

PASANTÍA INTERNACIONAL MÉXICO

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INGENIERÍA DE TUNELES EN MÉXICO Y
COLOMBIA**

**ING. ADAN SILVESTRE GUTIERREZ
PROFESOR ASESOR**

**KATHERINE GONZALEZ TORRES
ERVIN EDGARDO MENESSES DORADO
LINA VANESSA YUSTI CANO**

**FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
PEREIRA-RISARALDA
2014**

Tabla de contenido

1. Resumen.....	4
2. Abstract.....	4
3. Introducción	5
4. La construcción del túnel del metro de México. El surgimiento del método Tamez.....	7
5. Construcción en el caso de Colombia.....	9
6. El papel de la Academia. La cátedra de Túneles.....	13
7. Infraestructura subterránea. Lado B.	14
8. México: algunos detalles históricos.....	15
9. Detalles históricos de Colombia.....	16
10. El siglo XX y actualidad. México y Colombia. Ingeniería subterránea del más alto nivel.....	17
11. Conclusiones	21
12. Bibliografía.....	23

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Trayectoria de los túneles en Colombia por décadas**¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 2. Presas principales en México por su capacidad de almacenamiento,2009..... **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 3. Represas y subestaciones en Colombia,2009 **¡Error! Marcador no definido.**

La ingeniería de túneles viales e hidráulicos en México y Colombia. Una historia comparada

1. Resumen

En el último siglo, la ingeniería de túneles se ha convertido en uno de los principales motores del desarrollo socioeconómico de un país y en una señal inequívoca del papel de la infraestructura como pieza fundamental de dicho crecimiento. El siguiente trabajo indaga en la historia de la construcción y uso de túneles viales y de abastecimiento de agua en México y Colombia como una forma de entender, a través de un repaso histórico, el desarrollo de la ingeniería vial e hidráulica en los dos países latinoamericanos.

Palabras clave

Túneles viales, ingeniería hidráulica en México y en Colombia.

2. Abstract

In the last century, tunnel engineering has become one of the main engines of economic development of a country and a clear signal of the role of infrastructure as a key part of that growth. This work explores the history of the construction and use of road tunnels and water supply in Mexico and Colombia as a way to understand, through a historical review, the development of road and hydraulic engineering in the two Latin American countries.

Keywords

Road tunnels, hydraulic engineering in Mexico and Colombia.

3. Introducción

Los túneles, independiente de su uso, se han convertido en el icono del desarrollo de la ingeniería y en el paradigma de las construcciones civiles a lo largo y ancho de la geografía mundial. Como toda construcción humana, han ido apareciendo como una alternativa eficaz para solucionar problemas puntuales de diferentes sociedades a través de los tiempos. Históricamente y salvo excepciones, como la utilización de túneles naturales en la roca como vivienda en estadios tempranos de la evolución humana, el uso primario que se le dio a los túneles fue el de la conducción de agua. Los arqueólogos e historiadores como el escritor Isaac Asimov¹ han fechado en 1500 a.C en las desérticas catacumbas de El Valle de los Reyes de Egipto la excavación del túnel más antiguo del que se tenga conocimiento. La construcción de túneles para usos domésticos dio un giro con el auge del imperio romano y la necesidad de crear carreteras que atraviesan montañas o formaciones rocosas. En Italia, en ciudades como Nápoles aun hoy es posible apreciar construcciones de dicha índole que han logrado mantenerse en pie pese al paso del tiempo. Lo anterior es interesante si tenemos en cuenta que los usos principales que se le dan a los túneles en la actualidad se encuentran expresados en las construcciones antiguas. Las necesidades siguen siendo las mismas: abastecimiento y conducción de aguas, para consumo y residuales, y transporte terrestre. La idea original permanece: una construcción colosal que permita el desarrollo de una sociedad y mejore la calidad de vida de quienes la componen. Sin mencionar el desarrollo comercial que subyace a la construcción de un túnel. El presente pretende trabajo indagar en algunos acontecimientos históricos que constituyeron un hito en la construcción y utilización de túneles como una forma de contexto y al mismo tiempo, realizar un comparativo sobre los usos que se le dan a los túneles en países como México y Colombia.

Si bien las construcciones egipcias y romanas proyectaron de manera formidable los usos que tendrían los túneles en el futuro no fue sino hasta el desarrollo del ferrocarril que la construcción de puentes comenzó a jugar un papel decisivo en el desarrollo de las ciudades. La verdadera era de los túneles comenzaría con la aparición del ferrocarril durante el siglo XVIII. ¿El lugar? Londres 1823. Según

¹ Issac Asimov. Historia de los egipcios. Alianza Ediciones El Prado. Madrid, España. 1993.

Enrique Santoyo² La historia que uno de los primeros túneles que implicó el desarrollo de una capacidad logística notable estuvo a cargo de los ingenieros, padre e hijo, Brunel. La idea era construir un túnel para tránsito de carros tirados por caballos en el suelo blando e inestable del río Támesis. Lo ocurrido en 1841, fecha de terminación del proyecto, es una clara muestra de lo que, un siglo después, ocurriría con diversos túneles construidos en tierras americanas, particularmente México y Colombia. Concebido como vía de transporte, el túnel de los Brunel fue usado primero como vía férrea y en 1920 se habilitó como una línea de metro que en la actualidad y sólo con algunos refuerzos, sigue operando. El método usado por los Brunel no estuvo exento de dificultades. Entre 1826 y 1840 ocurrieron tres inundaciones y finalmente un incendio. Las lecciones aprendidas tras dichos acontecimientos obligaron a reflexionar sobre una forma más efectiva y menos peligrosa para construir túneles en el futuro. La experiencia londinense es considerada como el primer paso para el desarrollo de los modernos túneles que se conocen en la actualidad. Así, aspectos que van desde el revestimiento y el espesor de la bóveda para evitar filtraciones, la ventilación y la experiencia acumulada en los desafortunados incidentes contribuyeron notablemente al porvenir de la construcción. Pensemos en lo que plantea Frederick S. Merritt:

“Los gases de escape de los motores de combustión interna contienen el mortífero monóxido de carbono de los motores de gasolina además de los irritantes vapores de aceite y del humo. Los motores Diesel también pueden producir peligrosos óxidos de nitrógeno y aldehídos. Los componentes de los gases de escape varían en una amplia gama, que depende del ajuste de los carburadores y del mantenimiento general del motor.

Todos los túneles de carretera, excepto los que tengan una pendiente recta y con menos de 1000 pies de longitud requerirán ventilación forzada”³

Las especificaciones anteriormente mencionadas fueron escritas en el siglo XX, cien años después de la construcción del túnel y nada lo allí escrito escapó a la aguda astucia de los constructores, lo que habla del hito de la obra londinense y su importancia para el desarrollo de la ingeniería de hoy. Los Brunel fueron los primeros en utilizar una ingeniosa estructura conocida como escudo y que les permitió excavar en el cenagoso lecho del río. Antes de la aparición del método austriaco, el método usado por los Brunel constituyó el paradigma a seguir en toda construcción similar. Lo que es hoy una línea del metro londinense no debe su

² Enrique Santoyo y René Contreras. Evolución en la construcción de túneles urbanos. En: Revista Geotecnia. Número 228. Junio – agosto. 2013. Pág. 3.

³ Frederick S. Merritt. Manual del ingeniero civil. Editorial McGraw Hill. Tomo 4. Pág. 20.

ejecución a una cuestión de suerte. El trabajo realizado en el sitio por los Brunel (estudio de suelos, intervención, etc.) prefiguró lo que serían los estudios previos a diversas obras alrededor del mundo.

4. La construcción del túnel del metro de México. El surgimiento del método Tamez.

La idea de que podía tolerarse cierta deformidad en el suelo en la construcción de un túnel, siempre y cuando no afectara la estabilidad del terreno en la parte superior, fue uno de los aportes revolucionarios que el método austriaco legó a la historia de la ingeniería. Aquello estaba por cambiar. ¿Lugar? México 1967. El Distrito Federal era un caos vial que parecía no contenerse en sí mismo. La ciudad crecía a un ritmo vertiginoso y comenzaba a precisar de un sistema de transporte lo suficientemente efectivo para descongestionar la ciudad y ofrecer transporte para millones de personas. El 19 de junio de 1967 se realizó la ceremonia de inauguración de las obras del metro y dos años después, en 1969, se ponían en funcionamiento las dos primeras estaciones. Contrario al planteamiento del método austriaco que toleraba una deformación del suelo a la que hacía frente con el uso de anclas alrededor de la bóveda; el método Tamez, llamado así en honor a su creador el ingeniero Enrique Tamez, concluía que el revestimiento de concreto era suficiente para que la estructura permaneciera estable y sólo el uso de zapatas reforzadas en acero en la estructura permitían la construcción sin recurrir a las anclas y optimizando el tiempo de trabajo. En Palabras de Santoyo y Contreras: "(...) el audaz constructor advirtió que al colocar el concreto lanzado lograba la estabilidad de la excavación y decidió que podía avanzar sin instalar las anclas"⁴. Como lo sugería en método austriaco.

La primera experiencia exitosa del método Tamez fue sin lugar a dudas el metro. Las réplicas no se hicieron esperar. Un total de cinco túneles fueron construidos usando directamente el método Tamez, lo que contribuyó no sólo a reducir los costos de la ejecución sino a optimizar el tiempo de entrega de las obras, lo que constituyó un beneficio adicional. Así, las obras construidas incluyen: los túneles de Loma Larga, túneles de Vista Hermosa, túnel del Club de Golf de Santa Fe y los túneles en el Eje 5 Poniente.

Los túneles anteriormente mencionados fueron los primeros de una larga serie de construcciones que revolucionaron el panorama vial mexicano y lo ubicaron como pionero en infraestructura vial en la región. ¿Cómo ocurrió aquello? Un breve

⁴ Enrique Santoyo y René Contreras. Op cit. Pág. 05.

repasso a la historia de la infraestructura mexicana permite rastrear algunos momentos. Un primer momento podemos encontrarlo en la construcción de las líneas férreas durante el siglo XIX y en la inyección de capital estadounidense para la ejecución de las mismas. Algunas incluso, fueron completamente financiadas con capital y mano de obra extranjera ante la necesidad de establecer un comercio binacional entre ambas naciones. Un segundo momento ubicarlo en lo que en la historia mexicana se conoce como el Porfiriato. Reflexionando lo ocurrido con Porfirio Díaz, Octavio Paz menciona:

“Muchos, sin excluir a los antiguos liberales, piensan de buena fe que el régimen de Díaz prepara el tránsito entre el pasado feudal y la sociedad moderna. En realidad, el porfirismo es el heredero del feudalismo colonial: la propiedad de la tierra se concentra en unas cuantas manos y la clase terrateniente se fortalece. Enmascarado, ataviado con los ropajes del progreso, la ciencia y la legalidad republicana, el pasado vuelve, pero ya desprovisto de fecundidad. Nada puede producir, excepto la rebelión.”⁵

El régimen de Porfirio Díaz comenzó una modernización en infraestructura sin precedentes pero con un altísimo costo social que desencadenó en la Revolución Mexicana. Lo anterior no es un caso aislado en el contexto latinoamericano. Como una forma de acallar a sus contradictores, los dictadores invierten en gigantescas obras de infraestructura y modernización como discurso gubernamental. Durante el Porfiriato se llevaron a cabo obras de importancia que permitieron que México creciera exponencialmente y fuera perfilándose como una potencia en infraestructura en la región. Un tercer momento podemos situarlo a partir de la segunda mitad del siglo XX. El crecimiento de la población y la necesidad de crear sistemas de transporte múltiples que den solución a la demanda fueron los detonantes del tercer momento cuyo punto clave es la construcción del metro en 1967. Los momentos anteriormente descritos nos permiten reflexionar sobre lo irregular de los procesos de infraestructura no sólo en México sino en la región en general. Lo que verdaderamente se construye como un proceso corresponde a políticas de gobierno desarrolladas en la segunda mitad del siglo XX, las obras ejecutadas en fechas anteriores obedecen a necesidades comerciales puntuales, caprichos políticos que intentan disfrazar un gobierno cuestionado con obras y que hablan más de la grandilocuencia de quien gobierna que de la obra en sí misma. La ingeniería en Latinoamérica va dando tumbos, a veces a pasos agigantados y otras de forma dubitativa, como temerosa de su propia sombra.

⁵ Octavio Paz. El laberinto de la soledad. Fondo de Cultura Económica. México. 1981.

5. Construcción en el caso de Colombia.

Comparativamente hablando, la experiencia con infraestructura a gran escala en Colombia encuentra sus primeros desarrollos a finales del siglo XIX y comienzos del XX. En cuanto a la construcción de túneles es posible rastrear sus inicios y establecer tres momentos claves en su desarrollo:

1. La llegada del ferrocarril.
2. El impulso a la construcción a partir de 1960.
3. Década del noventa y actualidad.

Con la llegada del ferrocarril surge la necesidad de realizar construcciones que permitieran sortear los accidentes geográficos y conectar pueblos y ciudades. Tal y como lo plantean Jorge Ardila y Antonio Rodríguez “El auge ferroviario nacional emprendido desde mediados del siglo XIX y principios del XX, daría inicio a la construcción masiva de este tipo de obras de infraestructura”⁶. Dicho auge impulsa la construcción de 11 kilómetros distribuidos en más de 85 túneles siendo el más destacado el de La Quebra que hace parte del Ferrocarril de Antioquía y que contaba en 1929, fecha de su inauguración, con 3742 metros. La geografía colombiana es bastante caprichosa y sortearla requiere de grandes inversiones de capital que dificultaron en un primer momento que la construcción de túneles como vías férreas constituyera una alternativa renovable hacia el futuro. Con la desaparición del ferrocarril como medio de transporte primario y la llegada del automóvil, muchas de las líneas férreas construidas durante ese periodo fueron abandonadas y los túneles, los que estaban cerca de vías principales, fueron acondicionados para el tráfico vehicular. Tal es el caso del de la Avenida Santander en la ciudad de Manizales que funcionó como túnel vehicular hasta la década del noventa y el túnel de Sibaté, sobre la línea del Ferrocarril del Sur. La mayoría de los túneles construidos en Colombia durante la primera mitad del siglo XX experimentaron cambios en su uso similares a los vistos en el túnel londinense en el Támesis obra de los Brunel. No obstante el declive del ferrocarril, es importante resaltar que las vías férreas que cruzaban túneles lograron conectar a

⁶ Jorge Ardila y Antonio Rodríguez. Túneles viales de carretera en Colombia. Una luz para la competitividad en nuestra movilidad. En: Revista Noticreto 119. Julio – agosto. 2013. Pág. 65

gran parte del territorio nacional. Las docenas de vías abandonadas que todavía hoy se encuentran en muchas de las ciudades y pueblos así parecen confirmarlo.

Al igual que en México, la construcción de túneles se encuentra directamente relacionada con la necesidad de establecer relaciones comerciales y de impulsar el crecimiento de una nación joven. Ubicados a finales del siglo XIX y sobre todo en la primera mitad del siglo XX, ambas experiencias priman el desarrollo del ferrocarril por encima del vehicular. En Colombia por ejemplo, según estadísticas de la Cámara Colombiana de Infraestructura, de un total de 5734 kilómetros de vías a lo largo del territorio nacional en 1930, 2642 correspondían a vías vehiculares. Pese al auge y al desarrollo casi contemporáneo, las diferencias entre las experiencias mexicanas y colombianas son notables. En primer lugar, la construcción de túneles férreos se vio fortalecida en México por la inyección de capital extranjero, principalmente estadounidense y una geografía que, comparada con la de Colombia, no implicaba grandes esfuerzos técnicos.

Los años que van desde 1960 a 1967 fueron claves para el desarrollo de la construcción de túneles tanto en Colombia como en México. El metro de México comenzó su construcción en 1967 y un año antes, en 1966, Colombia comienza a experimentar un profundo cambio en su infraestructura. Con el auge del automóvil y bajo el gobierno de Guillermo León Valencia se construyen cinco túneles sobre la vía Buga – Buenaventura. De nuevo, las diferencias en el desarrollo de dicha infraestructura entre ambos países son notables. El paulatino desmonte del sistema ferroviario en Colombia, entendiéndose desmonte con un declive en el uso del ferrocarril como medio de transporte, coincidió con un auge en la construcción de carreteras. Lo anterior es apenas comprensible si se tiene en cuenta que, dadas las características de la orografía colombiana resultaba mucho más rentable y económico la construcción de carreteras que la ejecución de túneles.

En cuanto al sistema ferroviario mexicano, la Revolución, acaecida durante el Porfiriato, llevó a un declive de las construcciones ferroviarias (particularmente túneles y vías en general) las cuales fueron dinamitadas como una forma de ganar terreno en el campo bélico. No obstante, la diferencia más notable entre ambos países fue el uso que se dio a las construcciones en el límite del apogeo y declive de los dos medios de transporte imperantes. Como sistema de transporte público, en Colombia el ferrocarril fue desapareciendo paulatinamente dando paso al uso del mismo con fines industriales y en México, al contar con una línea más fuerte y diversificada, se optó por modernizar el ferrocarril e invertir en el metro como sistema de transporte, lo que implicó adecuación, desarrollo e inversión de las construcciones destinadas para tal fin.

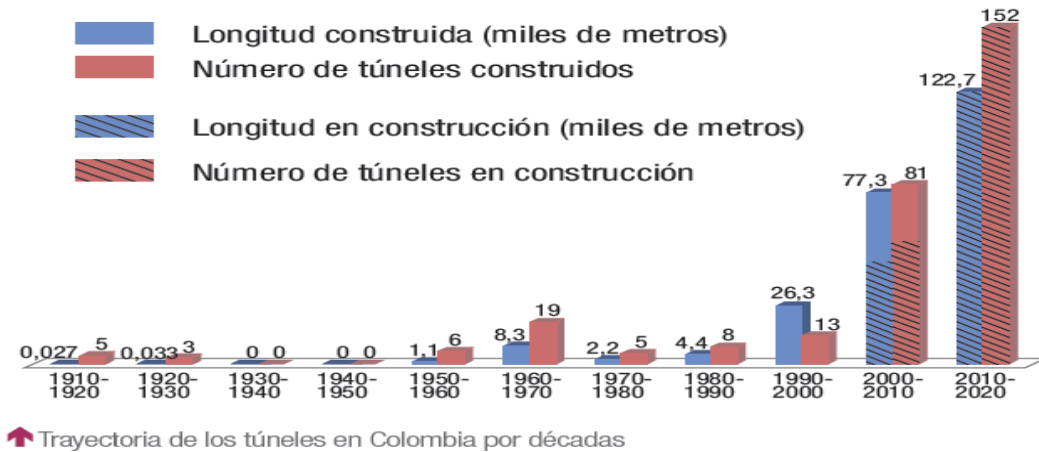
¿Ha aprendido Colombia de la experiencia mexicana? Es evidente que el caso de México ha permitido una acumulación de experiencia interesante a la hora de abordar la ejecución de grandes obras pero también es cierto que el caso de la infraestructura colombiana es bastante particular por diferentes razones. En primer lugar, hablando del desarrollo del ferrocarril como medio primario de transporte a finales del siglo XIX y primera parte del XX, mencionábamos lo complejo de la orografía del país y de los altos costos que implicaba la construcción de túneles como alternativas viales. En segundo lugar, la política y los vicios gubernamentales han torpedeado de una u otra forma que el país comenzara su transformación en infraestructura. Un ejemplo de lo anterior podemos encontrarlo en la historia que rodea el Túnel de la Línea todavía en construcción. A propósito, la Cámara Colombiana de Infraestructura (2009) comenta:

“Cabe recordar que la historia de este proyecto se cuenta el fracaso de dos licitaciones en el Gobierno Pastrana y el de una licitación en la actual administración, la cual fue declarada desierta. Finalmente, y luego de un controvertido proceso licitatorio, se adjudicó a un consorcio internacional, conformado por empresas de España, México y Colombia, la ejecución de la obra, cuya longitud es de 8,6 kilómetros, convirtiéndolo en el túnel carretero más largo del mundo, estará concluido en 2013 y permitirá reducir en 80 minutos el tiempo que tarda un vehículo de carga en cruzar la cordillera central.”⁷

Es de conocimiento público que la construcción no fue entregada en la fecha mencionada y que aún hoy sigue en ejecución con retrasos y un manejo del presupuesto que han puesto a la concesión en el ojo del huracán, no sólo político sino legal. No obstante, comparado con los primeros intentos en la década del sesenta, el plan de infraestructura que está llevándose a cabo en Colombia, hablan de un país dispuesto a invertir en obras de escala y a modernizarse como una de las estrategias, quizá la más importante, para el desarrollo y fortalecimiento no sólo de su economía sino de su población. Las estadísticas arrojadas por la Cámara Colombiana de Infraestructura, la ANI y el Ministerio de Transporte (ver ilustración 1) nos muestran un crecimiento exponencial en la construcción de túneles en los últimos veinte años.

⁷ Cámara Colombiana de Infraestructura. Túneles para el sector de la infraestructura. En: Revista Infraestructura y desarrollo. Número 31. Septiembre – octubre 2009. Pág. 13. ISSN: 1794-3213.

Ilustración 1. Trayectoria de los túneles en Colombia por décadas



Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura. (ANI)

¿A qué se debe semejante crecimiento? Una de las posibles respuestas tiene que ver con la competitividad y el hecho de que un país que no le apuesta a la infraestructura está condenado en una economía globalizada que encuentra en las obras su motor de desarrollo. Otra posible respuesta tiene que ver con la buena respuesta de la economía colombiana en última década ante la crisis económica mundial y un crecimiento económico por encima de la media esperada. Una economía saludable se traduce en mayor ejecución de obras y las obras, aseguran la competitividad. Una suerte de ciclo virtuoso de la prosperidad. Como lo afirma Héctor Salazar, gerente de Estructuración de Negocios del Grupo Odinsa:

“Colombia, en los últimos quince años, se ha convertido en una potencia latinoamericana de túneles carreteros. En estos momentos, hemos construido los ductos más largos de América Latina, como son el túnel de Buenavista, de 4500 metros; y el de San Jerónimo en Antioquia, de 4600 metros.”⁸

No obstante los avances, los procesos de concesión, licitación y la forma en la que son llevados a cabo a debe reformarse en procura de una mejor utilización de los recursos. Un porcentaje alto de las obras concedidas en licitación presentan (o

⁸ Cámara Colombiana de Infraestructura. Túneles para el sector de la infraestructura. Op cit. Pág. 13 – 14.

presentaron) retrasos en su fecha de entrega pero sobre todo, malas ejecuciones del presupuesto, en algunos casos con sobrecostos que superan el 100% de lo inicialmente planteado, y errores en el diseño de la obras. Los “vicios de trámite” derivados del desfaldo al erario y de la corrupción son, para el caso de Colombia un dolor de cabeza y amenaza en la ejecución de obras de buena calidad. Es urgente que se imponga un mayor control a las empresas que se hacen con las concesiones gubernamentales en materia de infraestructura, el modelo mexicano de capital mixto recién se está replicando en Colombia y puede ser un primer paso hacia la erradicación de la corrupción, y así lograr una ejecución transparente en los plazos y presupuestos acordados.

6. El papel de la Academia. La cátedra de Túneles.

La historia de la Academia está estrechamente vinculada con la historia del desarrollo del país. En cuanto al tema que ocupa este trabajo, el papel que han jugado la academia en cuanto al desarrollo de la construcción y uso de túneles tiene a México como su gran protagonista. El hecho de que, en medio de la construcción del metro, un ingeniero mexicano haya ideado un método de construcción alternativo al método austriaco que estaba en boga en aquel momento, habla de lo involucrada que está la Universidad mexicana con los proyectos urbanísticos del país. La cátedra de túneles fue inaugurada en México como respuesta a una necesidad palpable al momento que vivía el país y al vertiginoso crecimiento de su infraestructura. Lo interesante de la cátedra no es sólo la participación de la academia en los megaproyectos urbanísticos sino la reflexión constante sobre los mismos a través de órganos de difusión como revistas, simposios o congresos. En el caso de Colombia, la cátedra de túneles comienza a hacer su aparición hacia finales del siglo XX y comienzos del XXI como una respuesta necesaria de la academia a las obras de ingeniería que comienzan a adelantarse y que carecen de antecedentes en su historia reciente. Así, obras como el Túnel de la Línea o el Túnel de Oriente o la hidroeléctrica del Guavio comienzan a ocupar los derroteros de la reflexión de los ingenieros.

La cátedra de túneles permite un desarrollo democrático al incluir a la sociedad civil (ciudadanos pero sobre todo académicos e ingenieros) como participantes del proyecto. Basados en la exitosa experiencia mexicana, que fusionó capital público y privado en la construcción de túneles y líneas férreas, el gobierno de Colombia creó en el año 2011 la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) como una forma

de concertar esfuerzos de diversos frentes en procura de garantizar las mejoras en infraestructura y con la idea puesta en dejar atrás los vicios propios de la corrupción. La Agencia Nacional de Infraestructura habla de la importancia y la necesidad que tienen las obras para el desarrollo del país. Se trata de una agencia de carácter especial constituido por especialistas en materia de infraestructura y con una relación más que evidente con el sector académico. La experiencia implica una transformación en la forma de abordar el problema de la infraestructura vial en el país; réplica de la experiencia mexicana de principios de siglo pero con evidentes mejoras de tipo legal. El papel de la academia, sus reflexiones, derroteros e intervenciones, es vital para los proyectos comiencen a caminar de una manera transparente y no con el amaño que se ha venido manifestado y que tiene al Túnel de la Línea como su máximo exponente, hasta ahora.

7. Infraestructura subterránea. Lado B.

Una rápida lección de historia nos sirve para comprender que el propósito original de los túneles estaba directamente relacionado con el transporte de agua tanto para consumo como residuales. La lógica de la infraestructura dice que a mayor tamaño de población en un punto fijo, mayor es la demanda de agua para consumo y mayor la labor de ingeniería para suplir dichas necesidades. Las grandes obras de infraestructura de todos los tiempos están ligadas al desarrollo de asentamientos humanos que derivarían en la consolidación de las grandes ciudades que conocemos en la actualidad y de las que la historia nos legó noticias. En el caso de la infraestructura subterránea, el imperio romano y el egipcio son claras muestras de los principios de su desarrollo con obras que han permanecido en el tiempo y han perdurado hasta nuestros días. Tal es el caso del acueducto romano que cuenta con una gran variedad de túneles subterráneos o el intrincado trabajo de los egipcios para procurarse agua del Nilo y hacer frente a la sequía. La historia de las ciudades ha ido de la mano con la construcción de túneles de toda clase y no es exagerado afirmar que una y otra se complementa convirtiéndose en un binomio inseparable. Las grandes crisis sanitarias de las ciudades de Europa a finales de la Edad Media, el estallido de la peste bubónica y otro sinfín de acontecimientos se encuentran directamente relacionados con el mal estado del sistema de acueducto y el tratamiento de aguas residuales.

Las necesidades han cambiado poco a lo largo de los siglos. La necesidad de agua potable sigue siendo una de las principales demandas de las ciudades en permanente crecimiento y una de las deudas históricas de muchos de los gobiernos en varios países del continente americano.

8. México: algunos detalles históricos.

En cuanto al desarrollo comparativo de los túneles subterráneos en México y en Colombia, es importante decir que en la actualidad y bajo nuestros pies se esconde una de las más sofisticadas e intrincadas obras de ingeniería que el ser humano haya podido concebir. Ambos países han sido pioneros en la generación de energía hidroeléctrica a través de la construcción de grandes represas a lo largo de toda su geografía. En el caso de México, los primeros intentos de establecer un sistema de acueducto y alcantarillado se remontan a la época prehispánica con la construcción del acueducto de madera en 1381. Si quisiéramos establecer puntos cronológicos que detallen la evolución en el uso y construcción de acueductos y alcantarillados para el caso mexicano, podríamos establecer tres momentos cruciales:

1. Primeros intentos: siglo XIV al XV.
2. Construcciones civiles: siglo XVI al XVIII
3. Consolidación y desarrollo; siglo XIX y actualidad.

Lo más interesante de los trescientos años que van del siglo XV al XVIII, fue la labor de hacer viable la construcción y expansión del DF en una zona tan geográficamente inestable como la cuenca de México. En un amplio informe sobre las obras que históricamente se han adelantado en la cuenca, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México plantea⁹:

“A partir de la fundación de la gran Tenochtitlan, que evolucionaría en lo que se conoce como la zona metropolitana de la Ciudad de México, se ha mantenido una lucha constante por dar viabilidad a los asentamientos humanos existentes. Caracterizada desde su comienzo por el impacto y el control de los escurrimientos pluviales, el hundimiento paulatino de la superficie de la ciudad y por la creciente

⁹ Sistema de aguas de la ciudad de México. El gran reto del agua en la ciudad de México. Sin fecha. México, Df. Pág. 25.

escasez del agua debido al crecimiento poblacional y de las actividades económicas en la región.”

No se trataba de proteger la ciudad frente a las repetidas inundaciones a las que se veía sometida (la primera gran inundación de Tenochtitlan ocurrió en 1446) sino evitar que la ciudad se inundara. Un ambicioso plan de obras hidráulicas fue puesto en marcha por solicitud del virrey Juan de Mendoza y Luna que implicó la participación de ingenieros europeos e incluyó una reestructuración del diseño de la ciudad (algunos ciudadanos plantearon propuestas que incluían el desagüe de varias lagunas) y la construcción de una de las obras más importantes de la época: El Tajo de Nochistongo en 1607. La obra fue llevada a cabo por Enrico Martínez y aunque al principio se erigió como un diseño efectivo, pronto comenzó a mostrar debilidades (derrumbes en el interior de los socavones de más de 6.600 metros de largo), lo que obligó a que el virrey de entonces decidiera suspender su construcción hasta que no se hicieran los estudios pertinentes. El gran logro de la construcción de Martínez radicó en el hecho mismo de su inestabilidad. Los estudios llevados a cabo para comprobar la viabilidad (que incluyeron otra devastadora inundación) permitieron un mejor conocimiento del terreno mismo donde se alzaba la ciudad y utilizar dicho conocimiento para la ejecución de proyectos futuros.

9. Detalles históricos de Colombia.

De la misma forma en que ocurre con México, las primeras obras relacionadas con la construcción de un acueducto encuentran sus antecedentes en las culturas prehispánicas, particularmente la cultura Tayrona. La idea actual de una construcción de función múltiple cuyo propósito va más allá del abastecimiento de agua tiene en las construcciones mesoamericanas y sudamericanas sus primeros antecedentes.

La construcción de acueductos comienza a tomar un cariz mucho más complejo a partir del siglo XVI. El agua para consumo es transportada a través de tuberías rudimentarias que atravesaban las ciudades y las abastecían de los ríos cercanos. El trazado de las ciudades incluía una serie de canales por donde transitaban las aguas residuales a lo largo de las calles que atravesaban la ciudad y que desembocaban en lugares pantanosos ubicados, en el caso de Bogotá, en el

occidente. Lo anterior no podía provocar nada distinto a la propagación de diversas enfermedades que azotaron a los capitalinos hasta bien entrado el siglo XIX. Y es este siglo en el que ocurre el punto de quiebre en el desarrollo de sistemas de acueducto y alcantarillado con el giro de los acueductos hacia el sector privado.

Si nos atenemos a la evolución histórica del sistema de acueducto y alcantarillado en Colombia, es posible observar ingentes esfuerzos por modernizarlo a través de distintos frentes y sea quizá por esto, que sólo hasta iniciado el siglo XX (cuando el acueducto de Bogotá deja de ser operado por privados y pasa a ser administrado por el gobierno) el acueducto comienza a consolidarse. Con la privatización del acueducto, Bogotá comenzaría una importante transformación que intentó modernizar el sistema de abastecimiento. ¿El logro más notable? la implementación en 1888 del primer acueducto con tubería de hierro.

La historia del acueducto de Bogotá nos habla no sólo de sus inicios sino de lo pobre que eran los aportes para la construcción de un sistema de acueducto en cada uno de los asentamientos urbanos y rurales en el territorio nacional. Con la entrada del siglo XX y la conformación en distintas ciudades de las Empresas de Acueducto y Alcantarillado de comienza lo que podríamos considerar como una revolución de la infraestructura subterránea en el país.

10. El siglo XX y actualidad. México y Colombia. Ingeniería subterránea del más alto nivel.

Al tiempo que México y Colombia invierten en la construcción de túneles como alternativas viales, también lo hacen en la generación de energía y mejoras en las condiciones de los acueductos y las redes de alcantarillado a lo largo y ancho de todo su territorio. El continente americano es rico en fuentes hídricas (las mismas que tantos dolores de cabeza la han creado a los gobiernos en la historia) y a eso ha permitido que países como los anteriormente descritos, inviertan en la construcción de represas e hidroeléctricas que no sólo permiten la generación de energía sino toda un entramado de túneles para el abastecimiento de agua. Tanto México como Colombia se han convertido, para el caso latinoamericano, en pioneros en la ejecución de obras de este tipo.

La segunda mitad del siglo XX fue el momento cumbre para el inicio de las construcciones de hidroeléctricas y la ejecución de proyectos subterráneos que iban de la mano con las construcciones viales. El dato no puede ser más revelador. El desarrollo de la infraestructura vial empujó una reorganización de todo el sistema subterráneo destinado al abastecimiento de agua potable y al drenaje de aguas residuales. Tanto los túneles viajes como los subterráneos conforman un binomio inseparable.

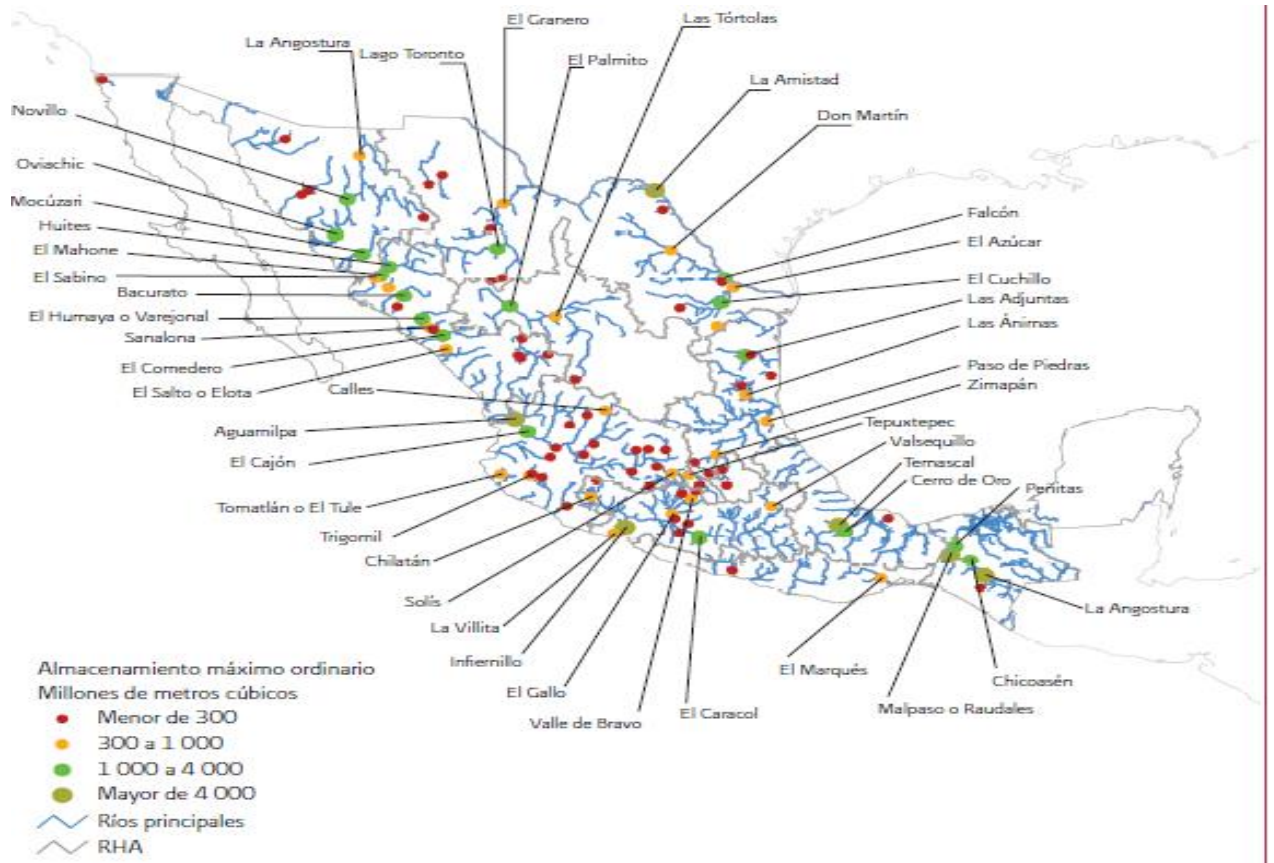
En el caso particular de Colombia por ejemplo, según lo planteado por Enrique Silva en el Congreso de Asocreto llevado a cabo en Cartagena en 2010:

“En Colombia hay cerca de 325 km de túneles hidráulicos y unos 7.5 km de pozos hidráulicos para un total aproximado de 332.5 km. Como cifra comparativa en la actualidad existen en el país alrededor de 78 km de túneles viales¹⁰”

Lo anterior es apenas una muestra de lo que ha invertido el país en infraestructura hidráulica a lo largo y ancho del territorio. Ahora bien, si comparáramos a ambos países por el número de construcciones de dicha índole, México estaría a la vanguardia por cuanto tiene una mayor experiencia y ha tenido que lidiar con cuestiones de tipo geológico bastante disimiles a lo largo de su historia. Veamos las siguientes ilustraciones:

¹⁰ Enrique Silva. Reunión del concreto. Cartagena de Indias, Colombia. Septiembre 22-23-24. 2010.

Ilustración 2. Presas principales en México por su capacidad de almacenamiento, 2009.



Fuente Gobierno de México. Ministerio de Obras Públicas

Ilustración 3. Represas y subestaciones en Colombia, 2009.



Fuente: Ministerio de Minas y Energía

La inversión en infraestructura subterránea es la apuesta del siglo. Con una población que se mide en millones de habitantes y en constante crecimiento, México y Colombia le apuestan a la inversión energética y a modernizar su

infraestructura subterránea y así garantizar no sólo el producto energético sino la cobertura integral de acueducto y alcantarillado para todos sus habitantes en el territorio nacional. La apuesta es arriesgada pero la experiencia acumulada en la construcción de túneles viales y en la innovación y renovación de los viejos acueductos heredados de la colonia, hacen de las construcciones existentes y de los planes a futuro (el Proyecto Porce II y Porce III de Colombia constituyen una de las obras más importantes del último siglo en todo el continente) un motor de desarrollo permanente.

11. Conclusiones

Uno de los aspectos más interesantes en las construcciones de túneles en el caso latinoamericano es la influencia y el impacto de la historia y la geografía de cada territorio para su desarrollo. Pese a que la mayoría de los países latinoamericanos tienen una historia en común, su desarrollo es completamente disímil y obedece a cuestiones de identidad nacional, idiosincrasia, geografía y vaivenes políticos a lo largo del tiempo. México por ejemplo, vivió un proceso independentista completamente distinto al vivido por Colombia; lo anterior sin mencionar que Colombia ha venido atravesando una difícil situación de conflicto interno que en muchos casos, no permitió la consolidación de proyectos de infraestructura sino hasta bien entrado el siglo XX, a diferencia de México que comenzó a invertir en infraestructura desde tiempos tempranos.

En cuanto al uso, hemos visto que no es muy distinto el uno del otro y que las grandes diferencias están en acontecimientos históricos particulares que han influido notablemente en la ejecución e implementación de sus obras. No obstante, podemos concluir que el presente siglo constituirá un hito en cuanto a la inversión y ejecución de megaproyectos en ambos países que, debido a necesidades similares en cuanto a población y desarrollo, han decidido aunar esfuerzos y compartir su experiencia como una forma de contribuir al avance de la ingeniería latinoamericana como no se ha visto en ningún momento de la historia.

El proceso de infraestructura llevado a cabo en México ha servido de ejemplo al proceso que se ha realizado en Colombia. Un porcentaje alto de las obras realizadas en el país (70 a 80 %) tienen como base la experiencia mexicana. Asimismo, la vinculación de la academia encuentra en México su principal fuente de inspiración. La Cámara Colombiana de Infraestructura no es otra cosa que el resultado de una necesidad específica: vincular la academia a las obras que se

desarrollan en el país como una forma de establecer una experiencia a futuro, proceso que, como pudimos ver en el artículo, México comenzó a realizar con la construcción del túnel del metro. Lo anterior implica que, a pesar de la cercanía geográfica de Colombia con otros países de América del Sur (como Brasil, Chile o Argentina) el préstamo empírico e histórico en materia de infraestructura, es tomado de México.

12. Bibliografía

1. Cámara Colombiana de Infraestructura. Túneles para el sector de la infraestructura. En: Revista Infraestructura y desarrollo. Número 31. Septiembre – octubre, 2009. P. 13. ISSN: 1794-3213.
2. SANTOYO, Enrique y CONTRERAS, René. Evolución en la construcción de túneles urbanos. En: Revista Geotecnia. Número 228. Junio – agosto, 2013. P. 3.
3. SILVA, Enrique. Reunión del concreto. Cartagena de Indias, Colombia. Septiembre 22-23-24, 2010.
4. Frederick S. Merritt. Manual del ingeniero civil. Editorial McGraw Hill. Tomo 4. P. 20.
5. ASIMOV, Issac. Historia de los egipcios. Alianza Ediciones El Prado. Madrid, España. 1993.
6. ARDILA, Jorge y RODRÍGUEZ, Antonio. Túneles viales de carretera en Colombia. Una luz para la competitividad en nuestra movilidad. En: Revista Noticreto 119. Julio – agosto, 2013. P. 65
7. PAZ, Octavio. El laberinto de la soledad. Fondo de Cultura Económica. México. 1981.
8. Sistema de aguas de la ciudad de México. El gran reto del agua en la ciudad de México. Sin fecha. México, Df. P. 25.

Referencias electrónicas

1. Disponible en internet <www.invias.gov.co>
2. Disponible en internet <www.ani.gov.co>
3. Disponible en internet <www.minminas.gov.co>
4. Disponible también en versión HTML en: <http://www.sct.gob.mx/>>
5. Disponible también en versión HTML en: <http://www.obras.df.gob.mx/>>