilizados en esta, es necesario tener en cuenta la definición de Desarrollo Sostenible y su importancia como un mecanismo para el desarrollo a largo plazo.

### **2.3.1. Ventajas de la construcción sostenible**

Según el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, este tipo de construcción se centra en mejorar las prácticas durante el ciclo de vida de las edificaciones lo cual incluye su diseño, construcción y funcionamiento, aportando así a la minimización del impacto que tiene el sector sobre el medio ambiente, por el alto consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos.

Otra de las definiciones propuestas es: "La Construcción sostenible, que debería ser la construcción del futuro, se puede definir como aquella que, con especial respeto y compromiso con el Medio Ambiente, implica el uso sostenible de la energía. Cabe destacar la importancia del estudio de la aplicación de las energías renovables en la construcción de los edificios, así como una especial atención al impacto ambiental que ocasiona la aplicación de determinados materiales de construcción y la minimización del consumo de energía que implica la utilización de los edificios", según (Gestion, 2006).

Según datos de Camacol, la construcción en el país ha tenido un incremento considerable en la cantidad de viviendas construidas pasando de 13 millones

de anuales a 30 millones de  $m^2$ , lo que quiere decir que la construcción de vivienda ha pasado 95.000 a 230.000 unidades familiares por año, en el período de 2008 hasta 2015. Por otra parte el valor anual de la producción del sector es de 50 billones de pesos, en cuanto a los insumos la demanda asciende a 25 billones, con una ocupación de 1.3 millones de trabajadores. Estas son cifras que lo ubican como el sector con mayor crecimiento en la actualidad y del cual se esperan transformaciones en su modo de producción y las soluciones que ofrece al mercado colombiano. Una de las iniciativas es la aprobación de la nueva reglamentación de Construcción Sostenible en el cual se establecen los parámetros y lineamientos técnicos relacionados con el uso eficiente de los recursos de agua y energía en nuevas edificaciones y que es de aplicación obligatoria tanto para vivienda prioritaria como comercial a partir del año 2016.

Su objetivo principal es reducir el consumo de agua y energía en un 45%, incorporando parámetros de sostenibilidad ambiental en el diseño y construcción de las nuevas edificaciones proyectadas para el país, de igual manera esta acción va tener incidencia en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a mitigar el impacto negativo del cambio climático y construyendo ciudades con características sostenibles.

Las entidades participantes en la construcción de este reglamento fueron, el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, la Corporación Financiera Internacional (IFC) del Grupo Banco Mundial apoyada por la Embajada de Suiza, a través de la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos de Suiza (SECO) y la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), posicionando a Colombia como el primer país de Latinoamérica en definir una reglamentación clara direccionada hacia el Desarrollo Sostenible.

Teniendo en cuenta lo anterior, el sector de la construcción está en un proceso de transformación hacia un sistema sostenible que lo convierta en una alternativa viable en el largo plazo, esto por medio de la utilización racional y planificada de los recursos que emplea. En este sentido, el uso de materiales alternativos de origen natural es una realidad, aunque no esté aún masificada; por tanto en la actualidad hay que señalar los gastos

energéticos de extracción, procesamiento, transporte, implementación y generación de residuos sin tratamientos posteriores que tienen los materiales convencionales como el cemento, concreto, acero, aluminio y los materiales de origen petroquímico.

Algunos de los impactos provenientes del consumo en el entorno edificado y actividades humanas relacionadas que tienen mayor relevancia según (Diputación de Barcelona - Fundación Internacional para Iberoamérica de Administración de Políticas Públicas, 2016) son:

- Agua potable, 20%
- Madera cultivada, 25%
- Energía, 30 % y 40%
- Materias primas, 40 % y 50 %
- Consumo de electricidad, 72%
- El consumo de energía durante la construcción y su posterior mantenimiento a largo plazo, genera altos consumos energéticos en las edificaciones, esto es causado por una deficiente calefacción y aislamiento que no le permiten emplear la energía de manera efectiva, teniendo en cuenta que estos consumen aproximadamente el 70 % del total de la energía.
- El impacto sobre el uso de la tierra en determinadas regiones.
- El uso de combustibles fósiles, empleados en la red de transporte necesaria para su emplazamiento y desarrollo.
- Emisiones de gases de efecto invernadero durante el proceso de extracción, procesamiento y generación de residuos.

Según datos de la Comisión Europea, los edificios son responsables del 36% de las emisiones totales de carbono a la atmósfera, un material como el concreto de uso intensivo en infraestructura y vivienda aunque tiene unas características que lo hacen muy versátiles, requiere para su fabricación agregados que son materias primas no renovables que representan el 70% del total del material resultante, en cuanto a sus emisiones para obtener una tonelada de cemento, se libera una tonelada de a la atmósfera.

La extracción de estas materias primas se hace en minas a cielo abierto, con las consecuencias que esto tiene sobre los ecosistemas, ya que altera de manera irremediable la vida que estos albergan y erosionan los terrenos hasta dejarlos completamente estériles.

La extracción de agregados para el concreto en canteras tiene también repercusiones sobre el aire ya que los gases y material particulado producto de esta actividad quedan suspendidos en el aire y este lo transporta a otros lugares, particularmente en las canteras ubicadas cerca a zonas residenciales se presentan afecta no sólo a sus habitantes, sino también animales y cultivos.

En el caso de los minerales extraídos para la elaboración de aluminio, acero o cobre, su impacto primordial está dado por la explotación intensivas de los yacimientos de bauxita, hierro y cobre, con las emisiones generadas a la atmósfera por su procesamiento a través de electrólisis, fundición, piro-metalurgia y demás procesos asociados.

Otros de las actividades de la construcción que generan consumos de energía e impactos sobre el medio son las demoliciones allí se generan residuos como restos de concreto, restos de ladrillo, material cerámico, restos de tuberías plásticas y piezas de madera.

### 2.3.2. Parámetros y requerimientos de la construcción sostenible

Dentro de los requerimientos básicos que debe cumplir un material de construcción para ser considerado sostenible se incluyen:

- Disponibilidad en el sitio de emplazamiento.
- Baja energía incorporada durante su extracción.
- Baja transferencia de calor e inercia térmica.
- Potencial de reutilización o reciclaje al final de su ciclo de uso.
- Costo asequible a la comunidad.

Al respecto, el Consejo Colombiano de Construcción sostenible aporta los siguientes parámetros para considerar una edificación sostenible:

1. Gestión de ciclo de vida, tanto de los materiales como de las edificaciones y componentes empleados.
2. Mayor calidad de la relación de la edificación con el entorno y el desarrollo urbano.
3. Uso eficiente y racional de la energía y recursos hídricos.
4. Conservación, ahorro y reutilización de los recursos hídricos.
5. Utilización de recursos reciclables y renovables en la construcción y operación, reduciendo así emisiones y residuos.
6. Selección de insumos y materiales derivados de procesos de extracción y producción limpia.
7. Mayor eficiencia en las técnicas de construcción.
8. Creación de un ambiente saludable y no tóxico en las edificaciones.

### 2.3.3. Construcción bioclimática

La construcción bioclimática es aquella que emplea técnicas, materiales y criterios que están alineados con el cuidado del medio ambiente, y que poseen unas características de adaptabilidad a los cambios climáticos del lugar en el cual se desarrolla, con lo cual se logra la minimización en el consumo de no recursos renovables y energía.

Por otra parte “se inclina por un acondicionamiento climático al interior de las edificaciones, con el menor uso posible de equipos mecánicos para la calefacción o refrigeración según las condiciones específicas de la zona”.

Dentro de esta categoría de construcción se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Uso eficiente de la luz natural y eléctrica, teniendo en cuenta las condiciones de confort lumínico y visual.
- Temperatura y humedad relativa de la zona.
- Rango de confort acústico.

- Empleo de materiales y energías alternativas.
- Automatización y tecnologías de información.
- Calidad ambiental del espacio público.

Para efectos del desarrollo de este proyecto de investigación, el tema del confort acústico es primordial ya que se proponen mejorar las condiciones relacionadas con éste en las edificaciones, a través del desarrollo de un material de origen natural que ofrezca una solución adecuada y sostenible.

## **2.4. Confort acústico y percepción del usuario**

---

El confort acústico hace referencia a las sensaciones auditivas, básicamente en dos aspectos que son:

1. Cuantitativos: en lo referente a los niveles sonoros adecuados.
2. Calidad sonora: en lo referente a timbre, reverberación y enmascaramiento.

En cuanto al grado de confort acústico, éste depende de los parámetros ambientales relacionados con el ruido como el nivel sonoro, Intensidad sonora medida en decibeles, tono o timbre y altura o frecuencia en Hertz (Hz= ciclos/ segundo).

Por otro lado, se tiene en cuenta la arquitectura en lo concerniente al contacto auditivo y el tiempo de permanencia y demás factores personales asociados a la salud, edad, sexo, ocupación y tipo de trabajo.

Este es importante ya que un nivel excesivo de ruido puede afectar la salud física y mental de las personas que habitan un espacio y por otro lado interfiere en el desarrollo normal de las actividades diarias en el hogar, trabajo o sitio de estudio, según la OMS un sonido que está en el rango de 30 a 35 dBSPL dificulta la comunicación, superior a 50 dBSPL se considera un ruido molesto y en un rango entre 95 y 100 dBSPL puede ocasionar lesiones que comprometen la salud.

Como se señala en los parámetros de construcción sostenible, el tema del confort acústico está directamente relacionado con el bienestar de los usuarios de las edificaciones y con su percepción de las mismas durante en el tiempo que interactúan con sus elementos mientras lo habitan, por tanto garantizar la sostenibilidad de los materiales empleados en las soluciones de aislamiento acústico, así como su calidad y cero toxicidad, es un aporte encaminado no sólo en mitigar los efectos del cambio climático sino también de mejorar las condiciones de habitabilidad de las edificaciones de una manera integral.

Una de las estrategias para lograr un buen confort acústico es controlar de manera eficiente el exceso de sonido desde dos frentes: la absorción del sonido y el aislamiento, ambos influyen directamente en las características del medio elástico a través del cual viaja el sonido y en los materiales en los cuales chocará esta onda elástica.

## **2.5 Absorción acústica y fibras naturales**

El uso de materiales de origen natural o materiales verdes es una de las tendencias mundiales, en las cuales se percibe un mayor potencial de aplicación en diferentes sectores productivos, como es el caso de las aplicaciones acústicas en el sector de la construcción.

Una de estas aplicaciones relaciona la capacidad de atenuar la energía acústica incidente en un material, este fenómeno de disipación de la energía que se produce por pérdida de calor o a través del movimiento es una característica que puede ser medida y cuantificada para cualquier tipo de material, y ser relacionado con un valor porcentual de pérdida de energía llamado coeficiente de absorción.

La absorción acústica es una parte fundamental en el diseño, construcción y posterior uso de una edificación por tanto su implementación debe garantizar que se cumplan los niveles mínimos de aislamiento, actualmente los materiales más usados con el fin de atenuar la energía acústica están compuesto a base de fibras sintéticas, donde las fibras a base de vidrio ocupan un 27%, las fibras a base de rocas un 30%, los derivados plásticos un 40% y otros materiales un 3%.

Por otro lado, dentro del conjunto de fibras naturales (Tabla 1), con un potencial de aplicación en aislamiento acústico, se encuentran: fibras de coco, kenaf, arenga pinata (palma), carrizo, posidonia, hojas de té, y fibras de bambú (Asdrubali, 2006), (Herrera & Páez, 2018).

Tabla 1. Coeficientes de absorción de fibras naturales bajo prueba

Coeficiente Absorción del Sonido de distintas fibras naturales								
Materiales								
Frecuencia (Hz)	Fibras de coco 40mm	Fibras de Kenaf 40 mm	Fibras de Arenga Pinata 40 mm	Fibras de Carrizo 50 mm	Fibras de Posidonia 40 mm	Fibras de Te 30 mm	Fibras de Bambú 50 mm	Fibra de Vidrio 50 mm
125	0,01	0,18	0,1	0,1	0,1	0,03	0,08	0,08
250	0,0125	0,25	0,15	0,28	0,18	0,05	0,22	0,18
500	0,1	0,31	0,18	0,6	0,2	0,12	0,58	0,49
1000	0,4	0,8	0,22	1	0,45	0,18	0,96	0,85
2000	0,6	0,9	0,8	0,75	0,7	0,38	0,94	0,95
4000	0,6	0,9	0,7	0,65	0,9	0,6	0,92	0,92
8000	0,55	0,7	0,85	0,55	0,85	0,7	0,9	0,9

### 2.5.1 Coeficientes de absorción

El sonido es descrito como una perturbación de un medio elástico producida por una fuente, como lo sería la voz, un aplauso, el paso de un carro u otro. Si esta perturbación es percibida por el sistema auditivo se puede catalogar y relacionar como algo agradable o no, el poder controlar esta perturbación de este medio elástico, que en la mayoría de casos es el aire y que genera esa información a en nuestro cerebro de manera eficiente para que resulte ser agradable lo relacionamos con el concepto del confort acústico.

Si una onda sonora viaja a través del aire y choca con un material cualquiera que este sea, ocurrirán una serie de fenómenos físicos que llevará a que la onda incidente sobre este material cambie sus características debido al paso por dicho material.

Uno de estos fenómenos es el que llamamos absorción de sonido el cual consiste en la disipación de la energía sonora que atraviesa el material, esta disipación de la energía puede darse por la transformación en energía calorífica o energía mecánica.

## **2.6. Aprovechamiento de biomasa residual**

La Biomasa residual, es aquella materia orgánica resultante de los diferentes procesos artesanales o industriales de transformación, que posee un alto potencial para ser usada como una fuente de energía.

Esta biomasa se clasifica en tres tipos según su origen:

- Residuos Forestales
- R. Industrias Forestales
- R. Agrícolas y Agroalimentarias
- R. Biodegradables
- R. Cultivos energéticos y Biocarburantes

Según la (FAO, 2014) el 57% de los bosques denominados primarios, están ubicados en América Latina y el Caribe, lo que les confiere una importancia estratégica en cuanto a la biodiversidad y conservación en el mundo.

En cuanto a los productos forestales para el continente americano se muestran de la siguiente manera, según la FAO, la producción de madera aserrada en la región es del 42% anual, siendo Estados Unidos, seguido por Canadá y Brasil los principales productores del continente americano.

En lo referente a la producción de residuos, el mayor porcentaje de la producción mundial lo tiene Europa con un 39%, seguido del continente americano con el 26% con Estados Unidos como principal productor seguido de Brasil; Asia produce el 31%, Oceanía el 2.0% y África con el 0.64%. Estos datos demuestran que en lo que respecta a productos forestales el continente americano tiene una participación relevante en la producción mundial, que indica que un aprovechamiento de los residuos que produce es una necesidad del

sector y podría aumentar su eficiencia en el manejo del recurso dentro de su cadena productiva a largo plazo.

## **2.7. Bioenergía**

La producción de bioenergía en el mundo para 2015, según FAOSTAT, es de un 74.3 % del total de la producción de energía renovable, para el caso del continente americano este porcentaje alcanzó un 58.3 %. En los países industrializados un alto porcentaje de la biomasa es convertida en electricidad y calefacción en plantas industriales, a diferencia del uso que tiene en países en desarrollo donde en su mayoría es quemada en los hogares para cocinar y en calefacción, aproximadamente entre 2 y 3 millones de personas en países en desarrollo emplean la biomasa como fuente principal de energía en sus hogares.

### **2.7.1 Biomasa como insumo en materiales**

El gran potencial que tiene la biomasa residual ha sido enfocado en otros sectores diferentes al energético, a través del desarrollo de nuevos materiales y productos, dentro de los cuales se encuentran:

Paneles termo acústicos y bloques que integran residuos de madera (virutas, aserrín), corcho, celulosa y fibras naturales como la fibra de coco, bambú (guadua), entre otros, con aglutinantes naturales o diversos materiales cerámicos, cemento, arcilla y fibras sintéticas para aplicaciones en el sector de la construcción. Adicionalmente se desarrollan tableros de partículas, empaques y embalajes, mobiliario, papel y cartón, entre otros.

Dentro de las ventajas que ofrecen los productos desarrollados a partir de biomasa están la reducción en las emisiones de  $CO_2$ , el cierre del ciclo de vida de las materias primas extraídas, la producción limpia, ya que parte de los residuos se emplean como energía dentro del proceso productivo y una gestión sostenible de cultivos industriales. La investigación en torno a este tipo de materiales obtenidos o compuestos por algún tipo de biomasa reviste importancia en la medida que se genera un uso sostenible de los recursos naturales renovables en todas las fases de su vida útil.

## 2.8. Aprovechamiento de la caña de azúcar

En Colombia se produce al año cerca de 20 toneladas de las cuales en el proceso industrial genera un 30% de bagazo; de este porcentaje, cerca del 15 % es usado para la producción de papel y el restante es usado por los ingenios para el proceso de cogeneración de energía.

## 3 Motivación del trabajo y justificación

Al llevar a cabo la respectiva revisión del estado del arte, se comprobó que se han realizado varios estudios referentes a la búsqueda de nuevos materiales que ofrezcan un comportamiento óptimo para absorción acústica cumpliendo con la demanda actual para el control de ruido y acondicionamiento acústico, que a la vez presenten propiedades que favorezcan el cuidado del medio ambiente y limiten la contaminación. De acuerdo con el artículo ***Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials***, actualmente se están realizando investigaciones en este campo, con el fin de producir materiales acústicos basados en recursos renovables como alternativa viable a los materiales convencionales los cuales por ser sintéticos contribuyen a la generación de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, por lo tanto en los avances que se encuentran hasta el momento se incluyen el uso de fibras naturales, polímeros de base biológica, materiales reciclados, metales porosos, nuevos compuestos y materiales inteligentes (Arenas, Jorge Crocker, 2010)

Lo anterior es posible evidenciarlo en estudios como el expuesto en el artículo ***Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico*** (Del Rey, Alba, Ramis, & Sanchís, 2011), en el que plantearon una lana de poliéster alternativa obtenida de un ciclo de reciclado de botellas de plástico, la cual luego de pasar por el respectivo método de medición del coeficiente de absorción a incidencia normal, se encontró apta para reemplazar la lana de poliéster común.

Por otra parte, también se propuso implementar las espumas de aluminio como material potencial para distintas industrias dadas sus propiedades me-

cánicas, térmicas y acústicas. De acuerdo con los experimentos que realizaron variando el espesor y combinando este elemento con lana mineral y cámara de aire, pudieron concluir que estas espumas pueden ser usadas como paneles absorbentes (Navacerrada, Díaz, Pedrero, & García, 2008).

Sin embargo, en la incursión de nuevos materiales, los elementos que han cogido más fuerza son las fibras naturales, especialmente en el campo de la acústica arquitectónica ya que por sus propiedades físicas son apropiadas para las necesidades que se presentan en este campo además cumplen con los requerimientos ambientales actuales. Lo mencionado anteriormente está respaldado por la variedad de estudios del coeficiente de absorción acústica en diferentes fibras naturales los cuales emplean distintos métodos de medición y cálculo.

Entre las investigaciones más relevantes se encuentra la medición del rendimiento acústico de la fibra de coco, en la que se experimentó con distintas posibilidades como la de revestimiento perforado y múltiples capas construidas con esta materia prima. Este desarrollo experimental estuvo compuesto de un método numérico basado en un estudio donde se calcula este tipo de comportamiento en materiales certificados actualmente, por lo tanto se pudo conocer que su rendimiento está entre media y alta frecuencia (Ramis, Rey, Alba, Godinho, & Carbajo, 2014).

Otra fibra vegetal desconocida en la industria de materiales es la Posidonia Oceánica, planta marina que presenta característica fibrosa y porosa, ésta fue utilizada para la medición de su coeficiente de absorción, disponiendo de 3 muestras que varían su espesor. La medición se realizó bajo la norma ISO 10534 por medio de los dos métodos que se estipulan y se encontró que los valores de los coeficientes de absorción de la posidonia en relación a los de la fibra natural de coco son similares y en comparación con la lana de roca también ya que presenta un incremento considerable en frecuencias bajas del coeficiente de absorción, el cual después en frecuencias medias y altas se estabiliza (Valencia, Rafael, & Lara, n.d.)

También es importante mencionar el estudio de Nuevos Materiales Absorbentes Acústicos basados en fibra de Kenaf, en el que se realizó un estudio semi-empírico para la obtención del coeficiente de absorción acústica, con base en lo planteado por Garai-Pompoli y obteniendo los datos experimentales del coeficiente de absorción a incidencia normal siguiendo los requerimientos de la Norma ISO 10534 para 12 muestras de fibra de Kenaf en las que se variaba el espesor, la densidad y la resistencia al flujo con el fin de validar asertivamente el comportamiento del material; cabe aclarar que la obtención del resto de parámetros utilizados en dicho estudio se realizó con los requerimientos de otras normas acústicas y otros planteamientos. Completada la investigación, los autores concluyeron que la fibra de Kenaf es un material absorbente acústico poroso dado su coeficiente de absorción y su resistencia al flujo (Ramis, Alba, Del Rey, Escuder, & Sanchís, 2010).

Entre otras fibras vegetales viables para su uso en tratamiento acústico se encuentra la fibra de bambú, para la cual también se ha desarrollado la medición de su coeficiente de absorción, en el proceso se obtuvo lana de bambú y se mezcló con un aglutinante para una compactación eficaz, el espesor y la densidad de las muestras empleadas fue considerado de acuerdo con la comparación de los mismos parámetros de la lana de vidrio. El análisis de los resultados arrojó que la densidad de la fibra de bambú debe ser mayor que la de la lana de vidrio para que presenten un comportamiento similar, lo cual significa que la fibra de bambú como material absorbente es eficaz (Tsujuchi, Koizumi, Ohshima, & Kitagawa, n.d.). Igualmente, es posible encontrar estudios como el del hormigón de cañamo, el cual presenta una porosidad multi-escala, propiedad que lo convierte en un absorbente acústico potencial (Glé, Gourdon, & Arnaud, 2011).

En este contexto los residuos naturales se vuelven componentes idóneos para creación de nuevos materiales, este es el caso del análisis realizado en residuos de hojas de té, a partir de la comparación con el poliéster; se obtuvo una buena respuesta de la absorción acústica de este residuo adicionando una capa de tejido de algodón (Ersoy & Küçük, 2009).

En otros casos, se encuentran varios elementos que generan residuos naturales, los cuales pueden ser usados para crear materiales con propiedades acústicas y mecánicas óptimas, como la fibra de guadua o la fibra de caña de azúcar; la última extraída del residuo llamado bagazo que queda del proceso agroindustrial que se realiza a la caña de azúcar.

Lo anterior indica que la fibra de caña de azúcar, es una fibra natural que también puede ser usada para la composición de un nuevo material que funcione como absorción acústica. Se encontró un estudio previo, en el que se mide el coeficiente de absorción acústica en muestras mezcladas con dos tipos de aglutinante realizada con base en el Método de la función de transferencia estipulado en la norma ISO 10534-2:2002. Las muestras empleadas presentan dos variables importantes en cuanto al peso (1 g y 3 g), la densidad varía a medida que se introduce aglutinante y el espesor se mantiene en  $\frac{1}{2}$  pulgada. Con estos parámetros concluyeron en la investigación que entre más densa es la muestra, se tiene como resultado mayor absorción, es decir que el aglutinante en este caso completa el valor de densidad necesario. De igual manera se encontró que el rendimiento acústico de la fibra caña de azúcar con un espesor de  $\frac{1}{2}$  pulgada se acerca al de un material absorbente comercial con un coeficiente promedio de 0,65 en el rango de frecuencias de 1.2 a 4.5 kHz, este estudio se encuentra en el artículo *“Utilizing sugarcane wasted fibers as a sustainable acoustic absorber”*(Putra et al., 2013).

Es de gran importancia resaltar que el procedimiento realizado en la mayoría de artículos y trabajos de grado encontrados durante la recolección de información, indica que la caracterización de la absorción acústica de las fibras mencionadas se llevó a cabo por medio de la medición del coeficiente de absorción acústica en incidencia normal con base en la Norma ISO 10534.

En los tratamientos acústicos actuales comúnmente se hace uso de materiales sintéticos derivados de petróleo y otros componentes que generan contaminación dado su proceso de construcción, a la vez están carentes de propiedades renovables y biodegradables y presentan elevados costos, es por esta razón que los elementos ecológicos sostenibles están teniendo gran aceptación como alternativa para disminuir la contaminación ambiental. Lo anterior se puede evidenciar en los distintos estudios de caracterización acústica en fibras naturales mencionadas anteriormente, realizados con la finalidad de dar solución a este problema y a la vez responder a las necesidades y requerimientos concernientes al acondicionamiento acústico.

Por lo tanto, se propone el uso de la fibra de caña de azúcar, puesto que es un recurso natural biodegradable extraído del bagazo de caña de azúcar el cual está compuesto por un 50% de fibra, adicional a esto y de acuerdo con el reporte anual de Asocaña (Sector azucarero colombiano), en Colombia el cultivo de caña de azúcar se lleva a cabo durante todo el año y ocupa aproximadamente 232.072 hectáreas en las que se producen más de 5 millones de toneladas de bagazo el cual es empleado para producir papel y energía limpia y renovable. A partir de esto, es importante mencionar que este elemento por considerarse desecho agroindustrial tiene bajo costo y se hace necesario su aprovechamiento y reutilización. Por otro lado, el proceso industrial que se debe realizar al bagazo para obtener la fibra de caña de azúcar es sencillo y rápido, así como su manipulación.

Por lo anterior, el presente proyecto tiene como fin determinar los coeficientes de absorción acústica de la fibra de caña de azúcar sin aglutinantes, con el objetivo de proponer la implementación de dicho elemento para la construcción de materiales absorbentes, aportando desde la Ingeniería de Sonido a la disminución de la contaminación ambiental generada por la producción y el uso de los absorbentes acústicos empleados actualmente y de igual forma contribuyendo a la creación de nuevas soluciones para acondicionamiento acústico.

## 4. Metodología

Se plantean pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades de absorción acústica en función del espesor de la muestra, estas se evaluarán a través de método de medición de incidencia directa mediante el tubo de impedancia regido bajo la norma ISO 10534-2. La fibra implementada para realizar las pruebas, se obtuvo de material de desecho que resulta de un proceso mecánico para la industria de alimentos. Se construyen 12 muestras de 4" de espesor y ½" de espesor, y se evalúan de manera individual y apiladas para verificar su comportamiento según la variación del espesor.

### 4.1. Obtención de la fibra de la caña de azúcar

En esta fase se adquiere el bagazo de caña de azúcar, que en este caso hace referencia al residuo resultante de un trapiche pequeño en el cual extraen el jugo de la caña para su venta informal, el cual se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1.** Bagazo de caña de azúcar obtenido de un trapiche

Para que esta materia prima sea apta para extracción de fibra, se le debe realizar un desmedulado en suspensión (o mojado), el cual consiste en lavar el bagazo con agua de grifo para extraer la mayor parte de los componentes no fibrosos, en la Figura 2 se puede observar esta operación.



**Figura 2a.** Desmedulado en suspensión del bagazo de caña de azúcar. **2b.** Secado al sol del bagazo de caña resultante

Por consiguiente, es indispensable secar al sol el bagazo resultante del paso anterior durante un tiempo de 3 días, ya que para realizarle posteriormente un tratamiento químico y de acuerdo con la tesis mencionada es necesario que esté completamente seco, dicho tiempo se determinó a partir de la experimentación llevada a cabo comprobando que en ese tiempo el material se secaba totalmente. En la Figura 2b se muestra el bagazo resultante durante el respectivo secado al sol.

#### 4.1.1 Extracción de la caña de azúcar

Para extraer fibra de caña de azúcar se debe intervenir el bagazo por medio de un tratamiento alcalino, sumergiéndolo en una solución de hidróxido de sodio durante 5 días (30 g de bagazo en 500 ml de hidróxido de sodio al 30%) con el fin de remover la lignina. El tiempo mencionado se estipuló de acuerdo con la tesis de referencia y la experimentación realizada puesto que al comprobar diariamente a partir de los dos días de sumergida en la solución si se encontraba lista, se iba verificando su estado y se pudo observar que a los 5 días el bagazo estaba listo para continuar con el proceso, sin embargo se evaluó hasta un tiempo de 7 días sin presentar ningún cambio significativo lo que llevó a determinar el tiempo apto de 5 días para el tratamiento alcalino. Lo anterior se puede evidenciar en la Figura 3.



**Figura 3.** Bagazo de caña de azúcar sumergido en hidróxido de sodio

A continuación, se tamiza el material resultante y se procede a extraer la fibra haciendo uso de un cepillo de cerdas metálicas, posteriormente se lava, en primer lugar, con agua caliente y luego con agua del grifo hasta extraer el hidróxido de sodio. En la Figura 4 se evidencia la fibra resultante sumergida en agua de grifo.



**Figura 4.** Fibra de caña de azúcar en agua

Por último, se tamiza el material obtenido para extraer la mayor cantidad de agua dejándolo secar en su totalidad para tener finalmente fibra de caña de azúcar; resultado que se puede observar en la Figura 5.



**Figura 5.** *Fibra de caña de azúcar seca*

## **4.2. Obtención de las muestras de ensayo**

Una vez el material está totalmente seco, se realiza la separación de la fibra a partir de la masa que debe contener cada muestra, por lo cual se pesan 20 g para cada una, haciendo uso de una balanza.

Después de separada la fibra se procede a consolidar cada muestra por medio de un procedimiento mecánico, en el que se comprimen de a 2 muestras de fibra dentro de un tubo de acero de diámetro de 4 pulgadas y 4 prensas las cuales se ajustaron para ejercer una presión constante de 27 psi durante 1 día como se muestra en la Figura 6, cabe aclarar que este parámetro se midió haciendo uso de un émbolo, en este caso se empleó una jeringa, una manguera y un manómetro. Tanto la presión como el tiempo y la masa se establecieron a partir del resultado de pruebas previas realizadas al material que permitieron obtener el determinado espesor y rigidez deseados, ya que en primer lugar se realizaron muestras con una masa de 10 g y se comprimieron con el método ya descrito, pero con 4 muestras dentro del tubo y una presión de 24 psi constante durante 1 día. De lo anterior se obtuvo muestras con espesores entre 3 mm y 5 mm y una densidad que hace difícil la manipulación de la muestra. Por lo tanto, se aumentó la masa y la presión a 27 psi por cada dos muestras, sin embargo, se realizó un ensayo con un tiempo de 10 horas de compresión que resultó en una muestra más robusta pero que de igual manera se desarmaba con facilidad por lo que se aumentó el tiempo de compresión a 24 horas que finalmente generó las muestras empleadas en

la medición, ya que su manipulación fue apta para el proceso de medición al que se debía someter:



**Figura 6.** Compresión de la fibra de caña de azúcar para obtención de muestras.

Al retirar las muestras del sistema de compresión, se procede a pesar y medir cada una de éstas para verificar la masa (20 g) como se observa en la Figura 7 y el espesor como se muestra en la Figura 8.



**Figura 7.** Muestra de 20gr de fibra de caña de azúcar.



**Figura 8.** Espesor de la muestra de fibra de caña de azúcar No. 7.

Una vez se tienen los valores de masa y espesor de todas las muestras se determina la densidad.

A continuación, en la Tabla 2 se exponen los resultados obtenidos correspondientes a la masa, el espesor y la densidad de las muestras.

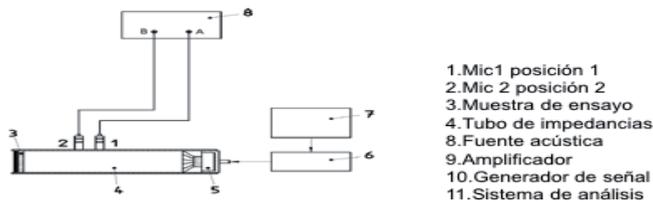
MUESTRA	MASA (g)	ESPESOR (mm)	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
1	20	10,5	0,02
2	20	12	0,02
3	20	10,5	0,02
4	20	11	0,02
5	20	11	0,02
6	20	12	0,02
7	20	10,5	0,02
8	20	11	0,02
9	21	12	0,02
10	20	10,5	0,02
11	21	12	0,02
12	20	10,5	0,02
<b>MEDIA</b>	<b>20,2</b>	<b>11,1</b>	<b>0,02</b>
<b>VARIANZA</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0</b>
<b>DESVIACIÓN</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0</b>

**Tabla 2.** Valores correspondientes al peso y al espesor de cada muestra

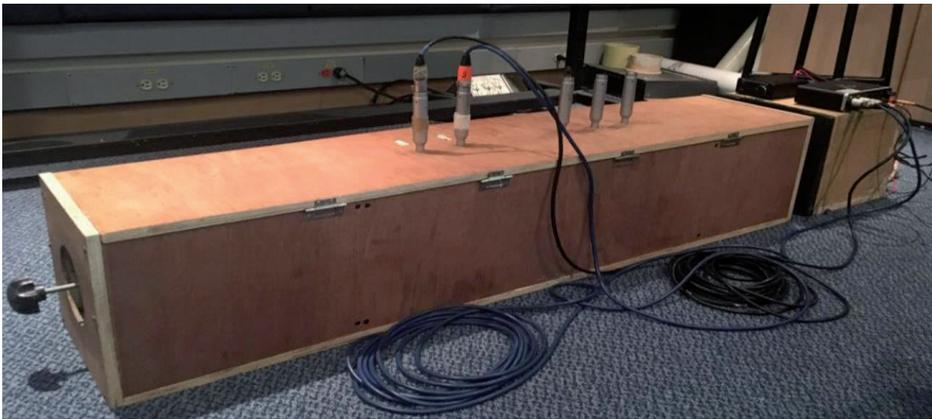
### 4.3. Medición y obtención de los coeficientes de absorción

La medición de los coeficientes de absorción de las muestras de fibra de caña de azúcar se llevó a cabo en el estudio de Sonido en Vivo de la Universidad de San Buenaventura y se realizó haciendo uso de un algoritmo en LABVIEW por medio del cual se automatizaron los parámetros establecidos por la Norma ISO 10534-2:2002.

En primer lugar, se procede a conectar el equipo de ensayo como se indica en la norma y demuestra en la Figura 9 y como se realizó en la Figura 10.



**Figura 9.** Ejemplo de disposición del equipo de ensayo. Recuperado de norma ISO 10534- 2:2002



**Figura 10.** Disposición de la instrumentación de ensayo. (1) Micrófono en posición 1, (2) Micrófono en posición 2, (3) Muestra de ensayo, (4) Tubo de impedancias, (5) Fuente acústica, (6) Amplificador.

Una vez lista la conexión del equipo de medición se pone en funcionamiento el altavoz durante 10 minutos con el fin de estabilizar la temperatura dentro del tubo.

El montaje de las muestras de ensayo se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la norma, las cuales se adaptaron adecuadamente al tubo.

#### 4.4. Procedimiento de ensayo

##### 4.4.1. Determinación de los parámetros iniciales

Para iniciar la medición es necesario ingresar los parámetros iniciales los cuales están determinados por las condiciones medioambientales en el momento de realizar la medición, así como las características física del tubo de medición así:

- Temperatura en el interior del tubo (T).
- Distancia entre la muestra y la posición de micrófono 1.
- Distancia entre la muestra y la posición de micrófono 2.
- Distancia entre micrófonos (s).

Simultáneamente el software calcula la velocidad del sonido ( $c$ ) y la densidad del aire ( $\rho$ ). Igualmente se debe realizar la calibración de los micrófonos haciendo uso de un pistófono y la opción calibrar. Por último, se guardan los datos en un archivo para ser analizados posteriormente. En la Tabla 3 se encuentran reflejados dichos valores.

DATOS DEL TUBO Y CALIBRACIÓN DE MICRÓFONOS							
PARÁMETRO	S					FC Mic1	FC Mic2
VALOR	0,068	0,21	0,142	343,288	1,2	0,0256	0,0368

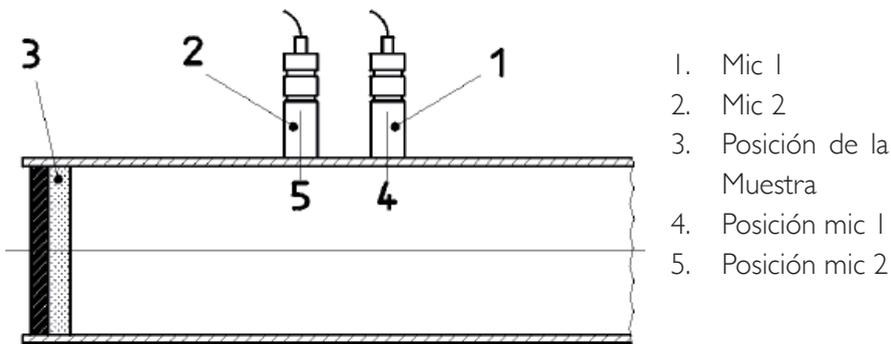
**Tabla 5.** Datos arrojados por el software de medición, correspondientes a parámetros del tubo y factor de calibración de los micrófonos

Previamente a la selección de la amplitud de la señal, se mide dentro del tubo el ruido de fondo captado por los micrófonos, Posterior a esto, se calibra la señal del altavoz, verificando que la amplitud de las frecuencias de trabajo este al menos 10 dBSPL por encima del ruido de fondo.

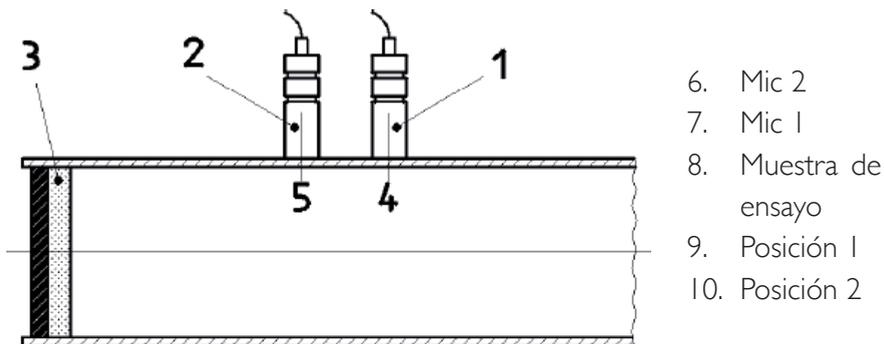
## 4.5. Medición de las muestras

Al iniciar la medición se debe elegir una de las opciones que contiene el software para la señal a generar la cual se ha estipulado previamente para 3 promediados con una duración de 2 segundos cada uno. En este caso se elige la opción de Sine Sweep ya que excita solo una frecuencia a la vez.

El desarrollo de la medición se realizó con la técnica I estipulada en la Norma ya mencionada, usando dos micrófonos en posiciones fijas por lo que se debe realizar una corrección por desajuste de micrófonos. Esta corrección se efectuó de acuerdo con el factor de calibración predeterminado, por consiguiente, se realizó en primer lugar la medición de la función de transferencia en una muestra de referencia para dos configuraciones de micrófonos como se expone en las Figuras 11 y 12:



**Figura 11.** Configuración estándar (configuración I). Recuperado de norma ISO 10534-2:2002.



**Figura 12.** Configuración con los micrófonos intercambiados (configuración II). Recuperado de norma ISO 10534-2:2002

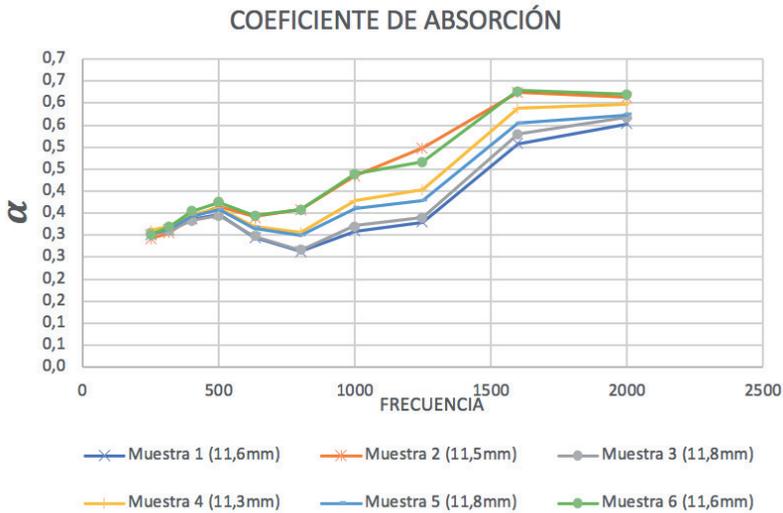
El material de la muestra de referencia es Acustifibra y a partir del procedimiento mencionado anteriormente se obtiene un factor de calibración el cual es empleado en el cálculo de la función de transferencia de la señal de los dos micrófonos. Después de medir en ambas configuraciones se posicionan nuevamente los micrófonos en la configuración I y se coloca cada muestra de ensayo (fibra de caña de azúcar) en el portamuestras para realizar la respectiva medición, la cual se desarrolla de la siguiente manera con el fin de obtener mayor precisión en los resultados.

Los valores de absorción ( $\alpha$ ) obtenidos en las 12 muestras, así como el promedio, la varianza y la desviación obtenidos en la medición se muestran en la Tabla 6 así:

**Tabla 6.** Valores correspondientes al coeficiente de absorción para cada muestra de ensayo

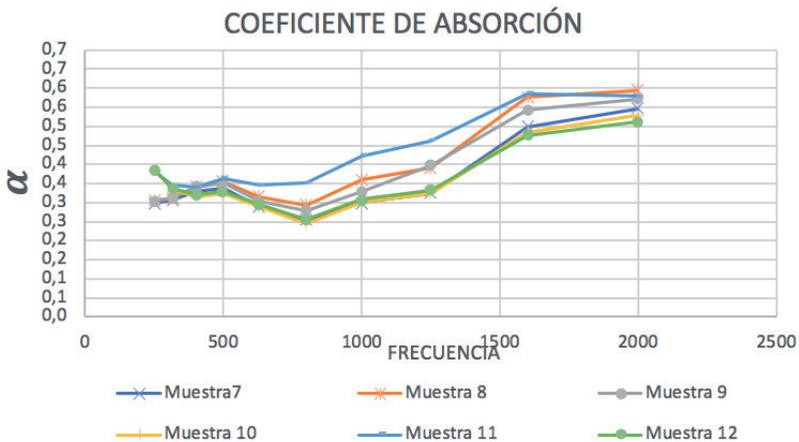
M	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN [Hz]									
	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6
2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6
4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6
5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6
6	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5
8	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6
9	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
10	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5
11	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
12	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5
$\mu$	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
$\sigma^2$	<b>0,001</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>
$\sigma$	<b>0,036</b>	<b>0,012</b>	<b>0,010</b>	<b>0,015</b>	<b>0,020</b>	<b>0,040</b>	<b>0,051</b>	<b>0,059</b>	<b>0,050</b>	<b>0,031</b>

En la Figura 13 se puede observar el comportamiento de las muestras (muestra 1 hasta muestra 6).



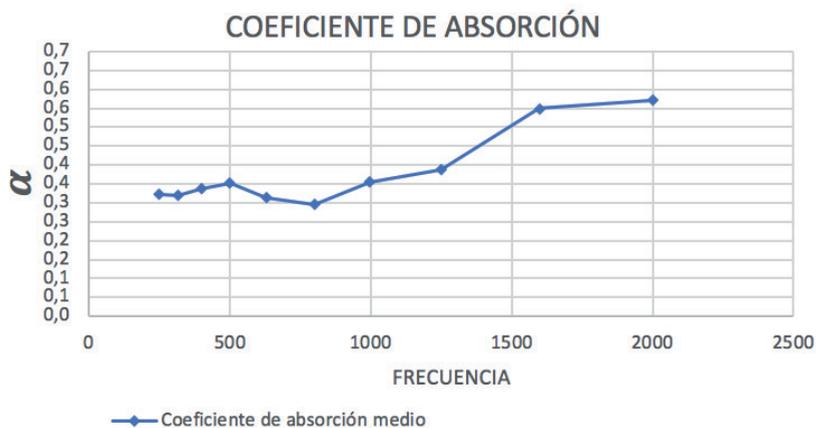
**Figura 13.** Coeficiente de absorción medido de las muestras (1-6)

En la Figura 14 se puede observar el comportamiento de absorción medido de las muestras (muestra 7 a muestra 12).



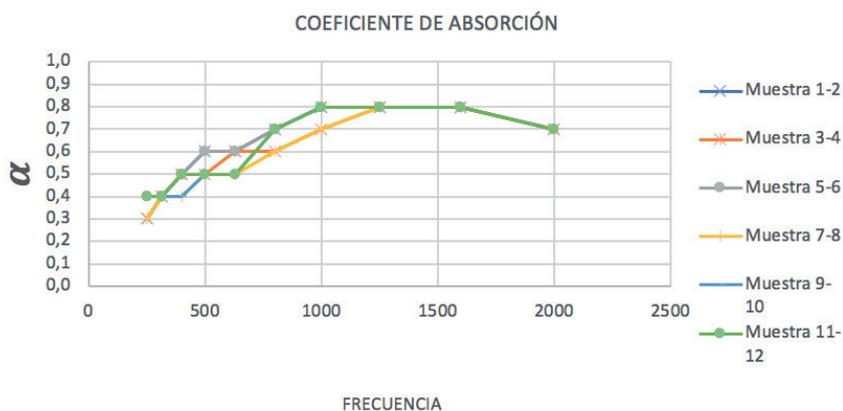
**Figura 14.** Coeficiente de absorción medido de las muestras(7-12)

Y el coeficiente de absorción promedio de las 12 muestras se puede ver en la Figura 15.



**Figura 15.** Coeficiente de absorción medio de las 12 muestras.

Otra prueba realizada con las muestras, fue realizar una medición variando el espesor de la misma apilando muestras en pares. Este resultado se evidencia en la Figura 16.



**Figura 16.** Coeficiente de absorción de muestras apiladas por pares.

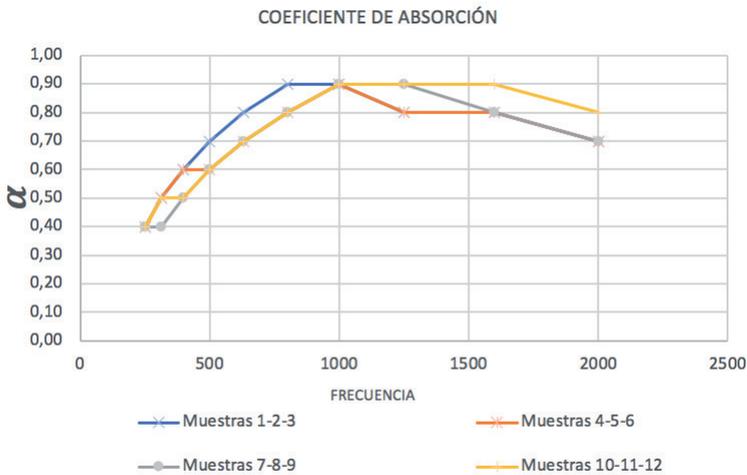
También con el fin de evaluar la incidencia de espesor de la muestra en función del aumento del coeficiente de absorción, se evaluó la fibra apilando

tres muestras. Las medidas del espesor y los pesos de las fibras apiladas se muestran a continuación en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Peso y espesor de tres muestras apiladas.

MUESTRA	PESO (g)	ESPESOR (mm)
1-2-3	60	33
4-5-6	60	34
7-8-9	61	33,5
10-11-12	61	33
<b>MEDIA</b>	<b>60,5</b>	<b>33,4</b>
<b>VARIANZA</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>
<b>DESVIACIÓN</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>

El resultado de las mediciones de las muestras apiladas en grupos de 3 se puede ver en la Figura 17.



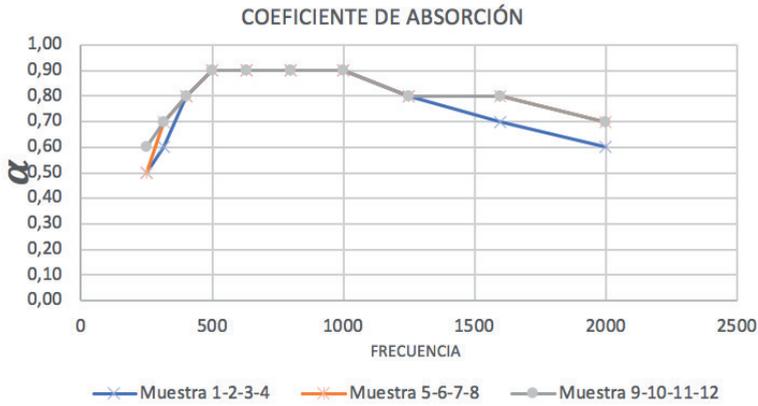
**Figura 17.** Coeficiente de absorción de muestra apiladas de a tres.

Al final del proceso también se evaluó la fibra apilando cuatro muestras; las medidas del espesor y los pesos de las fibras apiladas se muestran a continuación en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Peso y espesor de muestras apiladas de a 4.

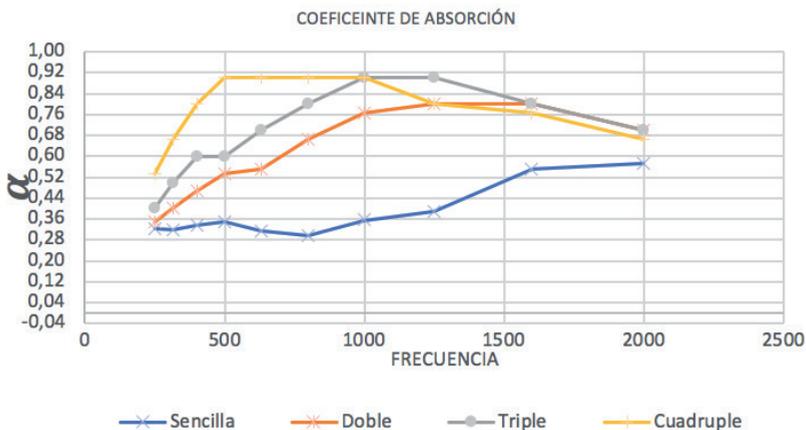
MUESTRA	PESO (gr)	ESPESOR (mm)
1-2-3-4	80	44
5-6-7-8	80	44,5
9-10-11-12	82	45
<b>MEDIA</b>	<b>80,7</b>	<b>44,5</b>
<b>VARIANZA</b>	<b>0,9</b>	<b>0,2</b>
<b>DESVIACIÓN</b>	<b>0,9</b>	<b>0,4</b>

El resultado de la medición de las muestras apiladas de a 4 muestras se puede ver en la Figura 18.



**Figura 18.** Coeficiente de absorción de un grupo de 4 muestras apiladas.

La diferencia en el coeficiente de absorción medido teniendo en cuenta el espesor se puede ver en la Figura 19, en la cual se sacan los valores medios de cada medición y se consolidan para mostrar los resultados.



**Figura 19.** Diferencias en el coeficiente de absorción en función del espesor.

## 5. Discusión de Resultados

### 5.1. Muestras individuales

Al medir las muestras individuales se presenta una variación del coeficiente de absorción entre estas, el cual representa un 16,7 %; sin embargo, en 1250 Hz hay una variación del 33.3%.

En la medición de las 12 muestras individuales de fibra de caña de azúcar se obtuvo en cada una los coeficientes de absorción en bandas de tercio de octava en un intervalo de frecuencia de 250 Hz a 2000 Hz. Media estadística obtenida en cada frecuencia del intervalo de trabajo, el coeficiente de absorción en las frecuencias de 250 Hz a 800 Hz se mantiene en un valor de 0,3 y a partir de 1000 Hz crece al aumentar la frecuencia. Teniendo en cuenta la varianza calculada en cada frecuencia del intervalo de trabajo se observa una estabilidad entre los valores del coeficiente de absorción resultantes de la población como se puede observar en la Tabla 6.

## 5.2 Medición del coeficiente de absorción en 6 combinaciones de muestras de ensayo

Para estas muestras con espesor promedio de 22,3 mm obtenidas a partir de 6 combinaciones (1- 2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12) de fibra de caña de azúcar se realizó la medición los coeficientes de absorción en bandas de tercio de octava en el intervalo de frecuencia estipulado anteriormente.

Que, de acuerdo con la Media estadística obtenida en cada frecuencia del intervalo de trabajo, el coeficiente de absorción crece al aumentar la frecuencia, sin embargo, entre 1000 Hz y 1600 Hz se mantiene en un valor de 0,8 y en la frecuencia de 2000 Hz decrece, así mismo, el espesor promedio de esta población es 22,3 mm. Teniendo en cuenta la varianza calculada en cada frecuencia del intervalo de trabajo se observa una estabilidad entre los valores del coeficiente de absorción resultantes de cada combinación. Por otro lado, se observa que los valores de la media estadística aritmética del coeficiente de absorción obtenidos en esta población aumentan con respecto a los coeficientes de absorción de la población de 12 muestras como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Valores correspondientes a la comparación entre el coeficiente de absorción de la población de 6 muestras con respecto a la población de 12 muestras.

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN										
FRECUENCIA [Hz]	250	315	400	500 Hz	630	800	1000	1250	1600	2000
AUMENTO	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1

Con respecto al análisis realizado en función del espesor se demuestra en la Figura 19 que a medida que este aumenta aproximadamente 10 mm, el rango de frecuencia de trabajo del material se extiende ya que el coeficiente de absorción se incrementa en un promedio de 43,8 % entre 630 Hz y 1600 Hz y en el resto de frecuencias en un 12,5%.

### 5.3 Medición del coeficiente de absorción en 4 combinaciones de muestras de ensayo

La combinación de 4 muestras de ensayo (1-2-3, 4-5-6, 7-8-9, 10-11-12) generó como resultado muestras de fibra de caña de azúcar con un espesor promedio de 33,4 mm a las cuales se les realizó el proceso de medición de los coeficientes de absorción en bandas de tercio de octava en un intervalo de frecuencia de 250 Hz a 2000 Hz. A partir de los resultados obtenidos se realizó el cálculo de la media estadística aritmética y varianza de esta población, estos valores se exponen en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Valores correspondientes a la media estadística del coeficiente de absorción de cada combinación de muestras y la varianza poblacional en cada frecuencia del intervalo de trabajo.

4 MUES- TRAS (33,4mm)	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (para 10 bandas de frecuencia en Hz)									
	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
$\mu$	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7
$\sigma^2$	0,002	0,005	0,006	0	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0
$\sigma$	0,040	0,073	0,079	0,014	0,032	0,033	0,038	0,040	0,031	0,018

La Tabla 10 indica que, de acuerdo con la media estadística aritmética obtenida en cada frecuencia del intervalo de trabajo, el coeficiente de absorción crece al aumentar la frecuencia hasta 1000 Hz; sin embargo, entre 1600 Hz y 2000 Hz decrece, teniendo en cuenta el espesor promedio de esta población es 33,4 mm. Dada la varianza calculada en cada frecuencia del intervalo de trabajo se observa una estabilidad entre los valores del coeficiente de absorción resultantes de cada combinación. Por otro lado, se observa que los valores de la media estadística del coeficiente de absorción obtenidos en esta población aumentan 0,1 desde 315 Hz hasta 1250 Hz y se mantiene igual entre 1600 Hz y 2000 Hz con respecto a los coeficientes de absorción de la población de 6 muestras.

En este caso el espesor se aumenta en la misma medida (10 mm) con respecto a los casos anteriores y se evidencia que el coeficiente de absorción empieza

a incrementar en un promedio de 11,1 % para baja frecuencia y a partir de 1000 Hz se mantiene constante como se observa en la Figura 18.

#### **5.4. Medición del coeficiente de absorción en 3 combinaciones de muestras de ensayo**

Para las 3 combinaciones de muestras de ensayo (1-2-3-4, 5-6-7-8, 9-10-11-12) de fibra de caña de azúcar se generaron muestras de espesor promedio de 44,5 mm y de igual manera se realizó la medición de los coeficientes de absorción en bandas de tercio de octava en el intervalo de trabajo ya estipulado, la media estadística aritmética del coeficiente de absorción aumenta en frecuencias bajas hasta 400 Hz, a partir, 500 Hz y hasta 1000 Hz se mantiene en 0,9 y entre 1250 Hz y 2000 Hz disminuye teniendo en cuenta el valor promedio del espesor 44,5 mm. A partir de la varianza calculada en cada frecuencia del intervalo de trabajo se observa una estabilidad entre los valores del coeficiente de absorción resultantes de cada combinación. Por otro lado, se observa que los valores de la media estadística del coeficiente de absorción obtenidos en esta población aumentan desde 250 Hz hasta 800 Hz y se mantiene igual entre 1000 Hz y 2000 Hz con respecto a los coeficientes de absorción de la población de 4 muestras, lo cual es posible verificarlo en la Figura 19.

## **6. Conclusiones**

La fibra de caña de azúcar presenta características para ser utilizada en la fabricación de un material absorbente potencial ya que los valores obtenidos generan un comportamiento apto en función del espesor.

El comportamiento en función del espesor demuestra que al aumentarse este valor se genera así mismo un aumento en el coeficiente de absorción en el rango de frecuencia de trabajo, sin embargo, se verifica que al aumentar más de 2 veces el espesor inicial el coeficiente se estabiliza en frecuencias medias como consecuencia de un incremento en frecuencias bajas.

Los valores de los coeficientes de absorción comparados entre fibra de caña de azúcar y Acustifibra presentan un comportamiento similar en todas las frecuencias.

De acuerdo con la correlación realizada entre los coeficientes de absorción de Acustifibra medidos y los obtenidos por el fabricante, se tiene que el comportamiento es similar con respecto al aumento en frecuencia lo que permite afirmar que el algoritmo desarrollado para la medición es funcional.

Para conseguir valores de espesor y masa iguales en todas las muestras de ensayo que se construyan es necesario llevar a cabo la elaboración de las mismas por medio de un proceso industrial, ya que a pesar de que el resultado de la varianza no presenta inestabilidad entre los valores de coeficiente de absorción, el porcentaje de diferencia entre las muestras se encuentra en un promedio del 25%.

## 7. Referencias

- Arenas, Jorge Crocker, M. (2010). Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials. *The Noise and Vibration Control Magazine*, 12–17. Retrieved from <http://www.sandv.com/downloads/1007croc.pdf>
- Asdrubali, F. (2006). Survey on The Acoustical Properties of New Sustainable Materials for Noise Control. *Euronoise*, 1–10.
- Del Rey, R., Alba, J., Ramis, J., & Sanchís, V. J. (2011). Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico. *Materiales de Construcción*, 61 (304), 547–558. <https://doi.org/10.3989/mc.2011.59610>
- Ersoy, S., & Küçük, H. (2009). Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties. *Applied Acoustics*, 70(1), 215–220. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.12.005>
- Glé, P., Gourdon, E., & Arnaud, L. (2011). Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. *Applied Acoustics*, 72(5), 249–259. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.11.003>

- Herrera Martínez, M., Páez Soto, D.A. Renewable insulation materials constructed from Colombian materials according to the principles of sustainable development: a review of possibilities. In: *Tecciencia*, Vol. 13, No. 24, 2018.
- Navacerrada, M. A., Díaz, C., Pedrero, A., & García, L. E. (2008). Absorción acústica de espumas de aluminio. *Acoustic Properties of Aluminium Foams*, 58(291), 85–98. Retrieved from <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/109/148>
- Putra, A., Abdullah, Y., Efendy, H., Farid, W. M., Ayob, M. R., & Py, M. S. (2013). Utilizing Sugarcane Wasted Fibers as a Sustainable Acoustic Absorber. *Procedia Engineering*, 53, 632–638. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.081>
- Ramis, J., Alba, J., Del Rey, R., Escuder, E., & Sanchís, V. J. (2010). Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. *Materiales de Construcción*, 60(299), 133–143. <https://doi.org/10.3989/mc.2010.50809>
- Ramis, J., Rey, R., Alba, J., Godinho, L., & Carbajo, J. (2014). A model for acoustic absorbent materials derived from coconut fiber, 64(313). <https://doi.org/10.3989/mc.2014.00513>
- Tsujiuchi, N., Koizumi, T., Ohshima, Y., & Kitagawa, T. (n.d.). An optimal design and application of sound-absorbing material made of exploded bamboo fibers Department of Mechanical Engineering, (1), 2–8.
- Valencia, U. P. D. E., Rafael, A., & Lara, N. (n.d.). " Caracterización acústica de un material de origen biológico : fibras de posidonia " Agradecimientos.





• CAPÍTULO X •

# SonorApp, aplicación de ruido colaborativo en Bogotá

Óscar Esneider Acosta Agudelo\*

Diego Mauricio Rodríguez Carrillo\*\*

\*Universidad de San Buenaventura Bogotá

\*\*Universidad Distrital Francisco José de Caldas





## I. Introducción

El ruido puede ser considerado como un sonido no deseado o aquel que se encuentra fuera de lugar, y desde el punto de vista de la acústica ambiental, en un ambiente urbano existen diferentes fuentes de ruido, entre ellas, los medios de transporte, industrias y actividades culturales (Murphy & King, 2014). Investigaciones realizadas en los últimos años han abordado el ruido de manera profunda determinando, entre otras conclusiones, cómo estar expuesto a elevados niveles de ruido genera una serie de efectos negativos en la salud de las personas (Basner et al., 2014; King & Davis, 2003; Omidvari & Nouri, 2009; Recio, Linares, Banegas, & Díaz, 2016). De hecho, la OMS (Organización Mundial de la Salud) presenta, además de efectos en la salud por causa del ruido, valores máximos permisibles en diferentes espacios como escuelas, dormitorios, hospitales, entre otros (Berglund, Lindvall, Schwela, Organization, & others, 1999).

Unos de los factores que ha llevado al incremento del ruido ha sido el aumento de la población en entornos urbanos dado, generalmente, por la migración de personas desde zonas rurales a grandes ciudades buscando mejoras en sus salarios (Beatriz Urrutia, 2013). Otros factores importantes han sido el cambio en el uso del suelo de algunas áreas y las modificaciones de la actividad comercial de los espacios. Lo anterior, ha hecho que el paisaje sonoro de algunos ambientes cambie de forma drástica, tanto así, que zonas antes consideradas apacibles, sean hoy en día ambientes ruidosos e incómodos para algunos ciudadanos.

Por otro lado, en los últimos años, gracias a la popularización de los teléfonos inteligentes ha surgido una gran cantidad de aplicaciones móviles en diferentes plataformas, que van desde juegos simples, hasta complejas aplicaciones de realidad aumentada. En este sentido, y con el objetivo de aprovechar un dispositivo que la gran mayoría de las personas tiene a su disposición, en el presente capítulo se describe el desarrollo de una aplicación móvil en la cual el usuario puede ingresar el nivel de ruido con su teléfono inteligente, subir esta información a una base de datos en la nube, y visualizar el nivel de ruido en forma de mapa de calor en sus inmediaciones. Lo anterior, con el propósito de poder tener un mapa del comportamiento del entorno sonoro que le rodea y, así, poder tomar decisiones con base en ello como, por ejemplo, desplazarse por zonas apacibles, ubicar lugares de entretenimiento, observar el comportamiento del ruido en una zona, entre otros.

## 2. Metodología

La metodología seleccionada para el desarrollo de la aplicación móvil se denomina Desarrollo Rápido de Aplicaciones (RAD, Rapid Application Development) (Hamilton, 1999). Esta metodología se basa en la construcción de fases coherentes con las funcionalidades esperadas en la aplicación para lo cual se integran equipos de trabajo.

Para este desarrollo en específico, se establecieron tres equipos de trabajo, los cuales tienen a cargo etapas específicas del desarrollo; estos equipos coinciden con las fases descritas en la Figura 1, las cuales son ampliadas en los apartados siguientes.

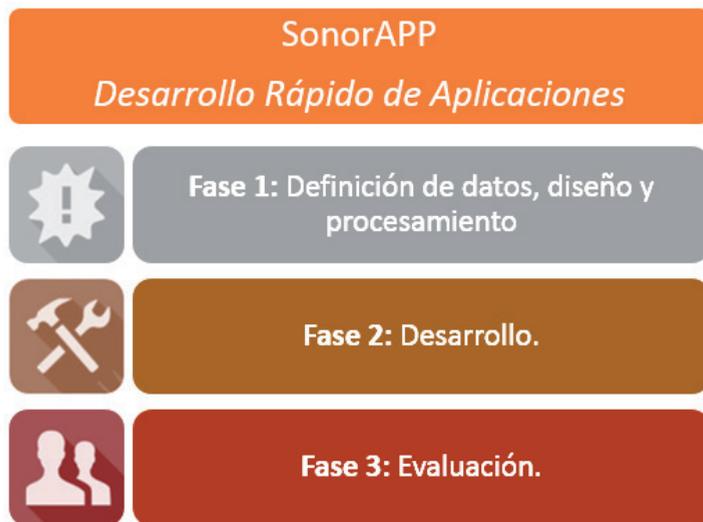


Figura 1. Metodología usada para el desarrollo de SONORAPP  
Fuente: Elaboración propia

### 3. Definición de datos, diseño y procesamiento

En esta fase se definió el conjunto de variables y su interrelación tanto en la captura como en el procesamiento de datos. Se construyó una base de datos basada en servicios en la nube para el almacenamiento de datos, así como la orientación de la herramienta para el procesamiento de la información con tecnologías libres y compatibles con sistemas operativos de equipos móviles. Los productos finales de esta fase son: requerimientos funcionales y no funcionales de la aplicación móvil, el modelo de datos, la formulación para el procesamiento de datos, y la definición de las características a visualizar de los datos arrojados por el usuario.

En la Figura 2 se muestran las funcionalidades determinadas para abordar el problema. En primera instancia, se encuentra el ingreso del valor SPL (nivel de ruido) en la aplicación Android, el cual junto con la ubicación del usuario es almacenado en una tabla dinámica de la plataforma de Google (Fusion Tables). Una vez almacenada la información, se realiza la consulta y se visualiza la capa en forma de mapa de calor con la herramienta Google Maps.

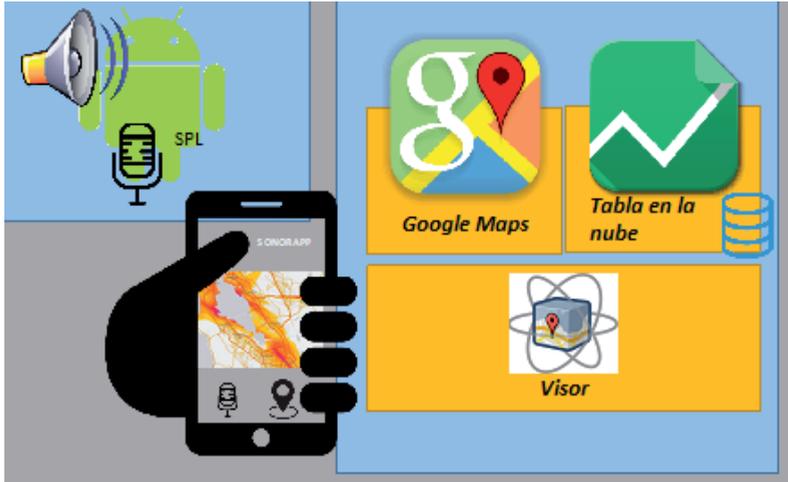


Figura 2. Diagrama vista de alto nivel  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1. Casos de uso

Durante esta primera fase del desarrollo fueron identificados dos casos de uso, visualizar y consultar como se observa en la Figura 3. De esta forma, el usuario es quien interactúa con la aplicación móvil y activa los eventos para poder generar el mapa sonoro en su dispositivo móvil. Luego, el usuario ingresa a la aplicación móvil para desplegar de forma automática el ingreso de datos que alimentan el nivel de ruido en la posición del usuario. Finalmente, se consultan los datos almacenados en la nube.

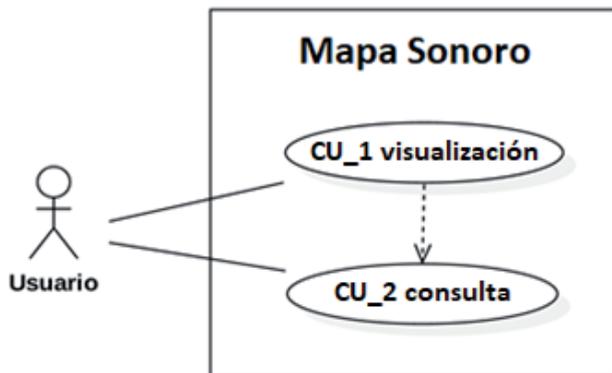


Figura 3. Diagrama de casos de uso  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Diagrama de clases

En la Figura 4 se muestra la estructura del sistema con sus clases, atributos y métodos establecidos para el sistema. La clase acceso describe la parte del sistema que captura los datos que ingresan a la aplicación, la clase visualización integra los atributos que van a ser mostrados en el dispositivo móvil y la clase consulta le permite establecer la ubicación donde se realizó la captura de información por parte del usuario de la aplicación.

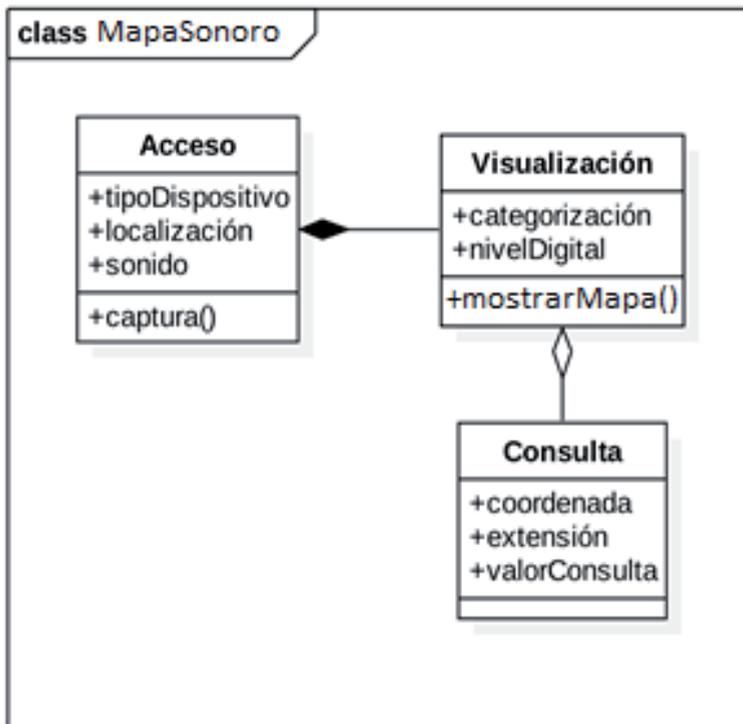


Figura 4. Diagrama de clases SONORAPP  
Fuente: Elaboración propia

## 4. Desarrollo

Paralelo a la fase anterior, se realizó el desarrollo de la aplicación en capa de presentación. Esta primera tarea se basó en un esbozo (sketch) de la aplicación para dispositivos móviles empleando lenguajes de código abiertos acordes al

alcance de los sistemas operativos actuales. Seguido, se construyó la interacción de captura de datos basados en las especificidades producto de la Fase I de este plan. Luego, se desarrolló el software necesario para el procesamiento de datos y posterior visualización del mapa sonoro en los dispositivos móviles.

#### 4.1. Desarrollo para la captura y análisis del ruido

Con un desarrollo para la plataforma Android utilizando el framework Android Studio, se elaboró el componente que captura el sonido del entorno próximo al punto de la muestra y se realizaron los cálculos necesarios para hallar el valor del nivel de ruido (SPL). Este, aplica las correcciones necesarias y permite la calibración de las mediciones de forma dinámica como se puede apreciar en la Figura 5. Como base para el desarrollo se utilizó el código fuente: <https://github.com/nymlc/android-spl-meter>.



a) Pantalla inicial cálculo nivel de ruido

b) Ejemplo nivel de ruido calculado

Módulo para captura del nivel de ruido

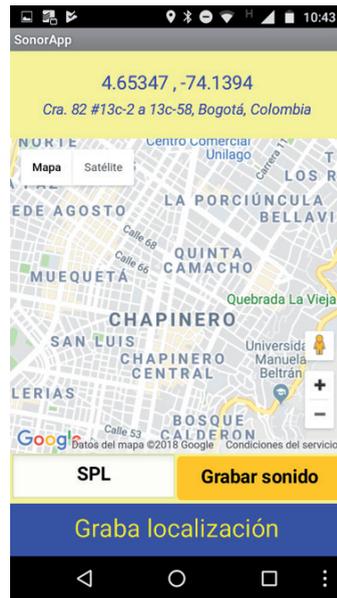
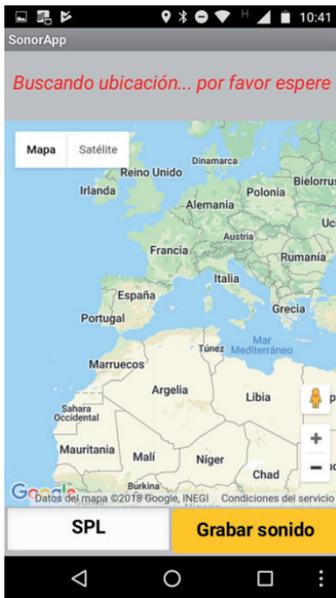
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Interconexión de componentes reutilizados la captura y análisis del ruido

El segundo componente, en el cual se capturan los datos de posición basados en el GPS del dispositivo móvil, son integrados por medio de las API's

de Google para la visualización de entidades espaciales (Google maps) y el almacenamiento de datos en bases de datos en la nube (Google Fusion Table).

Al iniciar la aplicación, el usuario visualiza un mapa base. Luego, una vez que la aplicación determina la ubicación del usuario y detecta que hubo un cambio de localización, aparecen las ventanas con la dirección del lugar, ubicación y botón de grabar datos en el servidor de Google como se observa en la Figura 6.

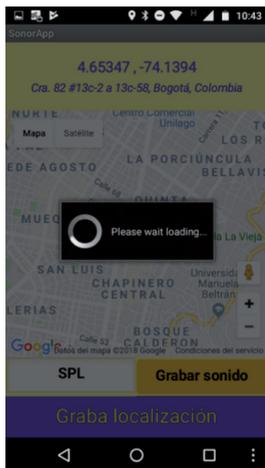


a) Vista inicial indicando la consecución de coordenadas.

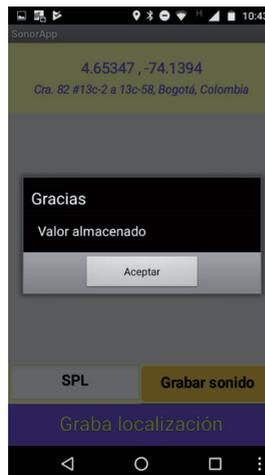
b) Visualización de coordenadas y botones de captura habilitados.

Ventana con la ubicación e ingreso de datos de ruido  
Fuente: Elaboración propia

Luego, cuando se selecciona la opción de guardar información, un cuadro de diálogo le indica al usuario que se está subiendo información al servidor remoto y, luego, que el proceso finalizó de forma satisfactoria (Figura 7).



a) Captura y almacenamiento de la ubicación geográfica del usuario con nivel de ruido.



b) Aviso de finalización del almacenamiento de datos incluye coordenadas y nivel de ruido capturado.

Captura y almacenamiento de datos  
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, a Google Fusion Tables se sube información referente a la fecha, la ubicación en términos de latitud y longitud, así como el valor de ruido en términos de SPL (Nivel de Presión Sonora). En el siguiente enlace se puede observar la tabla dinámica para el almacenamiento remoto de datos capturados por la aplicación (<https://goo.gl/xUQJ Cp>). De igual manera, en la Figura 8 se presenta un ejemplo de los datos subidos a Fusion Tables.

**SonorApp**

Add Attribution - Edited at 09:16

File Edit Tools Help Rows 1 Cards 1

Filter No filters applied

1-8 of 8

Fecha	Latitud	Longitud	SPL
30/05/2018 07:48:04	4.68007	-74.06539	80
01/06/2018 11:59:00	4.75203	-74.03027	67
01/06/2018 11:59:44	4.75203	-74.03027	67

Figura 8. Ejemplo de datos subidos a Fusion Tables  
Fuente: Elaboración propia

Los datos que son almacenados en la tabla dinámica son mostrados en la pantalla principal de la aplicación (Figura 9), indicado mediante un mapa de calor ponderado con la columna SPL, la ubicación y los niveles de ruido registrados por el usuario.

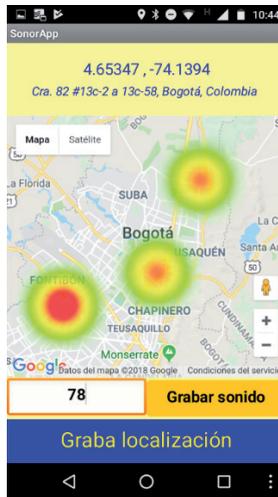
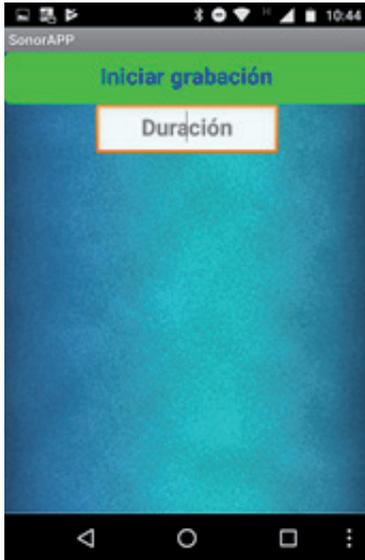


Figura 9. Mapa sonoro obtenido con SONORAPP  
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la aplicación dispone de un botón grabar sonido que permite al usuario almacenar en un archivo con formato \*.3gp el sonido capturado por el micrófono del teléfono móvil. El tiempo de grabación es de 5 segundos y es almacenado por defecto en la carpeta "Documents" del teléfono. La interfaz es mostrada en la Figura 10.



a) Vista inicial previa a la captura de sonido



b) Vista de aplicación grabando audio

Ventana para grabación de sonido en SonorAPP  
Fuente: Elaboración propia

## 5. Evaluación

Con el resultado de cada una de las actividades culminadas de las fases anteriores, el equipo de pruebas constató el cumplimiento de los objetivos, finalizando en una prueba de campo donde se verificó cada funcionalidad establecida, entre ellas, la captura de datos de forma simultánea y la construcción del mapa sonoro en los dispositivos móviles. El resultado se utilizó para la retroalimentó al equipo de desarrollo y para correcciones de la aplicación.

Por otro lado, la inclusión de la metodología DAP en el desarrollo de esta aplicación móvil permitió la gestión y el cumplimiento de los objetivos en el plazo fijado. Igualmente, se aplicó el desarrollo de componentes reutilizables. A corto plazo, la aplicación ofrece las características establecidas por los requerimientos funcionales.

## 6. Conclusiones

El uso de aplicaciones móviles colaborativas para apoyar procesos de gestión de ruido en ciudades inteligentes ha tomado importancia en los últimos años. En ese sentido, y con el objetivo de iniciar en entornos urbanos de la ciudad de Bogotá este tipo de experiencias se desarrolló una aplicación para dispositivos Android llamada SonorApp. Esta aplicación permite la captura, registro y visualización de niveles de ruido usando software libre. De igual forma, se empleó la reutilización de componentes como las API de Google maps y Fusion Tables, las cuales permitieron solucionar los problemas de almacenamiento, confiabilidad, disponibilidad de los datos, y la visualización del mapa sonoro.

El uso de la metodología RAD para el desarrollo rápido de aplicaciones permitió la correcta operación y vinculación de los diferentes componentes del sistema realizado, así como reutilizar código e implementar APIs de terceros para funciones de gran importancia. Adicionalmente, durante el desarrollo fue posible realizar ajustes de acuerdo con un grupo base de usuarios permitiendo incrementar la adaptabilidad de la aplicación.

## 7. Trabajos futuros

Será necesario en futuras actualizaciones de SonorAPP contar con herramientas adicionales que permitan la inclusión de funcionalidades basadas en análisis espaciales. Lo anterior, además de permitir obtener más información de los datos almacenados en la aplicación, daría la posibilidad al usuario, por ejemplo, de interactuar con la información brindada por la aplicación para toma de decisiones respecto al entorno sonoro que le rodea. De igual manera, se podría integrar SonorApp a futuras redes de monitoreo de ruido en la ciudad para que el usuario haga uso de esta información.

Por otro lado, es necesario ampliar la popularidad de la aplicación para que llegue a más personas y que, a través de su uso y comentarios, se consiga evaluar de forma más amplia para ajustarla a las necesidades de los usuarios.

## 8. Bibliografía

- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325–1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
- Beatriz Urrutia, V. (2013). Retornos a la educación y migración rural-urbana en Colombia. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (72), 205–223.
- Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D. H., Organization, W. H., & others. (1999). *Guidelines for community noise*.
- Hamilton, M. (1999). *Software Development: Building Reliable Systems*. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=Ub7Sz70aQHsC>
- King, R. P., & Davis, J. R. (2003). Community noise: Health effects and management. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206(2), 123–131. <https://doi.org/10.1078/1438-4639-00202>
- Murphy, E., & King, E. A. (2014). Environmental Noise Pollution. In *Environmental Noise Pollution*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411595-8.00001-X>
- Omidvari, M., & Nouri, J. (2009). *Effects of noise pollution on traffic policemen*.
- Recio, A., Linares, C., Banegas, J. R., & Díaz, J. (2016). Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms. *Environmental Research*, 146, 359–370. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.036>
- Schafer, R. M. (1980). *The tuning of the world: Toward a theory of soundscape design*. University of Pennsylvania Press Philadelphia, PA, USA.



Este libro se terminó de imprimir el  
13 de septiembre de 2020 en la Unidad de Comunicaciones y protocolo,  
de la Universidad de San Buenaventura, Bogotá

Esta contribución generada desde la red Universitaria RUMBO, pretende ser una referencia y una guía en la consolidación de ciudades y regiones inteligentes para Colombia. El término de *Smart-Cities* ha venido adquiriendo relevancia en los distintos ámbitos, desde la academia, la industria y el gobierno, con el objetivo de sintonizar las regiones y urbes dentro de los lineamientos de Desarrollo Sostenible. Acorde con esta premisa, la red Universitaria RUMBO presenta estos desarrollos colombianos basados en las tecnologías de la información y las comunicaciones en donde se presentan diversas soluciones.

Este libro introduce además el concepto de *Acústica Sostenible*, entendiéndose este, como el desarrollo de sistemas de aislamiento y acondicionamiento acústico, junto con esquemas de monitoreo y control de ruido y vibraciones que motiven la consecución de paisajes sonoros agradables y acordes con los ambientes circundantes.

Este libro es un aporte decisivo y contundente para el país, donde se evidencia el compromiso y la calidad de nuestras instituciones académicas en la consecución de desarrollos innovadores que contribuyan con el avance de nuestra sociedad.

