

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BANCO DE PROYECTOS INTEGRADORES PARA CURSOS INTRODUCTORIOS DE  
INGENIERÍA CIVIL

ESTEFANÍA BAHAMÓN ÁVILA

RACHELL HERNÁNDEZ SILVA

TRABAJO DE GRADO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2016

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BANCO DE PROYECTOS INTEGRADORES PARA CURSOS INTRODUCTORIOS DE  
INGENIERÍA CIVIL

ESTEFANÍA BAHAMÓN ÁVILA

RACHELL HERNÁNDEZ SILVA

TRABAJO DE GRADO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTORES:

MARÍA PATRICIA LEÓN NEIRA

JESÚS DANIEL VILLALBA MORALES

BOGOTÁ D.C.

2016

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	8
2	JUSTIFICACIÓN .....	11
3	HISTORIA Y DESARROLLO DE LA INGENIERIA CIVIL EN COLOMBIA .....	12
3.1	Década de 1960.....	14
3.2	Década de 1970.....	17
3.3	Década de 1980.....	20
3.4	Década de 1990.....	22
3.5	Década del 2000.....	24
3.6	Del año 2010 al 2015 .....	27
4	PROBLEMÁTICAS Y NECESIDADES INGENIERILES DE COLOMBIA .....	30
5	HISTORIA Y DESARROLLO DE LA INGENIERÍA CIVIL EN BOGOTÁ .....	33
5.1	Década de 1960.....	34
5.2	Década de 1970.....	39
5.3	Década de 1980.....	43
5.4	Década de 1990.....	46
5.5	Década del 2000.....	50
5.6	Del año 2010 al 2015 .....	53
6	PROBLEMÁTICAS Y NECESIDADES INGENIERILES DE BOGOTÁ.....	56
7	BANCO DE PROYECTOS .....	59
7.1	Proyecto de la Primera Línea del Metro .....	62

7.2	Proyecto del cable aéreo para Ciudad Bolívar .....	67
7.3	Proyecto de la Recuperación del río Bogotá.....	70
7.4	Proyecto de la Avenida Longitudinal de Occidente .....	72
7.5	Proyecto de la Troncal Avenida Boyacá.....	74
7.6	Proyecto de urbanización en la Reserva Van Der Hammen .....	77
8	GUÍA METODOLÓGICA .....	79
8.1	Filosofía CDIO.....	79
8.2	Antecedentes de proyectos integradores .....	82
8.3	Planteamiento de proyectos integradores.....	85
8.4	Concepción guía metodológica.....	90
8.4.1	Metas del proyecto integrador .....	90
8.4.2	Metodología .....	91
8.4.3	Alcances esperados en el aprendizaje del proyecto integrador.....	95
9	CONCLUSIONES .....	97
10	BIBLIOGRAFÍA .....	99
	Anexo digital A. Proyecto integrador del Cable aéreo .....	107
	Anexo digital B. Proyecto integrador de la Reserva Van Der Hammen.....	108
	Anexo digital C. Banco de información del proyecto de la Primera Línea del Metro.....	109
	Anexo digital D. Banco de información del proyecto del Cable aéreo en Ciudad Bolívar ...	110
	Anexo digital E. Banco de información del proyecto de la Recuperación del río Bogotá.....	111

Anexo digital F. Banco de información del proyecto de la Avenida Longitudinal de Occidente	
.....	112
Anexo digital G. Banco de información del proyecto de la Troncal Avenida Boyacá.....	113
Anexo digital H. Banco de información del proyecto de la urbanización de la Reserva Van Der Hammen.....	114

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Incidencia de pobreza por ingresos en las localidades de Bogotá .....	53
Tabla 2. Información del banco de proyectos .....	60
Tabla 3. Información adicional del banco de proyectos .....	61
Tabla 4. Localidades, Unidades de Planeación Zonal y barrios intervenidos en el cable aéreo...	69
Tabla 5. Características técnicas estado actual de la vía.....	75
Tabla 6. Correlación del Syllabus de CDIO con ABET .....	87
Tabla 7. Objetivos de aprendizaje.....	88
Tabla 8. Prueba de percepción .....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trazado en planta del Metro.....	66
Figura 2. Trazado en planta de la alternativa 1 Ciudad Bolívar.....	68
Figura 3. Significado de la palabra CDIO .....	80

## 1 INTRODUCCIÓN

Durante años, la educación en la carrera de ingeniería se ha concebido solo después de una base sólida en ciencia y matemáticas (*“CDIO: una nueva visión para la educación en ingeniería”*, 2016). A finales de la década de 1990, Massachusetts Institute of Technology (MIT) y específicamente el Departamento de Aeronáutica y Astronáutica, participaron en un ejercicio de planeación estratégica para evaluar las habilidades y aptitudes que debían poseer los recién graduados. Los resultados mostraron que tenían las bases técnicas así como los fundamentos de la carrera, pero carecían de los atributos necesarios para enfrentar con éxito las demandas de ingeniería en el mundo real (*“CDIO in Aero-Astro and beyond”*, 2007). Como consecuencia la Junta de Acreditación de Ingeniería y Tecnología (ABET), mencionó los requerimientos y parámetros generales a tener en cuenta para mejorar la educación (*“CDIO history”*, 2016). En el año 2000 tres universidades de Suecia, Chalmers University of Technology, Royal Institute of Technology y Linköping University, junto con MIT de Estados Unidos, se reunieron y desarrollaron una reforma a la enseñanza para ingeniería mediante la creación de la filosofía CDIO en donde se enmarcan las competencias que se deben considerar para el aprendizaje del estudiante tales como pensamiento crítico y creativo, comunicación oral y escrita, y trabajo en equipo entre otros; esto con el fin de garantizar el buen desempeño de los futuros profesionales frente a las requerimientos de la industria.

Los programas de educación moderna se han venido transformando a través del aumento sustancial del componente práctico; con el propósito de orientar a los estudiantes hacia el desarrollo de aptitudes y atributos personales e interpersonales que deben aplicarse en el diseño

de problemas reales. Según C. Lu (2012) “la enseñanza de la ingeniería sigue haciendo hincapié en la teoría pero a su vez, ha conectado la parte práctica, dada la relevancia de integrar los fundamentos de ciencia con los conocimientos no técnicos y así mejorar la capacidad de análisis, identificación y formulación de problemas”.

Con base en lo previamente mencionado, se han implementado en diferentes universidades del mundo, los proyectos integradores en un esfuerzo por realizar un ejercicio práctico que incorpore un contexto social, económico y ético y demande gestión, planeación, logística e ingenio por parte de los estudiantes. Este tipo de proyectos rompen los esquemas de aprendizaje tradicionales y exigen creatividad, innovación y la adquisición de conocimiento complementario que a veces no está cubierto en el plan de estudios oficial.

En el presente documento se abordará en el capítulo 3 y 4 la historia de la ingeniería civil desde la década de 1960 hasta la actualidad, a nivel regional y nacional. Allí se podrá apreciar e identificar cómo ha contribuido esta ciencia al desarrollo de la sociedad desde las diferentes áreas de conocimiento de la carrera tales como transporte, hidráulica e hidrología, ingeniería ambiental y construcción entre otras.

La contextualización de las décadas se hará con el fin de poder evidenciar en el capítulo 5 cuales son las necesidades actuales en Bogotá, y de esta manera en el capítulo 6 se estará en la capacidad de vislumbrar los proyectos que serán claves para dar solución a las problemáticas de la ciudad. Posteriormente se realizará un levantamiento de información acudiendo a las entidades distritales pertinentes y se desarrollarán dos proyectos integradores basados en la filosofía CDIO,

que quedaran como anexos. Finalmente, en el capítulo 7 se hará una guía metodológica a partir de la experiencia que se tuvo con el planteamiento de los dos proyectos integradores. y construcción entre otras.

## 2 JUSTIFICACIÓN

En el programa de pregrado de ingeniería civil de la Universidad Javeriana, en 2014 se realizaron encuestas de autoevaluación dirigidas por la dirección de carrera a los estudiantes que se encontraban finalizando el proceso educativo frente a los objetivos de evaluación y formación académica definidos por ABET. A partir de esto, se pudo observar las deficiencias y falencias de ellos para desarrollar ciertas aptitudes, el 30% de los encuestados indicó tener dificultades a la hora de aplicar soluciones de ingeniería teniendo en cuenta aspectos sociales, económicos, ambientales, y éticos entre otros. Por otro lado, el 30% evidenció problemas en la comunicación oral y escrita y el 6% admitió la falta de conocimiento del contexto de la ingeniería regional y nacional.

Dada la necesidad de mejorar la enseñanza en el programa se busca implementar proyectos integradores en los cursos introductorios (ingeniería II), con el fin de generar una interconectividad con las diferentes áreas del conocimiento de la carrera en donde se incorpore el análisis y diseño de soluciones a problemas reales desde un comienzo. Esto con la intención de estimular el desarrollo de habilidades que serán útiles durante el proceso formativo y posteriormente en su vida profesional.

### **3 HISTORIA Y DESARROLLO DE LA INGENIERIA CIVIL EN COLOMBIA**

En Colombia, la aparición de la ingeniería civil surgió en el siglo XVI con la construcción de las fortificaciones de Cartagena de Indias, que se realizaron en el transcurso de dos siglos gracias a la contribución de ingenieros españoles. Posteriormente en 1650 se llevó a cabo el Canal del Dique entre el río Magdalena y la bahía de Cartagena, hecho que tuvo gran relevancia en su momento (Sanclemente, 1998).

Hasta el año 1845 no se registró un progreso importante en obras públicas debido a la guerra de independencia y la revuelta ocasionada por el régimen de la Gran Colombia. Fue en el año 1846 cuando bajo la presidencia del general Tomás Cipriano de Mosquera, se expidió el primer plan nacional de caminos (Sanclemente, 1998).

Como tal el desarrollo de ingeniería civil en Colombia comenzó a darse en 1847 gracias al señor Tomás Cipriano de Mosquera que quiso introducir esta ciencia en la formación de los oficiales del estado mayor. Posteriormente estos oficiales serían quienes conformarían la dirección de obras públicas en los nueve estados federales de ese entonces e impulsarían junto con un grupo de extranjeros, la iniciativa de construir los ferrocarriles en el país (Sanclemente, 1998). A inicios de 1900, Rafael Reyes como jefe de estado continuó con el desarrollo ferroviario y emprendió la era de las carreteras una vez difundido el invento del automóvil. La ingeniería en Colombia se encontraba en un momento de transición dada la construcción de infraestructura vial, que coincidía con la apertura de Bocas de Ceniza para la realización del puerto de Barranquilla, lo cual promovería el comercio internacional (Sanclemente, 1999).

Más adelante en la década de 1940, comenzó el proceso de diversificación de las obras públicas, se construyeron las primeras centrales hidroeléctricas además se realizaron avances en ingeniería sanitaria en las principales ciudades, y se modernizaron las técnicas usadas en las carreteras (Sanclemente, 1999). Pero el avance real del siglo XX, se da a partir de la década 1960, razón por la cual se abordará la historia con mayor detalle desde esta fecha hasta la actualidad, siendo un periodo de vital importancia para llegar a lo que es hoy en día Colombia.

### 3.1 Década de 1960

En la década de 1960 se comenzó a observar un sistema vial como una herramienta de interconexión regional que condujo a una mayor interacción e integración de los mercados entre las diferentes zonas del país. Un ejemplo de esto son los departamentos del Cauca, Huila, Caquetá, Meta, Nariño, Magdalena y Guajira que aumentaron en una cantidad significativa las vías pavimentadas, lo cual dio paso a un mayor desarrollo económico de los pequeños productores. Mientras que en departamentos como Cundinamarca, el viejo Caldas, Tolima, Bolívar, Córdoba y Santander el avance no fue muy grande, esto trajo como consecuencia su estancamiento (Pérez V., 2005).

En el año de 1961, se inauguró la línea férrea del Atlántico con 672 km, así concluyó la unificación del sistema con un total 3.379 km. La operación de esta línea tuvo gran auge puesto que movilizaba un alto volumen de carga de importación y exportación a un precio razonable. Asimismo en 1961 se logró obtener el financiamiento por parte del Banco Mundial para poner en marcha el Segundo Plan Vial Nacional, que tenía como objetivo concluir el plan anterior, en el cual se había decretado la construcción de cuatro troncales, adicionalmente a esto, se debían llevar a cabo 500 km de vías nuevas y comprar equipo moderno para el mantenimiento de las mismas. Más adelante el Gobierno tomó la decisión de crear un recurso financiero, nombrado Fondo Vial Nacional, establecido por un gravamen fijo al consumo de la gasolina que constituyó un apoyo al desarrollo de la red vial en las siguientes décadas (Sanclemente, 1998).

En cuanto al progreso en obras de acueducto y alcantarillado, en esta década se aceleró gracias a los créditos aprobados con el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), de esta manera se iniciaron proyectos de agua potable para las ciudades principales y posteriormente se diversificó con los planes sectoriales de acueducto y alcantarillado. (Sanclemente, 1998). El ente encargado de coordinar los proyectos era el Fondo Nacional de Fomento Municipal (INSFOPAL), pero a finales de la década se crearon las Empresas de Obras Sanitarias Departamentales (EMPOS). Con esta reforma INSFOPAL entregó la ejecución directa de las obras y en su lugar se dedicó a administrar y dirigir las EMPOS. Entre 1951 y 1964, el crecimiento en las conexiones domiciliarias de acueducto fue de 4.7% (Fainborm y Rodríguez, 2000).

En la parte hidroeléctrica, una de las grandes obras realizadas bajo el mandato de Carlos Lleras Restrepo como presidente de la República (1966-1970) fue la integración eléctrica la cual fue respaldada por el Banco Mundial y marcó un hito en la historia del desarrollo nacional puesto que impulsó la interconexión del centro del país. Se definió una red de alta tensión (220 KV) de longitud de 480 km con una línea Bogotá-Manizales, un ramal norte hacia Medellín y un ramal sur hacia Yumbo. Posteriormente se integró el sistema de la Costa Atlántica mediante dos centrales de petróleo ubicadas en Barranquilla y Cartagena que se interconectaban y daban origen a los ramales de alta tensión (220 KV) hacia Ciénaga y Sincelejo. La capacidad de suministro se expandió a una tasa del 12% anual, la cual se vio reflejada en un amplio cubrimiento a nivel nacional (Academia Colombiana de Historia de la ingeniería de las Obras Publicas, 2009).

Finalmente, en 1960 se instauró la Corporación Autónoma Regional en el Valle del Magdalena con el fin de promover el uso sostenible del río Magdalena en los departamentos que se encontraban adyacentes. Sin embargo, la poca aportación presupuestal hizo que la entidad no cumpliera con su labor y finalmente fue liquidada. En 1968 se dio origen al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (Inderena), que se encargaría en décadas posteriores de la protección y conservación del río (Sanclemente, 1998).

A través del recorrido hecho por esta década, se manifiesta un gran progreso económico debido al aumento de la interacción e intercomunicación de los mercados entre las diversas regiones del país gracias a la construcción de nuevas carreteras en los departamentos y la complementación del sistema ferroviario, que tuvo mayor auge en la zona Caribe. Asimismo se evidencian avances importantes en energía eléctrica, acueducto y alcantarillado.

### 3.2 Década de 1970

En el área de transporte en 1970, se consiguió un nuevo préstamo por parte del Banco Mundial para la construcción de una de las obras civiles más importantes del siglo XX, el puente Pumarejo de Barranquilla sobre el río Magdalena, este permitió integrar la red vial del Caribe colombiano y fue inaugurado en 1974 por el presidente del momento Misael Pastrana Borrero. Por otro lado, en la red principal del país se logró que aumentara de 19.900 km en 1970 a 21.300 km en 1975, representando un gran progreso en infraestructura vial (Sanclemente, 1998).

Sin embargo, desde tiempo atrás se observaba el deterioro de las vías debido a que el trabajo de construcción no era complementado con un programa de mantenimiento continuo. Se identificó que la cuarta parte de las vías pavimentadas requerían una rehabilitación urgente y debía priorizarse la red troncal principal que concentraba el 70% del tráfico nacional. En 1977 se restauraron aproximadamente 980 km y se tomó la decisión de implementar el sistema de peajes como una forma de ayudar a financiar el mantenimiento (Sanclemente, 1998).

En cuanto a la red ferroviaria, en esta década hubo un descenso de la participación del sistema en el transporte nacional de carga debido a los frecuentes descarrilamientos y el mantenimiento inadecuado. A pesar de esto, en 1973 comenzó el tercer plan que proponía la reparación de las vías principales y sustitución de traviesas, balasto y rieles averiados, lo cual produjo que el servicio férreo se recuperara parcialmente. Pero en el año 1975 ocurrió un grave accidente en el trayecto Medellín – Cartago que trajo como consecuencia la desconexión de la red del Pacífico y la disminución acelerada de los ingresos para la empresa (Sanclemente, 1998).

En la parte de hidroeléctricas, Sanclemente (1998) afirmó “el desarrollo de la energía eléctrica en la década de 1970 se distinguió del periodo anterior por un menor ritmo de crecimiento, que se concentró en sectores: la región central, la región norte y las regiones periféricas de noreste y el sur del país”. La capacidad de suministro aumentó a 3.670 Mw con un 23% de potencia térmica condensada básicamente en la Costa Atlántica que usaba el gas de la Guajira; esto motivó a crear un flujo de energía entre las dos regiones.

En 1970 se fomentó un acuerdo con el gobierno de Holanda para realizar un estudio del río Magdalena y el Canal del Dique para optimizar la navegación fluvial, lo cual motivó tres años después un préstamo por parte del BID para el mantenimiento y rectificación del Canal del Dique en 114 km, que mejoró el alineamiento y la sección por dragado, además se realizó la excavación de rampas para disminuir la sedimentación (Sanclemente, 1998).

Uno de los momentos de gran relevancia en el ámbito ambiental fue la expedición del Código de Recursos Naturales y del Medio Ambiente en 1974, el cual contenía un conjunto de normas para la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales renovables del país. Adicionalmente, en el mismo año la presidencia de la república creó mediante el Decreto 1040 de 1974, el Consejo Nacional de Planeación y Medio Ambiente, que además de regular todo lo relacionado al manejo de los recursos renovables, instauró en el Plan de Desarrollo Nacional un conjunto de medidas en materia de saneamiento ambiental (Barrera Cataño et al., 2010).

Por otro lado, el financiamiento para acueducto y alcantarillado por parte del Banco Mundial y el BID se extendió después a las ciudades intermedias que recibieron ayuda en forma de créditos a través de INSFOPAL, y a partir de 1975, se formó una especie de fondo con subsidios regionales y municipales para darle un manejo independiente y recibían los recursos como si fuera un préstamo (Sanclemente, 1998). Entre 1964 y 1973 el crecimiento en las conexiones domiciliarias de acueducto fue de 7.3% (Fainborm y Rodriguez, 2000).

Después de analizar los sucesos ocurridos en esta década, se puede observar cómo avanza el desarrollo de la infraestructura vial en el país, entre 1970 y 1975 se construyeron 1.400 km de carreteras, además se visualiza la transformación e integración de la red vial del Caribe colombiano a través de la realización del puente Pumarejo. Es importante resaltar que la región Caribe mostraba un mayor progreso con respecto a otras zonas del país dada su ubicación estratégica para el comercio. Adicionalmente, se hicieron adelantos en ingeniería ambiental con la creación de normas para el manejo sostenible de los recursos y en servicios de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica aunque este último a un menor ritmo de crecimiento con respecto a la década anterior.

### 3.3 Década de 1980

En la década de 1980 se dilataron las expectativas de adelantar la integración eléctrica entre la Costa Atlántica y la Guajira dada la crisis financiera por la que atravesaban las Electrificadoras y el sistema. Esto se debió a los excesivos aumentos de personal y la congelación de las tarifas, generando como resultado que los gastos de funcionamiento superaban los ingresos. Sin embargo, se había hecho una proyección de expansión de 154% con respecto a la capacidad existente, que debía llevarse a cabo en el transcurso de los siguientes ocho años considerando que la demanda seguiría creciendo a la tasa del 10% anual. En contradicción con las suposiciones la demanda para 1985 se redujo al 5% anual, pero ya se había dado inicio a los proyectos, como solución se decidió continuar con el programa a un menor ritmo de trabajo. A finales de la década la capacidad aumentó a 8300 Mw (Sanclemente, 1998).

En 1982 como una forma de recaudar fondos administrativos, se implementan las tasas por licencias de funcionamiento y registro de vehículos, de cuya colecta se encargaba el Instituto Nacional de Transporte. Por otro lado, se renovaron los equipos de mantenimiento de la red vial y se logró la rehabilitación de unos 3.700 km, gracias a acciones conjuntas entre el BID y el recaudo de los peajes para el Fondo Vial (Sanclemente, 1998).

Adicionalmente, en 1982 se formuló un nuevo plan de rehabilitación ferroviaria en cooperación con el Banco Mundial para el reacondicionamiento de las carrileras, reparación de las locomotoras, reequipamiento de talleres y modernización de la señalización en la búsqueda de recuperar la demanda de servicio. Dadas las limitaciones financieras para emprender el plan

se tuvo que hacer un reajuste a las tarifas, sin embargo el descenso del tráfico continuó hasta 1.9 millones de toneladas en 1986, entonces se hizo evidente la incapacidad de la empresa para seguir funcionando. A partir de esto, se decidió suspender el plan y evaluar si la empresa debía seguir funcionando (Sanclemente, 1998).

Como resultado del continuo trabajo, en 1980 hubo un aumento en la cobertura a nivel nacional de los servicios de acueducto en la zona urbana que paso a ser del 73% y en alcantarillado que alcanzó el 60%. En la zona rural se registraron incrementos del 40% y 12% respectivamente. Los encargados de llevar a cabo esta labor fueron las empresas municipales en un 44%, las filiales de INSFOPAL en un 18% y el Ministerio de Salud que controlaba el 38% de ellas en áreas rurales. En esta década, INSFOPAL fue liquidado después de hacer un balance se pudo apreciar que presentaba muchas insuficiencias como intermediario financiero (Sanclemente, 1998).

Luego de hacer un recorrido por esta década, se puede observar que el país en general no pasaba por un buen momento, Colombia atravesaba una crisis económica que causó un decremento de la productividad en todos los ámbitos. Sin embargo, se realizaron algunos adelantos en recuperación de carreteras, y rehabilitación ferroviaria, y en servicios de acueducto y alcantarillado.

### 3.4 Década de 1990

En 1991, comenzó el descenso del nivel de los embalses producido por el fenómeno hidrológico de “El Niño” y para inicios de 1992 solo funcionaba el 15% de la capacidad energética de los embalses, razón por la cual el Gobierno instauró medidas de racionamiento y se inició un plan de emergencia de compensación para aminorar el impacto. Pero esto no alivió el apagón, fue hasta mediados de 1993 cuando se restableció el servicio normal con la puesta en operación del proyecto Guavio (Sanclemente, 1998).

En la parte ambiental, se consagraron en la Constitución Política Nacional en 1991 los Derechos Colectivos y Ambientales de los ciudadanos y además, se señalaron las obligaciones del Estado y de los particulares con respecto a la conservación de áreas ecológicas. Posteriormente en 1993, con la Ley 99, se creó la Política Ambiental de Colombia, y se constituyó el Ministerio del Medio Ambiente, los Departamentos de Gestión Ambiental para los municipios de más de un millón de habitantes y 34 Corporaciones Autónomas Regionales. (Barrera Cataño et al., 2010).

En el sector de movilidad, la red principal llegó a 26.300 km en 1992, pero gran parte se encontraba deteriorada, razón por la cual se vieron en la necesidad de realizar un Tercer Plan Nacional de Transporte, cuyo propósito era complementar los programas anteriores de reparación y mantenimiento de las vías. Bajo este plan se llevaron a cabo obras de rehabilitación de puentes y la señalización de las carreteras (Sanclemente, 1998).

Por otro lado, desapareció el Fondo Nacional de Caminos Vecinales, debido a una reforma que se generó en el Ministerio donde las vías secundarias ya no dependían directamente de la nación sino de la coordinación de comités regionales, los cuales se solventaban de los recursos generados por los impuestos de cada departamento y transferencias del presupuesto nacional (Sanclemente, 1998).

En ingeniería sanitaria, la ausencia de INSFOPAL creó un vacío en el manejo del capital, a esto se le sumó que el gobierno quedó sin un marco regulatorio claro que permitiera enfrentar de manera adecuada la descentralización. Como consecuencia se reflejó durante la década, que la cobertura nacional del servicio de acueducto y alcantarillado estaba por debajo de las expectativas de crecimiento. (Fainborm y Rodriguez, 2000).

Después de analizar los sucesos ocurridos en esta década, se puede observar cómo la sequía afectó la economía del país, este hecho trajo consigo la crisis de las hidroeléctricas y el racionamiento del servicio. Asimismo se evidencian retrasos en los servicios de acueducto y alcantarillado, derivados de la descentralización del sistema y la falta de herramientas para abordar la transición y el cambio que conllevaba liquidar INSFOPAL. Sin embargo, se realizan adelantos en la construcción de carreteras, en donde se le prestó especial atención a su mantenimiento, además se dio un cambio administrativo con respecto a la forma como se venían manejando las vías secundarias.

### 3.5 Década del 2000

Entre el 2006 y 2007 la economía creció un 7.5%, debido a la expansión de los sectores de construcción (3.3%), servicios de transporte (2.5%), industria (10.6%) y comercio (10.4%). Es importante resaltar que el sector de la construcción se convirtió en una de las actividades con mayor desarrollo y dinamismo, en el 2008 representó alrededor de 6.3% del PIB y el 4.9% del empleo total en el país. El progreso del sector se reflejó particularmente durante la fase de recuperación de Colombia luego de la crisis financiera en la década de 1990 (Cámara Colombiana de la Construcción, 2008).

En la parte de infraestructura vial, en el año 2009 la red de carreteras alcanzó un total de 129.796 km, gracias al desarrollo el programa de Concesión 3G, que constaba de proyectos como: Zipaquirá – Palenque, Briceño – Tunja – Sogamoso, Bogotá – La Victoria, Pereira – La Victoria, Rumichaca – Pasto – Chachaguí, Área Metropolitana de Bucaramanga, Córdoba – Sucre, Área Metropolitana de Cúcuta, Girardot – Ibagué, Ruta Caribe (República de Colombia y Ministerio de Transporte, 2010).

Por otro lado, se hizo necesario implementar sistemas integrados de transporte masivo como solución a los problemas de movilidad que presentaban las ciudades principales, como parte de este esquema se encuentra: el Transmilenio en Bogotá, el Megabus en Pereira, el Transmetro en Barranquilla, Metroplus en Medellín, MIO en Cali, Transatlántico en la Guajira, Metrobús en Cúcuta, Metrolínea en Bucaramanga y Transcaribe en Cartagena (República de Colombia y Ministerio de Transporte, 2010).

En el área ambiental, en el 2000 se emprendió un proceso del Ministerio del Medio Ambiente, con la asesoría técnica de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el apoyo financiero del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para la creación de un sistema de indicadores que monitoreara los programas establecidos en la Política Nacional Ambiental, organizada en cuatro categorías: oferta ambiental, demanda, manejo de las “salidas” del sistema socioeconómico y gestión ambiental; esto con el fin de realizar avances hacia el desarrollo sostenible del país (Quiroga, 2007). En el 2008, el Índice Mundial de Desempeño Ambiental, elaborado por las Universidades de Columbia y Yale, incluyó a Colombia en el noveno lugar entre 149 países (*“15 años de logros cumple el sistema nacional de ambiente en Colombia”*, 2008).

En cuanto a saneamiento, el porcentaje de agua tratada en el 2000, en las ciudades principales era de 70% mientras que en los municipios intermedios era del 38% y en los pequeños no superaba el 18%. Asimismo, la cobertura promedio de acueducto y alcantarillado en las ciudades grandes era de 95% y 85% respectivamente, indicando un cubrimiento superior con respecto a los países vecinos. (República de Colombia, 2009).

Después de realizar un recorrido por esta década, se puede observar los avances en diferentes sectores, en movilidad se impulsó el sistema integrado de transporte masivo para las ciudades principales, adicionalmente se aumentó la malla vial del país con el programa de Concesión 3G dada la necesidad de trabajar en la conectividad regional; en la parte ambiental se tomaron

nuevas medidas para el desarrollo sostenible y en acueducto y alcantarillado se incrementó la cobertura con respecto a la década pasada.

### **3.6 Del año 2010 al 2015**

En el sector de construcción, con el programa de las 100 mil viviendas gratis, entre el 2014 y el 2015 se beneficiaron a 43.083 hogares, de los cuales el 58.1% correspondió a población desplazada, el 25.45% correspondió a población en pobreza extrema y el 16.5% correspondió a población afectada por desastres naturales (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2015).

En agua y saneamiento básico, se dieron importantes avances en el 2015 en el acceso de agua potable y alcantarillado, lo cual contribuyó a mejorar las condiciones de vida en varios departamentos. En acueducto se superó la meta del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 que era llegar a 2.800.000 personas, puesto que en realidad el sistema llegó a 5.039.661 personas. De igual manera, en alcantarillado y aseo se planeó llegar a 4.500.000 personas pero en realidad el sistema llegó a 5.218.331 personas (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2015).

En el sector de transporte se incrementó el presupuesto de inversión de \$3.8 billones en el 2010 a \$6.6 billones en el 2015, esto permitió aumentar las obras de infraestructura vial orientadas a la reducción de las distancias entre regiones y por tanto crecimiento de la productividad del país. El programa de Concesión 4G ha sido uno de los más ambiciosos y grandes en la historia de la ingeniería civil en Colombia, incluyó cerca de 40 proyectos, que cubren alrededor de 7.000 km de la red vial nacional, 141 km de túneles y 150 km de viaductos (Ministerio de Transporte, 2014).

La primera parte de la Cuarta Generación de Concesiones, tiene 10 proyectos que fueron adjudicados en el año 2014, estos representan más de 1.100 km. Los proyectos que forman parte son los siguientes: Girardot – Honda - Puerto Salgar, Autopista Conexión Pacífico 1, Autopista Conexión Pacífico 2, Cartagena – Barranquilla y Circunvalar de la Prosperidad, Autopista Conexión Pacífico 3, Perimetral del Oriente de Cundinamarca, Mulaló – Loboguerrero, Autopista Conexión Norte, Autopista al Río Magdalena 2 y Ocaña Gamarra (Ministerio de Transporte, 2015).

La segunda parte de la Cuarta Generación de Concesiones, tiene 9 proyectos que fueron adjudicados en el año 2015, estos representan aproximadamente 1.970 km. Los proyectos que forman parte son los siguientes: Puerta de Hierro – Carreto – Palmar de Varela, Carreto – Cruz del Viso, Transversal del Sisga, Villavicencio – Yopal, Santana – Mocoa – Neiva, Santander de Quilichao – Popayán, Autopista Mar 1 y 2, Bucaramanga – Barrancabermeja – Yondó, Pasto – Rumichaca (Ministerio de Transporte, 2015).

Por otro lado, se inició un proyecto para garantizar la navegabilidad del río Magdalena entre Barranquilla y Puerto Salgar, se avanzó en el mejoramiento de la infraestructura aeroportuaria del país por medio de un esquema de concesión de los principales nodos aéreos y se dispuso retomar el tren en Colombia con la rehabilitación de los corredores férreos La Dorada-Chiriguaná y Bogotá-Belencito (Ministerio de Transporte, 2015).

Finalmente, es importante mencionar que la medida de un país que se desarrolla sosteniblemente es la huella ecológica que se ha definido que debería ser de 1.8 hectáreas

globales per cápita. Sin embargo en el 2010, Colombia tenía 1.9 hectáreas globales per cápita, lo cual indica la necesidad de establecer acciones encaminadas a prevenir el aumento de dicha huella, de manera que no se ponga en riesgo el ecosistema. El futuro ambiental del país depende en gran parte de la calidad del desempeño de la economía, por tal razón en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 se buscó avanzar hacia un desarrollo sostenible de las principales locomotoras del país (Departamento Nacional de Planeación, 2011). Asimismo, se amplió el Sistema de áreas protegidas entre el 2010 al 2014 en 4.290.332 nuevas hectáreas, destacándose el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

Después de realizar un recorrido de los últimos años del siglo XXI, se puede observar que el sector de transporte ha sido un importante eje de desarrollo del país. Dada la necesidad de continuar avanzando hacia el crecimiento de la economía, se han propuesto programas a gran escala, tal como la Concesión 4G y otros proyectos de transporte multimodal que esperan mejorar la conectividad y accesibilidad del territorio en el futuro. Igualmente, se evidencian los esfuerzos por complementar el sistema de acueducto y alcantarillado y por realizar proyectos dirigidos a la protección y restauración del medio ambiente.

#### **4 PROBLEMÁTICAS Y NECESIDADES INGENIERILES DE COLOMBIA**

El recorrido a través de las décadas permitió conocer cómo ha intervenido la ingeniería civil en la evolución y progreso de Colombia, adicionalmente esto provee una noción de hacia dónde va el país. Los procesos de planificación y logística han sido necesarios para orientar de manera adecuada el crecimiento económico, razón por la cual se ha utilizado el plan nacional de desarrollo desde la década de 1960 que ha sido un elemento de dirección y base de las políticas gubernamentales de los presidentes en Colombia.

Desde el comienzo el desarrollo de la ingeniería civil en Colombia, ha estado enfocado principalmente a la infraestructura vial, siempre con la intención de lograr una mayor integración entre las regiones y de esta manera generar un incremento en la competitividad del país. Sin embargo, en la actualidad es necesario seguir trabajando en este sector en aras de cumplir con la demanda del comercio internacional.

El Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, tiene como meta ampliar la capacidad de gestión de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) para aumentar el ritmo de ejecución del programa de Concesión 4G y de los macro-proyectos de los corredores de transporte multimodal. Asimismo, se identificaron los principales corredores que aún hacen falta por ser estructurados con el fin de consolidar la red vial nacional en los años próximos (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

Por otro lado, se puede observar en las últimas décadas que el factor ambiental ha conseguido especial atención, el acelerado crecimiento económico ha generado beneficios para la sociedad pero también ha traído como consecuencia el deterioro de los ecosistemas y la contaminación. Colombia es un país con un excepcional capital natural que debe ser cuidado, razón por la cual, actualmente se adelantan medidas para cumplir con los parámetros de sostenibilidad, conservación de la biodiversidad, gestión del agua y manejo de la contaminación atmosférica.

Al hacer una revisión del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, se evidencia la priorización del desarrollo sostenible por medio del aumento del uso de energías renovables en los diferentes sectores de progreso del país: construcción, transporte, agua y saneamiento, energía y vivienda. Asimismo, se propone el Plan Estratégico para la Diversidad Ecológica y el Plan Nacional de Biodiversidad que buscan prosperar hacia la protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales para proporcionar un ordenamiento integral del territorio. (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

Finalmente, en el recorrido por la historia de Colombia del siglo XX y el siglo XXI, muestra la necesidad de avanzar acorde con el crecimiento poblacional, lo cual demanda la continua concepción de proyectos enfocados a la construcción de vivienda y suministro de servicios de energía, acueducto y alcantarillado.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, se trabaja en el déficit habitacional de las poblaciones más vulnerables a través de programas de vivienda de interés social y de interés prioritario. Asimismo, se plantean metas para mejorar los servicios básicos, con el

fortalecimiento de los procesos de planeación y gestión financiera de nuevos proyectos para poder impactar de manera positiva en los indicadores de cobertura y calidad. (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

## **5 HISTORIA Y DESARROLLO DE LA INGENIERÍA CIVIL EN BOGOTÁ**

El conjunto formado por Bogotá y el altiplano constituye actualmente la región más desarrollada y con mayor progreso del país. Posee el mayor índice de urbanización, zona industrial y comercial, además es el centro político, administrativo y cultural principal de Colombia, esto se ha visto influenciado en gran medida por el crecimiento demográfico y la demanda que esto conlleva. A comienzos del siglo XX, la ciudad contaba con 100 mil habitantes y los problemas de higiene y servicios públicos se hacían notar, sin embargo en 1921 cuando se logró esterilizar y potabilizar el agua con el uso de cloro, la tasa de mortalidad debida a la fiebre tifoidea se redujo. Con el transcurso de las décadas el número de la población iba en aumento. En 1938 habían 325 mil habitantes siendo la tasa de crecimiento de 3.7% al año, pero a partir de 1952, debido a factores como la migración campesina y la llegada de gente de otras poblaciones del país con la esperanza de mejorar sus posibilidades de trabajo, educación, vivienda y salud, se experimentó un crecimiento del 6.8 % y en 1967 la población era de 2 millones de habitantes (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1968). A raíz de esto, después de la segunda mitad del siglo XX, se evidenció un adelanto importante en obras civiles y planeación urbana, el cual será periodo de análisis y se abordará más adelante. Este periodo fue elegido por tratarse de la etapa de transición que da paso a lo que es Bogotá hoy en día, una metrópoli, hogar de casi 8 millones habitantes.

## 5.1 Década de 1960

Según un estudio realizado en 1964, se efectuó un conteo de la población mediante el XIII Censo Nacional de Población y II de Vivienda, que arrojó que el número de habitantes en Bogotá era de 1.697.311, comparándolo con el resultado del censo de 1951 que fue de 648.424 habitantes se observa que hubo un crecimiento de población 2.6 veces mayor que en la década anterior (Secretaria Distrital de Planeación, 2010).

La desorganización de la ciudad y la exigencia de ordenar su crecimiento hizo notoria la urgencia de planear la ciudad, obligando a las administraciones del momento a construir planes a futuro. A partir de esta necesidad, Bogotá se vio influenciada por alcaldes con ideales progresistas en la década de 1960. Un claro ejemplo de esto es el arquitecto Jorge Gaitán Cortés quien demostró una capacidad innata de proyectar a largo plazo y planificó el desarrollo de obras públicas, alcantarillado y redes de servicio de la ciudad a cinco décadas, construyó sobre los programas hechos por la administración anterior, realizó estimativos, proyecciones y usó herramientas como el estudio “Operación Bogotá”, diseñó propuestas, y acciones a seguir en diferentes áreas que quedaron plasmadas en “La planificación de Bogotá”. (Dávila, Julio D. 1958). Gaitán Cortes propuso la sectorización de Bogotá que ayudaría al mejoramiento y desarrollo de las comunidades, para lo cual dividía la ciudad en 8 circuitos, y estos se dividían a su vez en sectores. Este hecho sería la base para la posterior división de Bogotá en alcaldías menores y también sirvió como instrumento para los programas de auto-construcción.

Hacia el comienzo de 1960, Bogotá se amplió hacia el occidente. Un ejemplo de esto fue Ciudad Kennedy, un proyecto sin antecedentes emprendido en 1961, con la financiación inicial de fondos de la Alianza para el Progreso, ideado para 200.000 habitantes. Este proyecto fue un gran banco de pruebas en el que se exploraron diferentes tipos de construcción en varios modelos de vivienda unifamiliar y multifamiliar en edificios de 5 pisos que buscaban optimizar el espacio urbano. Se ensayaron sistemas de prefabricación liviana y se aplicaron las modalidades de autoconstrucción y desarrollo progresivo por primera vez, hecho que fue recibido con críticas por parte de los profesionales puesto que rompía con el sistema de construcción usado tradicionalmente por parte del Estado. Posteriormente en 1965, se creó el Banco de Ahorro y Vivienda y se autorizó la formación de Asociaciones Mutualistas de Ahorro y Préstamo, con lo que se esperaba el fomento del ahorro popular para la adquisición de domicilio. Además, el Instituto de Crédito Territorial desarrolló diversos proyectos de vivienda masiva, muchos de ellos superando las mil unidades, entre los que se encuentran Timiza en 1966, La Esmeralda, La Española y Pablo VI Etapa I en 1967 (Maya, 2007).

En cuanto a la infraestructura vial, Gaitán Cortés realizó estudios y proyectó en “La Planificación de Bogotá” tramos de la Avenida Circunvalar, Ciudad de Quito, Colón, Boyacá, Comuneros y Avenida 68, pero debido a problemas de financiación, la mayor parte de las obras fueron construidas en la alcaldía de Virgilio Barco Vargas. A su vez contribuyó a estructurar el proyecto del Parque Simón Bolívar denominado el pulmón de la capital, que cuenta con cerca de 283 hectáreas de amplia vegetación y espacios verdes, y está conformado por el Parque Los Novios, Parque el Salitre, Museo de los Niños, Unidad Deportiva El Salitre y el edificio de Coldeportes Nacional, entre otros. El primer proyecto para su aprovechamiento se propuso en

1961 y su desarrollo ha continuado en diferentes etapas. En 1968, se inauguró el Templete Eucarístico de 30 m de altura (*“Parque Metropolitano Simón Bolívar”*, 2016).

En la parte hidráulica e hidrológica, se destaca la creación de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) en 1961, cuyo fin primordial es la preservación y el aprovechamiento racional de los recursos naturales existentes en su área de jurisdicción, lo cual incluía toda la Hoya Hidrográfica del Rio Bogotá desde su nacimiento hasta el salto del Tequendama y toda la Hoya Hidrográfica de los ríos Ubaté y Suarez localizados en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1968).

Dado que la población aumentaba rápidamente, en 1960 se dio inicio a la elaboración del Plan Maestro de Alcantarillado, que proyectaba una población de 3.200.000 habitantes para 1985 y que comprendía el desagüe para una superficie urbana de 18.500 hectáreas y el sistema de tratamiento para aguas servidas, es decir aguas domesticas por medio de la cloración y auto purificación en tanques, lagunas de estabilización o plantas convencionales en las cuales la materia orgánica sufría descomposiciones bacteriales y posteriormente era llevada al caudal del Rio de Bogotá (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1968).

Así mismo, se tenía prevista la ampliación de Tibitoc, ya que en 1961, la demanda de agua superó la capacidad de suministro de  $4.5 \text{ m}^3$  por segundo, y desde entonces se estaban ocasionando racionamientos. Como plan de acción se puso en marcha un programa a corto y

largo plazo. El programa de corto plazo aumentó la capacidad de suministro en  $1.5 m^3$  por segundo con una primera ampliación del sistema. El programa a largo plazo se llevó a cabo en dos etapas y debería entregarse en 1971, para su desarrollo se contrató a la firma American Pipe and Construction Co. que se encargaría de fabricar la tubería diseñada para resistir altas presiones internas. En la primera etapa se instaló la tubería de 2 m de diámetro en una longitud de 63 km, se construyeron dos estaciones de bombeo y líneas matrices de distribución que reforzarían el servicio de la ciudad. La segunda etapa contemplaba unidades adicionales de bombeo, construcción de nuevos filtros y nuevos tanques sedimentadores. De la ampliación final de la planta se obtuvo como resultado el suministro de  $10.5 m^3$  por segundo de agua a Bogotá (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1968).

Por otro lado, se encuentra el ingeniero civil Virgilio Barco Vargas, quien estuvo al frente de la administración de la capital (1966-1969), consciente de las dificultades que se enfrentaban en la época, y queriendo dar continuidad a los proyectos iniciados por Gaitán Cortes, consideró dentro de su gestión pública aspectos como integración urbana, plan vial, parques y equipamiento, servicios públicos y renovación, y lo condensó en “La ciudad pensada” (Castaño y Mejía, 2013). Estos planteamientos, y el análisis y manejo de los recursos económicos, las relaciones y política, planeación y ejecución, fueron la receta para actuar y colaboraron al desarrollo de algunas obras de infraestructura que orientarían la evolución de la ciudad para los siguientes 20 años. Dentro de sus obras civiles más importantes se encuentran la remodelación del Palacio Liévano en donde funciona la alcaldía desde 1910, la construcción del Coliseo Cubierto El Campín con capacidad para 20 mil personas y el mejoramiento de las instalaciones del estadio Nemesio Camacho El Campín. Así mismo, estableció el Plan Vial de Integración Urbana cuyo

fin era unir el norte con el sur de la ciudad, lo cual representó más de 60 km de avenidas y 200 km de rehabilitación y reconstrucción de vías complementarias. Dentro de las vías más notorias se encuentra la Carrera 68 desde la Autopista Sur hasta la Carrera Séptima con una extensión de 18 km que benefició directamente a más de 200 barrios. Otra vía fue la Avenida Caracas desde la Calle 11 hasta la Calle 50 Sur con una longitud de 5 km, también se construyó el tramo de la Avenida Ciudad de Quito, comprendido entre el Campín y la Calle 68, la Avenida El Dorado, la Calle 63 desde la Carrera 24 hasta la Carrera 68 y la Calle 68, entre otras. Por otro lado, teniendo en cuenta el valor de las zonas verdes, propuso un programa para el aumento de áreas recreativas, en donde se contempló la construcción de 17 parques con un área superior a mil hectáreas (Alonso y Matiz, 1999)

Después de haber analizado los sucesos que ocurren en esta década, se observa que el aumento desmesurado de la población de Bogotá conllevó a que los mandatarios buscaran la forma de darle una organización a la ciudad para poder ofrecerle a los habitantes una mejor calidad de vida, es por ello que se vieron en la obligación de elaborar nuevos planes y proyectos hacia el futuro. Adicionalmente se evidencia una necesidad apremiante de aumentar la cobertura de servicios de acueducto y alcantarillado así como de designar espacios verdes de conservación para la ciudad.

## 5.2 Década de 1970

En 1973, se llevó a cabo el XIV Censo Nacional de Población y III de Vivienda en el que Bogotá contaba con 2.571.548 habitantes, lo cual representaba el 12.4% de la población del país (Secretaría Distrital de Planeación, 2010).

A inicios de la década, la administración distrital de Bogotá a cargo del Alcalde Carlos Albán Holguín observó la necesidad de continuar investigando sobre las problemáticas de la ciudad, teniendo en cuenta “Alternativas para el Desarrollo de Bogotá” en 1969 y después con la concepción de “Ciudades dentro de la ciudad” en 1974, se evidenció la importancia de planear, así como de transformar la idea de desarrollo y los sistemas de estructuración que hasta ese momento habían imperado. A partir de esto, se publicó otro texto llamado Políticas de Desarrollo Urbano que contenía los lineamientos y directrices que se debían seguir para el progreso urbanístico sugiriendo seis pilares de intervención tales como aspectos demográficos, administrativos, económicos, legales, físicos y sociales (Campo, 2012). Vale la pena resaltar la creación en 1972 de entidades importantes para la evolución de la ciudad como el Instituto de Desarrollo Urbano, el cual tiene como objeto el diseño y la construcción de la infraestructura vial de la ciudad.

Del mismo modo, se publicaron investigaciones llamadas “Estudio del transporte y desarrollo urbano - Fase I y Fase II” en 1972, que proporcionaron un diagnóstico de la ciudad y entregaron recomendaciones, entre esas, se sugirió desarrollar una estructura urbana poli-céntrica, que descentralizaba la supremacía del Centro, Chapinero y otras áreas al norte de la ciudad, y

fomentaba la creación de nuevos sectores de empleo. De esta manera se realizaría un desarrollo equilibrado para que un mayor número de personas trabajaran cerca de su domicilio, también se expresó la necesidad de proveer un sistema de transporte público eficiente entre los nuevos sectores, para lo cual se analizó la alternativa de un sistema de buses expresos con derechos viales especiales, y así poder desestimular el uso de automóviles privados. Por otro lado, se incorporaron propuestas viales como la construcción de la Avenida Circunvalar del Sur como una vía arteria entre la carretera a Villavicencio y la autopista del Sur, la construcción de cuatro intercambios necesarios para convertir la Avenida El Dorado en una autopista, el establecimiento de un sistema de tránsito rápido sobre tierra entre Suba y Soacha, entre Fontibón y la Avenida Caracas, entre Fontibón y la Avenida de las Américas, y un sistema de transporte subterráneo entre la Avenida de las Américas y la Avenida Tercera, a lo largo de la Calle 19, y la peatonalización de algunas vías del centro histórico (Saldarriaga, 2000).

Durante la década de 1970, la ciudad se vio influenciada por una arquitectura moderna, se levantaron los primeros rascacielos que sobrepasaban los 160 m de altura, entre los cuales se destacó la torre Colpatria, que comenzó su construcción en 1973, y fue un desafío ingenieril puesto que se encontraba ubicada en un terreno con arcillas expansivas por lo cual fue necesario emplear innovadoras técnicas sísmo resistentes y realizar excavaciones profundas de 50 m, para poder hacer el anclaje mediante 24 pozos de cimentación situados sobre una plataforma. La obra concluyó en 1979, cuenta con 196 m de altura y 50 plantas. Por otro lado se encuentra el Edificio Ugi construido en 1973, que aunque solo cuenta con 75 m de altura, se destacó por su notable diseño y construcción que empezó desde arriba hacia abajo alrededor de un núcleo central. Fue

una obra del arquitecto Hernando Vargas Rubiano y el ingeniero civil Guillermo González Zuleta reconocido por sus proyectos creativos (*“Hitos de la construcción en Colombia”*, 2011).

En el área de ingeniería hidráulica, se adelantó en 1972, un plan que iría en secuencia lógica con el crecimiento poblacional, de tal manera que proporcionaría  $20 m^3$  por segundo de agua a Bogotá, para esto se llevó a cabo el proyecto de la laguna de Chingaza ubicado en el macizo de Sumapaz que incluía 80 km de acueducto por tuberías, canales y túneles, así como la construcción de una presa que haría posible un embalse con volumen de más de 150 millones de  $m^3$  de agua (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1968).

Más adelante, se iniciaron proyectos en el sector hidroeléctrico para la generación, transmisión y producción de energía, como el de Mesitas que comenzó a construirse en 1977, localizado 70 km al occidente de Bogotá, utilizó las aguas del Río Bogotá, que serían bombeadas al sitio, para esto, se realizaron 18 km de túneles con 4.8 m de diámetro de excavación, y se montaron 9 km de tubería de carga de diámetro de 3.7 km, además se construyeron 135 km de líneas de transmisión para interconectar las plantas al sistema de distribución que ya había (Ramírez, 1984).

Después de hacer un recorrido por la década de 1970 se observa que comienza a tomar fuerza la construcción de edificios modernos, y hay un aumento significativo en la realización de proyectos dirigidos no solo a la movilidad, sino también a la solución de problemas energéticos, de alcantarillado y agua potable. Asimismo, siguen los progresos en cuanto a la planificación de la ciudad, se realizan varias investigaciones que evidencian la importancia de transformar la idea

de desarrollo que hasta el momento ha imperado y de construir una estructura urbana policéntrica.

### 5.3 Década de 1980

Según el XV Censo Nacional de Población y V de Vivienda ejecutado en 1985, Bogotá contaba con 3.982.941 habitantes, que representaban el 14.3% de la población nacional. (Secretaría Distrital de Planeación, 2010).

Según Ramírez (1984) “A pesar del crecimiento vertiginoso de la capital, su extensión geográfica descomunal y la compleja topografía, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado hizo una labor admirable en los últimos 20 años”. El suministro domiciliario de agua alcanzó una cobertura del 96% en el año 1984, pero cerca de 170 mil personas aún no tenían acceso a la red de servicio. Asimismo la capacidad de producción de agua era buena, sin embargo, hacían falta redes de alta presión para su transporte. Como solución el Plan de Desarrollo proponía la construcción de una nueva red matriz que trajera el agua desde la Planta Wiesner hasta algunos puntos clave como Ciudad Universitaria, San Diego y Tanque Casablanca, de esta manera se podría eliminar la baja presión en toda la ciudad. Por otro lado, hablando del sistema de alcantarillado para el manejo de aguas negras, la cobertura era de un 84%, lo cual indicaba que alrededor de 650 mil personas aún no contaban con el servicio. Se proyectaba una cobertura superior al 90% entre los años 1985 y 1990, para lo cual, el Plan de Desarrollo sugería la realización del interceptor del Tunjuelo definido en Ciudad Bolívar, el interceptor de las Mercedes, el interceptor de Quiba Limas, el alcantarillado de Fontibón y Suba, y el interceptor del Tintal Alto (Ramírez, 1984). Además, se expresó la necesidad de emprender acciones para la recuperación del Río Bogotá y la construcción de mayor cantidad de canales para las aguas lluvias.

En el sector hidroeléctrico, en 1984 la cobertura de servicio era de 92.3%. Con el fin de continuar el programa de expansión, se planteó un nuevo proyecto, localizado en la Hoya del Rio Guavio a 80 km al noroeste de Bogotá. Para esto se debía construir una presa de 250 m de altura, y formar un embalse útil de 950 millones de  $m^3$ , por otra parte, se desviarían los ríos Batatas y Chivar al embalse mediante conducciones en túneles de 2 km con el fin de aumentar a  $71 m^3$  el caudal promedio afluente. También se deseaba aprovechar el caudal en el salto de 1.100 m entre el embalse y el cauce del Rio Guavio, el desarrollo de esto se obtendría mediante la construcción de un túnel de 15 km, una central subterránea y un túnel de fuga de 5 km que restituiría los caudales usados por la central al cauce del río (Ramírez, 1984).

En ingeniería de vías, se realizó la Avenida Circunvalar, importante carretera de la capital, que atraviesa paralelamente a los cerros Orientales, comienza desde la Avenida Tercera y termina en la Calle 92 y pasa por las localidades de Chapinero, Santafé, y La Candelaria. En 1981, se inició su construcción bajo la alcaldía de Hernando Duran Dussán, luego de casi 20 años de planeación. Este proyecto tuvo un impacto positivo puesto que consistía en una alternativa de desplazamiento y optimizaba los tiempos de movilidad de los habitantes de la capital.

En el área del desarrollo de la planeación urbana, se experimentó un gran avance en la década de 1980, existía un dinamismo en la parte de construcción que se fusionaba con el crecimiento poblacional. La migración de nuevos habitantes provenientes de pueblos y zonas rurales hacía la capital hizo necesario proyectos como Ciudad Salitre, de 243 hectáreas y 20.000 viviendas, el

cual consistía en la construcción de edificaciones habitacionales y edificaciones de actividad múltiple (Maya, 2007). Por otro lado, se formuló el “Plan Centro”, en un esfuerzo por impulsar y ordenar el centro de la ciudad, entre 1986 y 1990. Durante la alcaldía de Julio Cesar Sánchez, se construyeron plazoletas, y se recuperaron zonas peatonales entre las Calles 1ª y 45, la avenida Circunvalar y la Carrera 30.

En ingeniería ambiental, el proyecto paisajístico y arquitectónico del Parque Simón Bolívar continuo, entre 1981 y 1984, se realizó la arborización y se llevaron a cabo distintas obras de adecuación del terreno. Posteriormente en 1986, se llenó el lago y se construyeron obras de infraestructura y adecuaciones deportivas (“*Parque Metropolitano Simón Bolívar*”, 2016).

Después de estudiar lo que ocurre en esta década, se observa que el aumento de la población hizo necesario seguir proporcionando soluciones al déficit de vivienda, servicios de energía, acueducto y alcantarillado. Además se continuaron desarrollando proyectos de infraestructura vial como respuesta a los problemas de movilidad y se realizaron obras orientadas al acondicionamiento del pulmón de la ciudad, es decir el parque Simón Bolívar. Asimismo se hizo notorio que la ampliación del sistema de alcantarillado, sumado a la falta de tratamiento de aguas a través de los últimos años contribuyó a la contaminación del río Bogotá, debido a esto se comenzaron a adelantar investigaciones para su descontaminación.

#### 5.4 Década de 1990

En 1993 se realizó nuevamente el XVI Censo Nacional de Población y V de Vivienda, en donde la ciudad presentó una cantidad de 4.945.458 habitantes correspondientes al 14.9% de la población del país (Secretaría Distrital de Planeación, 2010).

En la década de 1990, Bogotá se encontraba inmersa en procesos de transformación. Por un lado estaba el crecimiento demográfico, y por el otro, las nuevas administraciones de la Alcaldía que comprendieron la necesidad de realizar cambios para generar un mayor desarrollo económico en la ciudad. Con la constitución de 1991 el Distrito Especial se convirtió en Distrito Capital.

Es importante analizar que entre 1923 y 1990, se ejecutaron 15 planes para Bogotá, la inestabilidad de los planes y la corta duración de vigencia son factores que explican en parte, el desarrollo errático de la ciudad. Cada plan fue de cierto modo un experimento, en cada uno se ensayó algo diferente, una nueva manera de concebir la zonificación de la ciudad, una forma distinta de estructurar la normatividad de urbanización. A pesar de que se crearon localidades o alcaldías por sectores, esto no cambió realmente el sentido de manejo de Bogotá, debido a que no se tenía un poder de decisión significativo. Uno de los problemas que se vislumbraron en las últimas tres décadas del siglo XX es la centralización de cómo se proyecta la ciudad, cuya dimensión requería un esquema y una concepción más descentralizada. En la ley 388 de 1997 o Ley de ordenamiento territorial se definieron nuevas bases para la planificación urbana, que tendrían vigencia hasta la década del 2000. Los principales objetivos eran consolidar una

estructura física que apoyara la funcionalidad y competitividad de la ciudad, lograr la configuración de un sistema urbano sostenible, alcanzar un mejor aprovechamiento de los recursos y garantizar la atención a la demanda y déficit de vivienda (Saldarriaga Roa, 2000)

Para finales del siglo XX, la situación de movilidad era delicada dado que el uso de vehículo particular y privado era más intensivo con respecto al uso del sistema público, generando congestiones y por tanto una disminución en la calidad de vida de los ciudadanos. En 1998 la elección del alcalde Enrique Peñalosa dio paso al desarrollo de un sistema de transporte masivo de calidad que necesitaría de una infraestructura vial dotada de carriles de uso único, y un diseño personalizado para los peatones o usuarios de manera que fuera fácil la entrada a las troncales y estaciones. La invención del Transmilenio aseguraría un servicio cómodo, seguro, moderno y accesible para la población capitalina. En octubre de 1999, luego de que el Concejo de Bogotá aprobara el proyecto, se dio inicio a su construcción (*“Historia de Transmilenio”*, 2015).

Por otra parte, el Concejo de Bogotá decide aprobar el Acuerdo 9 de 1990 por medio del cual se crea la Secretaría Distrital de Ambiente a partir del deseo político de orientar y dar un buen manejo a los recursos naturales del Distrito, y de articular y conciliar el proceso de desarrollo con la protección de los recursos y el medio ambiente (*“Algo de historia”*, 2016).

En la parte de ingeniería hidráulica, debido al crecimiento demográfico de Bogotá, surge la necesidad de construir el embalse San Rafael, ubicado sobre la Hoya del río Teusacá para abastecer gran parte del norte de la ciudad y municipios cercanos como La Calera y Sopó, garantizando un continuo suministro de agua potable. El proyecto San Rafael, que comenzó a

funcionar en el año de 1997, contaba con una capacidad máxima de 75 millones de  $m^3$  y constaba de una presa, un túnel de desviación, un dique auxiliar, una galería de drenaje y otra de acceso a la cámara de válvulas, también fue dotado con estructuras de captación, de control, descarga de fondo y un rebosadero de emergencia. Además complementó el sistema de Chingaza, puesto que con esta obra se podían realizar operaciones de mantenimiento sin privar del suministro de agua a la capital (Rodríguez y Villegas, 2003).

A finales de 1992, el Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (FONADE) financió la realización de un estudio que evaluara las estrategias propuestas en investigaciones anteriores para la descontaminación del río Bogotá. La recomendación más valiosa fue la selección del esquema de tratamiento que consistía en la construcción de tres plantas independientes en las desembocaduras de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo con el río Bogotá. Posteriormente en 1994 se adjudicó el contrato de Concesión para el Tratamiento de Aguas Residuales de Bogotá a un consorcio francés, pero fue hasta 1997 que se iniciaron obras después de numerosos trámites (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005).

Vale la pena resaltar en la década de 1990 los alcaldes precursores del cambio: Jaime Castro (1992-1994) quien tuvo una gran relevancia debido al arreglo de la situación financiera de la capital, Antanas Mockus (1995-1998), quien educó a la ciudad con su programa de “Cultura Ciudadana” y Enrique Peñalosa Londoño (1998-2000), quien fue catalogado como ejemplar por la ejecución de obras tan importantes y trascendentales para el progreso de la ciudad como Transmilenio y ciclorutas, así como inversiones gigantescas en saneamiento y agua potable, además de la recuperación del espacio público y el establecimiento del “pico y placa” como una

forma de mejorar la movilidad vial. Todos ellos fueron esenciales para entrar al siglo XXI (León, 2008).

Como conclusión, se puede ver que en esta década se hace particularmente evidente la falta de continuidad entre los mandatos a lo largo del siglo. Cada gobernante aplicó su visión del Plan de Desarrollo sin tener en cuenta el que se venía ejecutando, y perjudicó la normal evolución de la ciudad. Por tal motivo se hace necesario un cambio representado en la Ley de ordenamiento que contenía los lineamientos que se deberían considerar para la siguiente década. Sin embargo, cabe destacar la contribución de los alcaldes que durante este periodo lograron dar solución a algunas de las problemáticas derivadas del constante aumento de población en la ciudad, en sectores como transporte, acueducto e ingeniería ambiental.

## 5.5 Década del 2000

Los estudios hechos por la administración de Bogotá expusieron que entre los años 2003 y 2007 la incidencia de pobreza bajó de 29% al 21.85%, los cambios más representativos se dieron en las localidades de Usme, Puente Aranda, San Cristóbal y Fontibón, esto indicó un progreso para la ciudad (Secretaria distrital de planeación, 2011). Por otro lado, en el campo de los servicios públicos durante esta década, los hogares bogotanos tenían una cobertura del 100% en energía, del 98.7% en acueducto y del 98.1% en alcantarillado (Barrera Cataño et. al, 2010).

Según Duque (2008) “en el contexto internacional, la ciudad ganó visibilidad, así lo demostró el reconocimiento León de Oro conseguido en la Bienal de arquitectura de Venecia en el 2006”. Bogotá, parecía haber entrado en un grupo de ciudades consideradas como modelo a partir de sus elementos urbanísticos y estrategias de gestión aplicadas a las problemáticas existentes.

En el área de movilidad, en el año 2000 se inauguró el sistema de transporte de Transmilenio que comenzó a funcionar con 14 buses. La primera ruta fue por la Avenida Caracas, desde la Calle sexta hasta la Calle 80, posteriormente el sistema se extendió con troncales de la Autopista norte y la Calle 80 hacia el occidente. En el año 2001, el alcalde Antanas Mockus, quiso optimizar el tiempo de desplazamiento de las personas en un 20%, lo que dio paso a la construcción de la fase II con las troncales Américas, NQS y Avenida Suba (“*Historia de Transmilenio*”, 2015).

Asimismo, Bogotá ha venido desarrollando y construyendo la infraestructura vial de acuerdo con la demanda y las necesidades inmediatas que genera el uso de transporte público y privado. En el 2003 se llegó a 14.535 km de los cuales el 96% correspondía al subsistema vial y el 4% correspondía al subsistema de transporte (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2003).

En el área ambiental, mediante el Decreto 061 de 2003, se adoptó el Plan de Gestión Ambiental del Distrito Capital que orientaba las acciones que deberían seguirse a largo plazo con el fin de garantizar un ambiente saludable y seguro. Adicionalmente se hicieron adelantos en la recuperación de los humedales de Juan Amarillo, Joboque, Conejera y Córdoba y en la construcción del parque ecológico Entrenubes (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2003).

En esta década, se realizaron tres importantes megabibliotecas, una de estas fue la Virgilio Barco que hacía parte del Plan Maestro del Parque Metropolitano Simón Bolívar, la cual se destacó por su diseño arquitectónico así como por su gran tamaño. Las otras, el Tunal y el Tintal se ubicaron en las localidades de Tunjuelito y Kennedy, y dieron un gran aporte al mejoramiento de esas zonas (Téllez, 2012).

Por otro lado, en el año 2000 por medio del Decreto 619 se adoptó el primer Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para Bogotá en donde se expuso la reglamentación del uso del suelo, el dimensionamiento de la infraestructura vial y de transporte, la delimitación de las áreas de conservación y conformación de corredores ecológicos, y las estrategias para el desarrollo de vivienda de interés social. Posteriormente se hicieron ajustes al mismo mediante el Decreto 469

y el Decreto 190 en los años 2003 y 2004 respectivamente (Secretaría Distrital de Planeación, 2010).

Por último, en el 2001 se construyó la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) El Dorado ubicada en la localidad de Usme, que se encargó del agua proveniente de los embalses de Chisacá y La Regadera y suministraría  $1.6 \text{ m}^3$  por segundo. Asimismo, se realizó el alcantarillado sanitario pluvial de los interceptores en las cuencas Salitre, Tintal, Jaboque y Torca (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2003) y posteriormente en el 2009 se dio inicio a un proyecto de gran magnitud, la construcción del interceptor Fucha – Tunjuelo a través del programa de saneamiento del río Bogotá, que estaba compuesto por un túnel de 9.44 km de longitud, y diámetro de 4.5 m (*“Bogotá estrena sistema de aguas de saneamiento”*, 2009).

Después de analizar los sucesos de esta década, se puede observar un avance claro hacia el mejoramiento y progreso de la ciudad al gestionar un instrumento de planeación como el POT, que propone una serie de actividades y acciones orientadas a la sostenibilidad del desarrollo urbano, la equidad social y el incremento en los niveles de productividad. Asimismo se evidencia la necesidad de continuar realizando obras que vayan acorde con el crecimiento poblacional, por tal razón se toman medidas en algunos sectores como por ejemplo en movilidad al implementar el sistema de transporte masivo Transmilenio, en la parte ambiental al hacer adelantos en la recuperación de cuerpos de agua y finalmente en acueducto y alcantarillado al construir infraestructura complementaria para cumplir con la demanda.

## 5.6 Del año 2010 al 2015

En el contexto socio-económico de Bogotá, según la Alcaldía Mayor (2015) entre 2011 y 2014 la incidencia de pobreza disminuyó en la ciudad de 17.3% a 15.8%, este es el resultado de dos factores, la reducción del desempleo y la política fiscal, que ha mejorado el balance entre impuestos y subsidios a favor población más vulnerable.

**Tabla 1.** Incidencia de pobreza por ingresos en las localidades de Bogotá

No.	Localidad	% en 2011	% en 2014
1	Usaquén	10.00	9.40
2	Chapinero	6.30	9.10
3	Santa Fe	22.00	23.20
4	San Cristóbal	30.20	23.10
5	Usme	34.10	29.10
6	Tunjuelito	19.80	15.00
7	Bosa	25.20	23.50
8	Kennedy	13.30	17.70
9	Fontibón	8.80	9.10
10	Engativá	9.10	9.00
11	Suba	11.60	8.10
12	Barrios Unidos	9.80	10.20
13	Teusaquillo	3.50	4.30
14	Los Mártires	19.90	15.60
15	Antonio Nariño	13.90	9.50
16	Puente Aranda	10.10	12.50
17	La Candelaria	22.10	15.90
18	Rafael Uribe	27.10	17.80
19	Ciudad Bolívar	32.20	29.30
<b>Total</b>	<b>Bogotá</b>	<b>17.3</b>	<b>15.8</b>

Fuente: Alcaldía Mayor, 2015

Las disminuciones más significativas en la incidencia de pobreza en porcentaje se dieron en las localidades de San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Kennedy, La Candelaria y Rafael Uribe. Este indicador permite conocer el impacto que ha tenido las políticas de administración en la ciudad y permite determinar las zonas que necesitan una mayor intervención.

Por otro lado, debido al incesante crecimiento poblacional y demográfico, la administración distrital se ha visto en la necesidad de contemplar nuevas medidas en el área de movilidad, como por ejemplo la construcción del metro pesado, el metro ligero, los cables aéreos y nuevas troncales de Transmilenio, con el fin de cubrir los requerimientos del entorno. En el proyecto del metro pesado, se realizó la estructuración legal y financiera con el desarrollo de los estudios de Ingeniería Básica Avanzada en 2013. Asimismo, en el proyecto del metro ligero se efectuó el Estudio Estratégico de Pre-Inversión para la evaluación y caracterización de la demanda. En el proyecto del cable aéreo para Ciudad Bolívar y San Cristóbal se hicieron los diseños y, según el acuerdo 527 de 2013, se aprobó un presupuesto de 253 mil millones para dar inicio a las obras en el 2015. En cuanto al sistema de Transmilenio, se consideró el proyecto de la Troncal Avenida Boyacá, para tal fin se llevaron a cabo los estudios pertinentes, y se programó la apertura del proceso licitatorio para finales del 2015. Adicionalmente se propuso conectar el SITP con la red troncal de Transmilenio, presentando un avance general del proyecto al 2015 del 82% y una cobertura de servicio medida por el porcentaje de rutas del 72% (Alcaldía Mayor, 2015).

Por otro lado, como medidas frente al cambio climático se han introducido cambios a la tecnología existente de los modos de transporte mediante la implementación de energías alternativas. Para esto se pusieron a rodar buses híbridos y se aumentó la construcción de

ciclorutas, en 2014 se adelantaron 13.5 km en diferentes puntos de la ciudad (Alcaldía Mayor, 2015).

En cuanto a los servicios públicos, la gestión a través de los últimos años por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado ha permitido proporcionar gran cobertura a la ciudad. Debido a la inversión constante para la construcción, rehabilitación o reposición del sistema troncal y secundario en las diferentes localidades, la cobertura en el 2015 alcanzó el 99.3% en alcantarillado y el 100% en acueducto (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015). Asimismo, en saneamiento se planteó la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Canoas, que se construiría en Soacha y espera contribuir a la recuperación del río Bogotá (*“Planta de tratamiento de aguas residuales Canoas”*, 2016).

En proyectos de interés social, en el 2015 se reubicaron 651 familias cuyas viviendas estaban localizadas en zonas de alto riesgo no mitigable por fenómenos de remoción de masas, lo cual indico un incremento de 263.7% con respecto al año 2014 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

Después de hacer una revisión de los sucesos ocurridos en los últimos cinco años se puede observar que la problemática en el sector de movilidad persiste, razón por la cual la administración distrital ha prestado especial atención a esta área a través de la concepción de nuevos proyectos. Por otro lado, se evidencian adelantos en la parte de servicios públicos dado los óptimos resultados que se reflejan en su cobertura y en vivienda de interés social en donde se hace una gran contribución con la entrega de casas a familias asentadas en zonas de riesgo.

## **6 PROBLEMÁTICAS Y NECESIDADES INGENIERILES DE BOGOTÁ**

La reseña histórica de Bogotá constituyó una herramienta clave para poder identificar como ha sido la evolución de la ingeniería civil en la ciudad y de esta manera reconocer cuales son los sectores que presentan las mayores dificultades actualmente. Como primera medida, se observa que el crecimiento poblacional y demográfico ha sido un factor determinante en la forma como se ha dado el desarrollo de la ciudad, puesto que este ha conllevado a que las administraciones estén continuamente pensando en cómo cumplir con la demanda socio-económica. Para facilitar la tarea, se ha utilizado el plan de desarrollo, que formulan los alcaldes a partir de las necesidades que perciben, lo cual ha sido la base de las políticas distritales a través de la historia y posteriormente al entrar al siglo XXI, surgió el plan de ordenamiento territorial que definió un conjunto de acciones con el objetivo de lograr una sostenibilidad ambiental y económica.

Con base en lo previamente mencionado, se puede observar a lo largo de las décadas y especialmente en el siglo XXI que una de las problemáticas más grandes que tiene la ciudad se deriva del sector de movilidad. En un principio el sistema de Transmilenio se creó con el propósito de suplir las demandas de transporte. Sin embargo aun cuando se ha ampliado la infraestructura desde su surgimiento, su cobertura no ha logrado ir de acuerdo al crecimiento desproporcionado de la ciudad, razón por la cual la administración de la alcaldía se ha visto en la obligación de complementar éste con la creación de otros sistemas de transporte público masivo. Con relación a esto, se han hecho adelantos mediante la concepción del metro pesado, el metro ligero o red férrea, los cables aéreos y además la ampliación del sistema de Transmilenio.

Al hacer una revisión del Plan de Desarrollo 2012-2016 se puede vislumbrar los avances que se programaron al 2016. Por ejemplo se planificó construir el 12% de la primera línea de metro pesado, y el 56% de la red férrea. Asimismo, en el proyecto de la red de líneas de cable aéreo se esperaba concluir los 7 km que corresponden para Ciudad Bolívar y San Cristóbal, y con respecto a la ampliación de las troncales de Transmilenio se esperaba un progreso del 46% (Alcaldía Mayor, 2015). Dado el cambio de administración y la articulación que esto requiere, así como inconvenientes relacionados con los estudios y diseños, los procesos de licitación y la adjudicación de presupuesto, se estima que no se logran cumplir las metas propuestas en movilidad antes de que finalice la vigencia del plan.

Por otro lado, se puede ver con el pasar de las décadas que el progreso ha traído consigo el aumento de la contaminación ambiental, en parte porque hace algún tiempo no se le prestaba mucha atención al concepto de sostenibilidad. A finales del siglo XX, se empiezan tomar medidas concretas con respecto a la rehabilitación de cuerpos de agua. Sin embargo es necesario continuar trabajando en esto, por tal razón actualmente se están orientando proyectos para la recuperación e integración de humedales, quebradas y ríos con el entorno, con el fin de poder darle otra cara a la ciudad, esperando que el desarrollo guarde un equilibrio entre la parte ambiental y económica.

El plan de desarrollo 2012-2016 se concibió de manera que contribuyera al ordenamiento del territorio alrededor del agua, se minimizarán las vulnerabilidades originadas por el cambio climático y se protegiera la estructura ecológica principal como principio de un nuevo modelo de crecimiento apoyado en la sostenibilidad ambiental. Para lo cual se incorpora la revitalización de

espacios urbanos así como rurales y se fomenta del uso de un sistema de transporte multimodal (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012).

Finalmente, el recorrido por la historia de la segunda mitad del siglo XX y posteriormente el siglo XXI muestra como el crecimiento del número de habitantes implica un gran reto en la planeación, generación y construcción de vivienda así como adecuación del espacio público. A partir de esto, se hace necesario intervenir nuevos sectores de la ciudad en donde se pueda acomodar la población.

El plan de desarrollo 2012-2016, planteó avanzar hacia una ciudad más densa, respetando las zonas protegidas, para lo cual sugirió aprovechar las áreas centrales de la ciudad que podrían albergar mayores edificaciones para vivienda y comercio (Alcaldía Mayor, 2015). Sin embargo, con la nueva administración distrital surgió un debate con respecto a este tema, puesto que el alcalde actual plantea, en contraste con el anterior, como parte de la solución construir en un área que fue declarada como reserva forestal en el año 2000.

## 7 BANCO DE PROYECTOS

Después de hacer una revisión de las necesidades y problemáticas actuales de la ciudad, se han elegido seis proyectos que se creen son vitales para el desarrollo de Bogotá, que brindarán la oportunidad de contextualizarse hacia dónde va la ciudad. A continuación se enumeran estos proyectos:

1. Primera Línea de Metro
2. Cable aéreo en Ciudad Bolívar
3. Recuperación del río Bogotá
4. Avenida longitudinal de Occidente
5. Troncal Avenida Boyacá
6. Urbanización en la Reserva Van Der Hammen

La información del banco de proyectos se clasificó de acuerdo a un formato proporcionado por el Instituto de Desarrollo Urbano, el cual se divide por componentes o áreas de la ingeniería civil y especifica el entregable en cada área.

- ✓ Topografía
- ✓ Tránsito y transporte
- ✓ Suelos y geotecnia
- ✓ Geometría
- ✓ Hidro-sanitario

- ✓ Ambiental
- ✓ Social
- ✓ Estructuras
- ✓ Otros

Se verificaron los entregables en cada proyecto dependiendo de la información encontrada, dado que algunos documentos de los proyectos aún no son públicos no se presentarán. También es importante tener en cuenta que no todos los componentes aplican para los proyectos. Esta información será un respaldo para concebir los proyectos integradores y la organización de la misma será de gran ayuda para el docente a la hora de escoger un proyecto, ya que podrá saber con claridad los documentos con los que se cuenta.

**Tabla 2.** Información del banco de proyectos

Componente	Entregable	1	2	3	4	5	6
Topografía	Planos	-	X	X	-	X	X
Tránsito y transporte	Estudio de tránsito y transporte	-	-	-	X	-	-
Suelos y geotecnia	Estudio geotécnico	-	-	-	X	X	X
Geometría	Alternativas o pre-diseños	X	X	-	-	X	-
	Diseño geométrico en planimetría	X	X	-	-	-	-
Hidro-sanitario	Informe de diseño hidro-sanitario	-	X	-	-	-	-
Ambiental	Informe ambiental	X	X	X	X	-	X
Social	Estudio social	X	-	X	-	X	X
	Estudio socio-predial	-	X	-	-	-	-
Estructuras	Estudio y diseños estructurales	-	X	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Información adicional del banco de proyectos

Componente	1	2	3	4	5	6
	Estudio en sostenibilidad Urbana	Diseño y especificaciones electromecánicas	Estudio técnico	Informe ejecutivo	Licitación	Plan de Acción
Otros	Gestión del suelo y diseño urbano	Registro fotográfico	Guía técnica	Informe de avance	-	Plan de manejo ambiental
	Una decisión que no podemos aplazar más	Video ilustrativo	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

## 7.1 Proyecto de la Primera Línea del Metro

Un proyecto como el de la Primera Línea del Metro de Bogotá, genera gran conmoción en la ciudad dada su magnitud, su construcción afectaría a comunidades, y las actividades económicas. Por tal razón, el proyecto fue concebido bajo los lineamientos de Proyectos Urbanos Integrales que surgen de la participación de comunidades y buscan dar soluciones al territorio que se va a intervenir. Un proyecto Urbano Integral es un instrumento y una herramienta metodológica de planeación y gestión que viabiliza proyectos vinculados al sistema de movilidad; se encuentra orientado al desarrollo urbanístico y al mejoramiento de la configuración espacial de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaria Distrital de Planeación, 2012).

El metro de Bogotá es un proyecto de transporte masivo que será el sueño de movilidad para la ciudad de Bogotá y se integraría con las redes peatonales seguras, la red de ciclorutas, Transmilenio y el SITP. El proyecto busca ahorrar tiempo en transporte aumentando la productividad de la ciudad y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

La historia del metro se remonta a 1843 cuando el inglés Charles Pearson, propuso abrir túneles subterráneos con vías férreas, como parte del plan de mejora para la ciudad de Londres, en el mes de enero de 1863 se abrió la primera línea de metro de 6 km utilizando locomotoras a vapor, que posteriormente fueron reemplazadas por carbón. La siguiente ciudad en contar con metro fue New York, cuyo experimento piloto de un tren subterráneo fue puesto en funcionamiento en 1870. En 1896, Budapest en Hungría, inauguró su primera línea de metro y Glasgow en Escocia construyó un circuito de 10 km, siendo así las siguientes ciudades Europeas

en contar con metro. A continuación, en el siglo XX comenzó la expansión de este sistema de transporte por Latinoamérica, Oceanía, África y Asia. Han pasado 153 años y Bogotá es la única metrópoli del mundo occidental con cerca de ocho millones de habitantes que no cuenta con metro. Sin embargo, ya se han adelantado progresos en cuanto a este tema (Instituto de Desarrollo Urbano, 2015).

A finales del 2014, se entregaron a la ciudad, los diseños de Ingeniería Básica Avanzada de la Primera Línea del Metro de Bogotá, compuestos por aproximadamente 37.000 planos, y además 192 carpetas de información física, 18 mil metros lineales de muestras de perforación de suelo y 37 productos de ingeniería realizados por un Consorcio colombo-español de compañías que han construido los metros de Madrid, Valencia, Sevilla y Xian en China (Instituto de Desarrollo Urbano, 2015).

Dentro de la propuesta se consideró el “Estudio de diseño conceptual del Metro de Bogotá” llevado a cabo por la Unión Temporal Grupo Consultor Primera Línea del Metro entre el periodo 2008 y 2010, que recomendó hacer una estructura bajo tierra a partir de factores asociados a las limitaciones de espacio en superficie, impacto ambiental y aspectos de seguridad teniendo en cuenta el bajo control en puentes y estructuras elevadas. Además, la construcción de un sistema en superficie conllevaría a la compra masiva de predios, lo cual genera una gran huella en miles de familias y comerciantes que viven o trabajan a lo largo del trazado, mientras que el proyecto subterráneo reduce la compra a 955 predios, rigurosamente necesarios para la realización de las bocas de las estaciones. Por otro lado, un viaducto o línea férrea a nivel crearía una división en la ciudad, que obliga a la construcción de cruces viales, y requiere un alto sacrificio en la red vial

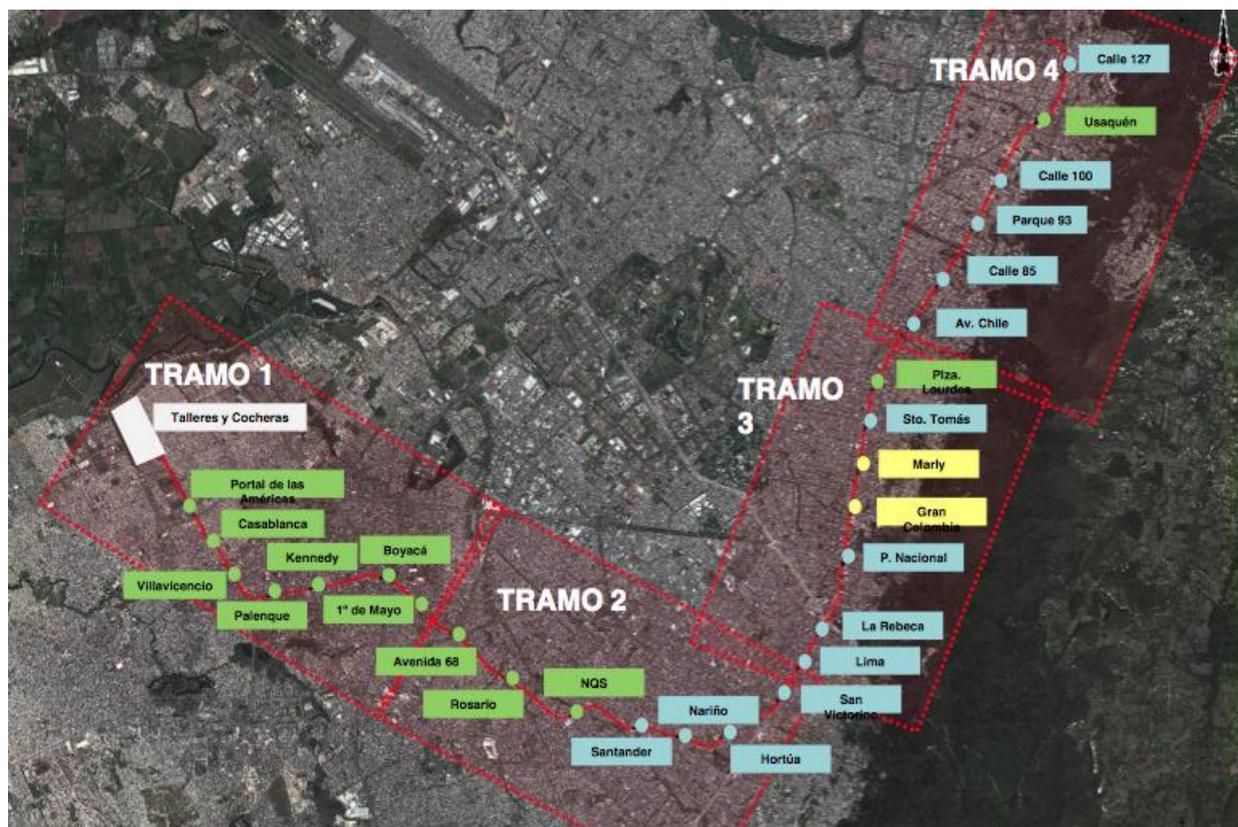
existente, sin mencionar el ruido y la vibración que afecta el patrimonio (Instituto de Desarrollo Urbano, 2015).

En el 2013, durante quince meses se realizó un estudio de geotecnia, que incluían 332 perforaciones a 50 m y en algunos casos sondeos profundos hasta la roca entre 120 y 306 m de profundidad a lo largo del trazado definido. Este análisis arrojó resultados en distintas zonas de la ciudad. En el sur occidente se encuentran materiales aluviales (arcilla, limos, arenas y grava final), en el corredor oriental, el suelo es más rocoso con materiales arcillosos, limos, arenas, gravas, bolos y bloques, y por último, al norte los suelos son arcillosos con un alto porcentaje de humedad. En resumen se halló que las características del suelo son de baja consistencia con un alto nivel freático. Sin embargo, esto no es un problema en la viabilidad de la construcción subterránea de la Primera Línea, puesto que hay tecnologías que se han usado en suelos similares en Ciudad de México, Caracas y otras ciudades (Instituto de Desarrollo Urbano, 2015).

Por otro lado, el espacio público cambiaría en 27 puntos donde el metro entra en contacto con la superficie de la ciudad. Según la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Los Andes (2015), la ciudad podría recibir hasta 2 billones de pesos gracias a proyectos inmobiliarios que se lleven a cabo en zonas aledañas a las estaciones en un tiempo estimado de 10 años. Las investigaciones sugieren que se generarían 11.8 millones de metros cuadrados para desarrollo de unidades residenciales, centros comerciales y edificios con múltiples servicios.

Como se ha observado, el proyecto tiene en consideración el estudio de impacto ambiental, el análisis de rentabilidad y los beneficios sociales, así como el estudio de gestión de suelo para las

27 estaciones que se tienen contempladas a lo largo de 34.64 km. La primera línea del metro conectaría el norte de la ciudad con el suroccidente. El punto de partida sería en Patio Taller (Tintal Sur), pero iniciaría como tal en el Portal de las Américas, y a continuación pasaría por el barrio Casablanca, Villavicencio, Palenque, Localidad de Kennedy, Boyacá, 1ra de Mayo, Avenida 68, Rosario, NQS, Santander, Nariño, Hortúa, San Victorino, Lima, monumento La Rebeca en el sector de San Diego, Parque Nacional, Gran Colombia, Marly, Sto. Tomas, Plaza Lourdes, Avenida Chile, Calle 85, Parque 93, Calle 100, Usaquén, finalizando en la Calle 127. Según el Instituto de Desarrollo Urbano (2015) en el extremo inicial de la línea estarían ubicados 41.1 hectáreas de patios para el estacionamiento y talleres de mantenimiento, que se conectan desde el Portal de las Américas por medio de un ramal técnico de 5.62 km de longitud. Se espera que en el primer año de funcionamiento del metro, más de 1 millón de pasajeros utilicen este medio de transporte que podrá llevarlos desde Bosa hasta la calle 127 en menos de 1 hora.



**Figura 1.** Trazado en planta del Metro

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015

Sin embargo, a inicios del 2016 con el mandato de Enrique Peñalosa, empezó un nuevo debate y se habló de la posibilidad de construir algunos tramos de La Primera Línea del Metro en superficie, alegando que subterráneo resultaría muy costoso y que no se cuentan con los recursos necesarios para su construcción. Durante el primer semestre del año se adelantó la creación de la Empresa Metro, independiente a los demás organismos distritales, que se encargará de generar nuevos estudios que determinarán lo mejor para la ciudad (*“Alcalde Peñalosa anuncia la creación de la empresa Metro de Bogotá”*, 2016).

## 7.2 Proyecto del cable aéreo para Ciudad Bolívar

El sistema de transporte a través de cable aéreo en Bogotá, es uno de los proyectos más interesantes y significativos para la ciudad, que espera mejorar la cobertura y accesibilidad de los residentes de la localidad Ciudad Bolívar. La Secretaria Distrital de Movilidad (2013) afirma que el Cable aéreo tendrá la capacidad de movilizar hasta 3.600 personas en horas pico.

En un principio, se estudiaron las cualidades que permiten reconocer el potencial y aptitud de una zona para el desarrollo de sistemas de cables; del análisis hecho surgieron ocho posibles trazados viables para la ciudad de Bogotá, los cuales fueron sometidos a investigación multicriterio, destacándose como prioritario el corredor “Portal el Tunal – Paraíso” en la localidad de Ciudad Bolívar. En el sector en el que se construirá el cable aéreo predominan los barrios marginales, debido a la precariedad de las vías y las viviendas, y la topografía que es un 90% montañosa. Teniendo en cuenta esto, el proyecto brindará la oportunidad de un mejor futuro a cada uno de sus habitantes, considerando que la movilidad es una necesidad para lograr los sueños y ambiciones del ser humano (Secretaria Distrital de Movilidad, 2013).

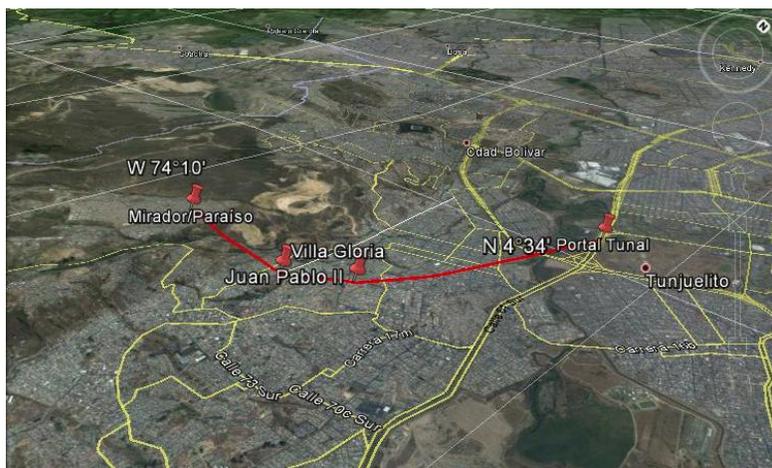
La selección apropiada del trazado de la línea es vital para garantizar el cumplimiento de aspectos esenciales como la óptima cobertura de servicio y la factibilidad del proyecto. Por tal razón en el estudio de localización de un corredor de cable aéreo para Ciudad Bolívar se tuvo en cuenta el contexto general del territorio, la densidad de población, y parámetros como las características físicas de la zona, las restricciones para el desarrollo del proyecto, la localización técnica puntual, la geometría del trazado, la longitud de la línea, el desnivel topográfico y la

ubicación de estaciones. Adicionalmente, se tuvo como premisa y axioma primordial la integración física y operacional del transporte por cable con el sistema de Transmilenio, clave para el éxito en la movilidad de la zona (Secretaria Distrital de Movilidad, 2013). Después de analizar todos estos factores se realizaron estudios a nivel de perfil, y a partir de allí, se encontraron dos opciones de localización viables que cubren las zonas de mayor pendiente, los barrios de mayor densidad de población y las áreas más alejadas de las vías principales.

Alternativa 1: Portal Tunal – Juan Pablo II – El Oasis – Paraíso

Alternativa 2: Portal Tunal – Juan Pablo II – Manitas/Villa Gloria – Mirador/Paraíso

Básicamente los dos trazados son similares, se diferencian principalmente en la ubicación de la estación intermedia no. 2 en el sector de El Oasis o en el de Villa Gloria. El paso a seguir era examinar las ventajas y desventajas de las opciones, y con base a esto, se tomó la decisión de seleccionar la alternativa 2.



**Figura 2.** Trazado en planta de la alternativa 1 Ciudad Bolívar

Fuente: Google Earth, 2016

El área de influencia del proyecto del cable aéreo en Ciudad Bolívar está contenida en las UPZ Lucero, San Francisco, Arborizadora de la localidad de Ciudad Bolívar y en la UPZ Venecia de la localidad de Tunjuelito que corresponden a sectores residenciales de estrato 1 y 2 que no se encuentran consolidados, sus asentamientos humanos son de origen ilegal, y por tanto tienen deficiencias de infraestructura, accesibilidad, equipamientos y espacio público. (Secretaría Distrital de Movilidad, 2013). A continuación, se muestran los barrios que enmarcan el recorrido del cable aéreo y la distribución de las pilonas que se ha propuesto.

**Tabla 4.** Localidades, Unidades de Planeación Zonal y barrios intervenidos en el cable aéreo

Localidad	UPZ	Barrio	Elemento
06 Tunjuelito	06 Venecia	Parque El Tunal	Pilona 1 y 2
		65 Arborizadora	Ronda de Río
		Ronda de Río	Pilonas 3, 4 y 5
	66 San Francisco	Las Acacias	Pilonas 6 y 7
		Millán	Pilonas 8 y 9
		Compartir	Pilona 10
19 Ciudad Bolívar		Sumapaz	Pilonas 11, 12, 13 y 14 Estación Juan Pablo II
		Juan Pablo II	Pilonas 15, 16 y 17
	67 Lucero	Villa Gloria	Pilonas 18, 19 y 20 Estación Villa Gloria
		Villas El Diamante	Pilona 21
		Bella Flor Sur	Pilonas 22 y 23
		El mirador	Pilona 24 Estación Mirador

Fuente: Secretaría distrital de Movilidad, 2013

### **7.3 Proyecto de la Recuperación del río Bogotá**

El río Bogotá es la cuenca principal del sistema hídrico de la ciudad y forma parte integral de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital (EEP). El río tiene un caudal promedio de  $30 \text{ m}^3/\text{seg}$ , una longitud aproximada de 308 km y nace en el páramo de Guacheneque a una altura de 3.300 metros sobre el nivel del mar, después recorre la provincia de Almeidas y la Sabana de Bogotá de norte a sur, posteriormente el río abandona la Sabana de Bogotá y se precipita formando el embalse del Muña, en el poblado de Chusacá y el salto del Tequendama en el municipio de Soacha y, finalmente desemboca en Girardot a una altura de 280 metros sobre el nivel del mar (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2010).

Para enfrentar la situación actual del río Bogotá ha sido necesario concebir un Macro-proyecto, el cual involucrará la construcción de una infraestructura integral para su saneamiento. Dentro del plan de trabajo se encuentran cuatro líneas de acción: conservación, restauración, recuperación y producción.

Este macro-proyecto está integrado principalmente por dos subproyectos, la ampliación y optimización del tratamiento de aguas residuales de las cuencas de los ríos Salitre, Torca y Jaboque en la PTAR Salitre y su conducción final hasta el distrito de riego la Ramada y la adecuación hidráulica del río Bogotá. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2010).

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2010) manifiesta que las actividades que se van a desarrollar están contenidas dentro del Plan de Ordenamiento y el Manejo de la Cuenca del río Bogotá, el Plan de Gestión Ambiental Regional 2001-2010 y el Plan de Acción 2007-2011.

Actualmente la PTAR Salitre abarca dentro de sus funciones un conjunto de operaciones y procesos unitarios, diseñada para un caudal de  $4 \text{ m}^3/\text{seg}$  de aguas residuales colectadas y descargadas a través de la cuenca El Salitre provenientes de seis localidades: Suba, Engativá, Usaqué, Chapinero, Barrios Unidos y Teusaquillo. Con la realización de las obras de ampliación y optimización, la PTAR Salitre pasaría a tener un caudal promedio de  $8 \text{ m}^3/\text{seg}$  (Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2013).

Por otro lado, el proyecto de adecuación hidráulica del río Bogotá y sus obras complementarias se llevará a cabo sobre la cuenca media del río en un recorrido de 68 km contenido entre las compuertas de Alicachin en el municipio de Soacha y la estación de Puente La Virgen en el municipio de Cota. Dentro de esta área se encuentran los municipios de Soacha, Mosquera, Funza, Cota y del Distrito Capital, las localidades de Bosa, Kennedy, Fontibón, Engativá, y Suba. La principal meta es la restauración del río por medio de la mejora de la calidad del agua, la disminución de los riesgos de inundación y la creación de áreas multifuncionales a lo largo del río, de tal manera que se recupere este recurso hídrico. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2010).

#### **7.4 Proyecto de la Avenida Longitudinal de Occidente**

Según el Instituto de Desarrollo Urbano y Alcaldía Mayor de Bogotá (2010) la Avenida ALO se concibió en un principio en el año 1964, cuando se pensó que sería una infraestructura fundamental para el manejo de flujos vehiculares futuros y una alternativa de enlace regional. El proyecto se ha ido consolidando en el transcurso de los años dada la importancia que tiene para la ciudad. En 1999 el IDU inicio su ejecución mediante el contrato de Asesoría para la Estructuración Financiera, Legal y Técnica. Posteriormente, en el 2006 se realizó una actualización, verificación y complementación de los estudios.

El proyecto se encuentra dividido en tres tramos: Rio Bogotá – Avenida Bosa, Avenida Bosa – Enlace Américas y Enlace Américas – Calle 13 o Avenida Centenario. En la sección típica se proponen dos carriles de 3.5 m y bermas de 1.8 m para un total de 10.6 m por calzada. El espacio peatonal, con excepción de la Avenida Villavicencio y la Calle 49 S, tiene una sección transversal de 8 m que se distribuye en 3 m de cicloruta y 5 m de andén (Instituto de Desarrollo Urbano y Alcaldía Mayor de Bogotá, 2010).

La ALO se cruza en su recorrido con el canal Fucha, que desemboca en el río Bogotá y los canales de Alsacia, La Magdalena, Castilla, Américas, 38 sur, Tintal II, Tintal III, Santa Isabel, y Tintal IV. Adicionalmente, como información técnica, se puede resaltar que la zona en donde está el proyecto se caracteriza por homogeneidad en los materiales del subsuelo, compuesto por suelos lacustre del río Bogotá de alta competitividad (Instituto de Desarrollo Urbano y Alcaldía Mayor de Bogotá, 2010).

Dentro del Plan Maestro de Movilidad, la ALO está considerada como un proyecto prioritario debido a que en su área de influencia se encuentra la zona industrial central, el aeropuerto y la zona franca. Además está diseñada para atravesar la ciudad sin tener que entrar a ella, lo cual representaría una reducción significativa en los tiempos de viaje y una mejora en la movilidad (Instituto de Desarrollo Urbano y Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

## **7.5 Proyecto de la Troncal Avenida Boyacá**

De acuerdo a las estrategias del Plan de Desarrollo 2012-2016 que catalogó el proyecto como prioritario, y acorde a los recursos aprobados por el Concejo Distrital, en el 2013 se realizaron los estudios de factibilidad por parte del Instituto de Desarrollo Urbano, posteriormente en 2014 se hicieron los diseños acompañados de diagnósticos sociales así como censos poblacionales y en 2015 se abrió la licitación de la fase I. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

El corredor en estudio será uno de los ejes viales fundamentales para el Distrito, que permitirá la conexión hacia diferentes áreas del país y entrará en una dinámica de integración con las troncales que se encuentran hoy en operación. El proyecto está dividido en 5 tramos, desde Yomasa al Portal Tunal, desde el Portal Tunal a Diagonal 39 Sur, desde Diagonal 39 Sur a la Calle 22, desde la Calle 22 a la Calle 127 y por último, desde la Calle 127 hasta la Calle 170 finalizando en el Portal Norte. Esta obra beneficiará a la población asentada o residente en las localidades de Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Kennedy, Fontibón, Engativá y Suba. De acuerdo con lo sugerido en la etapa de factibilidad y las necesidades revisadas por Transmilenio se acordaron 32 estaciones (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

**Tabla 5.** Características técnicas estado actual de la vía

No.	Tramo	Longitud (km)	Carriles Mixtos	Carriles Transmilenio	de Estaciones
1	Yomasa a Portal Tunal	7.8	3	1	7
2	Portal Tunal a Diagonal 39 Sur	4.5	3	1	4
3	Diagonal 39 Sur a Calle 22	6.3	4	1	2
4	Calle 22 a Calle 127	7.8	3 y 4	1	9
5	Calle 127 hasta la Calle 170.	8.0	3 y 4	1	10

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015

Las vías actuales de la Avenida Boyacá fueron construidas en etapas, su desarrollo inicio entre los años 1974 a 1978, posteriormente entre 1982 a 1985 se realizaron ampliaciones y entre 1993 a 1995 se culminaron las obras, de esta forma se puede observar que la Avenida Boyacá tiene aproximadamente 20 años en donde se han consolidado taludes y suelos de sub-rasante. La adaptación del actual corredor vial de la Avenida Boyacá a una troncal para el paso de Transmilenio, requiere cambios físicos importantes dentro de la vía (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

En la descripción de la alternativa propuesta se contempló para los tramos no. 1, 2 y 5 la adecuación de los carriles actuales a un corredor con tres carriles mixtos, un carril por sentido para el tránsito de los vehículos de Transmilenio y un segundo carril de sobrepaso en intersecciones semaforizadas y en estaciones. Para el tramo no. 3 se sugirió cuatro carriles mixtos y un carril expreso por sentido situado en la mitad de los carriles mixtos para el tránsito de los vehículos de Transmilenio. Para el tramo no. 4 se plantea cuatro carriles mixtos hasta la

Calle 80 y tres carriles mixtos hasta terminar el tramo, igualmente un carril por sentido para vehículos de Transmilenio y un segundo carril de sobrepaso en intersecciones semaforizadas y en estaciones. Adicionalmente, en el diseño se contemplan zonas de espacio público, mobiliario urbano y ciclorutas. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

El proyecto surge para dar solución a la demanda del occidente de Bogotá, y mejorar las condiciones de accesibilidad en las localidades intervenidas, con el objetivo de consolidar el modelo de ciudad dispuesto por el Plan de Ordenamiento Territorial.

## **7.6 Proyecto de urbanización en la Reserva Van Der Hammen**

La Reserva Van Der Hammen fue declarada como área de protección ambiental de la Sabana de Bogotá en el año 2000 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Este espacio verde cuenta con 1.395 hectáreas que se extienden por las localidades de Usaquén y Suba y desde los cerros Orientales hasta el límite del río Bogotá (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2014).

Sin embargo, el alcalde de la época, Enrique Peñalosa, tenía planes para realizar un proyecto de urbanización en el suelo de la reserva y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) se oponía a esta iniciativa por cuestiones ambientales, razón por la cual se reunió una comisión de expertos urbanistas, arquitectos, ambientalistas y personas diestras en población y turismo para resolver el futuro de la zona. La comisión concluyó que dicho territorio era patrimonio ecológico, histórico y cultural de Bogotá, Enrique Peñalosa apeló la decisión ante el Consejo de Estado pero en 2006 falló en su contra (Universidad de los Andes, 2016).

En el 2014, se aprobó el plan de manejo ambiental para la reserva, que regulaba los usos del suelo y por tanto prohibía construir allí. En el 2015, el alcalde Gustavo Petro, la Empresa de Acueducto de Bogotá y la Secretaria de Ambiente anunciaron una resolución que declararía el suelo como utilidad pública, lo cual posibilitaba al distrito comprar los terrenos a particulares o expropiarlos en caso de que se negaran a vender; esto con la finalidad de convertir la reserva en un gigantesco corredor ecológico. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2014).

Pero en el 2016, con la reelección de Enrique Peñalosa como alcalde volvió a surgir la iniciativa de llevar a cabo proyectos de vivienda en el área. Dentro de la propuesta se considera intervenir el 92% de los terrenos y solo dejar un 7.8 % intacto, es decir 108 hectáreas. El proyecto de planeación urbanística, que se llamaría Ciudad Norte, se basa en la construcción de viviendas, zonas de comercio, además de corredores ambientales y avenidas que serían fundamentales para la ciudad como la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO), la Avenida Ciudad de Cali, la Autopista Cota – Calle 170 y la Avenida Boyacá. La idea surge como solución al problema que se presenta en la ciudad de déficit de viviendas por el crecimiento poblacional continuo y desmedido, que conforme a las proyecciones, aumentará en 3.9 millones de habitantes en los siguientes 40 años. (*“Nuestra propuesta para la reserva Thomas Van Der Hammen es mucho más verde y sostenible”*, 2016).

La propuesta de urbanización ha suscitado disputas, debates y posiciones antagónicas entre Secretarios de Ambiente, planeación y hábitat, de igual manera entre políticos y opinión pública, pero hasta el momento no se ha tomado una decisión última al respecto (*“Nuestra propuesta para la reserva Thomas Van Der Hammen es mucho más verde y sostenible”*, 2016).

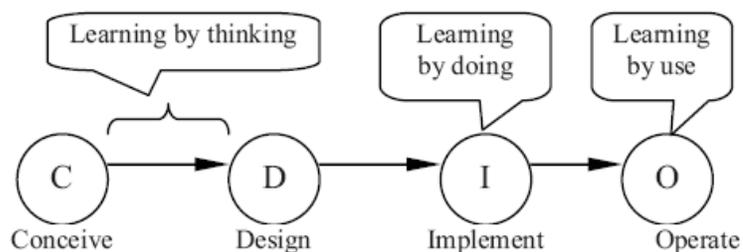
## **8 GUÍA METODOLÓGICA**

### **8.1 Filosofía CDIO**

La respuesta de los estudiantes de ingeniería de diferentes universidades del mundo frente al proceso educativo ha mostrado que ellos perciben que el conocimiento teórico se encuentra desligado con las experiencias prácticas a lo largo de la carrera, y que debido a esto no se sienten preparados para las demandas del mundo real. Además, expresan que su motivación se ve afectada por el hecho de que no se familiarizan con la profesión hasta relativamente tarde en el proceso formativo (Muñoz, Martínez, Cárdenas y Cepeda, 2013).

Sin embargo, actualmente la problemática ya está siendo abordada desde CDIO. Teniendo en cuenta que el propósito de la enseñanza en ingeniería es proporcionar el aprendizaje necesario para lograr el éxito profesional, la filosofía CDIO nace a partir de la búsqueda de mejorar el programa académico de las instituciones, de manera que éstas capaciten adecuadamente a sus alumnos en los diferentes cursos que se deben tomar a lo largo de la carrera mediante el fortalecimiento y desarrollo de competencias como conciencia social, espíritu empresarial asociado a la creatividad, innovación, dinámica en equipo, comunicación y liderazgo, además del aprendizaje de los fundamentos de ingeniería y experiencias prácticas que conllevan a la producción y fabricación de productos de calidad. La reunión de estos elementos permite entregar profesionales con una educación integral, que se adaptan apropiadamente a los requerimientos de las empresas.

Según Loyer et al. (2011) este modelo hace referencia a dos preguntas principalmente: ¿cuál es el conjunto de conocimientos, habilidades y aptitudes que los estudiantes deben poseer al culminar la universidad? y ¿en qué nivel de profundidad? Para dar respuesta a estas preguntas, CDIO define un marco educativo que comprende un listado a un amplio nivel de detalle dividido en cuatro ejes de formación: conocimientos técnicos y de razonamiento, habilidades personales y profesionales, destrezas interpersonales y saberes propios de la carrera para la concepción, diseño, implementación y operación de los procesos que encierran un proyecto de ingeniería (Martínez, Muñoz, Cárdenas y Cepeda, 2013).



**Figura 3.** Significado de la palabra CDIO

Fuente: Zhang & Liu, 2009

A continuación se explicará con mayor detalle los conceptos que componen la palabra CDIO. Como primera medida se encuentra la etapa de concepción de un producto o sistema que juega un papel importante en la fijación de los objetivos y requisitos del proyecto. Los estudiantes deben identificar las exigencias de los mercados, conocer e interpretar las necesidades de los clientes, identificar oportunidades que se deriven del uso de nuevas tecnologías, y determinar las metas y estrategias del proyecto.

En el proceso de diseño se tiene como propósito el desarrollo de un producto o sistema en donde se abarca la realización de planos, dibujos o esquematizaciones y algoritmos, que constituyen una gran oportunidad de aprendizaje. En esta etapa los estudiantes deben escoger técnicas así como herramientas apropiadas para cumplir los requisitos derivados de las metas del proyecto, y a partir de esto, se debe seleccionar un diseño y explicar las actividades que condujeron a la creación de éste.

En la etapa de implementación, los estudiantes deben discutir los procedimientos de pruebas y análisis, así como la verificación del desempeño en función de las necesidades del sistema y las necesidades del cliente. Según Crawley et. al (2007) Las etapas de diseño e implementación constituyen el núcleo del proyecto puesto que es aquí en donde se busca fortalecer la comprensión conceptual profunda de la disciplina y del conocimiento multidisciplinario.

Por último la etapa de operación, se refiere a la evolución del sistema, para lo cual los estudiantes deben definir mejoras a partir del funcionamiento del producto. Sin embargo, según Crawley et. al (2007) La experiencia ha demostrado que la ejecución de esto es difícil en un proceso académico. Razón por la cual, generalmente los proyectos se centran en la concepción, diseño e implementación como actividades claves del ciclo de vida de un producto que se consideran vitales para el aprendizaje de los estudiantes.

## 8.2 Antecedentes de proyectos integradores

En los últimos años se ha procurado usar una metodología activa mediante proyectos integradores con la filosofía CDIO, de esta manera los estudiantes logran identificar la interconexión de las diferentes áreas de conocimiento y aprenden más eficazmente cuando pueden experimentar y resolver problemas reales (Muñoz, Martínez, Cárdenas y Cepeda, 2013).

Muchas universidades del mundo han incluido los proyectos integradores en su plan de estudios con el propósito de usar herramientas que contribuyan a mejorar la enseñanza en las carreras de ingeniería. En los párrafos siguientes se explicarán algunos ejemplos de esto:

La Universidad Católica de la Santísima Concepción en Chile, implementó un curso piloto en el programa de ingeniería industrial llamado “intervención en las zonas desfavorecidas” a partir del tsunami de febrero de 2010, en el cual los estudiantes debían formular y desarrollar proyectos orientados a ayudar a pueblos vecinos de pescadores que fueron dañados por la catástrofe natural. Los estudiantes trabajaron con los líderes de la comunidad, los pescadores y las empresas familiares para brindarles la posibilidad de presentar dichos proyectos al gobierno nacional. (Loyer et al., 2011). A través de este tipo de experiencias CDIO, los estudiantes tienen la oportunidad de participar en equipos multidisciplinarios, conocer el contexto social y económico de su país y aportar soluciones a problemas del mundo real.

La Universidad de Guangzhou en China, ideó un proyecto para el programa de ingeniería mecánica que implicaba el diseño del motor de un automóvil. Teniendo en cuenta que al final el

motor debía funcionar correctamente, los estudiantes consideraron diferentes metodologías y mediciones técnicas a prueba y error. Asimismo, el proyecto restringió el uso de ciertos materiales (G. Qing, Z. Chunliang, W. Yijun, & J. Fan, 2012). Por medio de esta experiencia los estudiantes pueden aplicar los conocimientos técnicos adquiridos anteriormente, complementados con nueva investigación, auto-aprendizaje y el desarrollo de soluciones que involucran innovación y creatividad.

La Universidad de Sherbrooke en Canadá en el año 2000, concibió un proyecto para el programa de ingeniería civil que planteaba la sustitución de un puente de siete luces en Quebec a partir de un informe de inspección que indicaba que la estructura se encontraba muy deteriorada y era necesaria su demolición. Los estudiantes debían contemplar factores restrictivos en la parte social y ambiental así como aspectos geotécnicos, hidráulicos, estructurales, y de presupuesto. Adicionalmente, dentro del proyecto se consideró la organización de los equipos en forma de consorcios que luego debían debatir cuál era la mejor opción, y salidas técnicas que permitían contextualizar a los estudiantes (Labossiere y Roy, 2014). En estos ejercicios prácticos es importante emplear habilidades de gestión, planeación, diseño e ingenio que además demandan un fuerte trabajo en equipo.

Por último, MIT en Estados Unidos, propuso proyectos para cursos introductorios para el programa de ingeniería civil, como el diseño de la ciudad en donde está ubicada la universidad, es decir, Boston alrededor del siglo XIX. El proyecto proporcionó un contexto de las condiciones del entorno, y los estudiantes debían realizar la planeación de la ciudad por medio de la esquematización de un área residencial, comercial y el acceso (vías), considerando aspectos

topográficos, geotécnicos, ambientales, hídricos y meteorológicos así como factores sociales y económicos. (*“Introduction to Civil Engineering”*, 2016). A partir de esto, la universidad busca el fortalecimiento de habilidades personales e interpersonales en los estudiantes y estimula el desarrollo de soluciones innovadoras. Asimismo, en el 2011, se asignó un proyecto que requería el diseño y elaboración de un rascacielos, el cual debía ser lo más alto posible y estéticamente atractivo, considerando unas restricciones de tiempo, presupuesto y materiales. Adicionalmente, se advirtió que sobre el edificio se iba a poner el peso de una botella llena de agua de 0.5 L y posteriormente sería sometido a una carga sísmica, lo cual obligó a los estudiantes a contemplar parámetros de resistencia en el modelo. El propósito de esta experiencia es inducir a los estudiantes al auto-aprendizaje y fortalecer habilidades de análisis, liderazgo y creatividad entre otras (*“Skyscraper, Project Based Learning”*, 2011).

Esta investigación ayudó a la comprensión de cómo se plantean y se orientan los proyectos integradores en las diferentes universidades del mundo y se identifican las formas de abordar el concepto. Igualmente, la exploración de información contribuyó a conocer las características que deben poseer estos ejercicios prácticos y que serán pautas claves a tener en cuenta para la elaboración de los dos proyectos integradores para los cursos introductorios de ingeniería civil de la Universidad Javeriana en Bogotá.

### **8.3 Planteamiento de proyectos integradores**

En los programas de ingeniería ha habido una progresiva concientización de las falencias de los recién egresados dadas las necesidades actuales de la industria. Aun cuando tienen los conocimientos técnicos, carecen de habilidades importantes para la práctica profesional. Estas dificultades se han vuelto de conocimiento común, incluso se han realizado estudios sobre el tema, y la conclusión generalizada es que se deben incluir actividades de tipo práctico en los cursos (Loyer et al., 2011). Respondiendo a la necesidad de aumentar el componente práctico en el proceso de formación universitaria, se busca incorporar los proyectos integradores en los cursos introductorios de la carrera (ingeniería II).

Con base en lo previamente mencionado, se diseñaron dos proyectos integradores, el cable aéreo para Ciudad Bolívar y la urbanización de la reserva Van Der Hammen. Los tópicos se eligieron debido a su gran importancia para el desarrollo de la ciudad de Bogotá, y además reúnen las diferentes áreas de conocimiento de ingeniería civil.

En el primer proyecto se propone realizar un segundo trazado de la línea del cable aéreo, puesto que hay problemas para construir una de las estaciones establecidas dentro de la alternativa 1. Los estudiantes deben tener en cuenta aspectos socio-económicos, demográficos, de movilidad y de suelos, además de unas condiciones técnicas del proyecto para poder reubicar la estación.

En el segundo proyecto se plantea realizar una propuesta de “ciudad sostenible” que plasme como distribuiría y desarrollaría la zona, mediante la esquematización de un área residencial, comercial, acceso (vías principales y secundarias) y corredores ambientales. Los estudiantes deben tener en cuenta aspectos socio-económicos, ambientales, topográficos, hidrológicos y de estructuras para poder realizar el diseño.

Durante la concepción y diseño de los dos proyectos integradores surgieron diferentes obstáculos, uno de estos se manifestó en el momento plantear los objetivos de aprendizaje, como apoyo se utilizó la filosofía CDIO y los 11 parámetros de formación y evaluación establecidos por ABET, entre los cuales hay una fuerte correlación. Según Crawley et. al (2007) ABET se acerca más que otros a la captura y especificación del ciclo de vida de un producto, así como a las competencias que esto despliega.

**Tabla 6.** Correlación del Syllabus de CDIO con ABET

Syllabus de CDIO	ABET										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1.1 Conocimiento de ciencias subyacentes	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2 Conocimiento de ingeniería básica fundamental	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.3 Conocimiento de ingeniería básica avanzada	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
2.1 Analizar y resolver problemas de ingeniería	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
2.2 Experimentación y descubrimiento de conocimiento	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3 Pensamiento sistémico	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4 Destrezas y actitudes personales	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
2.5 Destrezas y actitudes profesionales	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X
3.1 Trabajo en equipo	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
3.2 Comunicación efectiva	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
3.3 Comunicación en idiomas extranjeros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.1 Contexto externo y social	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
4.2 Empresas y contexto comercial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.3 Concebir sistemas	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
4.4 Diseñar	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5 Implementar	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
4.6 Operar	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-

X Fuerte correlación    X Buena correlación

Fuente: Crawley et. al, 2007

Con base en lo previamente dicho, se trabajaron algunos de los objetivos que están contenidos en CDIO y por consiguiente en los criterios definidos por ABET. Estos objetivos se escogieron teniendo en cuenta los conocimientos de los estudiantes al nivel de cursos introductorios.

**Tabla 7.** Objetivos de aprendizaje

1	Considerar las restricciones del entorno en un proyecto de ingeniería.
2	Evaluar los impactos que tienen los proyectos de ingeniería en el entorno.
3	Diseñar soluciones a problemas de ingeniería sujetas a las restricciones del entorno.
4	Reconocer la influencia de los procesos constructivos en el diseño de un proyecto de ingeniería.
5	Ejecutar las actividades asignadas a un equipo.
6	Comprender la importancia y necesidad de la participación de diferentes profesionales en el desarrollo de proyectos de ingeniería.
7	Realizar esquematizaciones, e informes con la solución detallada del problema de ingeniería.
8	Reconocer los deberes profesionales y éticas del ingeniero civil.
9	Exponer y argumentar las ideas y propuestas de manera clara de manera escrita y oral.

Fuente: Elaboración propia

Otra dificultad se dio a la hora de elaborar el documento que condensó el proyecto integrador puesto que como estaría orientado a estudiantes que no tienen muchos conocimientos técnicos, debía especificar y describir adecuadamente las actividades desde cada área de conocimiento. Por tal razón, fue necesario realizar una investigación extensa en los dos proyectos y prever que fuera posible dar solución a las problemáticas. También se recurrió a algunas propuestas hechas por otras universidades para cursos introductorios. Por ejemplo, en el proyecto del rascacielos planteado por MIT, se observó cómo se debían abordar los diferentes componentes, así como su organización.

Después de que se consiguió plantear los dos proyectos integradores, se realizó una prueba de percepción en el curso de ingeniería II, en donde se entregaron encuestas a siete equipos que estaban conformados por cuatro personas.

**Tabla 8.** Prueba de percepción

No.	Pregunta	Si	No
1	¿Comprende la descripción del proyecto?	7	0
2	¿Identifica la problemática de ingeniería planteada en el proyecto?	6	1
3	¿Comprende las restricciones proporcionadas y la importancia de las mismas para la realización del proyecto?	3	4
4	¿Reconoce las condiciones de ingeniería en cada una de las áreas dadas en el proyecto?	5	2
5	¿Las actividades del proyecto o pasos a seguir son claros?	6	1
6	¿Se siente capacitado para desarrollar el proyecto con los conocimientos que posee actualmente?	2	5
7	¿Cree que este proyecto será útil para su formación como ingeniero civil?	7	0
8	¿Identifica la relevancia del trabajo en equipo de asignar y dividir tareas para llevar a cabo el proyecto?	7	0
9	¿Cree que la comunicación entre los integrantes del equipo es una herramienta valiosa para el desarrollo del proyecto?	7	0
10	¿Comprende cuáles son los objetivos del proyecto?	7	0

Fuente: Elaboración propia

A partir de este ejercicio piloto, se identificó que los estudiantes en forma general comprendían la descripción del proyecto y reconocían cual era la problemática de ingeniería planteada. Igualmente expusieron que las actividades eran claras y lograron vislumbrar la utilidad de implementar los proyectos en su curso. Sin embargo, indicaron que no entendían muy bien las condiciones y restricciones dadas en los proyectos. De acuerdo a las respuestas que se encontraron en las encuestas, se revisaron y se mejoraron los documentos de cada proyecto con las indicaciones puntuales que los estudiantes hicieron. Esto constituyó un gran aporte puesto que dio otra perspectiva y determinó en que se debía trabajar más.

## **8.4 Concepción guía metodológica**

Con la experiencia adquirida durante el planteamiento y formulación de los dos proyectos integradores, el cable aéreo y la urbanización de la Reserva Van Der Hammen, se propondrá una guía metodológica dirigida a los profesores para concebir nuevos proyectos, en la cual podrán hacer uso del banco de información de los planes a futuro de la ciudad de Bogotá. Esto con el fin de continuar implementando estos ejercicios prácticos que resultan imprescindibles para una buena formación educativa.

### **8.4.1 Metas del proyecto integrador**

La finalidad de los proyectos integradores es ayudar a que los estudiantes estén en la capacidad de planificar, anticipar y describir algunos de los factores realistas encontrados en un problema de ingeniería (“*Skyscraper, Project Based Learning*”, 2011). Como resultado de este ejercicio, en general el estudiante debe ser capaz de:

- Reconocer cuándo el conocimiento técnico adquirido en otros cursos puede ser aplicado al desarrollo del proyecto integrador.
- Explicar cómo la creatividad, resolución de problemas y la experimentación juegan un papel importante en su proceso de formación.
- Describir cómo el conocimiento interdisciplinario abarcado en el proyecto integrador será útil a la hora de diseñar y analizar los problemas ingenieriles reales.

- Describir el beneficio y valor de poseer una buena documentación para realizar el proyecto integrador.
- Explicar el reto que implica cumplir las condiciones y restricciones del entorno dadas en el proyecto integrador.

### **8.4.2 Metodología**

En contraste a la manera cómo se han venido abordando los cursos a lo largo de la carrera, se espera incorporar más a menudo los proyectos integradores que fomentan en los estudiantes el espíritu investigativo interdisciplinario y el auto-aprendizaje que conlleva al desarrollo de habilidades y aptitudes personales e interpersonales. La guía metodológica pretende servir de apoyo a la elaboración de los proyectos integradores, por tal razón a continuación se describen unos pasos lógicos y unos lineamientos que indican la manera en que un profesor podrá concebir este tipo de ejercicios prácticos.

Los pasos se dividieron en actividades de concepción, diseño, implementación y operación que comprenden el ciclo de vida de un proyecto. Las actividades de concepción señalan cómo surge el proyecto integrador, fijan los objetivos y requisitos; las actividades de diseño consisten en fundamentar las ideas y las actividades de implementación y operación describen la puesta en escena, así como la validación y mejoramiento de dicho proyecto (Takemata, Kodaka, Akiyuki y Sumio, 2013).

**Actividades de concepción:**

1. Revisar los objetivos del curso de ingeniería al cual va a estar orientado el proyecto integrador.
2. Revisar el banco de información de los proyectos que se planean a futuro para la ciudad de Bogotá y seleccionar uno que le interese para trabajar el proyecto integrador.
3. Revisar la documentación que proporciona el banco de proyectos mencionado en el paso anterior y realizar un poco más de exploración en la entidad pertinente si considera que falta algún estudio clave para elaborar el proyecto integrador.
4. Identificar cuáles son los objetivos del curso de ingeniería que se buscarán desarrollar en el proyecto integrador. Aquí debe tener en cuenta que dicho proyecto se llevará a cabo durante todo el semestre.
5. Revisar que materias han cursado los estudiantes hasta ese momento para determinar el alcance y grado de dificultad del proyecto.
6. Plantear la estructura y organización del equipo. Aquí es importante tener en cuenta que los equipos deben estar conformados mínimo por tres estudiantes para que exista una buena dinámica de trabajo y discusión de ideas.
7. Proponer un formato de evaluación de trabajo en equipo para conocer cómo fue la participación y dinámica entre los integrantes.

**Actividades de diseño:**

1. Identificar una problemática ingenieril que se pueda usar como base para el planteamiento del proyecto integrador. Aquí se debe tener en cuenta el alcance del proyecto.
2. Realizar una visita técnica para tener una mayor comprensión del proyecto y sus características.
3. Identificar el contexto socio-económico según sea el caso del proyecto y la zona en donde este localizado.
4. Definir las áreas de conocimiento que van a intervenir en el proyecto (estructuras, ambiental, topografía, geotecnia, transporte, hidráulica e hidrología y/o construcción).
5. Identificar las condiciones y restricciones del proyecto. Aquí se espera que se aborden las áreas de conocimiento que se definieron en el paso anterior y otros aspectos socio-económicos.
6. Proponer actividades específicas con las condiciones y restricciones. Las actividades deben estar pensadas para evaluar cada uno de los objetivos.
7. Condensar todos los pasos previos en un documento que debe tener las siguientes partes:
  - ✓ Intención del proyecto
  - ✓ Objetivos de aprendizaje
  - ✓ Organización de equipos
  - ✓ Descripción del proyecto
  - ✓ Planteamiento de la problemática

- ✓ Actividades específicas
- ✓ Bibliografía

### **Actividades de implementación y operación:**

1. Realizar exposiciones acerca de los temas y áreas de conocimiento que se van a tratar en el proyecto integrador. Las exposiciones se deben programar periódicamente de acuerdo a como avanzan los estudiantes.
2. Proponer al menos dos fechas durante el semestre para que los estudiantes muestren el progreso de su trabajo con respecto al proyecto integrador. Aquí se deben hacer correcciones y sugerencias.
3. Realizar una encuesta con los estudiantes al finalizar el proyecto integrador a partir de la experiencia que tuvo cada equipo durante su desarrollo (“*Skyscraper, Project Based Learning*”, 2011). Enseguida se sugieren algunas preguntas de tipo abierto que se consideran relevantes para la encuesta.
  - a. ¿Tuvo buen resultado la toma de decisiones que se hizo para el proceso de diseño del proyecto integrador?
  - b. ¿Cómo aplicaron el conocimiento adquirido en las materias cursadas los semestres anteriores para el análisis de diseño?
  - c. ¿Hicieron uso de la intuición para el diseño del proyecto integrador? ¿Es tan importante como el análisis?

- d. ¿Comprendieron la necesidad de abastecerse de buena documentación? ¿Por qué creen que es importante?
- e. ¿Hicieron un plan de trabajo? ¿Fue respetado este plan de trabajo? ¿De qué manera decidieron la programación y organización del tiempo?
- f. ¿Cuál es su opinión con respecto a las condiciones o restricciones encontradas para el proceso de diseño del proyecto? ¿Estas restricciones alteraron la toma de decisiones?
- g. ¿Asignaron y dividieron las tareas entre los integrantes del equipo de trabajo? Si es así, ¿Funciono? Si no, ¿Qué alternativa usaron?
- h. ¿Qué aprendieron y cómo será útil este proceso de aprendizaje para su formación como ingenieros civiles?

### **8.4.3 Alcances esperados en el aprendizaje del proyecto integrador**

Los proyectos integradores son un ejercicio de reflexión, diseñados para que los estudiantes desarrollen ciertos conocimientos y habilidades, puedan interconectar las diferentes áreas de conocimiento y tengan un acercamiento con un proyecto real de ingeniería. En los párrafos siguientes se explicará mejor esto con base en la filosofía CDIO.

#### **✓ Conocimiento disciplinar: técnico y de razonamiento**

Se espera que los estudiantes apliquen los conocimientos técnicos y de razonamiento adquiridos en las materias anteriormente cursadas y de esta manera consideren cómo contribuye

este discernimiento al adecuado proceso de diseño y solución de la problemática del proyecto integrador. Asimismo, se espera que refuercen y amplíen dichos conocimientos y que tengan unas pautas para abordar el futuro aprendizaje y la práctica profesional.

#### ✓ **Habilidades y atributos personales y profesionales**

Los proyectos integradores hacen hincapié en la creatividad, innovación e ingenio a la hora de concebir un diseño, así como en la habilidad de pensamiento crítico propia de los estudiantes de ingeniería que continuamente necesitarán para la resolución de problemas reales. En efecto, se espera que estos atributos personales y profesionales puedan ser reforzados con estas experiencias prácticas.

#### ✓ **Habilidades interpersonales**

Con la implementación de los proyectos integradores los estudiantes pueden fortalecer habilidades tales como trabajo en equipo, comunicación y liderazgo. Es importante resaltar que para el apropiado desarrollo de este ejercicio práctico se espera que los grupos tomen una serie de decisiones, generen discusión y lluvia de ideas, asimismo se espera que tengan en cuenta los puntos fuertes de cada integrante en las áreas de conocimiento y dependiendo de esto asignen la responsabilidad en las tareas. Al final del proceso, los estudiantes deben estar en la capacidad de dar a entender de manera oral y escrita su forma de llevar a cabo el proyecto y explicar el porqué de cada decisión en el desarrollo del mismo, allí deben defender y exponer sus ideas.

## 9 CONCLUSIONES

El aprendizaje basado en la experiencia ha sido ampliamente usado en el modelo educativo de carreras relacionadas con la salud; sin embargo, en ingeniería durante años solo se ha impartido el componente práctico después de enseñar una base sólida en conocimientos técnicos y de razonamiento. A menudo los estudiantes se relacionan con la disciplina y logran integrar las áreas de conocimiento avanzado el proceso formativo, lo cual produce que los recién egresados tengan falencias y deficiencias a la hora de enfrentar problemas reales de ingeniería en su labor profesional. Dada la importancia de proporcionar una educación integral e involucrar las experiencias prácticas desde un comienzo del proceso de formación universitaria, la presente investigación pretendía realizar una contribución mediante el planteamiento de dos proyectos integradores en los cursos introductorios del programa de ingeniería civil, que ayudarán a la estimulación y desarrollo de las habilidades y aptitudes que deben adquirir los futuros ingenieros civiles para el buen desempeño de sus funciones profesionales.

Por medio de este trabajo se logró conocer a fondo el contexto de ingeniería civil en la realidad regional y nacional, lo cual permitió realizar un diagnóstico de los requerimientos del entorno. Esto tuvo relevancia en el diseño de los dos proyectos integradores, dado que los temas se eligieron a partir de las necesidades de Bogotá, esperando generar una incentiva en los estudiantes para comprometerse con su entorno.

Debido a que es una metodología de aprendizaje nueva, se optó por realizar una prueba de percepción con el fin de conocer la opinión de los estudiantes de ingeniería II con respecto al

planteamiento de los dos proyectos integradores. Los estudiantes en general identificaron la importancia de aplicar los proyectos integradores y manifestaron que serían útiles para su formación como ingenieros, pero reconocieron sentirse incapacitados para desarrollarlos argumentando que aún no cuentan con los conocimientos necesarios. Sin embargo, la intuición y el autoaprendizaje juegan un papel primordial a la hora de llevar a cabo este tipo de ejercicios prácticos en cursos no muy avanzados. Asimismo, la experiencia con proyectos integradores en otras universidades del mundo demuestra que una vez los estudiantes tienen la oportunidad de utilizar estas herramientas, su respuesta es muy positiva.

Teniendo en cuenta los proyectos que actualmente se presentan en los cursos de ingeniería, terminan enfocándose en la temática de la asignatura, sin tener en cuenta la interconexión con las otras áreas de conocimiento, se propuso una guía de desarrollo de proyectos integradores con la intención de incitar a continuar formulando este tipo de ejercicios prácticos basados en la iniciativa CDIO, que incorporan un contexto social, económico y ético y demandan gestión, planeación, logística e ingenio.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

Academia Colombiana de Historia de la Ingeniería y de las Obras Públicas. (2009). *Apuntes para la historia de la ingeniería en Colombia*. Bogotá: Academia Colombiana de historia de la ingeniería y de las Obras públicas.

Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2013). *Plan de gestión social proyecto de optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR El Salitre*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). *Componente social tramo I, Troncal Avenida Boyacá*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). *Diseño geométrico tramo I, Troncal Avenida Boyacá*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2016). *Nuestra propuesta para la reserva Thomas Van Der Hammen es mucho más verde y sostenible*. Recuperado de [www.bogota.gov.co/](http://www.bogota.gov.co/)

Alcaldía Mayor de Bogotá, & Secretaria Distrital de Planeación. (2010). *Bogotá ciudad de estadísticas boletín 23, población y desarrollo urbano*.

Alcaldía Mayor de Bogotá, & Secretaria Distrital de Planeación. (2011). *Bogotá ciudad de estadísticas boletín 29, índice de pobreza multidimensional para Bogotá 2003-2007*.

Alcaldía Mayor de Bogotá, & Secretaria Distrital de Planeación. (2003). *Informe de gestión de las entidades distritales*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá, & Secretaria Distrital de Planeación. (2003). *Informe de cumplimiento de compromisos del plan de desarrollo*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá, & Secretaria Distrital de Planeación. (2012). *Plan de Desarrollo 2012-2016*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá, & Secretaria Distrital de Planeación. (2012). *Proyectos urbanos integrales*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2016). Alcalde Peñalosa anuncia la creación de la empresa metro de Bogotá. Recuperado de [www.bogota.gov.co/](http://www.bogota.gov.co/)

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2005). *Tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bogotá*.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2016). *Balance de gestión vigencia 2015*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Informe de redención de cuentas 2013. Balance de resultados del plan de desarrollo 2012-2016*. Bogotá, Colombia.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). *Informe de redención de cuentas 2015. Balance de resultados del plan de desarrollo 2012-2016*. Bogotá, Colombia.

Alonso, R., Matiz, A., Bogotá. Alcaldía Mayor. Instituto Distrital de Cultura y Turismo, & Bogotá. Alcaldía Mayor. (1999). *Ciudad para la memoria Virgilio Barco y la construcción de Bogotá*. Bogotá: Panamericana.

Barrera Cataño, J. I., Contreras Rodríguez, S. M., Garzón Yepes, N. V., Moreno Cárdenas, A. C., Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias Departamento de Biología Escuela de Restauración Ecológica, & Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias Departamento de Biología Unidad de Ecología y Sistemática. (2010). *Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del distrito capital* (1a ed.). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana Secretaría Distrital de Ambiente.

- BN-Américas (2016). Planta de tratamiento de aguas residuales Canoas. Recuperado de [www.bnamericas.com/](http://www.bnamericas.com/)
- Bogotá. Alcalde Mayor (1982-1984: Ramírez Ocampo), Ramírez Ocampo, A., & Bogotá. Alcaldía Mayor. (1984). *Bogotá año 2000. Plan de desarrollo económico y social*. Bogotá: La Alcaldía.
- C. Lu, & C. Zhai. (2012). Construction of the integrate teaching practical platform based on CDIO concept. *Computer Science & Education (ICCSE), 2012 7th International Conference on*, 1484-1487. doi:10.1109/ICCSE.2012.6295344
- Cámara Colombiana de la Construcción. (2008). *El sector de la construcción en Colombia, hechos estilizados y principales determinantes del nivel de actividad*. Bogotá, Colombia.
- Cámara Colombiana de la Construcción. (2011). Hitos de la construcción en Colombia. *La Construcción Sostenible*.
- Campo Albán, M. L. (2012). *Bogotá en la década de 1970*. Universidad Nacional de Colombia.
- Castaño Rodríguez, J. C., & Mejía Pavony, G. R. (2013). *La Bogotá de Virgilio Barco Vargas. Obra pública y pensamiento urbano (1966-1969)*.
- CDIO. (2016). *CDIO History*. Recuperado de <http://www.cdio.org/>
- CDIO. (2016). *Skyscraper, Project-Based Learning*. Recuperado de [www.cdio.org/files/](http://www.cdio.org/files/)
- Construcción Pan-Americana (2009). *Bogotá estrena sistema de saneamiento de aguas*. Recuperado de [www.cpampa.com/](http://www.cpampa.com/)

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2010). *Plan de gestión social para la compra de áreas y derechos adquiridos sobre los terrenos que requiere el proyecto de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá*. Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca. (2014). *Plan de manejo ambiental de la reserva forestal productora del norte de Bogotá D.C. - Thomas Van Der Hammen*. Bogotá, Colombia.

Crawley, E., Malmqvist, J., Östlund, S. & Brodeur, B. (2007) Rethinking engineering education the CDIO approach (2007).

Dávila, J. D. (2000). *Planificación y política en Bogotá la vida de Jorge Gaitán cortés*. Bogotá: Alcaldía Mayor.

Departamento Nacional de Planeación. (2011). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014*. Bogotá. Colombia.

Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Bogotá. Colombia.

Duque Franco, I. (2008). Planeamiento urbano en Bogotá 1994-2007. La construcción de un modelo. *Scripta Nova*.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (1968). *Historia del agua en Bogotá de la colonia al año 2.000*. Bogotá: La Empresa.

Fainboim Yaker, I., & Rodríguez Restrepo, C. J. (2000). CEPAL. *El desarrollo de la infraestructura en Colombia en la década de los noventa parte II*.

G. Qing, Z. Chunliang, W. Yijun, & J. Fan. (2012). Development and excogitation of the practice project based on CDIO engineering education model. *Computer Science & Education (ICCSE), 2012 7th International Conference on*, 1512-1515. doi:10.1109/ICCSE.2012.6295351

Instituto de Desarrollo Urbano, & Alcaldía Mayor de Bogotá. (2010). *Informe ejecutivo: Avenida longitudinal de occidente*. Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano, & Alcaldía Mayor de Bogotá. (2007). *Informe de avance de recopilación de información: Avenida longitudinal de occidente*. Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano. (2015). *Próxima estación, una decisión que no podemos aplazar más*. Bogotá, Colombia.

Instituto Distrital de Recreación y Deporte. (2016). *Parque metropolitano Simón Bolívar*. Recuperado de <http://www.idrd.gov.co/>

K. Takemata, A. Kodaka, A. Minamide, & S. Nakamura. (2013). Engineering project-based learning under the CDIO concept. *Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), 2013 IEEE International Conference on*, 258-261. doi:10.1109/TALE.2013.6654442  
 Labossiere, P., & Roy, N. (2015). Original concept for a Civil Engineering Capstone Project. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.* 141 (1), 05014001, 2015.

León Soler, N. (2008). Bogotá: De paso por la capital. *Credencial Historiador*.

Loyer, S., Muñoz, M., Cardenas, C., Martinez, C., Cepeda, M., & Faúndez, V. (2011). A CDIO approach to curriculum design of five engineering programs at UCSC. *Proceedings of the 7th International CDIO Conference, Technical University of Denmark, Copenhagen, 2011*.

- Ministerio Nacional de Educación. (2016). *15 años de logros cumple el sistema nacional de ambiente en Colombia*. Recuperado de <http://www.mineducacion.gov.co/>
- Ministerio de Transporte. (2016). *Informe de gestión 2015*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Resumen ejecutivo del informe de gestión del MVCT*. Bogotá, Colombia.
- MIT Department of Aeronautics and Astronautics. (2007). *CDIO in Aero-Astro and beyond*. Recuperado de <http://web.mit.edu/>
- MIT. (2016). *Introduction to Civil Engineering*. Recuperado de [www.ocw.mit.edu/](http://www.ocw.mit.edu/)
- Muñoz, M., Martínez, C., Cárdenas, C., & Cepeda, M. (2013). Active learning in first-year engineering courses at Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. *Australasian Journal of Engineering Education*, 19(1), 27-38.
- Pérez, G. J. (2005). Banco de la Republica. *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia*. Cartagena, Colombia.
- Quiroga Martínez, R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: Avances y perspectivas para América Latina y el caribe*. Santiago de Chile.
- República de Colombia. (2009). *15 años. Regulación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- República de Colombia, & Ministerio de transporte. (2010). *Transporte en cifras*. (2010). Bogotá, Colombia.

- Rodríguez Gómez, J. C., Villegas Jiménez, B., & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2003). *El agua en la historia de Bogotá* (2a ed.). Bogotá: Villegas.
- Saldarriaga Roa, A., & Bogotá Alcaldía Mayor Departamento Administrativo de Planeación Distrital. (2006; 2000). *Bogotá siglo XX urbanismo, arquitectura y vida urbana*. Bogotá: Alcaldía Mayor.
- Sanclémente, C. (1998). *Reseña histórica de la ingeniería colombiana* (1a ed.). Bogotá: Academia Colombiana de Historia.
- Sanclémente, C. (1999). *La ingeniería del siglo XX en Colombia* (1a ed.). Bogotá: Revista credencial Historia.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2016). *Algo de historia*. Recuperado de <http://www.ambientebogota.gov.co/>
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2013). *Estudio de localización, Ciudad Bolívar*. Bogotá, Colombia.
- Sierra Maya, T. (2007). *Áreas residenciales y desarrollo urbano en Bogotá*. En Revista Urbanismos. No. 2, p. 28-68. Ed. Unibiblos Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
- Téllez Tolosa, L. R. (2012). Breve historia de las bibliotecas públicas en Colombia.
- Transmilenio. (2015). *Historia de Transmilenio*. Recuperado de <http://www.transmilenio.gov.co/>
- Universidad Católica de la Santísima Concepción. (2016). *CDIO: Una nueva visión para la educación en ingeniería*. Recuperado de <http://www.cdio.cl/>

Universidad de los Andes. (2016). *El futuro de la reserva Thomas Van Der Hammen*. Recuperado de [www.uniandes.edu.co/](http://www.uniandes.edu.co/)

Universidad de los Andes. (2015). *Grupo de estudios en sostenibilidad urbana y regional*. Bogotá, Colombia.

Universidad Nacional de Colombia. (2015). *Primera línea del metro: Estructuras y opciones para desarrollar el área de gestión del suelo y diseño urbano*. Bogotá, Colombia.

Yi-Fang Zhang, & Jie Liu. (2009). An experiment of computer curriculum reform based on CDIO in engineering education. *Computer Science & Education, 2009. ICCSE '09. 4th International Conference on*, 1629-1632. doi:10.1109/ICCSE.2009.5228314

**Anexo digital A.** Proyecto integrador del Cable aéreo

**Anexo digital B.** Proyecto integrador de la Reserva Van Der Hammen

**Anexo digital C. Banco de información del proyecto de la Primera Línea del Metro**

**Anexo digital D.** Banco de información del proyecto del Cable aéreo en Ciudad Bolívar

**Anexo digital E.** Banco de información del proyecto de la Recuperación del río Bogotá

**Anexo digital F.** Banco de información del proyecto de la Avenida Longitudinal de Occidente

**Anexo digital G.** Banco de información del proyecto de la Troncal Avenida Boyacá

**Anexo digital H.** Banco de información del proyecto de la urbanización de la Reserva Van Der Hammen