

Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia.

Juan Esteban Duque Callejas

jduquec@eafit.edu.co

Resumen

En el mundo la construcción de redes de servicios públicos se ha expandido porque está ligada al crecimiento demográfico y al cambio climático, haciendo que las ciudades abarquen cada vez una mayor área de cobertura y extiendan la capacidad de sus redes existentes. No obstante, el impacto socio-ambiental que producen estas obras es reconocido como uno de los más altos en zonas urbanas. La afectación al comercio, el tráfico vehicular, el ruido y el polvo son algunos de los más evidentes.

En búsqueda de una solución, desde hace más de 50 años los países más desarrollados han venido implementando tecnologías para la construcción de redes de servicios públicos que evitan la apertura de zanjas, generando soluciones a problemas técnicos y reduciendo el impacto a la sociedad y al medio ambiente. Sin embargo, Colombia ha tardado bastante tiempo en implementarlas, debido principalmente al mayor costo frente a los métodos tradicionales, obviando sus grandes beneficios socio-ambientales.

EPM es la empresa que dio un primer paso en la dirección correcta, lanzando dos proyectos con intervención masiva de Tecnologías Sin Zanja; el Interceptor Norte y Centro Parrilla. Pero hoy, luego del término de estos proyectos, Ingeniería & Contratos S.A.S., uno de los contratistas de Centro Parrilla, encuentra un gran reto, ya que para mantener el mercado de los equipos adquiridos de Tecnologías Sin Zanja, debe explicar a las entidades públicas y a los diseñadores los grandes beneficios que ofrecen.

Palabras clave

Construcción; Tecnologías Sin Zanja; redes de servicios públicos; impacto social; impacto ambiental.

Abstract

Around the world, the pipelines construction for public services has grown because it is bound to population growth and climate change, pushing an increasing coverage area and expansion for the pre-existing supply networks. However the social and environmental impacts caused by these jobs are known as highly disruptive on urban areas. The noise, traffic, dust, and commerce affectation are quite evident.

Seeking for an answer, for over 50 years the highly developed countries have been implementing technologies for public services supply lines constructions that avoid open trenches, and doing so, they provide technical solutions and reduce the negative environmental and social impacts. However Colombia has taken a long time to implement them due to a higher cost compared to the traditional methods, overlooking their great benefits.

Fortunately EPM made a great first step on the right way, launching two projects whit massive Trenchless Technology interventions, the “Interceptor Norte” (North Interceptor) and “Centro Parrilla” (Grid Center). But now, after the conclusion of these projects, “Ingeniería & Contratos S.A.S.” (Engineering & Contracts) one of the main contractors of the “Centro Parrilla” project has found a grand challenge, since to maintain the market for their new trenchless equipment, they have to convince public entities and designers about the great benefits that these technologies offer.

Key words

Construction; Trenchless Technology; pipelines; social impact; environmental impact.

Contenido

1	Introducción	6
2	Situación en estudio – problema.....	7
2.1	Contexto.....	7
2.1.1	Tráfico vehicular	7
2.1.2	Afectación económica.....	8
2.1.3	Contaminación.....	9
2.1.4	Afectación a la salud social y ecológica.....	9
2.2	Antecedentes	11
2.2.1	Instalación de tuberías Sin Zanja.....	12
2.2.2	Rehabilitación de tuberías Sin Zanja	13
2.2.3	Servicios de apoyo sin zanja	15
2.3	Justificación.....	17
2.4	Formulación de la pregunta que permite abordar la situación o problema en estudio.....	17
3	Objetivos, general y específicos del trabajo de grado.....	18
3.1	Objetivo general	18
3.2	Objetivos específicos	18
3.2.1	Primero	18
3.2.2	Segundo	18
3.2.3	Tercero	18
4	Marco de referencia conceptual.....	19
4.1	Tratados ambientales internacionales.....	19
4.1.1	Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático	19
4.1.2	Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono	19
4.1.3	Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono y sus enmiendas	19
4.1.4	Tratado de Washington sobre el comercio internacional de especies de fauna y flora silvestres en peligro de extinción	20
4.1.5	Convenio de Ramsar relativo a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitats de aves acuáticas.....	20
4.1.6	Convenio de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar.....	20

4.1.7	Convenio internacional de las maderas tropicales.....	20
4.1.8	Convenio sobre diversidad biológica	20
4.1.9	Convenio para la protección del patrimonio mundial, cultural y natural .	20
4.1.10	Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación	21
4.1.11	Tratado de cooperación amazónica.....	21
4.1.12	Convenio entre el gobierno de la República de Colombia y el Centro Internacional de la Agricultura Tropical, CIAT.....	21
4.2	Legislación ambiental colombiana.....	21
4.2.1	Política ambiental.....	21
4.2.2	Regulaciones en torno a los recursos naturales y a otras sustancias....	23
4.3	Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja	25
4.3.1	Construcción de redes Sin Zanja – Microtúnel	25
4.3.2	Rehabilitación de redes Sin Zanja – <i>CIPP-UV</i>	26
4.3.3	Otros servicios Sin Zanja – Robots de fresado y resinas.....	26
5	Método de solución.....	27
5.1	Tipo de investigación.....	27
5.2	Enfoque de la investigación.....	27
5.3	Actores	27
5.3.1	La comunidad y el medio ambiente	27
5.3.2	Los contratistas.....	27
5.3.3	La interventoría.....	27
5.3.4	Los diseñadores	27
5.3.5	Las empresas prestadoras de servicios públicos	27
5.3.6	Municipios y otras entidades públicas.....	28
5.4	Carta de alineamiento metodológico	28
5.4.1	Plataformas teóricas	28
5.4.2	Categorías y sus parámetros.....	28
5.5	Estrategias de recolección de información	29
5.5.1	Entrevistas en profundidad	29
5.5.2	Revisión bibliográfica.....	29
6	Presentación y análisis de resultados.....	30

6.1 Entrevistas.....	30
6.1.1 Entrevista con el ingeniero Santiago Durango – Presidente Ve Group .	30
6.1.2 Entrevista con el ingeniero Francisco Piedrahita – exdirector aguas EPM	33
6.1.3 Entrevista con el ingeniero Santiago Sanín – Director Administrativo Redyco - Contratista EPM	37
6.1.4 Entrevista con el ingeniero Carlos Duque – Gerente I&C - Contratista EPM	39
6.1.5 Entrevista con el ingeniero Miguel Duque – Director de Tecnologías Sin Zanja I&C - Contratista EPM.....	49
6.1.6 Entrevista con el ingeniero Ignacio Moná – Director Técnico de Interventoría - Proyecto Cuencas EPM	58
6.1.7 Entrevista con la ingeniera Mary Luz Días – Residente de Interventoría - Proyecto Bypass estación de Bombeo Britalia Acueducto de Bogotá	61
6.1.8 Entrevista con el Dr. Samuel Ariaratnam – Experto más renombrado en la sociedad internacional de Tecnologías Sin Zanja.....	63
6.2 Revisión bibliográfica adicional	64
6.2.1 Normas técnicas internacionales de Tecnologías Sin Zanja.....	65
6.2.2 Métodos de valoración económica para bienes sin mercado	67
6.3 Análisis de resultados.....	71
6.3.1 Tráfico vehicular	71
6.3.2 Afectación económica.....	72
6.3.3 Contaminación.....	73
6.3.4 Afectación a la salud social y ecológica.....	74
7 Conclusiones	76
Referencias.....	78

1 Introducción

La empresa Ingeniería & Contratos S.A.S. con 30 años de experiencia en el sector constructor, adquirió en 2015 los equipos más modernos para la construcción de redes de acueducto y alcantarillado con el objeto de ejecutar el grupo D del proyecto Centro Parrilla para EPM. El contrato valorado en COP 60 mil millones, cumplió con el objeto de modernizar las redes de acueducto y alcantarillado de la cuarta parte del centro de Medellín con un valor agregado. Por tratarse del corazón del comercio de la ciudad se emplearon masivamente Tecnologías Sin Zanja, que reducen el impacto a la comunidad y al medio ambiente gracias a que minimizan la apertura de zanjas en el desarrollo de las obras (Gerasimova, 2016).

Pero ahora tras la finalización del proyecto, Ingeniería & Contratos encuentra un reto importante, puesto que para mantener el mercado de los equipos adquiridos de Tecnologías Sin Zanja, debe explicar a las entidades públicas y a los diseñadores los grandes beneficios que estas ofrecen, puesto que son poco conocidas en Colombia y se dificulta que los proyectos asuman los costos socio-ambientales.

De este modo, el objetivo del trabajo de grado se conecta con las necesidades de la empresa, para lo cual se realiza una investigación exploratoria de carácter cualitativo sobre los beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia. Cabe anotar que esto se desarrolla bajo los lineamientos de la legislación ambiental, para impulsar la implementación de tales tecnologías en los proyectos de construcción de redes de servicios públicos en el territorio nacional.

También se explican los contextos que dan origen a la problemática y los antecedentes en función de solucionarla. Es decir, los impactos socio-ambientales de los proyectos de construcción de redes de servicios públicos, que eluden los instrumentos de control de la legislación ambiental colombiana y las Tecnologías Sin Zanja que mitigan estos impactos.

El producto final es un documento que expone las Tecnologías Sin Zanja con mayor potencial en Colombia, identifica y sustenta sus beneficios socio-ambientales, resalta aplicaciones basadas en casos de éxito. Finalmente, se presenta una crítica constructiva que argumenta en contra de los cargos injustificados que asume la sociedad y el medio ambiente con los métodos tradicionales y resalta las soluciones disponibles con Tecnologías Sin Zanja.

2 Situación en estudio – problema

2.1 Contexto

En el mundo, el sector de la construcción en torno a las redes de servicios públicos se ha expandido como consecuencia del crecimiento demográfico, haciendo que en las grandes ciudades aumente la necesidad de una mayor área de cobertura de estos servicios y se extienda la capacidad de las redes existentes debido al incremento en la densidad poblacional.

Sin embargo, las obras de los proyectos de construcción de redes de servicios públicos generan impactos negativos a la comunidad, principalmente por su ubicación. Por razones técnicas, las redes son instaladas en los corredores viales y en espacios públicos para facilitar su construcción y su posterior mantenimiento, lo que genera alto tráfico vehicular y se afecta el comercio. Adicionalmente, estas obras tienen impactos negativos en la salud humana y del medio ambiente por aspectos como la contaminación, el ruido, los daños y accidentes.

El impacto global de una actividad económica en el bienestar de la sociedad o del medio ambiente se denomina costo socio-ambiental (denominado como *social cost* en la literatura inglesa) (Field, 1997), y como propone Gilchrist y Allouche (2005), pueden clasificarse en cuatro grandes categorías:

2.1.1 Tráfico vehicular

El tráfico vehicular es un colapso en la capacidad de las vías que puede ser desencadenado incluso por pequeñas perturbaciones y afecta a la comunidad en las siguientes formas:

2.1.1.1 Pérdida del espacio para estacionamiento

Esta es causada por los cierres viales y modificaciones en la configuración de las vías, producto de la intervención de las obras. Se determina en unidades de área (m²) y afecta a la comunidad debido al incremento en el desplazamiento incurrido en búsqueda de otras alternativas y a los recargos que esto implica.

2.1.1.2 Consumo adicional de combustible

Este es causado por el incremento de la longitud recorrida y las demoras por tráfico, producto de los cierres viales, desvíos y rutas alternas que ocasionan las obras. Se determina en unidades de volumen (galones) y afecta a la comunidad debido al recargo que implica el incremento en el consumo de este recurso.

2.1.1.3 Demoras por tráfico

Esta es causada por el colapso de las vías intervenidas por las obras y el incremento en la accidentalidad vehicular que también conllevan. Se determina en unidades de

tiempo (minutos) y afecta a la comunidad debido al valor de la productividad de las horas perdidas en el tráfico.

2.1.1.4 Accidentalidad vehicular

Esta es causada por la irritabilidad vial y el cambio en las condiciones de las vías que afectan la seguridad de las mismas, producto de la intervención de las obras. Se determina en términos de eventos por unidad de tiempo (accidentes por día) y afecta a la comunidad por el tráfico adicional generado, las lesiones personales, los daños materiales y los recargos que estos implican.

2.1.1.5 Deterioro del pavimento

Este es causado por los reparcheos de las zanjas y el incremento en las cargas estáticas (que son más nocivas para el pavimento que a las dinámicas de los vehículos en movimiento) producto del tráfico y las bajas velocidades que genera la intervención de las obras. Adicionalmente, el tránsito de las máquinas y equipos de construcción en las vías las deteriora significativamente. Se determina con una calificación porcentual que revela la necesidad de intervenirlo, y afecta a la comunidad por el deterioro de la calidad de vida.

2.1.2 Afectación económica

Es la alteración de las dinámicas económicas de un sector, que son sensibles a cambios en el entorno y afecta a la comunidad en las siguientes formas:

2.1.2.1 Pérdida de ingresos

Esta es causada por el detrimento en las condiciones del entorno y los cierres de corredores viales y de espacios públicos, que incitan a los clientes de los establecimientos comerciales a buscar otras alternativas, producto de la intervención de las obras adyacentes. Se determina en términos de dinero y afecta a la comunidad debido al lucro cesante de sus actividades económicas.

2.1.2.2 Reducción en la productividad

Esta es causada por el detrimento en las condiciones del entorno que genera malestar y perturba la concentración de los empleados, producto de la intervención de las obras. Se determina en términos de deltas en los rendimientos (unidades por hora) y afecta a la comunidad por el lucro cesante que conlleva.

2.1.2.3 Pérdida de ingresos fiscales

Esta es causada por la reducción de las utilidades, producto de las dos afectaciones al comercio explicadas, ya que los impuestos son proporcionales a las utilidades de los contribuyentes. Se determina en términos de dinero y afecta a la comunidad debido a la disminución del presupuesto del estado que implica menores retribuciones sociales.

2.1.2.4 Daños a la propiedad

Son producto del riesgo inherente a ejecutar obras civiles con maquinaria y equipos pesados cerca de la comunidad. Se determina en términos de dinero y afectan a la población debido al impacto económico que implican.

2.1.3 Contaminación

La contaminación es la alteración de las características físico-químicas de una determinada sustancia, y cuando se aplica a los recursos naturales afecta a la comunidad en las siguientes formas:

2.1.3.1 Ruido

Es una perturbación del recurso aire producto de los trabajos y la maquinaria de las obras. Se mide en decibeles, dB(A), y afecta la comunidad por el malestar y las lesiones auditivas que puede generar.

2.1.3.2 Polución

Es la contaminación del aire con gases y partículas nocivas como Hidrocarburos (HC), Óxidos de Nitrógeno (NOx), Monóxido de Carbono (CO), material particulado (MP), entre otros, que son emitidos por el equipo y maquinaria de las obras y por el tráfico vehicular que generan. Se miden en unidades de densidad ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ - microgramos por metro cúbico) y volumen (ppm – partes por millón), y afectan a la comunidad por los perjuicios a la salud social y ecológica que implican.

2.1.3.3 Polvo

Es la suspensión en el aire de partículas provenientes de los materiales de construcción. Se mide en unidades de volumen (ppm) y afecta a la comunidad por el deterioro en la calidad de vida y los costos de limpieza que implica.

2.1.3.4 Contaminación del agua

Es producida por vertimientos de sustancias peligrosas o residuos a los cuerpos hídricos y son comunes en el desarrollo de obras de construcción, especialmente en trabajos de acueducto y alcantarillado. Se mide en unidades de concentración (mg/L – miligramos por litro) y afecta a la comunidad por los perjuicios a la salud social y ecológica que implica.

2.1.3.5 Vibración

Es generada por la operación de la maquinaria y equipos de construcción. Se mide en unidades de aceleración (G) y afecta a la comunidad porque puede causar daños en estructuras y en equipos electrónicos.

2.1.4 Afectación a la salud social y ecológica

Cuando las obras impactan la salud de las personas o del medio ambiente se incurre en las siguientes afectaciones:

2.1.4.1 Tratamiento de daños físicos o psicológicos

Estos son causados por accidentes o perturbaciones producto de la intervención de las obras. Se cuantifican en términos de dinero mediante la valoración de los gastos médicos y perjuicios morales.

2.1.4.2 Reducción de la cantidad de especies

Esta es causada por las perturbaciones ambientales de las obras, que conllevan a la migración o mortalidad de las especies locales. Se cuantifican por unidad y afectan el balance de los ecosistemas.

2.1.4.3 Costos de restauración

Son los costos incurridos en la restauración del medio ambiente impactado por las obras. Ejemplos de ello son la reforestación y reconstrucción de servicios ecosistémicos (recursos y procesos de los ecosistemas).

Además de Gilchrist y Allouche (2005), otros autores también han desarrollado estudios desde el entorno de las obras y proyectos civiles para comprender y argumentar dichos impactos, como McKim (1997) desde la infraestructura subterránea, Rahman, Vanier y Newton (2005) desde la infraestructura municipal, Yu y Lo (2005) desde la infraestructura vial, Apeldoorn (2013) desde las redes de servicios públicos, Çelik (2014) desde las edificaciones, entre otros. Lastimosamente muchos de ellos concuerdan en que los costos socio-ambientales provocados por dichos impactos no son considerados por los ingenieros en las fases de planeación de los proyectos, ni en los procesos licitatorios, porque tradicionalmente han sido trasladados a la sociedad y al medio ambiente.

Matthews, Allouche y Sterling (2015) explican que otra razón por la cual los costos socio-ambientales no son considerados, es por la dificultad que implica calcularlos, ya que no puede realizarse por medio de los métodos de estimación estándar y además la información necesaria es difícil de obtener y validar. En su texto proponen métodos para calcular los costos socio-ambientales en los proyectos de construcción de redes de servicios públicos, relacionados con el tráfico vehicular, el costo de operación de los vehículos, el deterioro de la superficie de los pavimentos, el lucro cesante de los establecimientos comerciales y los estacionamientos, el manejo del polvo, la contaminación auditiva, la accidentalidad, entre otros.

Con la situación expuesta por estos autores se puede concluir que si los proyectos de construcción de redes de servicios públicos no toman medidas sobre los impactos socio-ambientales, porque tradicionalmente los han trasladado a la comunidad o porque no cuentan con la metodología o la información para cuantificarlos, entonces deberían ser las autoridades locales las que velen por los intereses de la comunidad y el cuidado del medio ambiente, y en consecuencia, debe revisarse la política ambiental de cada país.

En Sur América, como en la mayoría de las economías en vía de desarrollo, las políticas ambientales de los países se han caracterizado por un nivel de control laxo en torno al desarrollo de proyectos y obras civiles. Allí los gobiernos en función de atraer inversión extranjera y de explotar sus recursos naturales, han debilitado sus propias normas y mecanismos de control para forzar la viabilidad ambiental y así garantizar la ejecución de los proyectos. En Colombia la situación no es diferente.

En este país la autoridad determina la licencia ambiental como el principal instrumento de control. Sin embargo, autores como Sleman y Velásquez (2016) opinan que las últimas modificaciones a la norma están fundamentadas en los intereses económicos del gobierno de turno, producto de la falta de políticas de Estado en materia ambiental. Así mismo, Toro, Martínez y Arrieta (2013) realizan una crítica a la subjetividad y el sesgo de los métodos reglamentarios para evaluar los impactos ambientales en el proceso de obtención de la licencia ambiental, argumentando que la falta de indicadores para el estado del ambiente y de las obras o proyectos en la calificación de los impactos, aumentan la subjetividad y facilitan la manipulación de los resultados, permitiendo a los proyectos ubicar sus impactos al medio ambiente en categorías de menor complejidad.

2.2 Antecedentes

Dada la importancia del desarrollo de la infraestructura urbana en materia de construcción de redes de servicios públicos, y en contraste con los grandes impactos socio-ambientales que conllevan, grupos selectos de ingenieros han sido inspirados por esta dualidad, que los conduce a buscar alternativas para desarrollar las obras y proyectos de construcción de redes de servicios públicos procurando una mitigación de las afectaciones a la sociedad y al medio ambiente.

Es así como el *Journal of Terramechanics* (1969) presentó un artículo en el que describe el sistema Badger de *Pipelaying* (una de las primeras alternativas) desarrollado por Hudswell Yates Development Ltd. Se trata de una tecnología para la instalación de redes de acueducto en campos y cultivos sin necesidad de excavar zanjas, que se hizo popular porque permite a los agricultores desarrollar la infraestructura para el riego sin dañar sus cultivos.

Como esta tecnología, fueron surgiendo cada vez más métodos con una misma característica en común, la minimización de apertura de zanjas, y que en un principio se hicieron populares principalmente por las ventajas técnicas que ofrecían, ya que al evitar la apertura de zanjas se presentaban oportunidades para solucionar problemas antes imposibles. Desde entonces se les conoce como Tecnologías Sin Zanja.

Rees (1989) relata la consolidación de estas tecnologías como una nueva industria. En 1981 la Institución de Ingenieros Civiles del Reino Unido patrocinó la *Sewerage '81 Conference Exhibition* que atrajo la atención en cuanto al potencial de las Tecnologías Sin Zanja. Luego, en 1985 la *No-Dig Conference* en Londres, patrocinada por la Institución de Ingenieros de la Salud Pública, atrajo absolutamente toda la atención hacia el mismo tema, y por primera vez en la historia, la exhibición fue dedicada exclusivamente a las Tecnologías Sin Zanja. Conmovido por el éxito y la gran acogida, el consultor Ted Flaxman, encargado del cierre del evento, y que hasta la fecha era considerado un instigador del concepto Sin Zanja, propuso conformar la Sociedad Internacional de Tecnologías Sin Zanja (ISTT – *International Society for Trenchless Technology*), hecho que las consolida como industria reconocida.

De este suceso es importante resaltar que fue gracias a su potencial en la reducción del impacto ambiental y comunitario, evidenciado por la Institución de Ingenieros de la Salud Pública, que las Tecnologías Sin Zanja lograron atraer la atención suficiente para conformar una sociedad internacional, que hoy en día las proclama como defensoras del medio ambiente (Gerasimova, 2016).

Desde entonces los avances tecnológicos, especialmente en química, electrónica y robótica, han contribuido con el desarrollo y la diversificación de estas tecnologías. Bizier (2007) explica su principal clasificación:

2.2.1 Instalación de tuberías Sin Zanja

Se refiere a la construcción de redes nuevas sin necesidad de excavar zanjas, algunas de las más importantes son:

2.2.1.1 Microtunneling (MPJ)

Tecnología (conocida como Microtúnel en Español) y que emplea máquinas tuneladoras de diámetros inferiores a 3m que excavan túneles dirigidos. Estas se empujan con una línea de tubos de concreto a partir de un pozo de lanzamiento, en el que una estación de empuje los inserta, logrando así el avance del túnel hasta alcanzar otro pozo de destino, en el cual sólo la máquina es extraída y la tubería insertada en el proceso constituye el producto final.

Las máquinas tuneladoras son herméticas, poseen sistemas de direccionamiento guiado por láser y extraen el material excavado mediante una línea de lodos, que bombea agua por una tubería hasta el frente de excavación. Allí se mezcla con el material, formando lodos que son extraídos por otra tubería que los lleva a una planta que separa los sólidos del agua para recircularla nuevamente hacia el túnel.

El proceso es controlado desde un contenedor de operaciones que además contiene la unidad hidráulica (motor) y se conecta a una planta eléctrica de gran capacidad. Estos equipos se ubican en superficie cerca del pozo.

2.2.1.2 Pipe Ramming

Esta tecnología inserta tubería de acero desde un pozo, la cual tiene un borde en la punta que le permite cortar el terreno e introducirlo dentro de sí. En el proceso un riel en el pozo permite acoplar, soldar y empujar nuevos segmentos de tubería, logrando así el avance de la línea hasta el pozo de destino. Finalmente, el material alojado en la tubería de acero es extraído neumáticamente, y luego de su limpieza constituye el producto final.

2.2.1.3 Auger Boring

Esta tecnología también inserta tubería de acero desde un pozo hasta otro, pero aloja en su interior un sistema de tornillo sin fin que le permite cortar el terreno y evacuarlo continuamente mediante rotación.

2.2.1.4 Pipe Jacking (PJ)

Es similar a la microtunelación, pero su diámetro supera los 3 metros.

2.2.1.5 Horizontal Directional Drilling (HDD)

Esta tecnología (conocida como Perforación Horizontal Dirigida – PHD) posiciona en superficie una máquina de hincado y rotación de barras de perforación, las cuales preceden una cabeza de perforación en forma de chaflán que permite el direccionamiento, y un localizador que indica la ubicación, profundidad y posición horaria del chaflán. El sistema de barras permite realizar una perforación desde el punto de partida de la máquina hasta un pozo de destino, que cuando es alcanzado, se emplea para cambiar la cabeza y el localizador por un sistema de ampliación, precedido por un acople para enganchar la tubería a instalar, que al ser halados por la máquina, desalojan el material para introducir la tubería definitiva.

2.2.2 Rehabilitación de tuberías Sin Zanja

Se refiere a la rehabilitación de redes existentes con recubrimientos internos o reposición de las mismas por medio de fracturación, expansión y reemplazo.

2.2.2.1 Cured in Place Pipe Lining (CIPP)

Esta tecnología permite rehabilitar redes deterioradas mediante la instalación de un recubrimiento en las paredes internas de la tubería que se cura en sitio (se endurece en el lugar deseado). El revestimiento es blando, con forma tubular y se instala desde una cámara de inspección (cámara de acceso para inspección y mantenimiento del alcantarillado). Para su curado existen varios métodos. El más moderno utiliza luz ultra violeta, que endurece la resina presente en el recubrimiento, el cual es inflado y presurizado con aire para fijarlo y garantizar el contacto con las paredes de la tubería. La gran ventaja técnica de este método radica en que el tren de luces que emite los rayos UV inspecciona la instalación del recubrimiento con una cámara antes de iniciar el curado, que permite detectar y corregir arrugas y otros problemas.

Los métodos anteriores presurizan y curan el recubrimiento con fluidos a altas temperaturas, como aire caliente, vapor o agua caliente.

2.2.2.2 Fold and Form

Esta tecnología permite rehabilitar redes existentes con la instalación de recubrimientos de polietileno pre-doblados longitudinalmente, que al revertir el doblez, mecánica o térmicamente, retoman su forma circular original y se fijan a las paredes internas de la tubería existente.

2.2.2.3 Slip Lining

Esta tecnología permite rehabilitar redes deterioradas con la instalación de una tubería de menor diámetro dentro de la existente.

2.2.2.4 Pipe Bursting

Esta tecnología permite realizar reposición de redes existentes. El proceso inicia ubicando una máquina de halado en un extremo de la red, la cual dependiendo del método, inserta una serie de barras roscadas o un cable de acero hasta el otro extremo de la red, donde se acopla una cabeza destructora con cuchillas precedida de un expansor del cual se acopla la tubería a instalar. Al ser halados por la máquina, fracturan la tubería existente, expanden el terreno e insertan una nueva tubería de igual o mayor diámetro a la anterior.

2.2.2.5 Cementitious Lining

Esta tecnología emplea un tren con brazos espátula rotatorios, que recorre las redes deterioradas revocando sus paredes internas con mortero (cemento, agua y arena) suministrado por una planta mezcladora.

2.2.2.6 Manhole Rehabilitation

Esta tecnología rehabilita cámaras de inspección de alcantarillado utilizando resinas epóxicas aplicadas con spray, que crean un recubrimiento que sella las infiltraciones presentes en las paredes de dichas estructuras.

2.2.2.7 Internal Spot Repairs (Packers)

Esta tecnología permite realizar reparaciones de daños puntuales en tuberías con la instalación de un recubrimiento de corta longitud (normalmente 60cm) constituido por una felpa de fibra de vidrio impregnada con resinas (preferiblemente epóxicas), que se endurece tras instalar el recubrimiento con un tapón neumático de caucho que al presurizarse garantiza un contacto adecuado del recubrimiento con las paredes internas de la tubería.

Adicional a la propuesta de Bizier (2007), es importante mencionar una tercera división:

2.2.3 Servicios de apoyo sin zanja

Se refiere a la investigación, detección, inspección, lavado y otros servicios para las redes existentes.

2.2.3.1 CCTV inspection

Consiste en la inspección de redes con cámaras robóticas que permiten realizar diagnósticos de las mismas.

2.2.3.2 Georadars

Estos equipos permiten investigar el subsuelo, detectando estructuras y redes subterráneas, que es de gran ayuda en los procesos de diseño para construcción y reposición de redes.

2.2.3.3 Trackers

Estos equipos permiten localizar desde la superficie, frecuencias electromagnéticas provenientes de redes eléctricas u otros equipos robotizados de Tecnologías Sin Zanja.

2.2.3.4 Vacuum Trucks

Estos camiones poseen tanques, mangueras y bombas para lavar sedimentos en las redes con la inserción de un misil propulsado por agua a presión. El proceso culmina con la succión y almacenamiento de los sedimentos en los tanques.

2.2.3.5 Milling Robots

Estos robots controlados remotamente desde un camión equipado, permiten realizar cortes en las tuberías y remover obstrucciones como depósitos de concreto, raíces y acometidas penetrantes.

2.2.3.6 Resin Robots

Estos robots que típicamente son operados desde el mismo camión que los anteriores, permiten realizar reparaciones por medio de inyección de resinas epóxicas. También están equipados con múltiples herramientas como espátulas y formaletas que les permiten aplicar las resinas con un acabado óptimo.

Todas las tecnologías mencionadas contribuyen a la reducción de impactos socio-ambientales gracias a que minimizan las perturbaciones en superficie y por ende han sido implementadas masivamente en áreas metropolitanas densas de los países más desarrollados, donde las autoridades consideran que los impactos socio-ambientales de los métodos tradicionales son simplemente inaceptables (Rees, 1989).

No obstante, en los países en vía de desarrollo, como es el caso de Sur América, las prioridades de los gobiernos se centran en la atracción de inversión extranjera y el potenciamiento de la explotación de sus recursos naturales, que los llevan a flexibilizar sus instrumentos de control ambiental con el objetivo de facilitar la

viabilidad de los proyectos, dejando de lado los beneficios socio-ambientales de estas tecnologías.

Por este motivo las Tecnologías Sin Zanja en Colombia se encuentran sub-utilizadas, ya que como explican Matthews y Gutiérrez (2012), son implementadas principalmente en virtud de las soluciones técnicas que ofrecen. Debido a esta limitante, el mercado de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia es todavía muy pequeño. No obstante, Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), que el autor califica como promotora de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia, lanzó en 2011 un gran proyecto de microtúneles en Medellín.

El proyecto denominado Interceptor Norte, con un valor aproximado de US 68 millones, cumple con el objetivo de transportar las aguas residuales a través de más de 8 kilómetros a lo largo del Río Medellín hasta la nueva planta de tratamiento ubicada en el norte del área metropolitana. Y ya que el proyecto se desarrolló en la rivera e incluso fue necesario cruzar bajo el río varias veces, el nivel freático (nivel de las aguas subterráneas) y la composición aluvial del suelo (material de río compuesto por arenas, gravas y bolos, que lo hacen inestable y difícil de excavar) hicieron que la Microtunelación fuera la única tecnología viable para el desarrollo del proyecto.

Matthews y Gutiérrez (2012) también mencionan que Medellín, como la mayoría de las ciudades latinoamericanas, tenía la necesidad ineludible de modernizar las redes de servicios públicos en el centro de la ciudad y para ello EPM estaba evaluando la implementación de las Tecnologías Sin Zanja para mitigar los impactos socio-ambientales que implicaban las obras.

Efectivamente en 2015 EPM inició las obras con el objeto de modernizar y reponer las redes de acueducto y alcantarillado del centro de la ciudad, proyecto denominado Centro Parrilla, valorado en COP 207 mil millones y con una implementación del 85% en Tecnologías Sin Zanja: *CIPP, MPJ, HDD, Pipe Bursting, Tunnel Liner, Close fit lining, Packer, Milling and Renin Robots, CCTV* entre otras.

Si bien estos dos proyectos marcaron un inicio en la implementación de las Tecnologías Sin Zanja, los nuevos proyectos de construcción de redes de servicios públicos siguen teniendo participaciones mínimas de intervención sin zanja. Por ello los contratistas locales que adquirieron los equipos especializados registran una sub-utilización preocupante de los mismos luego de la culminación de estos dos proyectos.

2.3 Justificación

En síntesis la problemática radica en que las Tecnologías Sin Zanja, que pueden reducir drásticamente los impactos socio-ambientales, se encuentran sub-utilizadas en Colombia porque los proyectos de construcción de redes de servicios públicos al emplear los métodos tradicionales, trasladan sus costos socio-ambientales a la comunidad. En primera instancia porque no cuentan con la metodología o la información para cuantificarlos (Matthews et al., 2015) y segundo porque la autoridad ambiental colombiana posee un instrumento de control débil, con vacíos jurídicos y ambigüedades técnicas (Sleman y Velásquez, 2016).

Por tal motivo es indispensable exponer los beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja a la comunidad y a las entidades públicas para dejar en evidencia los cargos injustificados que asume la sociedad y el medio ambiente, de modo que se impulse la implementación de estas tecnologías con la exigencia colectiva.

De hecho, empresas constructoras como Ingeniería & Contratos S.A.S. uno de los cuatro contratistas del proyecto Centro Parrilla, coinciden con las mismas necesidades, ya que con la finalización de las obras de este proyecto en 2017, presentan hoy un nuevo reto, porque para mantener el mercado de los equipos adquiridos de Tecnologías Sin Zanja deben exponer a las entidades públicas y a las firmas diseñadoras, los grandes beneficios que ofrecen estas tecnologías, resaltando el gran impacto que los procesos constructivos tradicionales tienen sobre el comercio, la comunidad y el medio ambiente.

2.4 Formulación de la pregunta que permite abordar la situación o problema en estudio

¿Cuáles son los beneficios de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia y cómo pueden sustentarse?

3 Objetivos, general y específicos del trabajo de grado

3.1 Objetivo general

Explicar los beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia bajo los lineamientos de su legislación ambiental, para impulsar la implementación de estas tecnologías en los proyectos de construcción de redes de servicios públicos en el territorio nacional.

3.2 Objetivos específicos

3.2.1 Primero

Exponer las Tecnologías Sin Zanja con mayor potencial en Colombia bajo los lineamientos de las normas técnicas internacionales *ASTM*, *DIN* y *DWA*, con el fin de difundirlas en el sector de la construcción de redes de servicios públicos.

3.2.2 Segundo

Identificar los beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia bajo los lineamientos de la legislación ambiental, para argumentar en contra de los cargos injustificados que asume la sociedad y el medio ambiente con los métodos tradicionales.

3.2.3 Tercero

Dar lineamientos para impulsar la implementación de las Tecnologías Sin Zanja en los proyectos de construcción de redes de servicios públicos en Colombia, con base en los artículos 79 y 80 de la Constitución Política, con el fin de mitigar los impactos socio-ambientales de estos proyectos.

4 Marco de referencia conceptual

Uno de los pilares principales sobre los que se desarrolla la problemática expuesta es la legislación ambiental, la cual es esencial para analizar la situación en estudio y proponer soluciones pertinentes. Por este motivo se presentan los conceptos más relevantes de este constructo.

Se inicia desde un ámbito global en materia ambiental, con los distintos tratados internacionales que han sido creados en pro del cuidado del medio ambiente y son de cumplimiento legal obligatorio para los países que los firman. A continuación se presentan algunos de los más destacados:

4.1 Tratados ambientales internacionales

En torno a la protección de la atmósfera se puede mencionar tres tratados de alta importancia:

4.1.1 Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático

Este convenio de las Naciones Unidas (UNFCCC) adoptado en 1992 y vigente desde 1994, busca con la cooperación de sus países miembros, proteger el sistema climático para las generaciones presentes y futuras mediante la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, 1992).

4.1.2 Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono

Firmado en 1985 y vigente desde 1988, busca con la cooperación internacional, implementar medidas de acción para proteger la capa de ozono de las afectaciones causadas por la actividad humana (*Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer*, 1985).

4.1.3 Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono y sus enmiendas

Negociado en 1987 y vigente desde 1989, toma medidas contra actividades con efectos adversos a la capa de ozono para proteger la integridad y la salud humana y del medio ambiente (*Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*, 1987).

En torno al cuidado de la fauna y la flora es indispensable mencionar tratados como:

4.1.4 Tratado de Washington sobre el comercio internacional de especies de fauna y flora silvestres en peligro de extinción

Este convenio (CITES) adoptado en 1973 y vigente desde 1975, controla el comercio internacional de fauna y flora amenazada con el fin de proteger las especies animales y vegetales en vía de extinción (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*, 1973).

4.1.5 Convenio de Ramsar relativo a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitats de aves acuáticas

Firmado en 1971 y vigente desde 1975, vela por la protección y la conservación de los humedales de importancia internacional, así como su flora y su fauna (*Ramsar Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat*, 1971).

4.1.6 Convenio de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar

Este Tratado (UNCLOS) aprobado en 1982 y vigente desde 1994, mitiga el riesgo de sobreexplotación de los recursos vivos de alta mar mediante acciones concertadas (*United Nations Convention on the Law of the Sea*, 1982).

4.1.7 Convenio internacional de las maderas tropicales

Firmado en 1983 y actualizado en 1994 y luego en 2006, este tratado proporciona un marco de cooperación y consulta en cuanto a economía maderera para fomentar la expansión y diversificación del comercio internacional manteniendo un balance sostenible y procurando la conservación de los bosques tropicales (*International Tropical Timber Agreement*, 2006).

4.1.8 Convenio sobre diversidad biológica

Adoptado por las Naciones Unidas en 1992 y vigente desde 1993, busca conservar la diversidad biológica, promover la utilización sostenible de sus componentes y garantizar una participación equitativa de los beneficios obtenidos del uso de los recursos genéticos (*Convention on Biological Diversity*, 1992).

Con relación a la protección del patrimonio mundial se menciona:

4.1.9 Convenio para la protección del patrimonio mundial, cultural y natural

Adoptado por la UNESCO en 1972, busca proteger el patrimonio cultural y natural de valor universal, único e irremplazable para todos los pueblos del mundo (*Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*, 1972).

En cuanto al control de desechos se menciona:

4.1.10 Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación

Adoptado por las Naciones Unidas en 1989 y vigente desde 1992, restringe los movimientos de desechos entre naciones e implementa las medidas necesarias para que los movimientos de desechos peligrosos sean compatibles con la protección del medio ambiente y la salud humana (*Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal*, 1989).

Los anteriores tratados muestran la relevancia y la acogida que tiene el cuidado del medio ambiente a nivel internacional. Ahora se presentan los que tienen un mayor acercamiento al territorio nacional colombiano.

4.1.11 Tratado de cooperación amazónica

Firmado por Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela en 1978, promueve acciones y esfuerzos conjuntos para fomentar el desarrollo armónico y sostenible de territorios amazónicos (*Amazon Cooperation Treaty*, 1989).

4.1.12 Convenio entre el gobierno de la República de Colombia y el Centro Internacional de la Agricultura Tropical, CIAT

El CIAT es una organización internacional que investiga y promueve el mejoramiento de la productividad agrícola y el uso sostenible de los recursos naturales en países tropicales y en vía de desarrollo. En este tratado el Gobierno de Colombia, sede permanente del CIAT, lo reconoce como organismo independiente de carácter internacional (Convenio entre el Gobierno de la República de Colombia y el Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1983).

Los tratados internacionales enmarcan gran parte de las regulaciones nacionales, ya que las leyes, decretos y resoluciones son los principales mecanismos que tienen los países para garantizar el cumplimiento de los compromisos adquiridos en ellos. De esta forma se procede con una revisión de la legislación ambiental colombiana, iniciando con su política ambiental y luego abarcando las regulaciones en torno al cuidado de los recursos naturales.

4.2 Legislación ambiental colombiana

4.2.1 Política ambiental

La Ley 23 de 1973, primera norma ambiental del país y resultado de los esfuerzos internacionales por garantizar el cuidado del medio ambiente (Sleman y Velásquez, 2016), otorgó las facultades necesarias al Presidente de la República para expedir el Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente (CNRN), Decreto Ley 2811 de 1974, el cual a pesar de expresar la necesidad de

desarrollar estudios de impactos ambientales y obtener licencia para la ejecución de obras u otras actividades que pudieran deteriorar el medio ambiente, esta disposición nunca fue reglamentada, y por lo tanto, no se exigió licencia a las industrias. Sólo hasta 1991 con la expedición de los artículos 79 y 80 de la Constitución Política de Colombia, se estipuló la regulación de los factores de deterioro ambiental, la imposición de sanciones legales y la exigencia de la reparación de daños, basados en el derecho a gozar de un ambiente sano.

La reglamentación de estos dos artículos de la constitución se concretó con la expedición de la Ley General Ambiental de Colombia (Ley 99, 1993), que establece los aspectos formales y operativos de la licencia ambiental, además de crear el Ministerio del Medio Ambiente.

La Ley 99 de 1993 también ha sido reglamentada con varios Decretos derogados (sin efecto por la expedición de una norma posterior) en relación con la licencia ambiental. El primero de ellos es el Decreto 1753 de 1994, derogado ocho años más tarde por el Decreto 1728 de 2002, que a su vez fue derogado el año siguiente por el Decreto 1180 de 2003, luego el Decreto 1220 de 2005, el Decreto 500 de 2006 y el Decreto 2820 de 2010. Finalmente, la disposición vigente está en el Decreto 2041 de 2014 a la par del Decreto 1076 de 2015.

El primero (Decreto 2041, 2014) regula la competencia y exigibilidad de la licencia ambiental, así como los estudios ambientales, el trámite para obtención de la licencia, su caducidad, el seguimiento y control, entre otros. Los estudios ambientales se componen de cuatro fases principales, iniciando con un diagnóstico ambiental de alternativas, seguido de un estudio de impacto ambiental, luego ambos son sometidos a evaluación por parte de la autoridad ambiental competente, la cual finalmente da el veredicto en el que otorga o niega la licencia ambiental.

El segundo (Decreto 1076, 2015) reglamenta el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; antes llamado Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2002); y originalmente llamado Ministerio del Medio Ambiente (Ley 99, 1993). Su función es gestionar y regular el medio ambiente y los recursos naturales renovables, así como dirigir el Sistema Nacional Ambiental (SINA) para asegurar la adopción y ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos respectivos. No obstante autores como Sleman y Velásquez (2016) realizan fuertes críticas a este decreto señalando que el Artículo 3.1.1. alude a una Derogatoria Integral y por consiguiente deja sin efecto las normas que versan sobre las mismas materias, las cuales se encontraban mejor desarrolladas en los decretos anteriores, tanto técnicamente como en su redacción y coherencia, dejando como consecuencia un vacío jurídico y una ambigüedad técnica que debilita el instrumento.

Finalmente, con un entendimiento suficiente de la política ambiental colombiana se procede con la revisión de las regulaciones en torno a los recursos naturales.

4.2.2 Regulaciones en torno a los recursos naturales y a otras sustancias

A continuación se presentan las regulaciones más importantes frente al cuidado de los distintos recursos naturales y el manejo de otras sustancias:

4.2.2.1 Recurso agua

Este recurso ha sido regulado principalmente en cuanto a derechos y prioridad de uso (Ley 2811, 1974; Decreto 1541, 1978), exploración y explotación de aguas subterráneas (Decreto 1541, 1978), permisos de ocupación de cauces (Decreto 1541, 1978), sistema de protección y calidad del agua para consumo humano (Decreto 1575, 2007; Resolución 2115, 2007), uso eficiente y ahorro del agua (Ley 373, 1997), tasas de uso del agua y su cobro (Decreto 155, 2004; Decreto 4742, 2005), permisos de vertimientos de aguas residuales, sus límites permisibles y las tasas retributivas (Decreto 3930, 2010; Resolución 631, 2015; Decreto 2667, 2012).

4.2.2.2 Recurso aire

Este recurso ha sido regulado en cuanto al cuidado y control de la calidad del aire (Decreto 948, 1995), sus niveles admisibles de inmisión (contaminación) (Resolución 601, 2006), permisos de emisiones atmosféricas (Resolución 619, 1997), así como normas de emisiones, tanto para fuentes fijas (industrias) (Resolución 909, 2008) como para fuentes móviles (vehículos) (Resolución 910, 2008) y las múltiples restricciones frente al uso, importación y exportación de sustancias agotadoras de la capa de ozono (Decreto 423, 2005; Resolución 2188, 2005; Resolución 902, 2006; Resolución 304, 2001; Resolución 734, 2004). A este recurso también se atribuye las normas de ruido ambiental (Resolución 627, 2006) que determinan los niveles admisibles según el tipo de zona (por ejemplo: industrial, comercial, residencial, centros educativos y hospitales), y también las normas de olores ofensivos (Resolución 1541, 2013).

4.2.2.3 Recurso suelo

El recurso suelo está regulado principalmente por los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) (Ley 388, 1997), la licencia ambiental para la explotación del suelo o disposición de residuos (Decreto 2820, 2010), el Código Minero (Ley 685, 2001; Ley 1382, 2010) y las Áreas Protegidas como Parques Naturales, Reservas Forestales y Áreas de Recreación (Decreto 2811, 1974; Decreto 2372, 2010).

4.2.2.4 Recurso flora

Este recurso ha sido regulado en cuanto al aprovechamiento forestal y el salvoconducto de movilización (Decreto 1791, 1996; Resolución 619, 2002), que puede ser de tipo doméstico, comercial, científico o especial (por ejemplo: aprovechamiento de árboles aislados). Adicionalmente, existen normas como la Ley 299 de 1996 que regula los Jardines Botánicos y otras que regulan el Certificado de Incentivo Forestal (Ley 139, 1994; Decreto 1824, 1994; Resolución 276, 2006) que

es un incentivo económico para el establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales.

4.2.2.5 Recurso fauna

Este recurso ha sido regulado principalmente en cuanto a la protección de la Fauna Silvestre (Decreto 1608, 1978; Ley 84, 1989), el control de la caza comercial (Decreto 4688, 2005) y el comercio de especies amenazadas (Resolución 1263, 2006), el salvoconducto para el transporte de especies (Resolución 438, 2001), la recolección de especies silvestres para estudios ambientales (Decreto 3016, 2013), el control de zocriaderos (Ley 611, 2000), el control de la pesca y la conservación de los recursos hidrobiológicos (Decreto 2256, 1991; Decreto 1681, 1978).

4.2.2.6 Recurso paisaje

El recurso está regulado en cuanto a su protección (Decreto 1715, 1978), el control de la contaminación visual (Ley 140, 1994) y el manejo del espacio público (Decreto 1504, 1998).

4.2.2.7 Recurso energético

La energía eléctrica está regulada en cuanto a su uso racional y eficiente (Ley 697, 2001; Decreto 3683, 2003; Decreto 2501, 2007), a la sustitución de iluminación ineficiente (Decreto 3450, 2008) y al reglamento técnico de alumbrado público (Resolución 180540, 2010).

4.2.2.8 Productos químicos

Los productos químicos están regulados en cuanto a la seguridad para su uso en entornos laborales (Ley 55, 1993; Decreto 1973, 1995) y el transporte de sustancias peligrosas (Decreto 1609, 2002).

4.2.2.9 Residuos sólidos

Los residuos sólidos están regulados en cuanto a la reglamentación del servicio público de aseo (Decreto 2981, 2013), la planeación, construcción y operación de sistemas de disposición final de residuos sólidos (Decreto 838, 2005; Decreto 2041, 2014; Ley 388, 1997), la restricción de importación y exportación de residuos peligrosos (Ley 1252, 2008), el manejo de escombros y de capa orgánica (Resolución 541, 1994), el manejo de plaguicidas y desechos peligrosos (Decreto 1443, 2004; Decreto 4741, 2005), el plan de manejo de residuos hospitalarios (Resolución 1164, 2002; Decreto 351, 2014), el transporte de residuos peligrosos (Decreto 1609, 2002) y la metodología para elaboración de planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Resolución 1045, 2003).

Ahora, con un marco claro referente a los conceptos de la Legislación Ambiental que permite entender las dinámicas para analizar la situación en estudio, es procedente continuar con un constructo reconocido por su potencial en la materia, las Tecnologías Sin Zanja.

4.3 Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja

Como se explicó antes, las Tecnologías Sin Zanja se consolidaron como una nueva industria con la conformación de la Sociedad Internacional de Tecnologías Sin Zanja (ISTT – *International Society for Trenchless Technology*) en 1985, luego de haber atraído la atención durante la *Sewerage '81 Conference Exhibition* en 1981 y en la *No-Dig Conference* en 1985 (Rees, 1989).

Estas tecnologías para la construcción de redes de servicios públicos se caracterizan por un elemento fundamental en común, evitar la apertura de zanjas. Lo anterior no solo implica ventajas técnicas sin precedentes, sino también un potencial importante en la reducción de impacto ambiental y comunitario, que se evidencia con el patrocinio dado por la Institución de Ingenieros de la Salud Pública de Londres a la *No-Dig Conference* de 1985 (evento en el que se conforma la Sociedad Internacional de Tecnologías Sin Zanja).

Hoy las Tecnologías sin Zanja son reconocidas en el ámbito internacional como defensoras del medio ambiente (Gerasimova, 2016), ya que además de poseer un diseño ecológicamente más amigable, sus ventajas técnicas pueden ser aplicadas estratégicamente para mitigar, e incluso, eliminar impactos de carácter social y ambiental.

De este modo los beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja se explican mediante el análisis de oportunidades que ofrece cada una de ellas. Dado que este es el objeto de estudio, en este apartado se exponen sólo los más evidentes, tomando como referencia un representante de cada tipo de intervención Sin Zanja:

4.3.1 Construcción de redes Sin Zanja – Microtúnel

Como se explicó en el apartado de antecedentes, el Microtúnel (*Microtunneling, MPJ*) es una tecnología que permite construir redes sin zanja que consiste en la excavación de un túnel desde un pozo de arranque hasta un pozo de llegada. Sus principales ventajas técnicas radican en el sorteo de obstáculos en superficie (ya que esta no requiere intervención, con excepción de los pozos) y en un mayor rendimiento en tramos profundos (en los tramos con profundidades mayores a 5 metros empleando los métodos tradicionales, la accesibilidad y el movimiento del material aumentan de forma considerable la duración de los trabajos) (*American Society of Civil Engineers, 2015*).

Así, la primera ventaja implica una mitigación importante de los impactos ambientales en superficie, y si se elige una ubicación óptima para los pozos, es posible eliminar el tráfico vehicular sobre vías de alto flujo, reducir el impacto al comercio, evitar el cierre de zonas recreativas y proteger la integridad de estructuras, individuos arbóreos y otros elementos del medio ambiente. La segunda

ventaja se traduce en menores tiempos de ejecución, y por lo tanto, reducción del tiempo de exposición a los impactos socio-ambientales (Matthews et al., 2015).

4.3.2 Rehabilitación de redes Sin Zanja – CIPP-UV

Como se explicó en el apartado de antecedentes, el *CIPP (Cured in Place Pipe Lining)* es una tecnología que permite rehabilitar las tuberías existentes en mal estado mediante la instalación de un recubrimiento interno curado en sitio (que se endurece en el lugar deseado). Sus principales ventajas técnicas son los altos rendimientos (con los métodos tradicionales se esperan rendimientos del orden de 6 metros al día en zonas pobladas, mientras que con esta se pueden ejecutar hasta 200 metros en un día). También la no intervención de la superficie (excepto en los extremos de los tramos de tubería). Adicionalmente, la versión con curado mediante luz Ultra Violeta minimiza al máximo la intervención sobre la infraestructura y reduce el área necesaria para la ubicación de los equipos gracias a que es una tecnología más versátil y compacta (Stufflebeam y Zhang, 2017).

Es evidente que los beneficios socio-ambientales de esta tecnología son más altos que los de la anterior, especialmente en términos de tiempos de exposición a los impactos negativos. Sin embargo, el concepto estratégico sigue jugando un papel importante, ya que prácticas como desarrollar las instalaciones en jornadas nocturnas son altamente efectivas, porque con esto se elimina prácticamente todo impacto social.

4.3.3 Otros servicios Sin Zanja – Robots de fresado y resinas

Como se explicó en el apartado de antecedentes, estos robots permiten realizar reparaciones dentro de tuberías con diámetros inaccesibles para las personas. Su principal ventaja técnica es la simplificación de los trabajos, ya que se evitan laboriosas tareas de excavación, las cuales por lo general toman más tiempo que la reparación puntual en sí (*Trenchless International*, 2014).

De este modo la estrategia consiste en llevar dicha tecnología un paso más adelante, empleándola masivamente sobre las redes que presentan algunos daños para así evitar su reposición completa y los impactos socio-ambientales que esta conllevaría.

5 Método de solución

5.1 Tipo de investigación

Para abordar la problemática expuesta es preciso desarrollar una investigación de tipo exploratoria, principalmente porque el objeto de estudio (beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja) es poco conocido en Colombia. Los estudios al respecto son generales o enfocados en regiones del exterior que presentan diferencias contextuales significativas.

5.2 Enfoque de la investigación

Para un tipo de investigación exploratoria en un marco teórico accidentado como es el caso de los estudios de impactos socio-ambientales, donde existen vacíos jurídicos y ambigüedades técnicas en las normas, es necesario desarrollar un enfoque Cualitativo en la investigación que permite ajustar las hipótesis iniciales sobre la marcha.

5.3 Actores

Los actores que participan en el caso de estudio son:

5.3.1 La comunidad y el medio ambiente

Como los usuarios y principales afectados de la problemática, son quienes asumen actualmente los costos socio-ambientales de los proyectos de construcción de redes de servicios públicos.

5.3.2 Los contratistas

Son empresas que ejecutan las obras de los proyectos, que en algunos casos tienen a disposición equipos de Tecnologías Sin Zanja que el cliente no autoriza debido al presupuesto.

5.3.3 La interventoría

Como inspectores de las obras en representación de los intereses del cliente.

5.3.4 Los diseñadores

Como los autores intelectuales de los diseños técnicos de los proyectos y asesores en cuanto a las alternativas de los procesos constructivos.

5.3.5 Las empresas prestadoras de servicios públicos

Como clientes y promotores de los proyectos de construcción de redes de servicios públicos.

5.3.6 Municipios y otras entidades públicas

Son los que velan por el bienestar de la comunidad y la calidad de la infraestructura.

5.4 Carta de alineamiento metodológico

5.4.1 Plataformas teóricas

Las plataformas teóricas se definen en cuanto a la interacción entre la comunidad y las obras. De esta forma se tiene:

5.4.1.1 Los impactos socio-ambientales de los métodos tradicionales

Es el efecto adverso ocasionado por las obras con zanja abierta sobre la comunidad y el medio ambiente.

5.4.1.2 Las expectativas de la comunidad

En contra de los impactos socio-ambientales de las obras, se levantan los intereses de los usuarios como el instinto de protección de sus derechos.

5.4.1.3 Los beneficios de las Tecnologías Sin Zanja

Se presentan como una solución integral al conflicto entre las dos plataformas anteriores, que permitirá impulsar su implementación en proyectos futuros.

5.4.2 Categorías y sus parámetros

Estas constituyen los puntos de convergencia entre las plataformas anteriores, es decir, los impactos específicos de las obras que generan un rechazo en la comunidad y que las Tecnologías Sin Zanja posiblemente pueden mitigar. Tales parámetros fueron explicados en el apartado de contexto:

5.4.2.1 Tráfico vehicular

Que es determinado en cuanto a:

5.4.2.1.1 Pérdida del espacio para estacionamiento (m²).

5.4.2.1.2 Consumo adicional de combustible (galones).

5.4.2.1.3 Demoras por tráfico (minutos).

5.4.2.1.4 Accidentalidad vehicular (accidentes por día).

5.4.2.1.5 Deterioro del pavimento (%).

5.4.2.2 Afectación económica

Que es determinada en cuanto a:

5.4.2.2.1 Pérdida de ingresos (\$).

5.4.2.2.2 Reducción en la productividad (un/hora).

5.4.2.2.3 Pérdida de ingresos fiscales (\$).

5.4.2.2.4 Daños a la propiedad (\$).

5.4.2.3 Contaminación

Que es determinada en cuanto a:

- 5.4.2.3.1 Ruido (dB(A)).
- 5.4.2.3.2 Polución (volumen: ppm y densidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- 5.4.2.3.3 Polvo (ppm).
- 5.4.2.3.4 Contaminación del Agua (mg/L).
- 5.4.2.3.5 Vibración (G).

5.4.2.4 Afectación a la salud social y ecológica

Que es determinada en cuanto a:

- 5.4.2.4.1 Tratamiento de daños físicos o psicológicos (\$).
- 5.4.2.4.2 Reducción de la cantidad de especies (unidad).
- 5.4.2.4.3 Costos de restauración (\$).

5.5 Estrategias de recolección de información

Para el desarrollo del trabajo de grado se emplearon dos mecanismos de recolección de información:

5.5.1 Entrevistas en profundidad

Se realizaron entrevistas en profundidad, estructuradas y semiestructuradas con proveedores de los equipos de Tecnologías Sin Zanja, directivos de empresas prestadoras de servicios públicos, diseñadores, interventores y contratistas de estas E.S.P. vinculados a proyectos con intervenciones mediante esta tecnología fue conocer su opinión respecto a los beneficios socio-ambientales e identificar componentes adicionales de la problemática, que en cierta medida, modificaron las hipótesis iniciales.

5.5.2 Revisión bibliográfica

Se realizó revisión bibliográfica para ampliar los conocimientos y la comprensión de los métodos y del campo de investigación, con el fin de garantizar la actualidad y la pertinencia del estudio, y también como fuente de datos.

6 Presentación y análisis de resultados

6.1 Entrevistas

Para el desarrollo del trabajo del estudio se realizaron ocho entrevistas a expertos, que fueron transcritas cuidadosamente para reflejar la opinión de los entrevistados. El material de las grabaciones puede consultarse en los anexos de este documento.

6.1.1 Entrevista con el ingeniero Santiago Durango – Presidente Ve Group

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos de la entrevista en profundidad semiestructurada con Santiago Durango, Presidente y fundador de la compañía Ve Group, proveedor principal de equipos y materiales de Tecnologías Sin Zanja para todo Latinoamérica, y exdirector y fundador del Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura Subterránea ICTIS.

Con esta entrevista se logró conocer una visión a nivel nacional de la evolución en la implementación de las Tecnologías Sin Zanja y se cumplieron los siguientes objetivos:

- I) Conocer la historia de la implementación de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia.
- II) Conocer la evolución del mercado de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia.
- III) Conocer las estrategias de divulgación y formación que se han utilizado para impulsar las Tecnologías Sin Zanja en Colombia.
- IV) Conocer cuáles Tecnologías Sin Zanja han tenido un mayor crecimiento en Colombia.
- V) identificar los beneficios más relevantes de las Tecnologías Sin Zanja.

(Ver Anexo 1: Grabación entrevista ingeniero Santiago Durango – Presidente Ve Group).

La entrevista con el ingeniero Santiago Durango inició con la historia de su empresa, la cual fue fundada en 2006 para brindar soporte técnico al segundo proyecto con máquinas tuneladoras de Colombia en el Barrio Fontibón de Bogotá. Este proyecto tenía por objeto la construcción del colector pluvial para el barrio con una longitud de 21 kilómetros mediante un sistema de tunelación de frente abierto denominado *Guided Boring*, para el cual se vendieron seis máquinas. Durante los doce años siguientes la empresa se ha dedicado a ampliar su portafolio, tanto en la instalación de tuberías sin zanja, como en la rehabilitación de tuberías sin zanja, ofreciendo equipos, materiales y asesoría técnica en toda Latino América. Sus clientes van desde México hasta Chile y con una buena participación en las economías más

importantes de esta región, especialmente en Colombia donde tienen su sede principal operativa.

Luego el ingeniero Santiago explica la llegada de las Tecnologías Sin Zanja a Colombia desde su perspectiva. Señalaba que posiblemente inició en el año 2000 con un proyecto de tunelación en Bogotá ejecutado por una compañía mexicana y con un par de Kilómetros de longitud. El segundo proyecto grande de tunelación tardó seis años en darse. Y respecto a las tecnologías para rehabilitación que tuvieron una entrada más tardía, el primer proyecto del que el ingeniero tiene conocimiento se ejecutó en Medellín, cerca de la zona del estadio y con un kilómetro de longitud en *CIPP* curado con vapor. De este modo, aunque la implementación de estas tecnologías ha sido lenta, empresas como EPM, el Acueducto de Bogotá, Acuacar en Cartagena y Triple A en Barranquilla, han ido adoptando estas tecnologías.

Por lo tanto Ve Group se ha dado a la tarea de desarrollar varios programas teóricos y prácticos como certificaciones internacionales y cursos con Universidades como EAFIT en Medellín, la Universidad Javeriana en Bogotá y otra más en Santa Marta, con el objetivo de educar acerca del uso de las tecnologías. También en un principio en conjunto con el Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura Subterránea ICTIS hicieron un gran esfuerzo para capacitar, tanto a empresas de servicios públicos como a contratistas, ya que existe un gran desconocimiento y algunos mitos. Se dice que las Tecnologías Sin Zanja son más costosas que los métodos tradicionales, cuando en muchos casos no es cierto. Principalmente, cuando se tienen cantidades superiores a un kilómetro algunas tecnologías pueden llegar a ser incluso más económicas que la zanja abierta.

Con relación a lo anterior Ve Group también ha tenido una presencia constante en los congresos afines a la temática, donde exponen las diferentes soluciones sin zanja, buscando orientar a las empresas de servicios públicos y a los contratistas para que los proyectos sean bien especificados desde el principio y a la vez estos puedan ser bien cotizados. Los proyectos mal especificados son un gran problema para todas las partes interesadas y pueden afectar la imagen de las Tecnologías Sin Zanja, la cual también puede verse afectada con la adjudicación de los contratos a empresas con un bajo nivel de responsabilidad.

Otro factor influyente en la problemática es la falta de voluntad política. Por ejemplo, en una reunión hace cinco o seis años con el área metropolitana de Medellín encontraron que no estaban interesados en las tecnologías, porque perderían el beneficio de la reposición completa de la carpeta asfáltica a cargo del presupuesto de EPM que implican los trabajos de esta compañía en las redes que yacen debajo de las vías, y por lo tanto, no le encontraban sentido a impulsarlas. Durango también cuenta que en una ocasión cierto alcalde de un municipio expuso que tampoco le

interesaba impulsar las Tecnologías Sin Zanja porque le convenía que las personas tuvieran que percatarse gracias al tráfico vehicular de los trabajos que financia la Alcaldía, y así no generar la impresión de estar robándose los dineros del Estado. De esta manera, la experiencia los ha llevado a concluir que para que se implementen las tecnologías debe haber una convergencia o un beneficio económico que haga que una de estas se seleccione, o bien que exista algún tipo de regulación que obligue a utilizarlas. Es el caso de las concesiones viales que actualmente no permiten romper las vías y no dejan otra alternativa distinta a emplear Tecnologías Sin Zanja.

Por lo tanto el proyecto Centro Parrilla que se dio en la ciudad de Medellín representa un gran logro, ya que fue especificado en gran medida con Tecnologías Sin Zanja, siendo el único de esa magnitud en Colombia hasta el momento. Así mismo el Acueducto de Bogotá está programando un proyecto igual o más grande denominado Centro Ampliado, pero ha sido aplazado por las últimas administraciones. Sin embargo, un punto a favor de estas tecnologías es que una vez las entidades las usan y tienen una buena experiencia con estas, es muy difícil que las dejen de usar porque se ha observado que siguen sacando proyectos con algunas intervenciones sin zanja.

El ingeniero Santiago indica también que las tecnologías que han tenido un mayor crecimiento en Colombia durante los últimos años en la división de Rehabilitación son en primer lugar el diagnóstico de redes. En un estudio que hicieron hace unos años encontraron que el país de Sur América con más equipos de diagnóstico era Colombia, con una diferencia de 70 a 7 respecto al segundo país, lo cual es muy positivo porque esta tecnología permite conocer el estado de las redes, la necesidad de intervenirlas, y posteriormente definir el tipo de intervención.

En segundo lugar está la rehabilitación con curado in situ (*CIPP*), ya que hace cinco años solo había dos compañías que empleaban el método y hoy en día existen alrededor de diez. Sin embargo, aunque este sea un avance importante, una dificultad que encuentran los contratistas es la falta de continuidad en los trabajos, ya que los contratos grandes pueden tardar entre tres y cuatro años para volver a salir en una misma ciudad. No obstante, esta es una dificultad que tienen todos los mercados inicialmente, pero Durango cree que con el tiempo se solucionará.

Y para la división de instalación de redes nuevas en primer lugar está la Perforación Horizontal Dirigida, que es una tecnología muy versátil, económica y con altos rendimientos, que la hacen la tecnología con mayor población de máquinas en Colombia, ya que un sondeo reveló que existen alrededor de 150 máquinas. Sin embargo, no se pudo determinar cuántas de estas están operativas, ni cuántas están trabajando. Y en segundo lugar están los métodos de tunelación con frente abierto, porque aunque no tienen las ventajas técnicas de las máquinas de frente

presurizado, su simplicidad las hace más económicas, y por lo tanto son más atractivas comercialmente.

Finalmente, respecto a los beneficios que ofrecen estas tecnologías, el ingeniero Durango opina que respecto al beneficio intangible, que es quizás el más importante pero menos valorado, Debe entenderse que para las ciudades son muy costosos los impactos de la zanja abierta, ya que se genera ruido, polvo, contaminación adicional de los numerosos equipos, el costo del tiempo perdido de las personas por el tráfico y las afectaciones al comercio aledaño. Fue el caso en la calle 30 en Medellín con la construcción del Metroplús, donde todos los negocios se quebraron porque nadie se acerca a un sitio de construcción a comprar ni a tomar ningún servicio. Todos ellos resultan en un impacto social significativo que se ha tratado bastante, e incluso existen softwares para calcular estos costos con base en unas variables y criterios específicos. Y respecto a los beneficios técnicos, se tienen, por ejemplo una mejor instalación al reducir la perturbación del suelo y mejores rendimientos de instalación, ya que muchas tecnologías reducen significativamente los tiempos.

Para concluir Santiago Durango resalta la urgencia de establecer estándares constructivos de las Tecnologías Sin Zanja para el país con el fin de que los proyectos se especifiquen de forma correcta y los contratistas estén obligados a hacer los trabajos bien hechos, ya que cuando estos no se hacen correctamente, lo más común es que se culpe a la tecnología y no al contratista.

6.1.2 Entrevista con el ingeniero Francisco Piedrahita – exdirector aguas EPM

Ahora se presentan los resultados obtenidos de la entrevista en profundidad semiestructurada con Francisco Javier Piedrahita, exdirector de Aguas de EPM, quien estuvo a cargo durante la decisión de implementar las Tecnologías Sin Zanja en Medellín, permitiendo conocer una visión desde un alto nivel de las empresas de servicios públicos.

En esta se cumplieron los siguientes objetivos:

- I) Conocer qué motivó a EPM a implementar las Tecnologías Sin Zanja.
- II) Identificar los actores que participaron en la decisión de implementar las Tecnologías Sin Zanja.
- III) Conocer el nivel de incidencia y participación de las regulaciones y otras entidades en la toma de esta decisión.
- IV) Identificar los beneficios esperados de la implementación de Tecnologías Sin Zanja en los proyectos de EPM y cómo se prioriza su presupuesto.

(Ver Anexo 2: Grabación entrevista ingeniero Francisco Piedrahita – exdirector aguas EPM).

En la entrevista el ingeniero Francisco Piedrahita explicó que la implementación de Tecnologías Sin Zanja en EPM responde a una evolución de la visión sobre los impactos socio-ambientales. Este cambio se dio tras un llamado del alcalde de turno ante el gran impacto en el tránsito que generó la reparación de una obstrucción en la tubería de alcantarillado sobre la calle San Juan, en la cual la empresa comprendió que no era posible intervenir todas las obras de la misma manera, llevándolos a clasificar las vías por su nivel de importancia. De este modo en las vías arterias empezaron a encontrar elementos que les permitieron desempeñar un trabajo más eficiente y amigable con la comunidad y con el medio ambiente. Lo anterior hizo replantear las cuentas, ya que además del costo de obra civil también se tomaron en cuenta los costos sociales que generaban los trabajos, concluyendo que lo más importante no era el tamaño del arreglo, sino las consecuencias que este generaba. Así EPM comenzó a tasar los costos que estos representaban para la ciudad en general, es decir, el tiempo de demora de vehículos, las emisiones, el tiempo perdido desde el punto de vista laboral, la falta de productividad que este genera, y todos los costos fiscales que ya no llegaban al país para efecto de su desarrollo.

De esta manera EPM se acercó a las Tecnologías Sin Zanja para el mantenimiento de sus redes, que posteriormente también fueron implementadas para la construcción, reposición y rehabilitación de redes, que comenzó con pruebas piloto como fue la rehabilitación con *CIPP* vapor en el costado norte de la calle 37 entre la glorieta del Ferrocarril y la glorieta de San Diego, en comparación con el costado sur que se intervino en zanja abierta de forma simultánea. El ejercicio mostró una diferencia sustancial en la reducción del impacto en el tráfico y en la afectación al comercio con la Tecnología Sin Zanja. Y así mismo, la reflexión sobre la implementación de estas tecnologías se reforzó por esa época con la creación en Colombia de la federación de tuneleros, que impulsada desde Estados Unidos reunió, tanto a los que demandaban túneles, como los que los construían.

Sin embargo, en aquel momento confluyeron dos problemas grandes de la ciudad. El primero fue la construcción del Interceptor Norte y el segundo la preexistencia de un número importante de fallas en el sistema de acueducto y alcantarillado del centro de la ciudad. Dichos problemas habían sido postergados por aspectos socio-ambientales, el primero por demoras en la obtención de la licencia ambiental para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bello y el segundo por el alto impacto que implicaba la suspensión del servicio y las afectaciones al tránsito y al comercio en el corazón de la ciudad. De ahí, el nombre Centro Parrilla, ya que Parrilla es la zona en que debe garantizarse la permanencia de estos servicios.

El Interceptor Norte salió a licitación luego de obtener la licencia para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Bello, y aunque se creía que no

iba a haber capacidad en Colombia para construirlo, finalmente se terminó ejecutando en una unión temporal con una participación importante de colombianos y utilizando máquinas tuneladoras para ejecutar el primer cruce subfluvial exitoso del país. Adicionalmente, esta Tecnología Sin Zanja mitigó exitosamente el alto impacto socio-ambiental que hubiera implicado la construcción de dos colectores a ambos lados del río, rompiendo la avenida regional oriental y regional occidental, desde la calle San Juan hasta Bello y con una duración mucho mayor.

Así mismo, para el proyecto Centro Parrilla se sacó una licitación para el diseño de construcción, reposición y rehabilitación de las redes de acueducto y alcantarillado con gran participación de Tecnologías Sin Zanja que implicaba una clara investigación del estado de las redes existentes y un conocimiento muy profundo de la caracterización de los suelos a intervenir. Aquí se demostró que si bien el valor de la obra era mayor con este tipo de tecnologías, el costo real incluyendo los costos socio-ambientales era aproximadamente la mitad de los costos reales de la construcción con los métodos tradicionales.

Con base en lo anterior el ingeniero Piedrahita opina que las empresas prestadoras de servicios públicos y telecomunicaciones, así como los alcaldes deben prestar particular atención a que los trabajos se realicen sin interrupciones sustanciales de la vida urbana. Se trata de un derecho que tienen los ciudadanos, en la medida que la ciudad está para el uso del ciudadano y no se le puede pedir un sacrificio de tal magnitud para realizar las obras de mantenimiento y construcción de redes.

Piedrahita explica que la razón por la cual EPM toma una posición tan activa frente al cuidado de los derechos de los ciudadanos y del medio ambiente es porque una empresa de servicios públicos cobra de puerta en puerta, ya que cada una de estas es una acometida, En este sentido EPM tiene la convicción que su mayor aliado es el ciudadano, pues es quien con esfuerzo se dispone a pagar a tiempo la cuenta de sus servicios, y para tener esa voluntad de pago es preciso que el ciudadano entienda las labores de la empresa. Si por el contrario, la empresa no cuida y respeta a los ciudadanos, estos siempre la encontrarán como una empresa dominante, irrespetuosa con sus derechos y con la cual no se puede negociar.

De la mano con lo anterior, desde 1999 EPM inició con el análisis ambiental de sus labores procurando la reducción de sus emisiones a partir de la reflexión que tenían con la planta San Fernando, primera planta de tratamiento de aguas residuales, dado que la conversión de los residuos orgánicos de la ciudad genera principalmente metano, carbono y agua. Para mitigar, decidieron implementar un sistema de lavado que les permitiera convertir el metano en gas útil para la propia planta y reducir la contaminación al medio ambiente. Este ejercicio les permitió recuperar casi un billón de pesos a partir de las ventas de los ahorros de emisión en metanos. Adicionalmente, desde las centrales hidroeléctricas, que siempre han

sido observadas por sus impactos ambientales, y por lo tanto deben tener un plan de manejo ambiental importante, identificaron que estos compromisos no sólo eran aplicables a grandes proyectos, sino que debían buscar una manera de trasladarlos sin mayores costos para resolver proyectos urbanos.

En el proceso de implementación de Tecnologías Sin Zanja Piedrahita resalta la participación de la Unidad de Control de Impacto Ambiental de Aguas EPM, que realiza análisis de los contenidos ambientales de las obras y los impactos sociales y ambientales de estas. Allí se encuentra el Banco Interamericano de Desarrollo, que tuvo un gran papel en la toma de conciencia del respeto por los ciudadanos y la preservación del medio ambiente. Estuvo también la Alcaldía, custodiando la queja urbana y vigilando las suspensiones y las molestias ocasionadas por las obras; y la política de EPM de hacer obras para el desarrollo de la ciudad con el mínimo impacto social y ambiental posible. También, resalta la importancia del papel de los alcaldes en el contexto colombiano con la privatización de los servicios públicos, ya que las empresas además de velar por las rentas propias, deben trabajar en pro del respeto por la comodidad urbana. En este sentido, las obras deben hacerse al menor costo económico posible y no al menor costo directo, provisionando los costos reales para encontrar un estándar óptimo de obra, y con base en este, contratar al proponente más económico, y no al proponente más económico a cualquier estándar de obra.

Respecto a las regulaciones y otras entidades, Piedrahita indica que la participación ha sido muy fragmentada. Por ejemplo, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Planeación Hídrica (en su momento la Dirección Nacional de Planeación) que establece los costos de referencia para las obras, considera que EPM está incurriendo en costos superiores con la implementación de Tecnologías Sin Zanja, que ha generado una discusión que hasta la fecha no se ha solucionado, en la que la empresa solicita que se taseen los costos socio-ambientales, y no solo los costos directos.

Piedrahita así mismo afirma que de no ser por la voluntad y convicción de EPM las Tecnologías Sin Zanja no hubieran sido implementadas, y los proyectos que son de gran urgencia para la ciudad hubieran tenido que ejecutarse en fracciones muy pequeñas, tardando mucho tiempo en completarse. Además, afirma que las regulaciones que tiene el país en materias socio-ambientales son débiles para el control de este tipo de obras y que por lo tanto es necesario que la federación de alcaldes del país estudie más a fondo esta situación en pro de los derechos de sus habitantes. De esta manera se consolida una posición nacional a favor de que la regulación tarifaria de acueducto y alcantarillado involucre las afectaciones socio-ambientales en los costos de mantenimiento y construcción de redes.

Con relación a las políticas de gerencia de proyectos, el ingeniero Francisco explica que en ese entonces el presupuesto para el mantenimiento de las redes era de 1,5 veces la depreciación de las mismas para garantizar su buen funcionamiento. Al aplicar Tecnologías Sin Zanja, específicamente para reparaciones y rehabilitaciones, los costos son inferiores comparados con zanja abierta. Esto se refleja como una menor tarifa para los ciudadanos al presentar los informes a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento que calcula los costos medios de prestación de servicios. En cuanto a los beneficios esperados al aplicar estas tecnologías, se tiene principalmente el mejoramiento de la relación con la ciudadanía, cuando el servicio es más rápido y la afectación es mucho menor, con un pago más oportuno de las cuentas de servicios y una comunidad más coequipera con la empresa.

Finalmente, Piedrahita agrega que las universidades deben reflexionar sobre la cátedra de acueducto y alcantarillado, ya que debería incluir las Tecnologías Sin Zanja, y en la actualidad muchas todavía no las tienen. Se trata de un buen momento para aprovechar la convergencia de las distintas disciplinas ingenieriles y realizar una investigación frente al estado del arte de estas tecnologías. Y concluye afirmando que para impulsarlas es necesario trabajar desde la voluntad de los alcaldes, ya que estos deben tomar conciencia de que las ciudades no se deben romper con el prurito de hace 50 años por la dicha de traer agua la comunidad.

6.1.3 Entrevista con el ingeniero Santiago Sanín – Director Administrativo Redyco - Contratista EPM

Procediendo con las empresas contratistas, se presentan los resultados de la entrevista en profundidad semiestructurada al ingeniero Santiago Sanín, director administrativo de la empresa Redyco S.A.S. que ejecutó uno de los cuatro grupos del proyecto Centro Parrilla en Medellín, y por supuesto, cuenta con un portafolio de Tecnologías Sin Zanja.

La esta entrevista se realizó con los siguientes objetivos:

- I) Conocer qué motivó a la empresa a incursionar en las Tecnologías Sin Zanja.
- II) Conocer la percepción de la empresa respecto al mercado actual de las Tecnologías Sin Zanja.
- III) Identificar cuáles Tecnologías Sin Zanja tienen mayor potencial en Colombia.
- IV) Identificar beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja.
- V) Conocer las experiencias positivas de la aplicación de Tecnologías Sin Zanja en el proyecto Centro Parrilla.
- VI) Conocer la participación de la Secretaría de Movilidad en la aplicación de Tecnologías Sin Zanja en el proyecto centro Parrilla

VII) Conocer las estrategias de la empresa para impulsar las Tecnologías Sin Zanja en Colombia.

(Ver Anexo 3: Grabación entrevista ingeniero Santiago Sanín – Director Administrativo Redyco).

La entrevista con el ingeniero Santiago inició con la historia de la empresa. Esta fue fundada en 1984 con el desarrollo de obras de infraestructura subterránea hasta ampliarse hacia toda la rama de la infraestructura. Y aunque la empresa comenzó hace poco con el desarrollo de Tecnologías Sin Zanja, su interés por estas tecnologías data de hace más de 20 años, ya que en 1997 la empresa estuvo analizando la posibilidad de plantear microtúneles en el proceso licitatorio para la construcción de un colector de alcantarillado entre la Aguacatala y San Juan. En aquel momento la empresa consideraba que el proyecto que estaba previsto en zanja abierta podía generar afectaciones importantes a la movilidad y buscaron entonces una firma japonesa con la experiencia y la maquinaria necesaria. Sin embargo, su propuesta no fue tenida en cuenta al no quedar como contratista adjudicatario en la licitación.

Unos años más tarde, a mediados de la década del 2000, Redyco se presentó en consorcio con una empresa extranjera para la rehabilitación de un tramo de alcantarillado en la calle 48 que había tenido una serie de problemas durante su etapa de construcción en zanja abierta. Y aunque fueron descalificados del proceso porque la empresa extranjera no pudo validar su experiencia tal como se solicitaba en los pliegos de condiciones, el adjudicatario de la licitación los subcontrató para prestar la mano de obra y allí tuvieron la oportunidad de capacitarse en el proceso de impregnación e instalación de *CIPP* vapor. Posteriormente, en 2011 hicieron sus primeras inversiones en Tecnologías Sin Zanja para proyectos de acueducto y alcantarillado en *Pipe Bursting*, en los cuales vieron de primera mano y con gran optimismo las bondades de estas tecnologías.

El ingeniero Santiago indica que la situación del mercado de las Tecnologías Sin Zanja está condicionada al gran desconocimiento y escepticismo de los diseñadores y las empresas de servicios públicos. Si bien se han logrado avances en la divulgación de las tecnologías, todavía no se ha logrado llevar la directriz a los mandos medios por posibles problemas de comunicación con los directivos, ya que los equipos encargados de elaborar los estudios de factibilidad de los proyectos todavía no tienen un conocimiento claro sobre las tecnologías y trabajan sólo con los costos directos. Esto como consecuencia de no tener la cultura de evaluar las variables socio-ambientales.

Avanzando hacia el tercer objetivo se le preguntó al ingeniero Sanín sobre las Tecnologías Sin Zanja que a su parecer tienen un mayor potencial en el contexto colombiano, respondiendo que depende en gran medida de las circunstancias de

cada proyecto. Opina que las tecnologías no deben ser descalificadas, sino que deben ser apreciadas por sus ventajas específicas, y por lo tanto, las empresas de servicios públicos deberían invertir más en la etapa de planeación para hacer mejores estudios.

Respecto a los beneficios sociales y ambientales piensa que aunque en Colombia lastimosamente todavía no se tiene la cultura de valorarlos, las Tecnologías Sin Zanja tienen un gran potencial para mitigar impactos ambientales como las emisiones atmosféricas, ya que algunas proporcionan un ahorro del 70% al 80% comparado con zanja abierta. Esto resulta de gran importancia porque en las grandes ciudades como Bogotá y Medellín ya se viven grandes problemas de salud pública en torno a la calidad del aire, de modo que es necesario realizar un estudio sobre cómo valorar estos impactos.

El ingeniero Sanín también resaltó la positiva experiencia con el proyecto Centro Parrilla ya que aunque intervinieron uno de los lugares más neurálgico de la ciudad, la coordinación con movilidad y la aplicación de Tecnologías Sin Zanja permitieron desarrollar las obras con más de 50 frentes de trabajo simultáneos de cuatro diferentes contratistas sin que la ciudad colapsara. De este modo, la Secretaría de Movilidad al ver las bondades de estas tecnologías participó activamente en nuevas propuestas y aplicaciones para los puntos más críticos.

También resaltó la gran satisfacción que le causó la aplicación de las tecnologías *CIPP* y *Close Fit* en acueducto, ya que se logró desarrollar las obras sin interrumpir el servicio de agua potable a la comunidad y sin afectar el tráfico de algunas de las vías más importantes de la ciudad, como lo es la Avenida Oriental y la calle 57.

Finalmente, el ingeniero Sanín explica que Redyco busca impulsar las Tecnologías Sin Zanja desde su interior, brindando una buena capacitación a sus ingenieros, que fueron enviados a España para formarse y así garantizar una buena aplicación de las mismas. Exteriormente, han acudido a los diseñadores para mostrar las bondades de las tecnologías y asistiendo a los congresos para exponer sobre este mismo tema. Sanín Concluye que las Tecnologías Sin Zanja son un elemento que debe impulsarse desde la academia, que está atrasada en darle la importancia que merece, ya que si bien existen cursos y talleres de estas tecnologías, todavía falta profundizar en esta materia y más cuando es el principal camino para llegar a los diseñadores, que juegan un papel importante en el proceso de implementación de estas tecnologías en Colombia.

6.1.4 Entrevista con el ingeniero Carlos Duque – Gerente I&C - Contratista EPM

A continuación se presentan ahora los resultados de la entrevista en profundidad estructurada con el Ingeniero Carlos Eduardo Duque, socio y gerente fundador de

Ingeniería & Contratos S.A.S., empresa contratista que ejecutó el mayor de los grupos del Proyecto Centro Parrilla, y actualmente cuenta con el portafolio más amplio de Tecnologías Sin Zanja en Colombia.

En esta entrevista se cumplieron los siguientes objetivos:

- I) Conocer qué motivó a la empresa a incursionar en las Tecnologías Sin Zanja.
- II) Conocer los proyectos que antecedieron la incursión en las Tecnologías Sin Zanja.
- III) Conocer los casos de éxito en los proyectos que utilizaron por primera vez los equipos de Tecnologías Sin Zanja.
- IV) Conocer las lecciones aprendidas en el Proyecto Centro Parrilla.
- V) Conocer como fue la relación con los comerciantes del centro de Medellín en la ejecución del proyecto.
- VI) Identificar beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja.
- VII) Conocer los cambios a nivel de empresa que provocó la incursión en las Tecnologías Sin Zanja.
- VIII) Conocer los argumentos que sustentan la aplicación de tecnologías Sin Zanja en los proyectos actuales de la compañía.

(Ver Anexo 4: Grabación entrevista ingeniero Carlos Duque – Gerente I&C).

En la entrevista el ingeniero Carlos Eduardo Duque comienza explicando la historia de la empresa, la cual fundó junto a su socio y hermano Oscar Duque en el año 1988 y con EPM como su principal cliente, gracias a que en los dos años anteriores tuvieron una valiosa experiencia como residentes trabajando en obras de acueducto y alcantarillado. Luego fueron obteniendo oportunidades para desarrollar otras obras de infraestructura como vías, espacios públicos y edificaciones, pero manteniendo siempre la línea de acueducto y alcantarillado. Desde hace 15 años han adquirido gran cantidad de equipos de construcción y hoy cuentan con 130 máquinas propias. Adicionalmente hace cuatro años tuvieron la oportunidad de comprar equipos de Tecnologías Sin Zanja para construcción y rehabilitación de redes para EPM.

Luego el ingeniero explica cómo la incursión en estas tecnologías se debe a que la empresa desde siempre se ha caracterizado por revisar todos los diseños de las obras que ejecuta, así no tenga la obligación de hacerlo, con el fin de tener total seguridad de la viabilidad de las obras y garantizar su durabilidad. De este modo en la ejecución de un proyecto para la construcción del intercambiador de Megabús en Dosquebradas, que para desaguar el deprimido proyectado tenía previsto la ejecución de un colector de 240m en *Pipe Jacking*, con un diámetro de 600mm, entre 6m y 7m de profundidad en gravas, para el cual pidieron cotización a Bessac Andina.

Cuando hicieron los estudios de detalle mediante nichos de investigación para verificar el material encontraron bolos de roca, ante lo cual la empresa Bessac indicó que no era viable la tecnología y en consecuencia la interventoría sugirió ejecutarlo en zanja abierta. Sin embargo, Ingeniería & Contratos no estuvo de acuerdo por las grandes afectaciones sociales y ambientales que implicaba la intervención de la avenida más importante de la zona que tenía altos niveles de tráfico.

Adicionalmente, al revisar los estudios hidrológicos se encontró que no se había tenido en cuenta el aporte de aguas de los barrios aledaños al deprimido y el periodo de retorno hidrológico del estudio original era insuficiente, por lo tanto el diámetro del colector proyectado también era insuficiente.

De este modo Ingeniería & Contratos con el objetivo de mitigar los impactos socio-ambientales y mejorar las condiciones de seguridad ante estas profundidades, propuso la construcción del colector por medio de un Túnel Minero que alojaría dos tuberías de 750mm de diámetro, una para captar las aguas del proyecto y otra de cuenta de la alcaldía para captar las aguas adicionales provenientes de los barrios aledaños. Y así la propuesta fue aprobada y ejecutada en sólo 45 días, sin implicar cambios en el presupuesto inicial.

Así mismo, hace unos diez años la empresa O-Tek que estaba iniciando con la producción de tubería de fibra de vidrio en Medellín y que había tenido problemas con los contratistas en la instalación, en vista de la buena experiencia que tuvieron con Ingeniería & Contratos en un proyecto de EPM donde los cautivó el cuidadoso proceso constructivo y los estándares de calidad de la empresa, los invitó a presentar una propuesta para rehabilitar transversales en la concesión Santa Marta – Paraguachón y Santa Marta – Bosconia. De este modo rehabilitaron 40 tramos donde la mayoría tenían diámetros de 900mm y longitudes de hasta 50m mediante *Slip Lining*, instalando tubería de fibra de vidrio dentro de las tuberías de acero corrugado que se encontraban corroídas en la batea y llenando los espacios con mortero.

Después de este proyecto O-Tek también los invitó a participar en un proyecto piloto de *CIPP* para EPM, en el que Ingeniería & Contratos los acompañó para presentar la propuesta, pero posteriormente no utilizaron sus servicios para la ejecución del proyecto.

Así, estos proyectos fueron antecedentes a las Tecnologías Sin Zanja y parte de la experiencia habilitante para el proyecto Centro Parrilla de EPM, que fue sacado a licitación en el año 2014 dividido en cuatro grupos. Uno de ellos consistía en la construcción de un microtúnel de 1200mm de diámetro desde el teatro Pablo Tobón Uribe hasta el río Medellín, cerca a la plaza de mercado Minorista y paralelo a la quebrada Santa Helena. Los otros tres grupos consistían en la reposición y

renovación de redes de acueducto y alcantarillado del centro de Medellín en un 70% con diferentes Tecnologías Sin Zanja.

La empresa ejecutó el grupo 4 que era el más grande de todos. Tenía un presupuesto inicial de 52 mil millones de pesos, de los cuales 35 mil millones correspondían a cantidades de Tecnologías Sin Zanja como: tres kilómetros de microtúneles en diámetros de 400, 500, 600, 700 y 800 milímetros, seis kilómetros de *CIPP*, nueve kilómetros de *Pipe Bursting* para acueducto, unos tramos de Perforación Horizontal Dirigida y de *Close Fit*, y adicionalmente, tenía previsto la televisación de las redes con CCTV y el fresado de las redes con robots.

El ingeniero Carlos indica que viajó a Europa y a Medio Oriente una vez recibió la adjudicación del contrato, con el objetivo de seleccionar cuidadosamente los equipos de Tecnologías Sin Zanja a comprar, ya que por ejemplo las empresas distribuidoras de estas tecnologías en Colombia ofrecían equipos de *CIPP* curado con vapor, cuando en Europa los equipos más populares y modernos eran de curado con luz UV. Por esa razón compraron el equipo de *CIPP-UV* junto con un camión de robots de fresado y aplicación de resinas.

El ingeniero también procedió inmediatamente a realizar sondeos con 52 nichos de investigación para verificar los tipos de suelos, encontrando la sorpresa de tener bolos hasta de 70cm y con alta dureza en el 60% o 70% de las zonas a intervenir, que por supuesto no habían sido identificados en los estudios de suelos. Por lo tanto, envió la información del material encontrado a las distintas fábricas de máquinas tuneladoras y solo la marca MTS ofreció una máquina con alto torque que podía realizar los trabajos con cierto grado de éxito, ya que aunque podía romperlos, advirtieron que las desviaciones seguirían siendo parte del problema, y por esta razón Ingeniería & Contratos compró esa máquina.

Seis meses después de la adjudicación del proyecto se firmó el contrato mientras los equipos se encontraban en proceso de importación hacia Colombia porque EPM exigía que los equipos estuvieran disponibles desde el inicio del tiempo contractual. Sin embargo, estos equipos estuvieron parados varios meses mientras se resolvían serios problemas de diseño en el proyecto.

En vista de lo anterior y con la convergencia en la adjudicación de otros dos contratos con algunas cantidades de Tecnologías Sin Zanja, se facilitó entonces el uso y pruebas de los equipos en otros proyectos.

El primero fue el proyecto para la estabilización de la presa de San Carlos, que tras un análisis estructural se identificó la susceptibilidad de la presa ante eventos sísmicos. Y entre los trabajos de repotenciación y estabilización se encontró la necesidad de rehabilitar unos colectores de 300mm y 900mm a 12m de profundidad

con infiltraciones importantes a altas presiones debido al nivel freático y que desde el momento de presentar la licitación se habían propuesto ejecutar en *CIPP*.

De este modo para la rehabilitación de los colectores se utilizaron los equipos de *CIPP-UV* comprados para el proyecto Centro Parrilla. Para ello se tuvo acompañamiento de técnicos de Alemania que los instruyeron en la instalación de las mangas y el uso de los equipos. Adicionalmente, se contó con la asistencia de los directivos de EPM que querían presenciar la primera aplicación de esta tecnología en Colombia, que resultó en un buen nivel de confianza para su posterior uso en Centro Parrilla.

El ingeniero también señala que el *CIPP-UV* era en realidad la única alternativa viable para el proyecto, ya que gracias al folio exterior de polietileno que tiene la manga UV, la resina siempre estuvo protegida de las aguas de infiltración, las cuales también fueron controladas con la presión de inflado, caso que no hubiera sido posible de haber utilizado curado con vapor, porque en esta la manga y la resina quedan en total contacto con la tubería, y por ende, las infiltraciones hubieran dañado la instalación. Y respecto a las tecnologías convencionales explica que EPM tenía claro que implicaban además de un gran impacto ambiental, una situación insegura porque en la ejecución de estos tramos tuvieron un accidente mortal para dos trabajadores en una de las brechas de 12m de profundidad.

Respecto al segundo proyecto, que consistía en la construcción, reposición y modernización del sistema de acueducto y alcantarillado del barrio el Picacho que estaba dividido en tres grupos, el ingeniero Duque indica que aunque se tenía previsto algunos tramos de *Pipe Bursting* y de *CIPP*, el contrato tenía una serie de problemas con los tramos en zanja, para los cuales la empresa hizo una propuesta complementaria.

El primer problema fue que las cantidades de obra reales eran menores a las que figuraban en los diseños y en los pliegos de condiciones. Al revisar el contrato y hacer una valoración de lo que realmente se iba a ejecutar, por un valor de 12 mil millones de pesos se encontró que escasamente llegaría a los 8 mil millones.

El segundo problema era que las cantidades de roca previstas eran del 1% mientras que en realidad era del 20%, ocasionando bajos rendimientos, del orden de un tubo de 6m por cada dos o tres días, ya que la demolición de roca estaba prevista únicamente mediante expansores químicos o cuñas. Adicional a esto EPM tenía una política de longitud controlada para reducir la afectación a la comunidad de modo que no permitían adelantar trabajos de excavación en los tramos posteriores sin antes haber terminado las zanjas abiertas.

Lo anterior ocasionó que uno de los contratistas se abstuviera y devolviera el contrato porque demostró que estando valorado en 16 mil millones de pesos no iba

a llegar a los 11 mil millones, y que por lo tanto, los diseños no coincidían con el presupuesto. Mientras que el otro contratista entró en liquidación al intentar ejecutar el proyecto tal como estaba previsto y por ello le fue caducado.

Sin embargo, Ingeniería & Contratos que había analizado el proyecto desde el principio notó que la mayoría de zonas a intervenir eran barrios donde el único acceso era a través de escalas y los colectores a reponer se encontraban a un costado de estas, debajo de una serie de terrazas enchapadas con materiales como baldosa, gres y baldosín y que constituyen zonas comunes de las casas, las cuales fueron construidas posteriormente por los propietarios que se apoderaron de los retiros de las casas y redujeron el ancho de las escalas a 1m o 1,5m. Entre tanto los nuevos colectores estaban proyectados en zanja abierta sobre las escalas con profundidades de dos a tres metros.

Por lo tanto al hacer un análisis de las implicaciones de los trabajos identificaron que se generarían impactos sociales y ambientales serios porque se iba a bloquear el acceso a las viviendas. Además los trabajos no cumplían con los estándares mínimos de seguridad, ni ambientales, ni de impacto comunitario, ni con las normas técnicas de la propia entidad, ya que la norma 1300 A1 de EPM indica que debe existir un retiro de por lo menos 60cm a los bordes de la zanja, y como los andenes escasamente alcanzaban los 1,5m de ancho entre los muros de las terrazas, al excavar las zanjas estos incurrieron en un gran riesgo de desestabilizarse al no tener vigas ni columnas de refuerzo.

En consecuencia, el ingeniero hizo una propuesta para rehabilitar los tramos existentes en *Pipe Bursting* y las acometidas en *CIPP*, en la que demostró que era más económico, más rápido y se generaba un menor impacto a la comunidad y al medio ambiente. Sin embargo, esta tardó cuatro meses en ser aprobada porque los abogados de EPM pensaban que los corredores de los colectores existentes ya eran zonas privadas, pero se corroboró que efectivamente son zonas públicas y que lo más apropiado era tener un sistema de alcantarillado totalmente sellado para prevenir problemas con la comunidad por encharcamientos y malos olores provenientes del colector existente.

Finalmente, el proyecto pudo ejecutarse en menor tiempo, con menores costos y constituyó un caso de éxito que fue objeto de un artículo en las revistas internacionales de Tecnologías Sin Zanja.

Al retomar el proyecto Centro Parrilla, a pesar de haber sido contratadas las dos empresas más prestigiosas de Colombia, Integral e Ingetec, se presentaron grandes problemas en los diseños para las Tecnologías Sin Zanja.

En primer lugar el microtúnel, que implicó una inversión de dos millones de euros en equipos que solo se pudieron utilizar varios meses después de la fecha de inicio

contractual. Al realizar las investigaciones de redes e infraestructuras subterráneas con georradar, bastón localizador, nichos de investigación e inspección con la presencia de ingenieros con experiencia en redes y topógrafos para elaborar planos con alto nivel de detalle en 3D, se identificaron múltiples interferencias de los túneles con redes, estructuras subterráneas y cimentaciones, así como afectaciones a los accesos de locales comerciales, talleres y parqueaderos por la ubicación de los pozos. En estos últimos se requiere un área importante para la ubicación de los equipos, que constan de 7 contenedores, una grúa, más un espacio para el acceso de un carro tanque para disposición de lodos, una volqueta con una excavadora para la disposición del material de excavación y los camiones que suministran la tubería y el combustible.

De esta manera, se comprobó que los ingenieros de Ingetec no conocían la magnitud de los equipos ni los impactos en las vías que estos generan. Aunque sólo invaden las vías en periodos cortos de 8 a 15 días, comparados con tramos en zanja abierta de 80m de longitud a 5m de profundidad que pueden tardar de un mes y medio a dos meses, es necesario elegir cuidadosamente la ubicación, hacer un cerramiento adecuado y controlar los niveles de ruido con paneles de insonorización.

Adicionalmente, la construcción de los pozos requiere de una estrategia para evitar la desestabilización del terreno, para lo cual Ingeniería & Contratos implementó un sistema de entibado metálico para construirlos de forma rápida y segura.

También se encontraron inconsistencias en los suelos como se explicó antes, donde la caracterización del terreno solo mencionaba arcillas, limos, arenas y gravas, que tienen un tamaño máximo de 7cm, pero en la práctica encontraron también cantos, con dimensiones de 7cm a 20cm, y bolos, que tienen dimensiones de 20cm a 3m. Por lo tanto implicaron un impacto grande en los rendimientos y en la cantidad de rescates de la máquina para corregir desviaciones que superaban la especificación. Este conflicto se resolvió pagando un excedente por los trabajos en este tipo de terrenos y haciendo un intercambio de los últimos 800m con tramos de microtúnel de proyectos futuros que presentaban una geología acorde a lo especificado en los pliegos.

Por último, los diámetros de 400mm y 500mm tuvieron que ser homologados a 600mm porque además de ser prácticamente imposible de ejecutar microtúneles en estos diámetros, la especificación exigía la inyección con lechada de cemento posterior a la construcción de los tramos, trabajo que sólo es posible realizar desde el interior y los diámetros menores lo impiden.

De este modo Ingeniería & Contratos presentó en el mes de marzo de 2015 una propuesta con el ajuste a los diseños de un grupo de tramos a EPM, pero como la interventoría tenía excluida la revisión de diseños y la entidad no tenía contratada

una consultoría de apoyo, tuvieron que contactar nuevamente a Ingetec para analizar la propuesta y rediseñar los tramos, los cuales finalmente fueron entregados en junio de 2015.

Así las lecciones aprendidas para el diseño del microtúnel son tres principalmente:

Primero es necesario hacer una investigación geotécnica sin equipos de roto percusión porque destruyen los bolos y los cantos que se puedan encontrar, incurriendo en un error de entrada en el pronóstico de los suelos, cuando en microtúnel se debe estimar la cantidad de bolos en los tramos a ejecutar para elegir bien la herramienta.

Segundo se requiere seleccionar muy bien la tecnología desde el punto de vista de impacto a la comunidad, para ubicar las zonas de trabajo sin afectar parqueaderos, ni accesos a edificios o negocios en los que se necesite flujo continuo de camiones entrando y saliendo.

Y tercero ejecutar tramos sólo a partir de 600mm.

Al seguir analizando los problemas del *Pipe Bursting*, que estaban más relacionados con la logística al interior de EPM, se tenía una programación en función de las cantidades a ejecutar para el tiempo contractual de 300m mensuales en acueducto. Sin embargo, como EPM no estaba preparado para aprobar la cantidad de aisladas necesarias, del orden de una cada día de por medio, en los primeros seis meses del proyecto solo se realizaron unas tres en total. El tema fue solucionado haciendo un cambio drástico en el sistema de control al interior de EPM en el que tuvo que actuar una de las vicepresidencias, para la aprobación de las aisladas en conjunto de unas líneas superficiales de conexión provisional en manguera de polietileno conocidas como flautas, y así garantizar la continuidad del servicio en las acometidas de las casas.

Otro aspecto importante fue que aunque EPM había contemplado los trabajos tanto en jornadas diurnas como nocturnas, la Secretaría de Movilidad restringió la mayoría de los trabajos a jornadas únicamente nocturnas. Por lo tanto, la comunidad muchas veces no se daba por enterada de los trabajos realizados.

De este modo, una vez comenzaron los trabajos continuos de *Pipe Bursting* se pudo apreciar el gran éxito de la tecnología, que aunque implica una cierta cantidad de apiques para conectar las domiciliarias a la red expandida, dejó como lección aprendida la disminución de los impactos socio-ambientales, un gran rendimiento y a un costo muy económico. Aun así la empresa de servicios públicos debe prever y adaptarse a la cantidad de aisladas necesarias.

Otra tecnología que tuvo problemas de diseño es el *CIPP*. Si bien en los pliegos estaba abierta la posibilidad de emplear curado con UV, las especificaciones y los

diseños de detalle no la contemplaron, y por lo tanto, se desarrolló con base en la normatividad del país de origen, que para el *CIPP-UV* es Alemania.

De este modo se procedió con el diagnóstico de redes, que también implicó un ajuste a la condición de deterioro prevista en el diseño para la rehabilitación de la tubería. Una vez se corregían daños como depósitos de concreto y acometidas penetrantes con los robots de fresado, se generaba un cambio inmediato en la calificación que alteraba las condiciones de diseño del espesor de la manga, el cual también se debía recalcular con base en la norma alemana.

Así que en el momento de entregar la revisión de la calificación, el consultor tardó mucho tiempo en revisar la información porque no estaba acostumbrado a trabajar con esta tecnología, y por lo tanto, los trabajos de *CIPP-UV* solo pudieron iniciar unos cinco o seis meses después del inicio del proyecto. En conclusión, la lección aprendida con relación a los diseños de esta tecnología es que estos deben efectuarse con base en el estado previo a la rehabilitación de la tubería.

Adicionalmente están los beneficios socio-ambientales de esta tecnología, los cuales son muy superiores a los que ofrece el *CIPP* curado con vapor, ya que el tamaño de los equipos es mucho menor. Esto implica una reducción del área de intervención porque sólo se utiliza un camión de troque sencillo para el curado de la tubería más una cama de rodillos que sólo es necesaria para la inserción de mangas de gran diámetro, proceso que dura máximo un par de horas. Además, el curado toma entre la mitad y la tercera parte del tiempo, y por lo tanto curados que se harían en 12 horas, toman sólo 4 horas con UV. De este modo en una jornada se pueden ejecutar según la longitud, un tramo de 80m, dos tramos de 30m, o tres tramos de 10m; mientras que hacer el equivalente en zanja abierta puede tardar un mes o más, y por lo tanto, existe una gran diferencia en el costo socio-ambiental que soportan los usuarios al aplicar estas tecnologías.

La última tecnología que menciona el ingeniero es la Perforación Horizontal Dirigida, la cual también ofrece altos rendimientos ya que se pueden ejecutar tramos de 60m a 80m en tan solo 2 o 3 días y generando ahorros socio-ambientales parecidos a los que ofrecen *CIPP* y *Pipe Bursting*, pero a diferencia de estos, la perforación Horizontal Dirigida permite construir redes nuevas. Se trata de una tecnología susceptible al tipo de terreno, y por lo tanto, se encuentra limitada para trabajar en suelos con una presencia importante de bolos. Para la construcción de redes de alcantarillado además de lo anterior se requiere que las pendientes sean mayores al 1,5% o el 2%.

Luego el Ingeniero Carlos Eduardo explica respecto a los comerciantes de la zona centro, corazón del comercio de la ciudad, que muchas veces se acercaron en grupos de agremiaciones para conocer las labores del proyecto y para expresar su preocupación porque en ocasiones anteriores se habían visto afectados por zanjas

que permanecieron abiertas hasta por 15 o 20 días ante imprevistos como daños o problemas de interferencias por la alta concentración de redes en la zona.

Sin embargo, la experiencia con el proyecto Centro Parrilla fue muy positiva puesto que en muchas ocasiones después de haber terminado los trabajos, al acercarse para levantar las actas de cierre de obra, los comerciantes se sorprendieron porque después de la socialización de inicio nunca se dieron cuenta de los trabajos efectuados por la empresa.

En cuanto a microtúnel que tiene unos equipos más notorios, lo que más resaltó la comunidad y otros visitantes de distintas entidades como Corantioquia, fue la innovación en la implementación de un contenedor de bentonita que sólo Ingeniería & Contratos tenía para controlar las grandes cantidades de material particulado. También, para controlar los derrames que normalmente implica la preparación de los lodos bentoníticos, ya que el contenedor evita que el polvo salga y en la parte inferior se encuentra sellado para contener cualquier derrame de lodos.

Al explicar la situación actual, el ingeniero indica que con el proyecto Centro Parrilla la empresa quedó con un capital invertido en equipos de Tecnologías Sin Zanja muy alto, de modo que sufrió un proceso de transformación muy grande al tener que montar un departamento comercial para ofrecer y dar a conocer estas tecnologías al sector privado. Así la principal estrategia de Ingeniería & Contratos ha sido tomar las lecciones aprendidas en el departamento de diseño, que fue parte esencial al proponer ajustes a la compañía consultora que facilitaron el proceso de viabilizar los tramos de Tecnologías Sin Zanja. De esta manera, implementaron un sistema de conferencias y capacitaciones de la empresa que se están dando, tanto a las firmas consultoras como a los grupos internos de diseño de las entidades públicas. Y de esta manera se crearán nuevas oportunidades de negocio para la empresa a la vez que se generan grandes ahorros en impactos a la comunidad y al medio ambiente.

Finalmente, el ingeniero explica los motivos por los cuales se siguen aplicando las Tecnologías Sin Zanja en los proyectos más recientes de la empresa. Por ejemplo, con el *Pipe Jacking* indica que a más de 6m de profundidad los métodos convencionales no son competencia para esta tecnología. Adicionalmente, los cruces de las avenidas y las autopistas ya no se permiten en zanja, de modo que el *Pipe Jacking* y el *Tunnel Liner*, que es una tecnología con un costo muy similar a una zanja de 6m de profundidad, son las más indicadas para este tipo de trabajos. Otra razón que va a incidir en este aspecto es que en definitiva, con el accidente ocurrido en Medellín en los primeros meses de 2018, EPM tomó la decisión de no volver a ejecutar zanjas de más de 5m de profundidad con el riesgo de muerte para las personas.

Por estos motivos la empresa tiene en este momento un proyecto de microtúneles en Bogotá, van a iniciar otro en Medellín, y están comenzando con un contrato de un kilómetro de *Tunnel Liner* también en Medellín como subcontratistas. En resumen han visto una activación de estas tecnologías por un mayor conocimiento y la menor afectación que producen para la comunidad y para el medio ambiente; así como el ahorro de costos para la entidad contratante en tramos profundos y la protección de la vida de los trabajadores.

En cuanto a la Perforación Horizontal Dirigida, se ha abierto una oportunidad muy grande porque a un costo muy bajo y con una disminución muy grande en la duración y en el impacto socio-ambiental, pueden competir con la zanja abierta para la construcción de tramos de acueducto y también para alcantarillado.

Respecto a *CIPP* y *Pipe Bursting* que tienen tiempos de ejecución mínimos, se está evidenciando la aparición de más proyectos nuevos para la rehabilitación de tuberías.

Por último, los robots de televisación, fresado y aplicación de resinas están generando una posibilidad muy interesante para reparación de tuberías que presentan daños muy puntuales, en los que se utilizan *Packers* o resinas aplicadas con un incomparable costo, tanto económico como socio-ambiental.

6.1.5 Entrevista con el ingeniero Miguel Duque – Director de Tecnologías Sin Zanja I&C - Contratista EPM

Para la empresa contratista Ingeniería & Contratos S.A.S. se presentan ahora los resultados de la entrevista estructurada con el Ingeniero Miguel Duque, Director de Tecnologías Sin Zanja de la compañía, que junto con la gerencia realizó el proceso de selección de los equipos y del portafolio de Tecnologías Sin Zanja.

En esta entrevista se cumplieron los siguientes objetivos:

- I) Identificar cuáles Tecnologías Sin Zanja tienen mayor potencial en Colombia.
- II) Identificar las Tecnologías Sin Zanja más versátiles para instalación de redes.
- III) Identificar las Tecnologías Sin Zanja más versátiles para reposición de redes.
- IV) Identificar las Tecnologías Sin Zanja más versátiles para rehabilitación de redes.
- V) Conocer la evolución en las innovaciones de la tecnología *CIPP*.
- VI) Identificar las Tecnologías Sin Zanja más versátiles para ejecución de acometidas.
- VII) Identificar las Tecnologías Sin Zanja más versátiles para reparaciones puntuales.

- VIII) Conocer la importancia de los servicios de apoyo Sin Zanja
- IX) Identificar las barreras de entrada para la implementación de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia.

(Ver Anexo 5: Grabación entrevista ingeniero Miguel Duque – Director de Tecnologías Sin Zanja I&C).

En la entrevista el Ingeniero Miguel Duque comienza con una analogía diciendo que las Tecnologías Sin Zanja pueden ser vistas como una navaja suiza porque estas conforman un conjunto de alternativas para dar soluciones a los problemas de los proyectos de construcción de redes, teniendo muy en cuenta la oferta local de los contratistas, salvo que las cantidades a ejecutar justifiquen la compra e importación de los equipos.

En consecuencia, existen tecnologías para proyectos muy específicos, como es el caso de la microtunelación, porque su frecuencia de uso es muy baja y los proyectos pueden tardar varios años en darse en una ciudad. Y por el contrario existen tecnologías con un uso más cotidiano, como por ejemplo el *CIPP*, que tiene la ventaja de generar mínimas afectaciones, reutilizar el espacio de la red existente y con un rendimiento muy alto. Por tal motivo el ingeniero Miguel cree que esta tecnología seguirá usándose cada vez con mayor frecuencia en Colombia.

Otra tecnología que tiene un gran crecimiento es la Perforación Horizontal Dirigida, que actualmente está siendo muy utilizada para la instalación de redes de gas, telecomunicaciones, y recientemente para redes de acueducto y alcantarillado. Cabe anotar que esta tiene un nivel de popularidad importante en Estados Unidos y que posiblemente también logre en Colombia ya que es una gran alternativa para cruces viales, para conducciones y para predios que no puedan ser afectados por las intervenciones en zanja abierta.

Así mismo, el *Tunnel Liner* que es un método manual, también tiene un gran potencial porque en la actualidad la Agencia Nacional de Infraestructura requiere que las tuberías de alcantarillado que cruzan las vías concesionadas sean mínimo de 900mm de diámetro y su instalación o reposición no puede afectar la superficie debido a que los concesionarios ya no lo permiten. Así esta tecnología se convierte en la número uno para dar solución a tales proyectos por lo que para diámetros grandes las otras tecnologías emplean máquinas costosas que no son atractivas económicamente para la ejecución de tramos cortos.

Es importante mencionar tecnologías como el *Pipe Bursting*, que tiene un gran potencial debido al aumento de la densidad poblacional que hace que las redes se amplíen en diámetro. También las tecnologías para reparaciones puntuales como el *Packer* que permite hacer reparaciones rápidas de los daños inadvertidos

ocasionados durante la construcción de las redes, con la gran ventaja de generar mínimas afectaciones a la comunidad y al tráfico.

El Ingeniero Miguel Duque explica para cada categoría, cuáles tecnologías son más versátiles y cuáles tienen mayor potencial en el contexto colombiano. Al comenzar con la categoría de instalación de redes nuevas explica que los contratistas se encuentran con dos problemas básicos. El primero es el tipo de terreno, de modo que si no existe un buen estudio de suelos habrá una probabilidad de que los equipos se encuentren un tipo de terreno para el cual no estén equipados o diseñados, ocasionando daños o atascamientos. Lo anterior hace que en muchos casos se busquen máquinas más robustas y mejor equipadas como es el caso de las microtuneladoras de lodos, que es el equipo más versátil para lidiar con todo tipo de terreno. Sin embargo, hay zonas del país donde se puede prever un tipo de suelo más blando como los limos y arcillas, y si se pueden descartar este tipo de problemas resulta mucho más económico utilizar tecnologías como el *Auger Boring*.

Así los suelos más complejos son aquellos que tienen una presencia importante de bolos y cantos, entendidos como clastos que no caben por una ventana de 20cm por 20cm en el caso de los bolos, y 7cm por 7cm para el caso de los cantos. De modo que los cantos son el tamaño intermedio entre las gravas y los bolos. Estos terrenos tienden a desviar o a atascar los equipos, y son incluso más difíciles que la roca sólida. Ingeniería & Contratos ha tenido experiencias en proyectos donde los estudios de suelos están más orientados a cimentaciones y se ha encontrado este tipo de terreno que dificulta mucho o hacen imposible el trabajo incluso para máquinas tuneladoras. Por lo tanto, un aspecto importante para la planeación de los proyectos es realizar estudios de suelos bien orientados que permitan seleccionar correctamente la tecnología a utilizar.

El segundo problema son las pendientes de diseño, porque cuando se instalan redes con Tecnologías Sin Zanja el control de la pendiente siempre tendrá un grado de incertidumbre. Mientras las tuberías funcionen por gravedad como es el caso de las redes de alcantarillado, se requerirá un mayor control de la pendiente, de modo que tecnologías sencillas y económicas como la Perforación Horizontal Dirigida, por lo menos en sus versiones mini y midi, que tienen la dificultad de que el control de la pendiente no es muy preciso, se encuentran más limitadas para realizar trabajos en las ciudades más planas donde se tienen pendientes menores al 1%. Por otra parte, el microtúnel permite trabajar con pendientes hasta del 0,1% y de ahí sólo métodos manuales como el *Tunnel Liner* pueden garantizar mayor precisión en el control de la pendiente.

Respecto a la categoría de reposición de redes se tiene primero el *Pipe Bursting* que destruye la red existente con la ventaja que permite aumentar el diámetro y es económica. Sin embargo, es una tecnología que requiere un mayor número de

intervenciones en superficie ya que deben hacerse apiques en cada conexión lateral y en las acometidas. Otra tecnología que también permite aumentar el diámetro es el *Pipe Eating*, que consiste en emplear máquinas tuneladoras dirigidas por la misma línea de las tuberías existentes, las cuales no pueden tener acero de refuerzo y deben ser rellenadas previamente con lechadas. Esta tecnología es considerada exótica y hasta el momento no se ha empleado en Colombia.

Respecto a la categoría de rehabilitación existe una gran familia que utilizan *liner*, que es un recubrimiento interno, y una de las más antiguas es el *Slip Lining*, que Ingeniería & Contratos empleó en 200. Consiste en instalar una tubería de menor diámetro dentro de otra cuando existen holguras en la capacidad hidráulica, y posteriormente, se rellena el espacio anular entre ambas, haciéndola económica y fácil de implementar.

Otra tecnología es el *Spiral Wound Lining (SWL)* que consiste en instalar una espiral de PVC con una ventaja única ya que permite rehabilitar colectores de gran diámetro. En diámetros menores no sería tan competitiva como el *CIPP* y en este momento se está utilizando por primera vez en Colombia para unos contratos del Acueducto de Bogotá.

También se tienen las tecnologías de *Close Fit*, la primera el *Close Fit Slip Lining* que actualmente la ofrece Pavco y otro contratista del proyecto Centro Parrilla. Ingeniería & Contratos estuvo cerca de implementarla, pero no lo hizo porque es una tecnología de uso marginal, que al aplicarla reduce considerablemente el diámetro de la tubería ya que consiste en introducir un *liner* de polietileno que tiene un espesor del orden de un centímetro dentro de la red, y por consiguiente, la reducción total de dos centímetros en el diámetro implica un porcentaje alto ya que la tecnología sólo se utiliza en diámetros menores a 400mm. En ese caso es más económico utilizar *Pipe Bursting* que además permite aumentar el diámetro de la red, o incluso un *CIPP*. La segunda tecnología es la *Close Fit Fold and Form*, conocida en Alemania como *U Liner*, la cual tiene una gran barrera de importación para Colombia, ya que para traer tubería de 400mm se tendría que traer un contenedor de 40 pies solo para tres rollos de 70 metros, así que el sólo costo de transporte hace muy difícil su implementación. Por estas razones Miguel Duque opina que el *Close Fit* tiene poco potencial en Colombia.

También hay otras tecnologías que todavía no han sido aplicadas en el país, pero que posiblemente tengan un gran potencial y son aquellas que utilizan un *liner* sin curado. Si bien no aportan capacidad estructural a la red, permiten corregir las fugas en las redes presurizadas y tienen la gran ventaja de ofrecer rendimientos del orden de un kilómetro diario. En este sentido pueden ser una solución para conducciones como poliductos.

Finalmente está la tecnología *CIPP*, que inició en Colombia solo con O-Tek y Pavco, pero que hoy en día es ofrecida por otras cinco empresas, además de Ingeniería & Contratos. Esto ha hecho que los precios bajen y por lo tanto está compitiendo con la zanja abierta. La tecnología consiste en utilizar un recubrimiento que en principio está curdo, se inserta y se infla dentro de la red existente, y luego con un proceso denominado curado se endurece in-situ, es decir usando como molde la tubería existente.

La tecnología inició en los años 70 en Inglaterra con una empresa llamada In-Situ Form y en aquel entonces el curado se hacía utilizando agua caliente, con una caldera que debía llenar completamente la red a rehabilitar y en un proceso que tardaba alrededor de ocho horas, donde el agua recirculaba hacia la caldera e iba cocinando la manga hasta obtener un recubrimiento rígido.

La manga es el recubrimiento que parte de un textil que originalmente podía ser un fieltro o una tela de algodón, y que posteriormente se impregna con resinas que pueden ser epóxicas, de poliéster o vinilester, según la resistencia química que se necesite. La siguiente innovación en el proceso de curado fue el cambio del agua caliente por vapor, ya que un litro de agua se convierte en mil litros de vapor, reduciendo el consumo de agua. Más adelante, el tercer hito surge en los años 90's en Alemania, cuando apareció el curado con luz ultra violeta, donde también cambió la manga, ya que en vez de utilizar el fieltro que no aportaba características estructurales, se empezó a usar fibra de vidrio que al aportar características estructurales, reduce el espesor necesario del recubrimiento y aumenta diez veces el módulo de elasticidad, alcanzando hasta 20.000MPa. La resina en vez de utilizar un peróxido como catalizador, incorpora un agente foto sensible que inicia la reacción, similar a las resinas que utilizan los odontólogos.

Con esta innovación se lograron grandes cambios. En primer lugar la manga se convierte en un producto listo para instalar de fábrica, con sus controles de calidad y con tiempos de caducidad del orden de un año, mientras que antes la impregnación de la manga debía hacerse cerca del lugar de la obra porque al mezclar la resina con el catalizador se tiene poco tiempo antes de que esta reaccione, lo cual también hace complejo los controles de calidad. No obstante, para aumentar estos tiempos pueden utilizarse métodos de refrigeración para ralentizar el proceso de reacción.

En segundo lugar los equipos son más compactos, se reducen los consumos de energía y los procesos de curado son más rápidos, haciendo de esta una tecnología más amigable con el medio ambiente.

En tercer lugar en cuanto al control de calidad, puede garantizarse el curado de punta a punta porque el equipo tiene sensores que realizan un reporte durante el proceso de curado, que queda almacenado en un computador y puede consultarse

para saber si la manga se curó completamente y si el proceso se realizó a la velocidad indicada. Adicionalmente el equipo, que es un tren de luces, cuenta con una cámara que registra el estado del revestimiento antes, durante y después del curado, así que de ser necesario se puede extraer la manga antes de realizar el curado, almacenarla e instalarla nuevamente una vez se hagan los correctivos.

En cuarto lugar el proceso de inserción es más simple aunque tiene la desventaja de que no puede dar curvas dentro de la red. En general ya que las mangas curadas con vapor se insertan infladas por inversión, para rehabilitaciones en diámetros mayores a 400mm, normalmente es necesario demoler la cámara de inspección porque de lo contrario la manga no cabría por la tapa de 60cm, lo cual implica mayores perturbaciones en superficie. Mientras que con curado UV como la manga se inserta desinflada y doblada, pueden instalarse mangas de hasta 1200mm sin necesidad de realizar demoliciones.

Como quinto aspecto el manejo de aguas es más simple porque en el curado con vapor la resina queda en contacto directo con la red, y cualquier caudal o infiltración puede dañar la instalación en ese punto.

Al mirar hacia el futuro se puede prever que como sucedió en Europa, donde la adopción del mercado de *CIPP* es en un 80% Ultra Violeta, en el mundo también se tenga esta tendencia, y aunque en Estados Unidos todavía la adopción es lenta, esto se debe a que la mayoría de las fábricas de mangas y equipos UV están en Alemania. Sin embargo, las mejoras e innovaciones harán cada vez más atractiva la tecnología, ya que por ejemplo en 2014 el máximo diámetro que se podía rehabilitar con UV era 1200mm, mientras que hoy es 1800mm, gracias a que los trenes de luces son más potentes, permitiendo también curar mangas de mayor espesor y más rápido, las cuales a la vez son más resistentes. De hecho, diámetros mayores son solo posibles con *CIPP* agua caliente que llega hasta 3000mm, ya que en el inflado el peso de la manga solo puede sostenerse con este fluido para calcar la forma del tubo, mientras que el vapor y el aire son insuficientes para sostenerla.

No obstante las anteriores solo han sido innovaciones incrementales, mientras que la innovación más radical que sobrevino es el curado con luz led, porque las estadísticas indican que en el curado con luz UV se pierde el 80% de la energía utilizada. Con luz led se aprovecha el 80% de la energía, que además de generar menores consumos y ser más amigable con el medio ambiente, los equipos también son más compactos porque el generador va a ser mucho más pequeño y posiblemente la tecnología migre completamente hacia la led, la cual solo se está usando para rehabilitar acometidas.

Respecto a la rehabilitación de acometidas con *CIPP* también existen los curados con agua caliente, vapor y UV. Sin embargo, los curados con luz son muy recientes y todavía se encuentran en desarrollo porque la tecnología no ha alcanzado su nivel

de madurez completa, mientras que las otras son fáciles de implementar y de hecho Ingeniería & Contratos las utiliza.

La razón por la cual la rehabilitación de acometidas es importante parte de la intervención sin zanja de los colectores, los cuales pueden tener del orden de 20 acometidas en una cuadra, y si estas se intervienen en zanja abierta pues se pierde el beneficio socio-ambiental del trabajo en el colector. Así las alternativas restantes para la ejecución de acometidas sin zanja son tres principalmente. La primera corresponde a tecnologías para instalar acometidas nuevas en un terreno virgen, que son misiles o topos pero tienen la desventaja de requerir apiques en ambos extremos de la acometida, y también son susceptibles al tipo de terreno, ya que en terrenos difíciles se pueden desviar o atorar.

La segunda es utilizar *Pipe Bursting*, para lo cual también se requieren dos apiques en ambos extremos de la acometida, pero con la dificultad de que la caja de registro muchas veces queda muy cerca del paramento del predio y por lo tanto se requieran demoliciones adicionales para la inserción de la tubería o la instalación de la máquina. Adicionalmente, la acometida debe ser recta para que el método pueda aplicarse, convirtiéndose en la principal limitante de esta tecnología.

Por ello en Ingeniería & Contratos se tomó la decisión de utilizar *CIPP* curado con calor para la rehabilitación de acometidas, que tiene la ventaja de que puede dar curvas. Solo se necesita un punto de acceso y por tratarse de una manga pequeña su impregnación es más simple y los equipos requeridos son muy pequeños, permitiendo almacenar todo en un tráiler adecuado para conformar un laboratorio portátil. De hecho esta tecnología se trajo a riesgo de la compañía para la ejecución de un contrato de reposición de redes en los barrios Doce de Octubre y El Picacho, donde las acometidas estaban consideradas a zanja abierta e implicaban una gran dificultad. EPM accedió a hacer pruebas con los equipos y los resultados fueron tan satisfactorios, que no solo aceptaron el cambio de tecnología para este proyecto, sino que también la implementaron en los proyectos Centro Parrilla y Cuencas.

Con relación a la categoría de reparaciones puntuales, las cuales se han hecho toda la vida a zanja abierta y de una forma muy artesanal, de modo que no existe una garantía de la vida útil que puedan tener. No obstante con las Tecnologías Sin Zanja se puede incurrir en el mismo problema, ya que en muchas ocasiones se hacen reparaciones con una vida útil desconocida, e incluso hay unas que no superan los cinco años. Es aquí donde radican muchos de los problemas de las Tecnologías Sin Zanja, y es la falta de normas técnicas claras para su ejecución. Aunque actualmente existen formas de hacer reparaciones que están avaladas por centros como el Instituto Alemán de la Técnica para la Construcción (*DIBT*) que garantiza su vida útil, en otros países funcionan únicamente como una guía, ya que todavía no son de obligatorio cumplimiento.

Un ejemplo perfecto de esto es el *Packer*, que es una de las tecnologías más populares para reparaciones puntuales, y que así mismo hay formas de aplicarlo con vidas útiles inferiores a cinco años y otras que garantizan una vida útil de 50 años. Esta tecnología consiste en un parche anular que se instala al interior de la red, el cual se compone de una manga corta de fibra de vidrio que se impregna con una resina. Luego esta se dobla de forma especial y se envuelve sobre un cilindro de caucho inflable, similar a los obturadores de redes pero que tiene ruedas para desplazarse, se realiza un gratado sobre la superficie interna del tubo para garantizar la adherencia. Y finalmente, se ubica el *Packer* en la posición deseada y se infla el cilindro hasta que la manga se endurezca.

De este modo la dificultad con el *Packer* radica en que el contratista puede utilizar cualquier manto de fibra de vidrio, cualquier resina y tampoco está obligado a hacer ninguna preparación a la tubería antes de instalar. Aunque la norma alemana indique que la resina debe garantizar una adherencia química que incluso garantice que se rompa el concreto antes de que ésta se desprenda, el contratista está en la libertad de utilizar otra resina que ni siquiera reaccione correctamente en presencia de agua y haga que ante una creciente del caudal la reparación sea arrastrada, generando una mala imagen para la tecnología cuando es en realidad responsabilidad del contratista. Todo porque todavía no hay una norma que regule esta situación en Colombia.

La siguiente tecnología que vale la pena mencionar tiene una aplicación más marginal y corresponde a las resinas epóxicas aplicadas con robots o manualmente. Aquí lo especial son las propiedades del material que es importado por Ingeniería & Contratos y que permite reparar grietas, fisuras y filtraciones que lo va a poder aplicar cualquier persona que tenga una capacitación especial para aplicar este tipo de productos.

La última categoría es la de servicios de apoyo, que son todos los sistemas adicionales necesarios para desarrollar las otras tecnologías. Se tiene primero la Detección de Redes que permite prever las interferencias con las redes existentes para realizar los trabajos con y sin zanja. Esta consiste en primera instancia de los procesos tradicionales como visitas de campo, apiques, recolección y revisión de planos de redes existentes, y luego se usan georradars y otros equipos de detección electromagnética. El ingeniero Miguel opina que esta tecnología cobrará bastante fuerza en la medida que las ciudades densifiquen su infraestructura subterránea y saturen los suelos con redes haciendo cada vez más importante la prevención de daños.

Al abordar el Diagnóstico de Redes explica que es la principal forma de determinar la necesidad de intervención, siendo el método más común la Televisación que consiste en hacer un video de la red, aunque ya existen equipos más avanzados

que permiten hacer un modelo interactivo que permite navegar a través de la red similar a Google Street View, pero dentro de la tubería. En Colombia ya existe un gran avance en el diagnóstico de redes. De hecho empresas de servicios públicos como el Acueducto de Bogotá y EPM ya tienen su propia norma. Sin embargo, existen otras ciudades donde todavía no se conocen, ya que Ingeniería & Contratos visitó hace poco a Aguas de Bolívar donde aún no conocían esta tecnología.

La importancia de esta tecnología radica en la necesidad que tienen las empresas de servicios públicos de conocer el estado de sus costosos activos subterráneos, ya que un daño que no es atendido en una red puede generar socavaciones en el terreno que pueden desenlazar en hundimientos y daños a terceros. De modo que con una adecuada gestión de activos por parte de las empresas de servicios públicos que involucre las televisiones periódicas con los sistemas de información geográfica de las redes, para que se puedan prever este tipo de problemas y tomar acciones de mantenimiento preventivo en vez de trabajos correctivos. El segundo paso a dar, tal como lo hicieron EPM y el Acueducto de Bogotá, es establecer un manual y una norma para la calificación de los daños.

Finalmente está el Lavado de redes, que es parte fundamental del mantenimiento que ya muchas ciudades del país lo hacen, especialmente para las redes de alcantarillado, donde se atrapan grasas y sedimentos que impiden el trabajo adecuado de la red.

El ingeniero Miguel concluye la entrevista explicando las principales barreras de entrada que tienen las Tecnologías Sin Zanja en el mercado colombiano.

La primera barrera es que los materiales y equipos de Tecnologías Sin Zanja son importados principalmente de Europa y otros de Estados Unidos. Pero en la medida que crezca la demanda de estas tecnologías en Latinoamérica va a haber fábricas más cercanas que los produzcan y en consecuencia disminuiría el costo de las tecnologías. Por ejemplo, con el *CIPP-UV* la manga se produce en Alemania, se importa y se instala. Si esta se produjera en Brasil o en Colombia pues los costos de transporte serían mucho menores y este menor valor haría la tecnología mucho más competitiva.

La segunda barrera como se mencionó antes es la estandarización de un proceso normativo para garantizar la calidad en la aplicación de las Tecnologías Sin Zanja.

La última barrera es la competencia, no relacionada con que otra empresa desarrolle Tecnologías Sin Zanja, sino su producto sustituto que es la zanja abierta, que generalmente ha sido más económica, pero que con la masificación de las Tecnologías Sin Zanja los precios han bajado y cada vez se le ha quitado más espacio a la zanja abierta. Para que esto se materialice se necesita que los diseñadores conozcan las tecnologías, y por eso parte de la estrategia de Ingeniería

& Contratos es capacitar a los diseñadores para que se sientan cómodos diseñando con estas tecnologías. Más allá de esto es importante dar a conocer los beneficios de las Tecnologías Sin Zanja y su existencia a los alcaldes, a las entidades de servicios públicos y todos aquellos que participan en la planeación de proyectos a nivel municipal y departamental, porque si ellos supieran que existe una alternativa sin zanja, muy probablemente ya no van a pensar en hacer ciertos proyectos a zanja abierta

6.1.6 Entrevista con el ingeniero Ignacio Moná – Director Técnico de Interventoría - Proyecto Cuencas EPM

Al proceder con las interventorías de proyectos de construcción, reposición y rehabilitación de redes de servicios públicos con Tecnologías Sin Zanja, se presentan ahora los resultados de la entrevista en profundidad semiestructurada con el Ingeniero Ignacio Moná, exdirector técnico de interventoría del proyecto Cuencas de EPM, y que también se ha desempeñado como diseñador de redes hidro-sanitarias.

En esta entrevista se cumplieron los siguientes objetivos:

- I) Identificar impactos socio-ambientales de los trabajos en zanja abierta.
- II) Identificar objetivos de los proyectos con la implementación de Tecnologías Sin Zanja.
- III) Identificar beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja.

(Ver Anexo 6: Grabación entrevista ingeniero Ignacio Moná – Director Técnico de Interventoría - Proyecto Cuencas EPM).

En la entrevista, el Ingeniero Ignacio Moná explica que los métodos tradicionales aparte de ser más lentos, ocupan un mayor espacio y son más inseguros. Por lo tanto al momento de delimitar una zona de trabajo, no solo debe tenerse en cuenta el ancho de la brecha que está estandarizada en función del diámetro, sino también el área de retiro que debe respetarse por cuestiones de seguridad, que se determina según la estabilidad del terreno, la profundidad de la brecha y las cargas del tráfico que transita por la vía.

Esto se debe a que si bien los entibados son buenas medidas de seguridad, también pueden fallar tal como le sucedió a la empresa Redyco en 2017, donde tuvieron un accidente mortal para un trabajador y otro resultó herido. Por lo tanto se puede concluir que los entibados no son 100 por ciento efectivos.

Con un área de trabajo que tiene una tendencia a incrementar, la reducción del espacio de los corredores viales muchas veces lleva al cierre total de las vías. Donde son la única ruta de acceso para las comunidades, llevan a las autoridades a exigir trabajos nocturnos, que a la vez no son completamente efectivos, ya que

con los niveles de imprevistos inherentes a los métodos tradicionales no se puede garantizar tener la vía habilitada para el día siguiente.

De este modo las tecnologías Sin Zanja son sin duda la mejor opción para resolver problemas de movilidad, e incluso con los tiempos de ejecución, ya que muchas de ellas requieren sólo medio carril y tienen la gran ventaja de no generar condiciones inseguras.

El ingeniero Moná para explicar los beneficios de las Tecnologías Sin Zanja en materia de seguridad toma como ejemplo el proyecto Cuencas, donde en el recorrido para el inicio de obra con presencia de EPM, la Interventoría y el Contratista, se hizo el primer cambio de tecnología no previsto del contrato. Al identificar una red a cuatro metros de profundidad que debía intervenir con zanja y estaba ubicada en un andén de dos metros de ancho que mientras en un costado tenía casas de dos y tres pisos, en el otro tenía un talud del orden de 13 o 14 metros de altura. Ante esta situación de riesgo inminente EPM en conjunto con los diseñadores, tomó la decisión de cambiar la tecnología a *CIPP*,

Así mismo las Tecnologías Sin Zanja pueden minimizar problemas ambientales como el polvo, que aunque puede parecer inofensivo, es en realidad un problema serio para las personas que sufren de asma. También puede tornarse en un factor de afectación social importante al acumularse y formar nubes de polvo ocasionadas por la exposición a la intemperie del material de excavación.

El ingeniero Moná expone además las razones técnicas por las cuales se aplicaron Tecnologías Sin Zanja en el Proyecto Cuencas, comenzando con las diferencias entre el *CIPP* y el *Pipe Bursting*, donde la primera tecnología es útil para conservar la capacidad hidráulica de la tubería o incluso la aumenta un poco debido a la reducción de la rugosidad. Esto debido a que el material de fibra de vidrio que emplea el *CIPP* es menor que la del concreto, el cual además se encuentra desgastado en la batea del tubo, y por ende, crea más turbulencia entorpeciendo el flujo del agua.

Otra ventaja importante de ambas tecnologías es que tienen una mayor velocidad admisible, ya que la tubería de concreto solo es apta para velocidades de hasta 5m/s, puesto que a partir de este punto la abrasividad acelera el desgaste de la tubería. Mientras que los materiales estas dos tecnologías no presentan dicho problema.

En consecuencia es recomendable hacer un estudio para analizar si el cambio del material permite alcanzar la nueva capacidad hidráulica necesaria sin necesidad de aumentar el diámetro, caso en el cual se recomienda utilizar *CIPP*.

No obstante, si aún con el análisis anterior se requiere todavía una mayor capacidad se recomienda entonces emplear un *Pipe Bursting*. Que aunque requiere un mayor

número de apiques va a permitir incrementar el diámetro de la red hasta dos veces su diámetro original ya que su proceso consiste en instalar una tubería de polietileno de mayor diámetro dentro de la red a reponer, gracias a que esta va destruyendo la red existente.

Sin embargo, la cantidad de apiques no es tan representativa, ya que el porcentaje que se interviene sin zanja es del orden del 98% de la longitud del colector.

El ingeniero Moná menciona los beneficios socio-ambientales esperados al aplicar la Tecnología *CIPP* en el proyecto Cuencas, tomando como ejemplo a Girardota La Nueva que es un barrio con andenes estrechos porque la comunidad se apoderó de los retiros entre los paramentos y el andén para construir antejardines enchapados con materiales costosos como el mármol. Por lo tanto trabajar en zanja abierta hubiera implicado el cierre total de los andenes y sobre costos por la reconstrucción de los antejardines.

Además los rendimientos de las Tecnologías Sin Zanja reducen considerablemente los tiempos de intervención, ya que en esta zona los métodos tradicionales tardarían alrededor de un mes y medio o dos meses para completar 60 metros de zanja. Con esta tecnología la intervención del colector se hace en solo una noche, más unos 15 días de actividades preliminares que no generan mayor afectación, pues no se le corta el paso a las personas y tampoco se generan molestias por el polvo, que el ingeniero cataloga como un arma de doble filo. En verano desgasta a la comunidad con laboriosas tareas de limpiezas de sus viviendas, mientras que en invierno se convierte en pantano e incrementa la accidentalidad por riesgos de caídas.

De este modo la comunidad estará más a gusto con los trabajos, y especialmente en barrios como este, donde las personas son celosas y no les gusta tener extraños merodeando por sus calles.

Otro aspecto importante respecto a la parte ambiental es la capacidad de reducir perturbaciones del terreno con las tecnologías de rehabilitación, que aprovechan el espacio de las redes existentes y por lo tanto permiten sortear interferencias con obstáculos ambientales como individuos arbóreos y vestigios arqueológicos.

Finalmente, el Ingeniero Moná confiesa que percibió cierto nivel de escepticismo por parte de la empresa de servicios públicos, ya que en general las Tecnologías Sin Zanja son ligeramente más costosas que la zanja abierta, pero si estos se ponderaran con los beneficios sociales y ambientales que ofrecen entonces podrían justificarse.

6.1.7 Entrevista con la ingeniera Mary Luz Díaz – Residente de Interventoría - Proyecto Bypass estación de Bombeo Britalia Acueducto de Bogotá

Al continuar con las interventorías de los proyectos, se presentan ahora los resultados de la entrevista en profundidad semiestructurada con la ingeniera Mary Luz Díaz, residente de interventoría del proyecto Bypass para la estación de Bombeo de Britalia del Acueducto de Bogotá, y que también se ha desempeñado como residente de obra en varios proyectos de microtúneles con la empresa Bessac Andina en Bogotá.

En esta entrevista se cumplieron los siguientes objetivos:

- I) Conocer cómo se reducen los impactos socio- ambientales con las tecnologías de microtunelación.
- II) Conocer cómo contribuyeron las tecnologías de microtunelación con la mejora en la movilidad de los proyectos en la capital del país.
- III) Identificar los beneficios socio-ambientales de las tecnologías de microtunelación en el proyecto Bypass-Britalia.
- IV) Conocer las consecuencias que implicaría realizar el proyecto Bypass-Britalia en zanja abierta.
- V) Conocer las consideraciones técnicas en la selección de tuneladoras de frente abierto y frente presurizado en el proyecto Bypass-Britalia.

(Ver Anexo 7: Grabación entrevista ingeniera Mary Luz Díaz – Residente de Interventoría - Proyecto Bypass Britalia Acueducto de Bogotá).

En la entrevista la ingeniera Mary Luz Díaz comienza explicando los beneficios socio-ambientales que pudo percibir en su experiencia con la tecnología de microtunelación en Bogotá, donde resalta que aunque los proyectos sí generaron afectaciones a la comunidad y al medio ambiente, estas fueron mucho menores que las que hubiera implicado hacer los trabajos en zanja abierta. Cabe mencionar que con las tuneladoras solo se afectan los puntos donde se ubican los pozos para el lanzamiento y rescate de la máquina, logrando una reducción aproximada del 90%.

Así que en el trazado se evitan impactos como el polvo, el lodo, los sedimentos y la contaminación visual, que son controlados puntualmente en los pozos mediante el manejo de lodos con equipos como desarenadores y tanques para recircularlos, más carro tanques y volquetas para su disposición final.

Respecto a la movilidad la ingeniera explica que en el inicio como en toda obra el impacto es grande, porque para la construcción de los pozos se realizan cierres, desvíos, y por ende se genera un aumento en el tráfico vehicular. Sin embargo, el tiempo de intervención es menor porque mientras los trabajos en zanja abierta

pueden durar entre uno y tres meses, con microtúneles puede tardar entre el 30% y el 50% del tiempo.

Por ejemplo, en la calle 94 hicieron la reposición del colector de aguas lluvias de la calle 100 y una parte del de aguas negras de la NQS (Norte Quito Sur), ya que con la construcción el deprimido tuvieron que desplazar esta red hacia el barrio Chicó. Allí se afectó la NQS a la altura de la calle 93, cerrando la franja media de los cuatro carriles de la avenida para construir un pozo de rescate con un ancho equivalente a un carril y medio, siguiendo todos los lineamientos y compromisos del Plan de Manejo de Transito (PMT) pactado con movilidad. Afortunadamente, por tratarse de un pozo de rescate los tiempos fueron más cortos ya que la intervención duró solo 15 días, mientras construían el pozo, rescataban la máquina y tapaban. Luego, otro contratista ejecutó la obra civil para la construcción de la cámara de inspección tomando diez días más.

Mientras que si el trabajo se hubiera hecho en zanja abierta, los tiempos hubieran sido mínimo de tres meses porque la NQS tiene losas de concreto en MR45, que para su edad la resistencia alcanzaba los 10.000PSI. De hecho la demolición para la construcción del pozo de rescate fue muy laboriosa. Así que se puede concluir que el beneficio en movilidad fue muy positivo.

Respecto al proyecto en ejecución del Bypass de la estación de bombeo de Britalia para el Acueducto de Bogotá la ingeniera Mary Luz indica que los beneficios que implica la ejecución con máquinas tuneladoras son tanto técnicos como socio-ambientales. En primer lugar se reduce la afectación a la movilidad, y aunque las vías de la zona no son muy importantes, por estas transitan varias rutas de buses incluyendo los SITP, con el agravante de que como los barrios no tienen cuadras reticulares y las vías no son rectas sino accidentadas, cualquier desvío implica un colapso de la zona porque las rutas alternas son complicadas y muchas veces no tienen el ancho necesario para los buses.

Respecto a la parte técnica la ingeniera explica que por ejemplo en la construcción de los pozos se encontraron grandes dificultades ya que estos tienen con una profundidad de 8m al inicio en la estación de bombeo y terminan a 18m cruzando el río Tunjuelo. A unos 5 metros de profundidad encuentran un estrato de arenas licuadas con alto nivel freático que desestabiliza y desploma los pozos. Por ende la ingeniera nota que el contratista no tiene buen conocimiento del proceso constructivo porque no ha logrado dar con medidas eficientes para mantener la verticalidad de los pozos. Por otro lado, ha quedado claro que la intervención en zanja de los tramos en estos tipos de suelo es totalmente inviable porque además de no existir un entibado para alcanzar los 18m de profundidad, el tipo de terreno y el nivel freático hacen el trabajo imposible y en consecuencia las Tecnologías Sin Zanja son las más adecuadas para el proyecto.

Finalmente, la ingeniera comenta los inconvenientes que tuvo uno de los subcontratistas en la intervención del tramo entre los pozos 3 y 2 con una máquina de *Auger Boring*, la cual trabajando a 8m de profundidad en un terreno en su mayoría arenoso, quedó atascada por haber interceptado una matriz de rajón que se presume de origen antrópico como solución a la cimentación de un colector semi-paralelo de 1400mm de diámetro que se cree fue instalado años atrás cuando los terrenos eran lodos. De modo que la ingeniera Mary Luz opina que faltó perspicacia en la revisión previa a la ejecución para investigar la cimentación de las redes existentes que yacen sobre la línea del túnel, ya que en la etapa de diseño se hacen sondeos más simples, mientras que en la etapa de construcción se debe corroborar los estudios con la apreciación del material extraído de la construcción de los pozos para tomar la decisión frente a la herramienta de la máquina a emplear.

Así la ingeniera opina que la tecnología idónea para el trabajo era una tuneladora de frente presurizado, equipada con un disco de corte mixto, para rocas y arenas.

No obstante, si la máquina de *Auger Boring* se decide rescatar, el tramo tendría que terminarse en zanja abierta, empleando entibados especiales tipo *Klink* y con bombas sumergibles para controlar las infiltraciones.

6.1.8 Entrevista con el Dr. Samuel Ariaratnam – Experto más renombrado en la sociedad internacional de Tecnologías Sin Zanja

Finalmente se presentan los resultados de la entrevista en profundidad estructurada con el Dr. Samuel Ariaratnam, Ph.D., P.E., P.Eng., F.ASCE, F.CAE, experto más renombrado en la sociedad internacional de Tecnologías Sin Zanja, y que se desempeña como profesor y director de programa de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal de Arizona, científico de sostenibilidad en cabeza del Instituto Global de Sostenibilidad, director de la división de tuberías de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, vice director del Centro Conjunto de China y Estados Unidos para la investigación y desarrollo de Tecnologías Sin Zanja, profesor invitado de la Universidad de Zhengzhou, y profesor invitado de la Universidad de ciencias de la tierra de China en Wuhan y exdirector de la Sociedad Internacional de Tecnologías Sin Zanja.

En esta entrevista se cumplieron los siguientes objetivos:

- I) Identificar beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja.
- II) Identificar estrategias para convencer a las autoridades y a los alcaldes de promover las Tecnologías Sin Zanja.
- III) Conocer cómo se han impulsado las Tecnologías Sin Zanjas en otros países.

(Ver Anexo 8: Grabación entrevista Dr. Samuel Ariaratnam – Experto Internacional).

En la entrevista el profesor Ariaratnam explica que el incremento en la densidad poblacional es un aspecto que los ingenieros han observado, donde las poblaciones migran hacia las ciudades, reduciendo el espacio disponible y causando tráfico alrededor de las zanjas que excavan para instalar o reponer tuberías de acueducto y alcantarillado. Por ende, han buscado métodos que minimicen las perturbaciones, como lo son las Tecnologías Sin Zanja, que existen hace un buen tiempo, y han podido observar que en definitiva ofrecen muchos beneficios.

Primero el sistema es muy rápido, genera un mínimo impacto en la superficie y minimiza pérdidas de ingresos a parqueaderos y a negocios aledaños, ya que cuando se cierran vías, se generan costos sociales a los comerciantes, que pierden ventas porque se les bloquea el acceso en periodos de tiempo considerables.

También está el tiempo de las personas, que tienen que rodear áreas por el cierre de las vías, que además generan niveles de tráfico superiores a los normales y cuando muchas ciudades ya tienen serios problemas de movilidad. Problemas que pueden minimizarse con el uso de Tecnologías Sin Zanja.

Adicionalmente cuando se analiza el impacto de la contaminación, la construcción es uno de los mayores generadores de contaminantes y emisiones atmosféricas. Al comparar las emisiones de las Tecnologías Sin Zanja con los métodos tradicionales, en todos los casos puede evidenciarse una reducción muy significativa de los impactos ambientales con las Tecnologías Sin Zanja.

El profesor Ariaratnam aconseja para el caso de Colombia que un punto clave para convencer a las autoridades de implementar estas tecnologías es la educación. El primer paso a dar es aproximarse a las autoridades, y mediante un almuerzo o en un espacio tranquilo preparar una presentación sobre las tecnologías para que se familiaricen un poco con estas. Un segundo avance es invitarlos a ver trabajos locales con Tecnologías Sin Zanja para que tengan la oportunidad de presenciar lo benéficos que son, ya que evitan cierres viales y utilizan mucho menos equipo.

Finalmente, el Dr. Ariaratnam comparte las acciones que han permitido impulsar las Tecnologías Sin Zanja en otros países, para lo cual resalta nuevamente el proceso de educación, donde se ha invertido mucho esfuerzo en acercarse a las personas que tienen el poder de decisión para implementarlas. Esto ha implicado viajes, conferencias, ofrecer becas municipales a través de la Sociedad Norteamericana de Tecnologías Sin Zanja y atender a los múltiples congresos como el *No Dig* que se realiza cada año en distintos lugares del mundo.

6.2 Revisión bibliográfica adicional

Las entrevistas a expertos vislumbraron dos principales necesidades de información. La primera referente a la necesidad de estandarizar un proceso

normativo para garantizar la calidad en la aplicación de las Tecnologías Sin Zanja. La segunda hace referencia a encontrar un método para realizar una valoración económica de los beneficios socio-ambientales que ofrecen.

A continuación se exponen las características fundamentales de las normas técnicas internacionales más relevantes de Tecnologías Sin Zanja, como lo son las *ASTM*, *DIN* y *DWA*; y los métodos de valoración económica para bienes sin mercado.

6.2.1 Normas técnicas internacionales de Tecnologías Sin Zanja

En las entrevistas los ingenieros Miguel Duque y Santiago Durango explicaron la necesidad que existe en el país de crear estándares propios para la aplicación de Tecnologías Sin Zanja, ya que en primer lugar, la reputación de estas tecnologías se está viendo amenazada por las malas aplicaciones de contratistas irresponsables que finalmente constituyen una mala imagen para la tecnología, porque normalmente es esta la que se culpa y no al contratista. En segundo lugar, porque los proyectos han tenido reiterativos problemas de especificación que generan discusiones alrededor de las tecnologías, y estas a la vez han generado aversión hacia el tema.

Las normas y estándares técnicos para la construcción establecen criterios de aceptación para los materiales, procesos constructivos y entregables finales que garantizan la calidad de las obras, de modo que los proyectos que requieran procesos licitatorios para su construcción al indicar estos estándares en sus especificaciones particulares, puedan gozar de cierto grado de tranquilidad al adjudicar las obras a los contratistas del mercado local e internacional.

Sin embargo, cuando los trabajos no se encuentran regidos por normas o estándares locales, se genera un vacío normativo que los diseñadores deben suplir, de modo que comiencen a llenar los pliegos de condiciones y las especificaciones particulares, con una serie de consideraciones basadas en asesorías externas.

Lamentablemente, como en el caso de las Tecnologías Sin Zanja, en ocasiones los diseñadores no son bien asesorados y terminan especificando características muy generales o totalmente desenfocadas que no van a permitir controlar la calidad de los trabajos.

La Norma Técnica Colombiana (NTC) está basada en la *American Society for Testing and Materials (ASTM)* desarrollada en Estados Unidos, que en un principio se dedicaba únicamente a materiales, pero con el tiempo han abarcado muchas más áreas. En el país cada vez que se incorpora una nueva tecnología, se traduce literalmente la *ASTM*. Sin embargo, esto todavía no ha ocurrido con las Tecnologías Sin Zanja, pero sí con otros materiales resientes de acueducto y alcantarillado como

el polietileno (NTC 3664, 2013; ASTM D3035, 2012) y por lo tanto estas normas están moldeadas a la industria estadounidense.

Por otra parte el Instituto Alemán de la Normalización (*DIN*), fundado en 1917, otorga el máximo estándar nacional a normas de la industria alemana que han atravesado todo un proceso de ascenso (*DIN*, 2018). Luego estas se utilizan como referentes para otros países de Europa, como por ejemplo las normas españolas UNE (Una Norma Española), que en muchos casos son adaptaciones de las *DIN*. Por lo tanto existen dos marcos normativos principales de Tecnologías Sin Zanja, uno americano y otro europeo que está fuertemente influenciado por las normas *DIN*.

En Alemania existen otros institutos y asociaciones cuyos estándares más exitosos han alcanzado la categoría *DIN*, como por ejemplo la *DWA* (Asociación Alemana de Acueducto, Alcantarillado y Residuos) que se encarga de regular temas referentes al suministro de agua potable y saneamiento, y ha contribuido positivamente en el desarrollo de las Tecnologías Sin Zanja, ya que provee normas para sistemas como *Packer* (*DWA-A 143-07*, 2017) que las *DIN* todavía no contempla, ni tampoco las *ASTM*.

Las normas mencionadas se realizan en conjunto con la industria, representada por las empresas más importantes del sector que pagan una suscripción, y con académicos invitados, que son expertos técnicos reconocidos, de modo que se conforma un comité de debate (*DIN*, 2018; *DWA*, 2018). En este sentido, el debate no consiste en una búsqueda desinteresada de la verdad, porque el papel de los representantes de la industria es defender los intereses económicos de las compañías, mientras que los expertos invitados velan por la coherencia técnica de las propuestas. Lo anterior puede evidenciarse en la norma *ASTM D5813-04* (2012) de *CIPP* que especifica un espesor mínimo de manga igual al 1% del diámetro independientemente del material que se use, lo cual hace que las mangas tengan espesores innecesariamente gruesos comparados con la norma *DIN EN ISO 11297-4* (2018).

Sin embargo, estas normas son actualizadas periódicamente para representar los cambios de las tecnologías y por lo tanto, con el paso del tiempo estos problemas son corregidos.

El proceso de normalización que atraviesan las Tecnologías Sin Zanja en Alemania es muy novedoso y por lo tanto no existen normas al respecto. De esta manera, para iniciar un proceso de certificación con el Instituto Alemán para las Técnicas Constructivas (*DIBt*) se requieren presentar pruebas de laboratorios independientes certificados, y una vez se obtiene el certificado, abZ nacional o ETA para Europa, se puede iniciar su comercialización (*DIBt*, 2018).

Luego si se cuenta con suerte, institutos independientes como el *IKT* (Instituto de Infraestructuras Subterráneas) pueden invitar a la compañía desarrolladora para debutar su producto en pruebas comparativas ante situaciones o problemas específicos. Si el producto logra un buen resultado, los informes del instituto pueden atraer la atención de normas de menor nivel como la *DWA*, como sucedió en noviembre de 2017 con la emisión de la norma *DWA* para *Packer* debido al desempeño superior de las resinas epóxicas para aplicaciones en ambientes húmedos reportados por el *IKT* (*DWA-A 143-07, 2017; IKT, 2009*).

Otra alternativa diferente a las pruebas comparativas es la retroalimentación a nivel de conversación, ya que las compañías a lo largo del año se acercan a las municipalidades ofreciendo sus productos certificados por el *DIBt* para solucionar problemas de infraestructura subterránea. Basados en las experiencias con distintos proveedores, las municipalidades se reúnen en los congresos anuales de Tecnologías Sin Zanja como el *No Dig* y comparten sus conclusiones. De esta forma los productos más sobresalientes se popularizan en el mercado, y por ende, atraen la atención de normas de menor nivel como la *DWA*, y posteriormente con su masificación las *DIN*.

En conclusión para solucionar el problema de estandarización en Colombia no es necesario partir desde cero, ya que los marcos normativos internacionales de Tecnologías Sin Zanja han adelantado un gran trabajo en la materia, y por lo tanto es factible tomar cualquiera de las siguientes opciones:

La primera es desarrollar un trabajo en conjunto con la NTC para realizar un estudio comparativo de las normas internacionales de Tecnologías Sin Zanja que permita seleccionar las más indicadas para el contexto colombiano, y de ahí se podrían abordar de manera similar a las demás normas de la NTC.

La segunda opción es a nivel de especificaciones particulares de Empresas de Servicios Públicos, como por ejemplo la norma de EPM y la norma del Acueducto de Bogotá, donde la segunda se encuentra en proceso de actualización para incorporar algunas Tecnologías Sin Zanja. Sin embargo, es importante aclarar que para ello es necesario que se establezca contacto con académicos y con la industria, de tal manera que la norma represente la oferta de servicios en Colombia y no presente sesgos hacia una sola tecnología o hacia un solo proveedor.

6.2.2 Métodos de valoración económica para bienes sin mercado

En las entrevistas el ingeniero Santiago Sanín hizo una crítica a los proyectos públicos en Colombia, señalando que en estos todavía no se tiene la cultura de valorar los aspectos socio-ambientales y resaltaba la pertinencia de desarrollar un estudio sobre cómo valorarlos.

De este modo retomando los argumentos de Matthews et al. (2015) la razón por la cual los costos socio-ambientales no son considerados en muchos proyectos es por la dificultad que implica calcularlos. Estos no pueden realizarse por medio de los métodos de estimación estándar porque los aspectos sociales y ambientales constituyen principalmente bienes sin mercado.

En la literatura existen tres métodos principales para valorar bienes sin mercado; el Modelo del Costo del Desplazamiento, el Modelo de los Precios Hedónicos y el Método de la Valoración Contingente.

6.2.2.1 Modelo del Costo del Desplazamiento

Este método, conocido como *Travel Cost* en la literatura inglesa, como indica Riera (1994) se aplica principalmente para determinar el valor económico de un espacio de interés social y ambiental, a través de una serie de suposiciones que permiten definir curvas de demanda y calcular el excedente del consumidor, que es en general una buena aproximación a la disponibilidad de pago. Por lo tanto el método ha sido aplicado en múltiples ocasiones para valorar los beneficios de los parques nacionales en Estados Unidos.

Su concepto radica en que aun cuando el precio de entrada a un espacio de interés social o ambiental sea nulo, el costo de acceso no lo es necesariamente, ya que para el desplazamiento se puede incurrir en ciertos gastos. De este modo, a mayor proximidad, menores serán los gastos y por ende se espera un mayor número de visitantes. Así puede detectarse la función de demanda entre la cantidad de visitantes y el costo de desplazamiento (cantidad/precio). En conclusión, el hecho de ser visitado es indicativo de que sus servicios valen.

El excedente del consumidor se determina al clasificar los visitantes principalmente por su proximidad o procedencia, de modo que para aquellos que vivan cerca, este valor será igual a la diferencia de los costos de desplazamiento.

Los datos anteriores establecen puntos sobre la curva de demanda, que mediante procesos de ajuste permiten valorar los beneficios para el ciudadano. También, pueden agregarse variables como bienes sustitutos, que con procedimientos econométricos permiten valorar los perjuicios ante afectaciones al lugar de interés o incluso su cierre.

Sin embargo, Riera (1994) explica que el modelo puede presentar dificultades en la determinación del costo del desplazamiento, porque aunque existen variables muy obvias como tarifas de los medios de transporte o el combustible y la depreciación de los vehículos particulares, también podría analizarse el valor del tiempo invertido tanto en el viaje como en la estadía, así como los costos de alojamiento en caso de

requerirse más de un día. Además, existe la posibilidad de que el viaje contemple varios destinos o justificaciones, resultando en la dificultad de estimar qué parte del costo del desplazamiento debe adjudicarse al lugar de interés.

Y referente al tiempo, que su carácter polémico lo ha hecho acreedor de una amplia literatura económica, dificulta considerablemente la aplicación del método ya que mientras algunas personas pueden disfrutar del tiempo de viaje y percibirlo como una utilidad, caso que no implica ningún costo de oportunidad, para otras la duración del viaje y hasta el mismo tiempo de visita podrían no ser la mejor oportunidad de inversión (Riera, 1994).

En conclusión, el Modelo del Costo del Desplazamiento puede ser de utilidad para valorar los impactos a las zonas de interés público aledañas a los proyectos de construcción, reposición y rehabilitación de redes de servicios públicos con el objetivo de valorar parte de los beneficios socio-ambientales de aplicar Tecnologías Sin Zanja.

6.2.2.2 Modelo de los Precios Hedónicos

Este método que permite valorar externalidades ambientales y bienes que carecen de mercado, consiste, como explica Riera (1994) en el desglose del precio de un bien en función de sus características. De modo que al estimar el valor de cada característica, la suma ponderada de estas represente el valor total del bien.

Los pesos de estas variables se calculan con procedimientos econométricos, y sus valores se estiman bajo una serie de suposiciones. Por ejemplo, dos bienes iguales, pero ubicados en diferentes entornos tienen valores distintos, y por lo tanto esta diferencia representa el valor de la variación de la característica entorno. Así, bajo ciertos supuestos y condiciones puede identificarse la función de demanda de la variable escogida y por ende se puede determinar el excedente del consumidor (Riera, 1994).

En otras palabras, el Modelo de los Precios Hedónicos permite valorar una característica para la que no existe mercado, como los aspectos socio-ambientales, a través de la comparación del valor económico de dos bienes similares entre sí, con mercado definido, y cuya diferencia sustancial sea la variación en esta característica.

Lo anterior indica una oportunidad para valorar algunos impactos socio-ambientales sobre bienes concretos que generen los proyectos de construcción, reposición y rehabilitación de redes de servicios públicos. Su aplicación está condicionada a valoraciones ex-post, ya que el impacto solo puede valorarse una vez se manifieste,

y en ocasiones la temporalidad de las obras no permite percibir los cambios en el valor económico de los bienes.

En conclusión, este método es útil para argumentar en contra de los perjuicios ocasionados por trabajos a zanja abierta de proyectos pasados, pero que pueden utilizarse como casos de referencia para proyectos futuros. Sin embargo, Riera (1994) también advierte que en ocasiones la aplicación del método se encuentra condicionada por la escasez de información y la dificultad que implica estimar el peso de la característica sobre el valor total del bien.

6.2.2.3 Método de la Valoración Contingente

A diferencia de los dos métodos anteriores, que son considerados como indirectos, porque estiman la valoración del bien carente de mercado a través de comportamientos de otros bienes en el mercado (servicios de transporte para el primero y contraste entre dos bienes similares para el segundo). La Valoración Contingente es un método directo porque en la aplicación de sus encuestas se logra simular un mercado para el bien que se desea valorar. De este modo Riera (1994) explica que la oferta es representada por el entrevistador y la demanda es el conjunto de personas entrevistadas. Por lo tanto el objetivo general de la entrevista es, por medio de una serie de preguntas, conocer el valor del bien que percibe el entrevistado.

Lo primero que debe identificar el investigador es el tipo de relación o derecho de propiedad que tiene el entrevistado con el bien que se desea valorar, ya que si la persona es usuario o consumidor directo de este, lo más indicado es preguntar por la disposición a ser compensado. Mientras que si la persona aún no lo es, lo más indicado será entonces preguntar por la disposición a pagar. Por lo tanto, si se genera un impacto debe indagarse por la mínima disposición a ser compensado, mientras que si se genera un beneficio, debe indagarse por la máxima disposición a pagar, ya que la voluntad de pago es por lo general inferior a la de ser compensado.

El hecho de poder incorporar a los no usuarios en la valoración implica una gran ventaja, ya que a diferencia de los dos modelos anteriores, la Valoración Contingente es la única que permite medir la pérdida de utilidad en personas que no disfrutaban actualmente del bien en estudio, pero que estarían dispuestas a pagar para tener la opción de disfrutarlo en el futuro, o bien para que futuras generaciones lo hagan (Riera, 1994).

Lo segundo es el diseño de la encuesta, que a diferencia de otros métodos, para su elaboración es recomendable la opinión de varias disciplinas como la psicología, la sociología y la estadística. Esto con el objetivo de recrear una simulación que

permita la inmersión del entrevistado en un mercado hipotético, de modo que la persona se encuentre en una situación similar a su vida cotidiana, donde toma decisiones de comprar o no comprar un bien a un precio dado.

Por lo tanto Riera (1994) resalta el cuidado en la elaboración de la encuesta, ya que si el entrevistado no encuentra una situación creíble, posiblemente porque no comprenda o no esté familiarizado con la situación descrita, porque no le parezca razonable la cantidad o la forma de provisión del bien, o porque no lo convenza el medio de pago o de compensación según sea el caso; los valores que indique no serán fiables. Adicionalmente, existe la posibilidad de que la situación descrita despierte emociones contraproducentes en el entrevistado, como el deseo de obtener un beneficio que lo lleve a indicar valores a pagar inferiores a los reales o mayores montos de compensación (sesgo estratégico), simpatía con los promotores o el entrevistador que lo lleve a dar respuestas que crea que los complacerá (sesgo de complacencia), o quizá repudio por los promotores o protestas en contra de la propuesta descrita.

En conclusión, la valoración contingente es el método más adecuado para valorar tanto los impactos socio-ambientales de la zanja abierta, como los beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja. Sin embargo, el costo de aplicarlo puede llegar a ser significativo por la cantidad de profesionales que requiere para su diseño y para la aplicación de las encuestas.

6.3 Análisis de resultados

En conformidad con los parámetros establecidos en la carta de alineamiento metodológico en el apartado de método de solución, se presentan los beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja analizados desde sus principales categorías, instalación de redes nuevas, rehabilitación y reposición de tuberías existentes y servicios de apoyo sin zanja.

6.3.1 Tráfico vehicular

Que es determinado en cuanto a:

- 6.3.1.1 Pérdida del espacio para estacionamiento (m²).
- 6.3.1.2 Consumo adicional de combustible (galones).
- 6.3.1.3 Demoras por tráfico (minutos).
- 6.3.1.4 Accidentalidad vehicular (accidentes por día).
- 6.3.1.5 Deterioro del pavimento (%).

Los factores que influyen en la mitigación de estos impactos en los proyectos de construcción, reposición y rehabilitación de redes de servicios públicos son

principalmente, la cantidad de intervenciones en superficie, el espacio necesario para cada una de estas, y los rendimientos de los trabajos.

Por lo tanto ante este tipo de afectaciones, las Tecnologías Sin Zanja más prominentes son las de rehabilitación. Esto se debe a que como explicaron los ingenieros en las entrevistas, dichas tecnologías tienden a requerir menos equipos y ofrecen rendimientos extraordinarios, del orden de horas por tramo, además de requerir mínimas intervenciones en superficie. A estas les sigue las tecnologías de reposición, como el *Pipe Bursting*, que también ofrecen altos rendimientos, del orden de uno o dos días por tramo, pero requiere un mayor número de intervenciones en superficie para cada conexión lateral y los materiales para la construcción ocupan mayor espacio.

Luego siguen las tecnologías livianas de instalación de tuberías, como la Perforación Horizontal Dirigida, que igualmente ofrecen altos rendimientos, del orden de dos o tres días por tramo, pero a diferencia de las anteriores permite instalar redes nuevas, y por ende, las intervenciones en superficie tienden a incrementar porque posterior a su instalación se suele realizar la construcción de acometidas total o parcialmente nuevas. Finalmente están las tecnologías más robustas de instalación de tuberías con microtuneladoras de frente abierto y frente presurizado, que requieren un espacio considerable para la instalación de sus equipos, el cual debe ser seleccionado con mucho cuidado, pero ofrecen buenos rendimientos, del orden de una a dos semanas por tramo, y especialmente cuando las profundidades son considerables.

Las Tecnologías Sin Zanja en general son la mejor alternativa para mitigar este tipo de impactos porque si los proyectos son bien planeados, puede aprovecharse los segmentos de las tecnologías que no requieren intervenciones superficiales para realizar cruces viales, y evadir zonas de embotellamiento.

No obstante, también es importante recalcar el cumplimiento a los compromisos del PMT (Plan de Manejo de Transito) adquiridos con la entidad de movilidad, y adicionalmente es recomendable analizar las jornadas laborales, ya que algunas tecnologías permiten desarrollar los trabajos en horario nocturno, y en caso de requerirse, en el día se pueden ubicar plafones para permitir el tránsito vehicular.

6.3.2 Afectación económica

Que es determinada en cuanto a:

6.3.2.1 Pérdida de ingresos (\$).

6.3.2.2 Reducción en la productividad (un/hora).

6.3.2.3 Pérdida de ingresos fiscales (\$).

6.3.2.4 Daños a la propiedad (\$).

Los principales factores que influyen en la mitigación de estos impactos son las situaciones de exposición a riesgos y los cierres viales, de espacios públicos y de accesos a edificios o locales comerciales. También, la disminución de la calidad de vida por efectos de la contaminación que se explican más adelante.

Por lo tanto ante este tipo de impactos, además de las razones ya mencionadas en la categoría anterior (las intervenciones en superficie, el espacio de los trabajos y los rendimientos), es importante resaltar que con las tecnologías de rehabilitación, como explicó el ingeniero Carlos Duque, los comerciantes muchas veces no se dan cuenta siquiera de los trabajos cuando se realizan en jornadas nocturnas, mientras que las tecnologías de reposición requieren un mayor número de intervenciones menores, pero que no generan un impacto significativo en el entorno. Y respecto a las tecnologías de instalación de redes nuevas es necesario hacer las siguientes salvedades.

En primer lugar estas tecnologías brindan una oportunidad única, ya que son las más indicadas para realizar trabajos de redes nuevas a más de 5m de profundidad, ya que con los métodos tradicionales se incurre en grandes riesgos de inestabilidad que comprometen las edificaciones aledañas.

En segundo lugar la ubicación de los pozos es fundamental para procurar mínimas afectaciones, ya que si no se tiene cuidado podrían comprometerse los accesos a locales comerciales, parqueaderos, talleres, o a edificios y negocios en los que se requiera flujo continuo de camiones.

Finalmente es importante implementar planes de manejo ambiental para mitigar los impactos por contaminación como se explican a continuación, con el objetivo de prevenir deterioros al ambiente y de la calidad de vida de las zonas aledañas.

6.3.3 Contaminación

Que es determinada en cuanto a:

6.3.3.1 Ruido (dB(A)).

6.3.3.2 Polución (volumen: ppm y densidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

6.3.3.3 Polvo (ppm).

6.3.3.4 Contaminación del Agua (mg/L).

6.3.3.5 Vibración (G).

Los principales factores que influyen en la mitigación de estos impactos son el tipo de intervención, el diseño de los equipos y los aspectos ambientales de las tecnologías.

Por lo tanto ante este tipo de impactos las tecnologías de rehabilitación son nuevamente las más destacadas, y entre estas, la más amigable con el medio ambiente es el *CIPP-UV*, ya que como explicó el ingeniero Miguel Duque, la

tecnología permite instalar diámetros hasta de 1200mm sin requerir demoliciones, reduce significativamente los consumos de energía y ya no usa agua en el proceso de curado. Adicionalmente, el ingeniero Santiago Sanín indica que las emisiones se reducen en un 70% u 80% comparados con los trabajos a zanja abierta.

Luego las tecnologías de reposición de redes como el *Pipe Bursting* y tecnologías livianas de instalación de redes nuevas como la Perforación Horizontal Dirigida, también mitigan en gran medida la generación de polvo porque como indicó el Ingeniero Ignacio Moná, las intervenciones en superficie se reducen en más del 90% comparado con los trabajos en zanja, que a la vez implica mayor facilidad en el control puntual del material particulado. Adicionalmente, en estas tecnologías solo se utiliza un equipo mediano, eficiente, que ofrece altos rendimientos, y que reduce significativamente impactos como el ruido, las vibraciones y las emisiones, al compararlo con el gran volumen de quipos empleados en zanja abierta.

Por último, las tecnologías más robustas de instalación de redes como las microtuneladoras, que según explicó el Ingeniero Carlos Duque, es importante implementar planes de manejo ambiental para mitigar impactos como el ruido emitido por la planta generadora de 400kva o más, para la cual es necesario instalar un cerramiento con paneles de insonorización; el material particulado y derrames de lodos, que se generan en la preparación de la bentonita, para lo cual I&C implementó un contenedor que evita que el polvo salga y en la parte inferior se encuentra sellado para contener cualquier derrame. Adicionalmente, esta tecnología cuenta con una planta de separación que permite recircular el agua que se emplea para la excavación y extracción del material, por medio de una zaranda con tamices e hidrociclones que permiten separar los materiales gruesos del agua. Aunque eventualmente el agua debe cambiarse cuando se satura de materiales finos, y por ende debe realizarse la disposición responsable de lodos por medio de carro tanques.

6.3.4 Afectación a la salud social y ecológica

Que es determinada en cuanto a:

6.3.4.1 Tratamiento de daños físicos o psicológicos (\$).

6.3.4.2 Reducción de la cantidad de especies (unidad).

6.3.4.3 Costos de restauración (\$).

Estos impactos son consecuencias finales de los anteriores, ya que involucran en gran medida los impactos por contaminación, y los riesgos de inestabilidad y accidentes.

Por lo tanto ante este tipo de impactos todas las Tecnologías Sin Zanja, cuando son aplicadas responsablemente, pueden mitigarlos prácticamente por completo, ya que como se explicó antes, todas tienen un gran potencial para reducir la huella

ecológica de los proyectos de construcción, reposición y rehabilitación de redes de servicios públicos, y mejorar las condiciones de seguridad tanto para los trabajadores como para la comunidad.

Adicionalmente, las Tecnologías Sin Zanja ofrecen ventajas sin precedentes, ya que con estas pueden sortearse obstáculos y proteger la integridad de individuos arbóreos, hábitats de fauna y flora, así como otros servicios ecosistémicos. De esta forma las tecnologías permiten evitar la migración y mortalidad de especies.

7 Conclusiones

El desarrollo del ejercicio de investigación permitió comprender que las Tecnologías Sin Zanja constituyen un conjunto de herramientas para realizar trabajos de infraestructura subterránea, reduciendo las intervenciones en superficie, y que por lo tanto, aunque existan algunas más versátiles que otras, ninguna debe descalificarse porque el objetivo de las tecnologías es brindar una amplia gama de alternativas para dar soluciones a los problemas de los proyectos. De esta manera, las tecnologías de rehabilitación de redes permiten renovarlas desde su interior y ofrecen rendimientos extraordinarios, del orden de horas por tramo, además de requerir mínimas intervenciones en superficie. Las tecnologías de reposición permiten incrementar el diámetro de la red, ofrecen altos rendimientos, del orden de uno o dos días por tramo, y solo requieren una serie de intervenciones menores en superficie. Las tecnologías livianas de instalación de tuberías también ofrecen altos rendimientos, del orden de dos o tres días por tramo, pero a diferencia de las anteriores permite construir redes nuevas, aunque tiene ciertas restricciones en el control de la pendiente y los tipos de suelo. Finalmente, están las tecnologías más robustas de instalación de tuberías con microtuneladoras de frente abierto y frente presurizado, que tienen un mayor control de la pendiente, pueden trabajar en un mayor rango de suelos y ofrecen buenos rendimientos, del orden de una a dos semanas por tramo, y son especialmente atractivas cuando las profundidades son mayores a 5m.

También se pudieron identificar los beneficios socio-ambientales que ofrecen estas tecnologías, ya que tienen un gran potencial para mitigar los grandes impactos de los trabajos a zanja abierta, como el tráfico vehicular, la afectación al comercio, la contaminación y el deterioro de la salud social y ecológica, en periodos de tiempo considerable, del orden de uno o dos meses por cuadra. Con las Tecnologías Sin Zanja se puede aprovechar los segmentos que no requieren intervenciones superficiales para realizar cruces viales, evadir zonas de embotellamiento y evitar cierres de vías, de espacios públicos o de accesos a locales comerciales, parqueaderos, talleres, o a edificios y negocios en los que se requiera flujo continuo de camiones. Adicionalmente, las tecnologías reducen significativamente las perturbaciones en superficie, que mitiga en gran medida el ruido de las obras y el material particulado, que resulta en una menor afectación a la calidad de vida, mejoran las condiciones de seguridad, tanto para los trabajadores como para la comunidad y los equipos también tienen un diseño más amigable, que en muchos casos reducen las emisiones atmosféricas en un 70% u 80% y también los consumos energéticos.

Se encontraron además lineamientos para impulsar la implementación de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia, ya que los expertos concuerdan en la

necesidad de educar en distintos niveles a las autoridades, a los alcaldes, a las empresas prestadoras de servicios públicos y a los diseñadores, en las bondades de estas tecnologías. También concuerdan en la necesidad de establecer estándares propios para la aplicación de Tecnologías Sin Zanja, ya que en primer lugar, la reputación de dichas tecnologías se está viendo amenazada por las malas aplicaciones de contratistas irresponsables que finalmente constituyen una mala imagen para la tecnología. En segundo lugar porque los proyectos han tenido reiterativos problemas de especificación que generan discusiones alrededor de las tecnologías, y estas a la vez han generado aversión hacia el tema. Por último, encontrar un método para realizar una valoración económica de los beneficios socio-ambientales que ofrecen, para lo cual se expusieron tres métodos que permiten valorar bienes sin mercado, el Modelo del Costo del Desplazamiento, el Modelo de los Precios Hedónicos y el Método de la Valoración Contingente, siendo esta última la más indicada para argumentar en contra de los cargos injustificados que asume la sociedad y el medio ambiente con los métodos tradicionales, que violan los derechos establecidos en los artículos 79 y 80 de la Constitución Política.

Referencias

Amazon Cooperation Treaty, 3 de julio de 1978.

Apeldoorn, S., (2013). *Comparing the Costs – Trenchless Versus Traditional Methods*. 38(4). MIESA, pp. 55–57. [http://refhub.elsevier.com/S0195-9255\(16\)30341-9/rt0015](http://refhub.elsevier.com/S0195-9255(16)30341-9/rt0015)

ASTM D3035-12 (2012). *Standard Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (DR-PR) Based on Controlled Outside Diameter*. West Conshohocken, USA: ASTM International. DOI: 10.1520/D3035-12E02

ASTM D5813-04 (2012). *Standard Specification for Cured-In-Place Thermosetting Resin Sewer Piping Systems*. West Conshohocken, USA: ASTM International. DOI: 10.1520/D5813-04R12

Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, 22 de marzo de 1989.

Bizier, P. (2007). *Gravity Sanitary Sewer Design and Construction: Second Edition*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

Çelik, T., (2014). *Developing a Building Construction Associated Social Cost Estimation System for Turkish Construction Industry*. University of Salford. <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/34147>

Constitución Política de Colombia [Const]. Artículos 79 y 80. 7 de julio de 1991 (Colombia).

Construction, I. (2015). *Standard Design and Construction Guidelines for Microtunneling*. Reston, Virginia: ASCE.

Convenio entre el Gobierno de la Republica de Colombia y el Centro Internacional de Agricultura Tropical, 12 de octubre de 1983.

Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage, 16 de noviembre de 1972.

Convention on Biological Diversity, 22 de mayo de 1992.

Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, 3 de marzo de 1973.

Decreto 1076 de 2015 [Presidente de la República de Colombia]. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 26 de mayo de 2015. DO. N°49523

Decreto 1180 de 2003 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales. 10 de mayo de 2003. DO. N°45185

Decreto 1220 de 2005 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 21 de abril de 2005. DO. N°45890

Decreto 1443 de 2004 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos, y se toman otras determinaciones. 7 de mayo de 2004. DO. N°45544

Decreto 1504 de 1998 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial. 4 de agosto de 1998. DO. N°43357

Decreto 1541 de 1978 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: De las aguas no marítimas y parcialmente la Ley 23 de 1973. 26 de julio 1978. DO. N°35078

Decreto 155 de 2004 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones. 22 de enero de 2004. DO. N°45439

Decreto 1575 de 2007 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 9 de mayo de 2007. DO. N°46623

Decreto 1608 de 1978 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y la Ley 23 de 1973 en materia de fauna silvestre. 31 de julio de 1978. DO. N°35084

Decreto 1609 de 2002 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. 31 de julio de 2002. DO. N°44892

Decreto 1681 de 1978 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamentan la parte X del libro II del Decreto- Ley 2811 de 1974 que trata de los recursos hidrobiológicos, y parcialmente la Ley 23 de 1973 y el Decreto- Ley 376 de 1957. 4 de agosto de 1978. DO. N°35064

Decreto 1715 de 1978 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto - Ley 2811 de 1974, la Ley 23 de 1973 y el Decreto - Ley 154 de 1976, en cuanto a protección del paisaje. 4 de agosto de 1978. DO. N°35070

Decreto 1753 de 1994 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos VIII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 3 de agosto de 1994. DO. N°41427

Decreto 1791 de 1996 [Presidente de la República de Colombia]. Por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal. 4 de octubre de 1996. DO. N°42894

Decreto 1824 de 1994 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 139 de 1994. 3 de agosto de 1994. DO. N°41473

Decreto 1973 de 1995 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se promulga el Convenio 170 sobre la Seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo, adoptado por la Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo el 25 de junio de 1990. 8 de noviembre de 1995. DO. N°42080

Decreto 2041 de 2014 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 15 de octubre de 2014. DO. N°49305

Decreto 2256 de 1991 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta la Ley 13 de 1990. 4 de octubre de 1991. DO. N°40079

Decreto 2372 de 2010 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones. 1° de julio de 2010. DO. N° 47757

Decreto 2501 de 2007 [Presidente de la República de Colombia]. Por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica. 4 de julio de 2007. DO. N°46679

Decreto 2667 de 2012 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. 21 de diciembre de 2012. DO. N°48651

Decreto 2820 de 2010 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 5 de agosto de 2010. DO. N°47792

Decreto 2981 de 2013 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. 20 de diciembre de 2013. DO. N°49010

Decreto 3016 de 2013 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Permiso de Estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la

diversidad biológica con fines de Elaboración de Estudios Ambientales. 27 de diciembre de 2013. DO. N°49016

Decreto 3450 de 2008 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica. 12 de septiembre de 2008. DO. N°47110

Decreto 351 de 2014 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. 19 de febrero de 2014. DO. N°49069

Decreto 3683 de 2003 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial. 19 de diciembre de 2003. DO. N°45409

Decreto 3930 de 2010 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. 25 de octubre de 2010. DO. N°47873

Decreto 423 de 2005 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se toman medidas para controlar las exportaciones de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono. 21 de febrero de 2005. DO. N°45831

Decreto 4688 de 2005 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, la Ley 99 de 1993 y Ley 611 de 2000 en materia de caza comercial. 21 de diciembre de 2005. DO. N°46130

Decreto 4741 de 2005 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. 30 de diciembre de 2005. DO. N°46137

Decreto 4742 de 2005 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas. 30 de diciembre de 2005. DO. N°46137

Decreto 500 de 2006 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se modifica el Decreto 1220 del 21 de abril de 2005, reglamentario del Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 20 de febrero de 2006. DO. N°46189

Decreto 838 de 2005 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. 23 de marzo de 2005. DO. N°45862

Decreto 948 de 1995 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. 5 de junio de 1995. DO. N°41876

Decreto Ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 18 de diciembre de 1974. DO. N°34243

Decreto 1728 de 2002 [Presidente de la República de Colombia]. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre la Licencia Ambiental. 6 de agosto de 2002. DO. N°44893

DIBt (2018, Septiembre 5). *Approvals*. <https://www.dibt.de/en/Approvals/Zulassungen.html>

DIN (2018, Septiembre 5). *About Standards*. <https://www.din.de/en/about-standards/din-standards>

DIN EN ISO 11297-4 (2018). *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten Abwasserdruckleitungen - Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining (ISO 11297-4:2018); Deutsche Fassung EN ISO 11297-4:2018*. Berlin, Germany: Deutsches Institut für Normung.

DWA (2018, Septiembre 5). *Organisation*. <https://en.dwa.de/en/organisation-en.html>

DWA-A 143-07 (2017). *Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner, T-Stücke und Hutprofile*. Hennef Germany: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

Electric driven robots from ProKASRO. (2014). *Trenchless International*, (23), 58.

Field, B.C., (1997). *Environmental Economics: An Introduction*. second ed. Irwin/McGraw-Hill

Gerasimova, V. (2016). Underground Engineering and Trenchless Technologies at the Defense of Environment. *Procedia Engineering*, 165(15th International scientific conference "Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development" 12-15 September 2016, St. Petersburg, Russia), 1395-1401. doi:10.1016/j.proeng.2016.11.870

Gilchrist, A., & Allouche, E. N. (2005). Trenchless Technology Research: Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review. *Tunnelling And Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research*, 2089-104. doi:10.1016/j.tust.2004.04.003

High-speed trenchless pipelaying. (1969). *Journal of Terramechanics*, 65. doi:10.1016/0022-4898(69)90058-5

IKT (2009). *IKT-Warentest Reparaturverfahren für Hauptkanäle (DN 200 DN 600)*. Gelsenkirchen, Germany: Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH

International Tropical Timber Agreement, 1° de febrero de 2006.

Ley 1252 de 2008. Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos. 27 de noviembre de 2008. DO. N°47186

Ley 1382 de 2010. Por el cual se modifica la Ley 685 de 2001 Código de Minas. 9 de febrero de 2010. DO. N°47618

Ley 139 de 1994. Por la cual se crea el Certificado de Incentivo Forestal y se dictan otras disposiciones. 21 de junio de 1994. DO. N°41401

Ley 140 de 1994. Por la cual se reglamenta la Publicidad Exterior Visual en el Territorio Nacional. 23 de junio de 1994. DO. N°41406

Ley 23 de 1973. Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones. 19 de diciembre de 1973. DO. N°34001

Ley 299 de 1996. Por el cual se protege la flora colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones. 26 de julio de 1996. DO. N°42845

Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. 6 de junio de 1997. DO. N°43058

Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones. 18 de julio de 1997. DO. N°43091

Ley 55 de 1993. Por medio de la cual se aprueba el "Convenio número 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el Trabajo", adoptados por la 77a. Reunión de la Conferencia General de la OIT, Ginebra, 1990. 2 de julio de 1993. DO. N°40936

Ley 611 de 2000. Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática. 17 de agosto de 2000. DO. N°44144

Ley 685 de 2001. Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones. 15 de agosto de 2001. DO. N°45273

Ley 697 de 2001. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. 3 de octubre de 2001. DO. N°44573

Ley 84 de 1989. Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia. 27 de diciembre de 1989. DO. N°39120

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. 22 de diciembre de 1993. DO. N°41146

Matthews, J. C., & Gutierrez, J. C. (2012). Trenchless Infrastructure Construction Techniques Used in Colombia. *Practice Periodical On Structural Design & Construction*, 17(4), 166-170. doi:10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000123

Matthews, J. C., Allouche, E. N., & Sterling, R. L. (2015). Social cost impact assessment of pipeline infrastructure projects. *Environmental Impact Assessment Review*, 50196-202. doi:10.1016/j.eiar.2014.10.001

McKim, R. A., (1997). *Bidding strategies for conventional and trenchless technologies considering social costs*. Can. J. Civ. Eng. 24 (40):819–827. <http://dx.doi.org/10.1139/197-036>.

Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, 16 de septiembre de 1987.

NTC 3664 (2013). *Tubos plásticos de polietileno (PE) controlados con base en el diámetro exterior (RDE-PN)*. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Rahman, S., Vanier, D.J., Newton, L.A., (2005). *MIIP Report: Social Cost Considerations for Municipal Infrastructure Management*. NRC Publications Archive, Ottawa. <http://dx.doi.org/10.4224/20377011>

Ramsar Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat, 2 de febrero de 1971.

Rees, D. F. (1989). Developments in trenchless technology. *Tunnelling And Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research*, 4201-205. doi:10.1016/0886-7798(89)90053-9

Resolución 1045 de 2003 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. 26 de septiembre de 2003.

Resolución 1164 de 2002 [Ministerio del Medio Ambiente]. Por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares. 6 de septiembre de 2002.

Resolución 1263 de 2006 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se establece el procedimiento y se fija el valor para expedir los permisos a que se refiere la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres -CITES-, y se dictan otras disposiciones. 30 de junio de 2006.

Resolución 1541 de 2013 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la

evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones. 12 de noviembre de 2013.

Resolución 180540 de 2010 [Ministerio de Minas y Energía]. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – Retilap, se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. 30 de marzo de 2010.

Resolución 2115 de 2007 [Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 22 de junio de 2007.

Resolución 2188 de 2005 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones para controlar las exportaciones de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono y se adoptan otras determinaciones. 29 de diciembre de 2005.

Resolución 276 de 2006 [Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural]. Por la cual se determina el valor promedio nacional de los costos de establecimiento y mantenimiento por hectárea de bosque plantado, se fija la cuantía máxima porcentual que se reconocerá por concepto de Certificado de Incentivo Forestal y se fija el Incentivo por árbol, para el año 2007. 31 de octubre de 2006.

Resolución 304 de 2001 [Ministerio del Medio Ambiente]. Por la cual se adoptan medidas para la importación de sustancias agotadoras de sustancias agotadoras de la capa de ozono. 16 de abril de 2001.

Resolución 438 de 2001 [Ministerio del Medio Ambiente]. Por la cual se establece el Salvoconducto Único Nacional para la movilización de especímenes de la diversidad biológica. 23 de mayo de 2001.

Resolución 541 de 1994 [Ministerio del Medio Ambiente]. Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación. 14 de diciembre de 1994.

Resolución 601 de 2006 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. 24 de marzo de 2010.

Resolución 619 de 1997 [Ministerio del Medio Ambiente]. Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas. 7 de julio de 1997.

Resolución 619 de 2002 [Ministerio del Medio Ambiente]. Por la cual se establece el Salvoconducto Nacional para la movilización de productos primarios provenientes de

plantaciones forestales, se modifican las Resoluciones números 0438 y 1029 de 2001 del Ministerio del Medio Ambiente, y se adoptan otras determinaciones. 9 de julio de 2002.

Resolución 627 de 2006 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. 7 de abril de 2006.

Resolución 631 de 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 17 de marzo de 2015.

Resolución 734 de 2004 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se modifica la Resolución 304 de abril 16 de 2001 que adopta medidas para la importación de sustancias agotadoras de la capa de ozono. 22 de junio de 2004.

Resolución 902 de 2006 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se toman medidas para controlar las importaciones de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono listadas en los Grupos I, II y III del Anexo B del Protocolo de Montreal. 23 de mayo de 2006.

Resolución 909 de 2008 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. 5 de junio de 2008.

Resolución 910 de 2008 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. 5 de junio de 2008.

Riera, P. (1994). *Manual de valoración contingente*. Madrid: Instituto de Estudios Fiscales. <http://pagines.uab.cat/pere.riera/content/manual-de-valoraci%C3%B3n-contingente>

Sleman, J., & Velásquez, C. J. (2016). La licencia ambiental: ¿instrumento de comando y control por excepción?. *Vniversitas*, (132), 483-514. doi:10.11144/Javeriana.vj132.laic

Stufflebeam, D. L., & Zhang, G. (2017). *The CIPP Evaluation Model: How to Evaluate for Improvement and Accountability*. New York: The Guilford Press.

Toro, J., Martínez, R., & Arrieta, A. (2013). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 4(2), 43-53.

United Nations Convention on the Law of the Sea, 30 de abril de 1982.

United Nations Framework Convention on Climate Change. 9 de mayo de 1992.

Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer, 22 de marzo de 1985.

Yu, W.-D., Lo, S.-S., (2005). *Time-dependent construction social costs model*. *Constr.Manag. Econ.* 23 (3):327–337. <http://dx.doi.org/10.1080/01446190500040281>