

- **Burbujas financieras.**
- **Valoración del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), del Índice de Tratamiento (IT), del Índice de Continuidad (IC) y del Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp), para el periodo 2010 - 2011, de sistemas de tratamiento de agua potable.**
- **Sobre la razonabilidad social de las tarifas de peaje en las carreteras colombianas.**
- **Reducción del tiempo no productivo (NPT) en proyectos de perforación exploratoria de pozos petrolíferos en Colombia. Caso de estudio.**
- **Mezclas asfálticas tibias. Énfasis en tecnologías de espumado y uso de RAP.**
- **ENTREVISTA**  
**Diana María Espinosa Bula.**
- **FORO**  
**“Infraestructura para el desarrollo nacional. Retos para el siglo XXI”.**



## CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

**PRESIDENTE** GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS

**VOCALES** MYRIAM ASTRID ANGARITA GÓMEZ  
SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ  
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI  
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ  
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS  
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS  
EDUARDO SILVA SÁNCHEZ  
JAIRO URIBE ESCAMILLA  
OSWALDO CASTILLO NAVETTY  
(representante de los profesores)  
JAVIER FELIPE CANO SUÁREZ  
(representante de los estudiantes)

**RECTOR** ROBERTO RÍOS MARTÍNEZ

**SECRETARIO** RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA

## REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

**DIRECTOR** JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

**COMITÉ EDITORIAL** GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS  
CLAUDIA RÍOS REYES  
PAULA XIMENA RÍOS REYES  
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ  
RICARDO SALAZAR FERRO  
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS

**DIRECCIÓN EDITORIAL** CRISTINA SALAZAR PERDOMO

**EDICIÓN** **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**  
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA  
**CORRECCIÓN DE ESTILO**  
ELKIN RIVERA GÓMEZ

**DIRECCIÓN COMERCIAL** EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 N.º 205-59  
TEL.: (57-1) 668 3600, EXT. 533  
[revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co)  
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

# Contenido

## 5 / EDITORIAL

### Un trabajo importante

*Jairo Alberto Romero Rojas*

## 7-11

### Burbujas financieras

*Eduardo Sarmiento Palacio*

La existencia y estabilidad del equilibrio entre las ofertas y demandas es la base de la teoría general de Arrow - Debreu, que ha servido de sustento al pensamiento económico neoclásico. Su aplicación más celebrada se encuentra en el sector financiero. En el trabajo de la Universidad de Chicago, liderado por Eugene Fama, se presenta como la ilustración más perfecta del principio. Las perturbaciones del mercado financiero inducen ajustes que tienden a retornarlo a la posición inicial. Las ofertas y demandas se nivelan y los rendimientos de los activos se igualan.

## 13-22

### Valoración del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), del Índice de Tratamiento (IT), del Índice de Continuidad (IC) y del Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp), para el periodo 2010 - 2011, de sistemas de tratamiento de agua potable

*Jairo Alberto Romero Rojas - Nathaly Alejandra Ibarra Prado*

En este artículo se presentan los resultados de la evaluación del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), Índice de Tratamiento (IT), Índice de Continuidad (IC) e Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp), para abastecimientos de agua potable municipal, en el periodo 2010 - 2011.

## 23-32

### Sobre la razonabilidad social de las tarifas de peaje en las carreteras colombianas

*Fernando Sánchez Sabogal*

A pesar del rezago en infraestructura vial que presenta Colombia, el valor de las tarifas de peaje por kilómetro que debemos pagar los colombianos se encuentra entre los más costosos del planeta. Para el autor, el problema no es sólo el simple valor de la tarifa sino, además, la magnitud de ésta en relación con la calidad técnica de las carreteras donde ella se debe pagar y con los índices de calidad de

# Contenido

vida de los habitantes del país. En ese orden de ideas, se ha definido el término “razonabilidad social de las tarifas de peaje”, como la relación entre el PIB per cápita y la tarifa de peaje por cada 100 kilómetros de carretera servida.

## **33-50**

### **Reducción del tiempo no productivo (NPT) en proyectos de perforación exploratoria de pozos petrolíferos en Colombia.**

#### **Caso de estudio**

*Germán Eduardo Giraldo, Alexander Cáceres Ríos, Juan Carlos Alcalde, Clara Lucía Muñoz y Marcela Suárez Velásquez*

El costo diario de perforación exploratoria de un pozo petrolífero en Colombia puede variar entre los US\$80.000 y US\$180.000, dependiendo de la profundidad del objetivo geológico y la complejidad del pozo. Este costo puede aumentar si se materializan algunos riesgos u otros imprevistos, generando demoras durante la perforación y completamiento del pozo.

## **51 / ENTREVISTA**

### **Diana María Espinosa Bula**

Presidenta de la Sociedad Colombiana de Ingenieros

## **57 / FORO**

### **Infraestructura para el desarrollo nacional.**

#### **Retos para el siglo XXI**

## **67 / ALCANCE Y POLÍTICAS**

# Editorial

## Un trabajo importante

**JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS**

Director de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*.

[jairo.romero@escuelaing.edu.co](mailto:jairo.romero@escuelaing.edu.co)

A la fecha, la Escuela Colombiana de Ingeniería ha formado 9519 profesionales y 1987 especialistas y magísteres, cuyo impacto en el mundo en que se desempeñan representa el verdadero indicador de evaluación para acreditación de la institución que los formó.

Como profesores, nuestro compromiso fundamental no es con la imagen de la autoevaluación para la acreditación ni con la calificación de una entidad reguladora, sino con la contribución requerida para formar profesionales con carácter, conocimientos e integridad suficientes para desempeñarse cabalmente en el medio en el que la sociedad los ponga.

Es importante dejar a un lado el argumento de que los novatos universitarios vienen mal preparados del bachillerato. La meta de la academia es precisamente

darles una formación integral, proporcionarles lo que no tuvieron y proveerles lo que necesitan para un ejercicio profesional ejemplar.

Se desconoce la trascendencia del trabajo realizado para su formación, para el aprendizaje de los requerimientos de su profesión, para lograr que sean exitosos y que sientan que contribuyen al bienestar de la sociedad.

Formar profesionales que hagan las cosas bien, que se desempeñen con honradez, con amor a su trabajo, con seguridad en sí mismos, es decir, con amor propio, constituye la esencia de la educación universitaria y la verdadera imagen del crédito académico.

Como decía Aristóteles: “Enseñar no es una función vital, porque no tiene el fin en sí misma; la función vital es aprender”.



# Burbujas financieras

**EDUARDO SARMIENTO PALACIO**

Director del Centro de Estudios Económicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

eduardo.sarmiento@escuelaing.edu.co

La existencia y estabilidad del equilibrio entre las ofertas y demandas es la base de la teoría general de Arrow - Debreu, que ha servido de sustento al pensamiento económico neoclásico. Su aplicación más celebrada se encuentra en el sector financiero. En el trabajo de la Universidad de Chicago, liderado por Eugene Fama, se presenta como la ilustración más perfecta del principio. Las perturbaciones del mercado financiero inducen ajustes que tienden a retornarlo a la posición inicial. Las ofertas y demandas se nivelan y los rendimientos de los activos se igualan.

Las cosas son muy distintas cuando los mercados están en desequilibrio. Las alteraciones del mercado financiero son determinadas por el mismo desequilibrio y repercuten en todo el sistema económico. Supongamos el alza de las cotizaciones de una acción, ocasionada por un exceso de demanda sobre la oferta. Los agentes económicos esperarán que el efecto dure y, en consecuencia, procederán a adquirir una mayor cantidad del activo, acentuando el alza inicial de los precios.

En los estados de equilibrio, los efectos del pasado se agotan. No existe información para anticipar los acontecimientos. El comportamiento del futuro es aleatorio. Ningún mortal está en capacidad de predecir que los precios suben o bajan. En cambio, dentro de la visión de desequilibrio, los movimientos de precios son

la consecuencia del mismo desequilibrio y una señal de que persistirá durante un tiempo, lo que constituye un indicio de oportunidades especulativas. Así, el alza de una cotización es el resultado de un exceso de demanda y una señal que permanecerá durante un tiempo; algunos agentes esperarán que el comportamiento continúe, aumente la demanda y presione el precio al alza. Por otro lado, el alza del precio del activo afecta su relación con otros títulos; la disminución de la ganancia por unidad de precio induce a sustituirlo, reduciendo la demanda y presionando la cotización a la baja.

Curiosamente, Soros es el pensador económico que tiene más claridad sobre el desequilibrio financiero. Sin embargo, su teoría de la reflexividad, que es el camino

---

**Las alteraciones del mercado financiero son determinadas por el mismo desequilibrio y repercuten en todo el sistema económico.**

---

para justificarlo, no se ha formalizado. Se puede decir que el ilustre financista no ha logrado convencer a la academia de sus ideas del desequilibrio, pero ha tenido un gran acierto en la aplicación. La ventaja de Soros sobre otros inversionistas reside en que aprovecha mucho mejor las señales de los desequilibrios. Parte de la hipótesis de que el aumento del precio de un activo es una señal de que continuará durante un tiempo y se reforzará y amplificará. Le da mayor importancia a la información inmediata que a las proyecciones a largo plazo. Sabe que el alza de un precio implica su baja a largo plazo, pero no desconoce que se mantendrá por un tiempo y que en ese periodo se presentan las mayores oportunidades de ganancia. De ninguna manera acepta el juicio de que los agentes económicos son irracionales en el comienzo de los procesos y racionales al final.



## RESERVA FEDERAL

El organismo que más ha empleado el diagnóstico de desequilibrio, sin hacerlo explícito, es la Reserva Federal. No ha ahorrado esfuerzos para dar señales a los inversionistas de valorización de las acciones. Las más conocidas son las tasas de interés cero y la compra de títulos del tesoro. Por esa vía, les aseguran a los inversionistas que la rentabilidad de las acciones es mayor que la de otros activos y que sus precios tenderán a subir. Encontraron la forma de promover el crecimiento. El alza de los precios de las acciones aumenta la riqueza, al tiempo

que amplía el consumo y la inversión. Sin embargo, las cosas no han salido bien por la dificultad de regular situaciones de desequilibrio que se caracterizan por las soluciones múltiples. Las señales de alzas de precios de las acciones han provocado un proceso de incremento de la demanda y un alza descontrolada de los precios que los han puesto en niveles de total incertidumbre, muy superiores a los previstos. La razón está en que el alza de las cotizaciones bursátiles ha elevado la ganancia de las empresas, configurando un estado inestable. Los rendimientos de las acciones son cinco veces mayores de los bonos. Todo el mundo se desplaza a las acciones para obtener ganancias excepcionales.

El drama de Estados Unidos es que propició un precio excesivamente alto de las acciones para elevar la riqueza y aumentar el crecimiento económico. Sin embargo, el precio sólo es sostenible reduciendo la tasa de interés a largo plazo y manteniendo altos los precios de los activos. La suspensión de las compras de títulos provocaría un alza en la tasa de interés a largo plazo y precipitaría un desplome inmediato de las cotizaciones de la bolsa, con sus inevitables efectos sobre el consumo y la actividad productiva.

Las dificultades y contradicciones se originan en buena medida en el supuesto de equilibrio. Se considera que las decisiones para comprar títulos de ahorro y bajar la tasa a largo plazo sube la cotización de las acciones y las lleva a un nuevo equilibrio; hay una relación uno a uno entre las dos variables. Se equivocan. Como el mercado está en desequilibrio, la baja de la tasa de interés a largo plazo induce una elevación de la cotización que se refuerza y se mantiene por encima de los fundamentos y deja la economía expuesta a una caída estrepitosa.

## REACCIÓN DE LOS AGENTES ECONÓMICOS

En las formulaciones clásicas se considera que los comportamientos de los componentes son independientes del conjunto. De antemano se puede evaluar si el sistema tiende al equilibrio. En economía, el funcionamiento es muy distinto. El comportamiento regular y promedio de los componentes no garantiza el equilibrio del conjunto; por el contrario, puede significar reacciones que acentúen el desequilibrio. Las predicciones no se pueden hacer sobre la base de que el sistema tiende al equilibrio. Las expectativas e incentivos varían con los resultados y señales del conjunto. Por ejemplo, si los precios

bursátiles suben, el comportamiento de los agentes es distinto que cuando bajan. Más aún, el funcionamiento del proceso y su final dependen de la forma como los agentes refuerzan o debilitan el sistema. Supongamos que el mercado financiero evoluciona en un proceso no acabado, es decir, se encuentra en desequilibrio y los agentes económicos reaccionan reforzándolo; nunca se llegará al equilibrio. En cambio, si los agentes debilitan el desequilibrio, puede convertirse en un equilibrio. Así las cosas, el equilibrio depende de las expectativas de los agentes económicos. De ninguna manera, es un estado terminado. Todo depende de las expectativas.

En las ciencias naturales, a diferencia de las sociales, los agentes no responden a los resultados. La información existente permite inferir si el sistema tiende o no al equilibrio. En cambio, en las ciencias sociales los individuos reaccionan a la información generada por el sistema. El final depende de la percepción y expectativas de los agentes económicos. Si éstos piensan que el sistema no va a llegar al equilibrio y adoptan decisiones para sacar provecho de esa circunstancia, sus decisiones pueden amplificar el desequilibrio; por el contrario, si los agentes piensan que el sistema llegará rápidamente al equilibrio, éste regirá sus decisiones. Por eso, las situaciones de desequilibrio son más probables que las ciencias sociales.

Donde se ilustra mejor la situación es en el sector financiero. El alza brusca de los activos puede tener dos reacciones. En una, los agentes esperan que la situación va a durar por un tiempo y, en consecuencia, proceden a adquirir los activos, aumentando la demanda y acentuando el alza; el desequilibrio entre la demanda y la oferta se ampliaría, a menos que haya otros efectos en la dirección contraria. Otra reacción es la de los agentes que esperan que el sistema esté cerca del equilibrio. De hecho, pensarán que las causas del alza ya se manifestaron y que no hay nada que hacer. Probablemente se inclinarán a mantener el título.

El concepto de retroalimentación contribuye a aclarar el análisis. Los procesos están expuestos a efectos positivos y negativos que los retroalimentan. Si los efectos positivos predominan sobre los negativos, el sistema se mantendrá en desequilibrio, en tanto que si predominan los negativos tenderá al equilibrio. Así de simple.

**En las ciencias naturales, a diferencia de las sociales, los agentes no responden a los resultados. La información existente permite inferir si el sistema tiende o no al equilibrio.**

**En cambio, en las ciencias sociales los individuos reaccionan a la información generada por el sistema.**

### EQUILIBRIO A CORTO Y LARGO PLAZO

En este punto es fácil cotejar los planteamientos de Fama y Shiller, quienes recibieron simultáneamente el último Premio Nobel de Economía. Fama considera que el sistema siempre se encuentra en equilibrio; el portafolio óptimo está representado por los títulos de mayor rendimiento en un plazo corto. Así, la composición debe ajustarse permanentemente, de acuerdo con la evolución más reciente de los precios. Por su parte, Shiller sostiene que los ajustes son lentos y el equilibrio sólo se logra a largo plazo. La composición óptima corresponde a los activos que han experimentado los menores incrementos de precios en el pasado, que probablemente son los mismos que tienen la relación precio/ganancia más baja. El que compra títulos por debajo de la tendencia histórica y la mantiene durante cinco años siempre gana.

El avance de Shiller con respecto a Fama es que considera que el procesamiento del mercado no es inmediato sino lento; puede demorar hasta cinco años e incluso más. La mejor confrontación está en la comparación de sus recomendaciones con los hechos reales. La recomendación de Shiller significaría mayores ganancias que la de Fama, pero menores que las del inversionista guiado por el desequilibrio. Este personaje es el gran ganador, porque saca información ventaja de las señales del mercado, y el principal responsable de la burbuja.

La mejor evidencia contra la teoría del mercado eficiente de Fama se encuentra en la prueba del absurdo. La teoría no descarta que el portafolio óptimo esté

conformado por los activos de mayor precio y que el inversionista entre al mercado bursátil cuando los precios están por encima del promedio histórico. Quien adopte la recomendación tiene una elevada probabilidad de perder. La demostración más rigurosa se encuentra en la baja relación entre el precio de las acciones y el valor presente de los rendimientos bursátiles futuros; la varianza del primero es mucho menor que la del último. La adquisición de títulos de mayor precio no garantiza la máxima ganancia. La mejor opción es adquirir los que están por debajo de la tendencia histórica.

Lo cierto es que las dos visiones desconocen cómo se inicia el movimiento de los precios y cómo evoluciona hasta alcanzar el equilibrio. La verdad es que el sistema siempre está en desequilibrio, dando señales que lo refuerzan. En la práctica, está expuesto a fuerzas retroalimentadoras que lo acentúan y negativas que lo debilitan. En razón de que el aumento de los precios genera incrementos de demanda, el desequilibrio tiende a mantenerse. Por otra parte, el movimiento de los precios modifica los fundamentos al reducir la relación ganancia/precio respecto a las opciones, induciendo a sustituirlo. Estamos ante una ecuación diferencial en que el alza del precio del activo es determinado por las señales del sistema. La variación del precio depende del nivel y de la relación ganancia/precio. En la medida en que el primer elemento domine, el sistema operaría en desequilibrio; el precio aumentaría o caería indefinidamente. Cuando domina el segundo, el sistema se movería a un equilibrio que bien puede ser inestable; bastaría cualquier alteración para que los precios se dispararan hacia arriba o hacia abajo. El comportamiento se puede sintetizar en la siguiente ecuación diferencial:

$$\dot{p} = a_1 p + a_2 \frac{d}{p}$$

$\dot{p}$  variación del precio,  $p$  nivel del precio (como aproximación de la demanda),  $d$  riqueza,  $a_1$ ,  $a_2$  parámetros positivos.

La falla de la visión de equilibrio es que mira únicamente la finalización del proceso. No puede ir más allá de comparar las situaciones de equilibrio. En cambio, la visión de desequilibrio permite sacar ventaja de todo el proceso comprando cuando el precio sube y retirándose cuando baja.

## CONCLUSIONES

En la teoría de equilibrio se supone que el resultado es independiente de los agentes económicos; más concretamente, no responde a las situaciones de desequilibrio. Les da igual que les signifique ganancias o pérdidas. Se equivocan. El desequilibrio se mantiene cuando produce comportamientos que lo refuerzan y se convierte en equilibrio cuando ocurre lo contrario. En este sentido, el agente económico que mantiene el desequilibrio no es irracional sino el que gana, como Soros.

De acuerdo con Fama, cualquier portafolio es igual. Bien puede ser el que registra las mayores ganancias por peso, que corresponden al que revela los precios más altos. En cambio, para Shiller ofrecería las menores posibilidades de utilidades, porque equivaldría a comprar los activos cuando son caros y venderlos cuando son baratos. Con todo, Shiller no dice cuál sería la estrategia óptima. No va más allá de recomendar de comprar barato o preferir los activos que tienen los precios más bajos. Para él, cualquier inversionista que realice una tarea distinta es irracional. Lo que no dice es que esta estrategia no es la óptima para el inversionista. Le iría mucho mejor si adquiriera los activos cuando suben los precios y los vende al primer indicio de caída.

La salida de Shiller es la misma de la información expuesta a variaciones estacionales. La solución elemental consiste en limitar las comparaciones a periodos suficientemente largos que reproduzcan las condiciones. Sin embargo, el procedimiento arregla el problema a cambio de ignorar la información más reciente, que es la más significativa. Así, en lugar de comparar los datos con la fecha inmediatamente anterior, se hace con otras más lejanas que tienen las mismas condiciones.

Las falencias de Fama y Shiller, y en cierta manera del último Premio Nobel, están en que la academia insiste en que el sector financiero está en equilibrio. Fama dice que éste se presenta permanentemente y Shiller al final. Ambos consideran que, entretanto, la información proviene de agentes irracionales o espíritus animales y que lo mejor es ignorarlos. Se cae en el simplismo de justificar el incumplimiento de las teorías, culpando a los componentes del sistema. A fuerza de negar el desequilibrio, se ha llegado por caminos distintos de desconocer las perversidades del sector financiero, que se torna totalmente visible con las burbujas. Para Fama no es predecible en absoluto al principio del proceso y para Shiller es perfectamente predecible al final, algo

así como después de cinco años y hasta quince años. Únicamente las personas que compran los activos por debajo de la tendencia ganan y son racionales.

Los desaciertos vienen de la misma concepción de equilibrio de los supuestos agentes racionales, que sólo entran al juego cuando los precios están por debajo de la tendencia. Si estos personajes dominan el mercado, el precio de la bolsa estaría cerca de la tendencia histórica. No habría burbujas. Las cotizaciones no experimentarían grandes alzas y caídas durante periodos largos. El desequilibrio persiste únicamente cuando las expectativas y las reacciones de los agentes lo refuerzan.

La teoría de equilibrio del mercado financiero fue controvertida por los hechos. El mercado bursátil, y en general el mercado financiero, opera dentro de burbujas en que los precios suben y bajan durante periodos largos. Los agentes económicos están en mejor capacidad de anticipar los ciclos de mercado. El comportamiento se extiende al mercado cambiario, la construcción y el crédito, revelando que una parte considerable de la economía opera en forma de burbujas que le introdu-

cen grandes incertidumbres e iniquidades. Los agentes económicos con más riqueza tienen mayor posibilidad de extraer rentas del sistema y ampliarla, a cambio de lesionar a las demás. Las ganancias privadas bien pueden significar pérdidas para la sociedad. Por eso, una de las funciones centrales de la política monetaria y la regulación financiera es evitar y erradicar las burbujas. El primer paso para hacer la tarea es reconocer que el sistema opera en desequilibrio.

## REFERENCIAS

- Shiller, R. (1981). Do stock Prices Move Too Much To Be Justified by Subsequent Movements of Dividends? *American Economic Review*.
- Shiller, R. (2005). *Irrational Exuberance* Currency Doubleday. New York London Toronto Sydney Overland.
- Fama, E. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance*, 25.
- Fama, E. (1965, January). The Behavior of Stock Market Prices. *J. Bus*, University of Chicago.
- Sarmiento, E. (2008). *Economía y globalización*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Soros, G. (1997). *Alquimia de las finanzas*. Distal.





## Valoración del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), del Índice de Tratamiento (IT), del Índice de Continuidad (IC) y del Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp), para el periodo 2010 - 2011, de sistemas de tratamiento de agua potable

Valuation of raw water quality index (WQI), of risk index of water quality for water supply (IRCA), of treatment index (IT), of continuity index (IC), and of water supply for human consumption risk for supplier (IRABApp), for the period 2010 – 2011, of potable water supply systems

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS<sup>1</sup> - NATHALY ALEJANDRA IBARRA PRADO<sup>2</sup>

1. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Ingeniera ambiental y sanitaria. Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

jairo.romero@escuelaing.edu.co - nathaly.ibarra@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/04/2013 Aceptado: 30/04/2013

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

En este artículo se presentan los resultados de la evaluación del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), Índice de Tratamiento (IT), Índice de Continuidad (IC) e Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp), para abastecimientos de agua potable municipal, en el periodo 2010 - 2011 (1).

**Palabras claves:** calidad del agua, abastecimiento de agua, agua potable, índices de calidad del agua

### Abstract

In the area of water quality control, the measurement and the numerical expression of its quality are factors of great importance. A method of continuous quantification of water quality is by means of indexes. According with the Colombian legislation there are different indexes for potable water control.

This article provides the results of the evaluation of index of Water Quality Index (WQI), Human Consume Water Risk Index (IRCA, in Spanish), Treatment Index (IT), Continuity Index (IC) and Human Consume Water Supply Risk Index by the water supplier (IRABApp, in Spanish).

**Keywords:** water quality, water supply, drinking water, water quality indexes.

## INTRODUCCIÓN

Para cumplir las normas de calidad del agua resultan indispensables la verificación, análisis y seguimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes de abastecimiento, del agua tratada y suministrada para el consumo humano, mediante el cálculo de índices que permitan comparar y valorar la calidad del agua en diferentes lugares y periodos de tiempo para definir posibles usos del agua y del impacto sobre la salud humana.

En la actualidad, los operadores de sistemas de potabilización de agua están obligados a suministrar agua potable e informar dicho cumplimiento por medio de la aplicación y el cálculo de los instrumentos de evaluación de la calidad del agua estipulados en el Decreto 1594 de 1984 de la Presidencia de la República, en el Decreto 1575 de 2007 y en las resoluciones 2115 y 2117 de 2007 del Ministerio de Protección Social y del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, a saber: Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano (Iraba), Índice de Tratamiento (IT), Índice de Continuidad (IC) y mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.

El cálculo del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), del Índice de Continuidad (IC) y del Índice de Tratamiento (IT) se obtuvo de los valores reportados por las empresas prestadoras del servicio público de acueducto al Sistema Único de Información (SUI), durante los años 2010 y 2011, de conformidad con lo exigido en la Resolución SSPD 20101300048765 del 14 de diciembre de 2011, y del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), con base en los resultados de la vigilancia realizada por las autoridades sanitarias de los ámbitos distrital, municipal y departamental registradas en el Subsistema de Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (Sivicap), administrado por el Instituto Nacional de Salud (INS).

## ANTECEDENTES

La Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, por su sigla en inglés), de Estados Unidos, desarrolló en 1970 una determinación y uso de índices de calidad del agua de fuentes superficiales mediante la técnica Delfi de la Rand Corporation [2], de gran utilidad en la mayoría

de los estudios ambientales elaborados en diferentes regiones de los Estados Unidos de la época.

Posteriormente, surgieron otros índices para la evaluación de la calidad del agua de las fuentes superficiales, como el Índice de Calidad del Agua de Oregón, Índice RPI (*River Physiochemical Index*), Índice de Calidad del Agua para el Valle del Río Miami, Índice de Calidad del Agua para Idaho, Índice de Calidad del Agua para el Río Des Moines, Índice de Calidad del Agua para Washington, Índice de Calidad del Agua Greensboro, Índice de British Columbia, Índice de Calidad del Agua de Alberta (Canadá), Índice de Calidad del Agua de Montoya y el Índice de León.

En Colombia se han elaborado el Índice de Contaminación por Mineralización (Icomi), Índice de Contaminación por Materia Orgánica (Icom), Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos (Icosus), Índice de Contaminación por Trofia (Icotro), Índice de Contaminación por Temperatura (Icotemp), Índice de Contaminación por pH (ICOpH), entre otros.

Las aplicaciones de los índices de calidad del agua de las fuentes superficiales en el país son el resultado de estudios efectuados por autoridades ambientales de los órdenes nacional y local, así como los generados por centros de investigación, algunos de los cuales se indican a continuación:

- Las entidades integrantes del Sistema de Información Ambiental (SINA), en el “Informe del Estado del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables de Colombia para el año 2010” [3].
- El “Informe Nacional del Agua”, elaborado por el Ideam [4].
- El estudio sobre “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica”, realizado por Torres et al. [5].
- Estudio sobre la “Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta”, elaborado por Samboni et al. [6], en el año 2010.
- Estudio sobre la “Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia”, hecho por Arango et al. [7].
- Estudio relacionado con los “Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídri-

co. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia”, generado por Jaramillo et al. [8], en el año 2010.

Los estudios sobre el IRCA los han generado el Instituto Nacional de Salud (INS), la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y la Defensoría del Pueblo por medio de los resultados reportados por las autoridades sanitarias en el Subsistema de Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (Sivicap), algunos de los cuales se citan a continuación:

- Diagnósticos sobre la calidad del agua para consumo humano, años 2006 y 2007, elaborados por la Defensoría del Pueblo [9].
- Estudio sectorial de Acueducto y Alcantarillado, años 2006 a 2009 [10], y Estudio sectorial de Acueducto y Alcantarillado, año 2010 [11].

Los cálculos del Índice de Continuidad se encuentran en estudios elaborados por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), en informes generados para el sector de agua potable y saneamiento en el “Estudio sectorial de Acueducto y Alcantarillado, años 2006 a 2009” [10], y en el “Estudio sectorial de Acueducto y Alcantarillado, año 2010” [11].

Del Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano (Iraba) y del Índice de Tratamiento (IT), únicamente se encontró disponible la metodología para su cálculo. Vale la pena señalar que la información sobre los índices de calidad de agua de fuentes superficiales, del agua potable y de la continuidad del servicio se analizan de manera independiente y no integral, por lo que no se cuenta con un análisis global de éstos que relacione los índices de tratamiento con los de riesgo por abastecimiento.

## OBJETIVO

Determinar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua potable mediante la valoración del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), del Índice de Tratamiento (IT), del Índice de Continuidad (IC) y del Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano (Iraba), para el periodo 2010-2011. Para esto se requirió:

- Determinar el Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA) de los sistemas de agua potable.
- Determinar el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) de los sistemas de agua potable.
- Determinar el Índice de Tratamiento (IT) de los sistemas de agua potable.
- Determinar el Índice de Continuidad (IC) de los sistemas de agua potable.
- Determinar el Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp) de los sistemas de agua potable.
- Valorar la eficiencia de los sistemas de tratamiento a partir del análisis de probabilidad del Índice de la Calidad del Agua Cruda (ICA), Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano, Índice de Tratamiento (IT), Índice de Continuidad (IC) e Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp).

## METODOLOGÍA

El trabajo se realizó mediante el procesamiento de información secundaria tomada de los reportes existentes en el Sistema Único de Información (SUI) y en los registrados por las autoridades sanitarias en el Subsistema de Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (Sivicap).

Los sistemas de tratamiento evaluados se clasificaron de acuerdo con el Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA) y el Índice de Riesgo de Agua para Consumo Humano (IRCA) por muestra, así como de los índices de tratamiento y continuidad (IT e IC), necesarios para calcular el Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp).

### Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA)

Su cálculo obedece a la metodología expuesta en el Documento de Trabajo de la Resolución CRA 346 de 2005, emitida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) (ecuación 4.1).

$$ICA_E = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (ICP_{ij} \times Q_i) P_i}{Q_j} \quad (4.1)$$

Donde:

$ICA_E$  = índice de calidad para la empresa por municipio.

$N_p$  = número de parámetros de calidad del agua.

$ICP_{ij}$  = índice de calidad para cada parámetro  $i$  de cada fuente  $j$ .

$Q_j$  = caudal de cada fuente  $j$ .

$P_i$  = peso relativo de cada parámetro  $\sum_{i=1} P_i$ .

Los resultados del ICA clasifican la calidad del agua de las fuentes superficiales de abastecimiento de acuerdo con los rangos definidos a continuación (cuadro 1).

**Cuadro 1**  
Clasificación del agua según el ICA [12]

Rango	Clasificación
90,1 - 100	Excelente
70,1 - 90	Bueno
50,1 - 70	Media
25,1 - 50	Mala
0 - 25	Muy mala

### Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA)

Según el artículo 12 del Decreto 1575 de 2007 [14], el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) cuantifica el "... grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano".

Su determinación se realiza de conformidad con lo establecido en el Decreto 1575 de 2007, así como en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (ecuación 4.2):

$$IRCA_{muestra} = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características que no cumplen}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a todas las características analizadas}} \times 100 \quad (4.2)$$

Los resultados del IRCA por muestra permiten clasificar el agua suministrada según niveles de riesgo y definir las acciones que hay que seguir (cuadro 2).

**Cuadro 2**  
Clasificación del agua según el IRCA [15]

IRCA (%)	Nivel de riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que hará la autoridad sanitaria de manera inmediata)
80,1 - 100	INVIABLE SANITARIA-MENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.
35,1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde, gobernador y a la SSPD.
14,1 - 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde y gobernador.
5,1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.

### Índice de Tratamiento (IT)

De conformidad con el artículo 18 de la Resolución 2115 de 2007 [14] del Ministerio de la Protección Social y del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el Índice de Tratamiento corresponde al "... puntaje que se asigna al evaluar los procesos de tratamiento, ensayos básicos de laboratorio en planta de tratamiento y trabajadores certificados de la persona prestadora..."; se obtiene tomando como referencia los procesos de tratamiento, la dotación del laboratorio y la disponibilidad de trabajadores certificados.

- Los *procesos* corresponden a la existencia y funcionamiento de etapas o procedimientos de tratamiento del agua para consumo humano, incluyendo los insumos requeridos para la potabilización y la aplicación del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico, Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico. El puntaje para el IT se asigna según el cuadro 3.
- La *dotación básica de laboratorio en planta de tratamiento* supone la disponibilidad de los equipos mínimos necesarios para la realización de pruebas de jarras, demanda de cloro, turbiedad, color y pH. El puntaje máximo para este criterio será de quince puntos, distribuidos en tres puntos por cada equipo utilizado para la realización de dichos ensayos.

**Cuadro 3**

Puntajes para el Índice de Tratamiento del Agua para Consumo Humano, según el tratamiento [15]

Descripción tratamiento	Puntaje máximo
Si se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo	50
Si se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente	25
Si se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo	15
Si se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente	10
Si sólo requiere desinfección y ésta se realiza	50
Si sólo realiza desinfección	15
Si no hay ningún tipo de tratamiento	0

- La disponibilidad de trabajadores certificados para la operación de la planta de tratamiento se evalúa de acuerdo con el cuadro siguiente (cuadro 4).

**Cuadro 4**

Puntajes para el Índice de Tratamiento del Agua para Consumo Humano, según la disponibilidad de trabajadores certificados [15]

Criterio	Puntaje máximo
Entre el 90 y el 100 % de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	15 puntos
Entre el 50 % y menos de 90 % de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	10 puntos
Menos del 50 % de los trabajadores que son operadores de planta están certificados	0 puntos

No obstante, en el cálculo del Índice de Tratamiento únicamente se tendrán en cuenta los procesos de tratamiento, porque no se dispone de información sobre la dotación básica de laboratorio ni del personal certificado para la operación de las plantas de tratamiento.

### Índice de Continuidad (IC)

El IC clasifica el servicio de acueducto prestado por una empresa con base en el periodo de abastecimiento (ecuación 4.4).

$$IC = \left[ \frac{\sum (Nhs)_j \times (Ps)_j}{(730) \times (Pt)} \right] \times \left[ \frac{24h}{\text{día}} \right] \quad (4.4)$$

Donde:

- $(Nhs)_j$  = número de horas restadas en un mes en el sector  $j$ .  
 $(Ps)_j$  = población servida por el sector  $j$ .  
 730 = número de horas que tiene un mes.  
 $(Pt)$  = población total servida por la persona prestadora.

Los valores del Índice de Continuidad (IC) clasifican el suministro de agua por parte de los prestadores, de acuerdo con los puntajes indicados en el cuadro siguiente (cuadro 5).

**Cuadro 5**

Clasificación del Índice de Continuidad [15]

Continuidad del servicio (IC)	Clasificación	Puntaje
0 - 10 HORAS / d	INSUFICIENTE	0
10,1 - 18 HORAS / d	NO SATISFACTORIO	10
18,1 - 23 HORAS / d	SUFICIENTE	15
23,1 - 24 HORAS / d	CONTINUO	20

### Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp)

El Irabapp es la ponderación de los factores de tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de suministro de agua para consumo humano. El cálculo se hace mediante la ecuación 4.5 y su clasificación se realiza de conformidad con lo indicado en el cuadro de la página siguiente (cuadro 6).

$$Irabapp = 100 - (IT + IC) \quad (4.5)$$

Donde:

- $Pp$  = persona prestadora.  
 $IT$  = Índice de Tratamiento (puntaje obtenido según cálculos, máximo 80 puntos).  
 $IC$  = Índice de Continuidad (puntaje obtenido según cálculos, máximo 20 puntos).

**Cuadro 6**

Clasificación del nivel del riesgo en salud por Irabapp y acciones que deben realizarse [15]

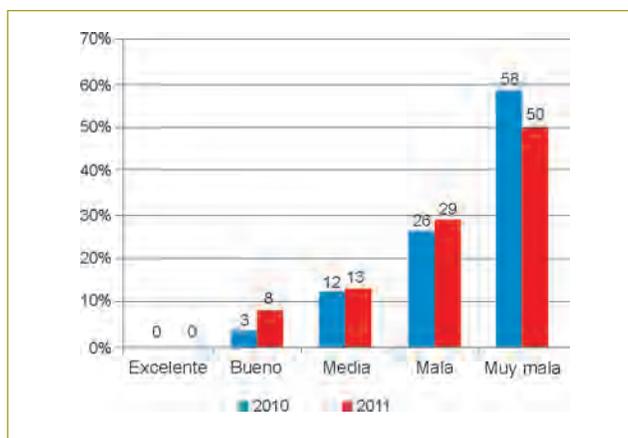
Clasificación Iraba (%)	Nivel de riesgo a la salud	Irabapp
70,1 - 100	Muy alto	Requiere la formulación inmediata de un plan de cumplimiento a corto, mediano y largo plazo por parte de la persona prestadora, con la verificación de la SSPD.
40,1 - 70	Alto	Requiere la formulación e implementación de un plan de acción a corto, mediano y largo plazo, con la verificación de la SSPD.
25,1 - 40,0	Medio	La persona prestadora debe disminuir, mediante gestión directa, las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio.
10,1 - 25,0	Bajo	La persona prestadora debe eliminar, mediante gestión directa, las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio.
0 - 10,0	Sin riesgo	La persona prestadora cumple con las disposiciones legales vigentes en materia de agua para consumo humano. Continuar con la prestación del servicio.

## RESULTADOS

### Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA)

El análisis de frecuencias del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA) para fuentes hídricas usadas en el abastecimiento de sistemas de tratamiento de agua potable, para 9456 muestras del año 2010 y 8411 del año 2011, correspondientes a 81 y 82 municipios, en ese orden, arrojó resultados preocupantes (figura 1).

Se observa que las fuentes superficiales utilizadas para el abastecimiento de sistemas de purificación del agua en ninguno de los casos se clasificaron como de “EXCELENTE” calidad. El 3 y 8 %, equivalentes a 324 y 626 muestras, se catalogaron como de “BUENA” calidad; el 12 y 13 %, correspondiente a 1172 y 1125 muestras, fueron de “MEDIANA” calidad, y el 84 y 79 %, correspondientes a 7960 y 6590 muestras, se clasificaron en los rangos de “MALA” a “MUY MALA” calidad, respectivamente.



**Figura 1.** Frecuencia de ocurrencia del ICA, años 2010 y 2011.

Los municipios con más de la mitad de las muestras con valores de ICA comprendidos entre el 70 y 90 %, es decir, agua de buena calidad, fueron Necoclí y San Pedro de Urabá en Antioquia, Buga en Valle del Cauca y El Playón en Santander.

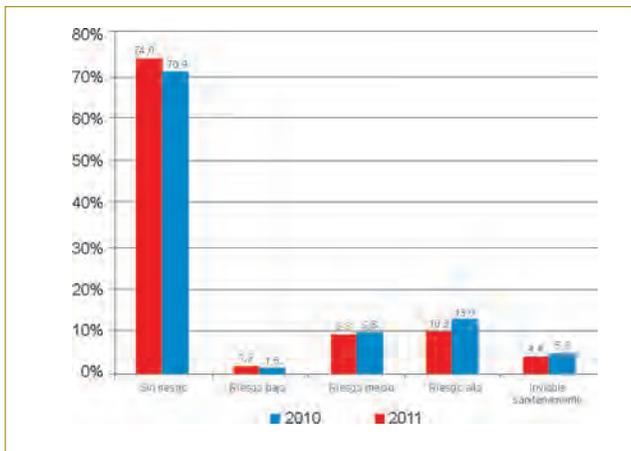
Quince municipios en el 2010 y doce municipios en el 2011 registraron más del 50% de las muestras ubicadas en el rango “MEDIO” de calidad del agua.

El mayor porcentaje de muestras catalogadas como de “MALA” a “MUY MALA” calidad se ubica en 62 municipios: 18 en Antioquia, 19 en Caldas, 3 en Cundinamarca y Santander, 2 en Magdalena y Tolima, 6 en Valle del Cauca, y uno en Arauca, Caquetá, Cesar, Córdoba, Huila, La Guajira, Meta, Nariño y Quindío.

### Índice de Riesgo por Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA)

Para calcular el IRCA se tiene información de 29.928 muestras de 982 municipios en el año 2010 y de 34.651 muestras de 1011 municipios en el año 2011.

Se registraron 22.158 (74 %) y 24.561 (70,9 %) muestras “SIN RIESGO”, 580 (19 %) y 526 (15 %) en “RIESGO BAJO”, 2776 (9,3 %) y 3335 (9,6 %) en “RIESGO MEDIO”, 3094 (10,3 %) y 4496 (13 %) en “RIESGO ALTO” y 1320 (4,4 %) y 1733 (5 %) en el nivel de “RIESGO INVIABLE SANITARIAMENTE”, en ese orden (figura 2).



**Figura 2.** Frecuencia de ocurrencia del IRCA en 2010 y 2011.

Lo anterior indica que por lo menos un 70,9 % de las muestras de vigilancia de la calidad del agua potable resultó apto para el consumo humano.

Los municipios que registraron las peores condiciones de calidad del agua para consumo humano, es decir, que el 100 % de las muestras se ubicó entre los niveles de riesgo “ALTO” e “INVIABLE SANITARIAMENTE”, aparecen más adelante (cuadro 7).

### Índice de Continuidad (IC)

Para el análisis del IC se contó con 3074 datos de 253 municipios en el año 2010 y con 2613 datos de 215 municipios en el año 2011. Según los datos, se encuentra que el servicio de acueducto a nivel nacional se presta en promedio durante 22 horas al día.

De acuerdo con esto, es posible afirmar que durante los años 2010 y 2011 la prestación del servicio de acueducto fue “continua”, con una frecuencia del 84 %; es decir, con servicio por periodos superiores a 23 horas diarias. Un 10 % de los abastecimientos prestó servicio

### Cuadro 7

Municipios con el 100 % de las muestras con IRCA de “RIESGO ALTO” e “INVIABLE SANITARIAMENTE”

Departamento	Municipios	
	2010	2011
Antioquia	Toledo	Toledo
Atlántico	Luruaco	
Bolívar	El Carmen de Bolívar, Norosí, San Jacinto y Soplaviento.	Norosí, Pinillos, Río Viejo, San Jacinto, San Jacinto del Cauca, Santa Catalina y Soplaviento
Boyacá	Labranzagrande	Labranzagrande
Caquetá	Morelia	Valparaíso
Casanare	Hato Corozal	Hato Corozal, Monterrey y Támara
Cauca	Florencia, La Sierra, La Vega, Piamonte, San Sebastián y Timbiquí	Florencia, La Sierra, La Vega, López, Piamonte, San Sebastián, Sotaró, Sucre y Timbiquí
Cesar	Pailitas	Astrea, Chimichagua, Pailitas y Tamalameque
Córdoba	Canalete, San Pelayo y Tuchín	Las Córdobas
Guainía		Cacahual y Puerto Colombia
Cundinamarca	Beltrán	Dibulla
Huila	Oporapa	
La Guajira	Dibulla	
Magdalena	Aracataca, Cerro San Antonio, Pedraza, San Zenón, Sitionuevo, Tenerife y Zapayán	Pedraza, Santa Bárbara del Pinto, Sitionuevo y Zapayán
Meta	Guamal y La Macarena	
Nariño	Francisco Pizarro, Samaniego y San Lorenzo	Barbacoas, Belén, Francisco Pizarro, Imués, Mosquera, Ricaurte y San Lorenzo
Norte de Santander	Bucarasica	San Calixto
Putumayo	Colón, Orito, Puerto Asís, Puerto Guzmán y Valle del Guamuez	
Santander	Jordán y San Benito	Albania, Betulia, Coromoro, El Peñón, Encino, Jordán, San Andrés, San Joaquín, Santa Helena de Opón, Sucre y Vetas
Sucre		Chalán y San Benito Abad
Tolima	Cajamarca, Roncesvalles y Valle de San Juan	Ataco, Cajamarca, Palocabildo, Planadas, Rovira, Valle de San Juan y Villarrica
Vaupés	Carurú y Taraira	

entre 18 y 23 horas diarias, un 4 % entre 10 y 18 horas diarias y un 3 % menos de 10 horas diarias.

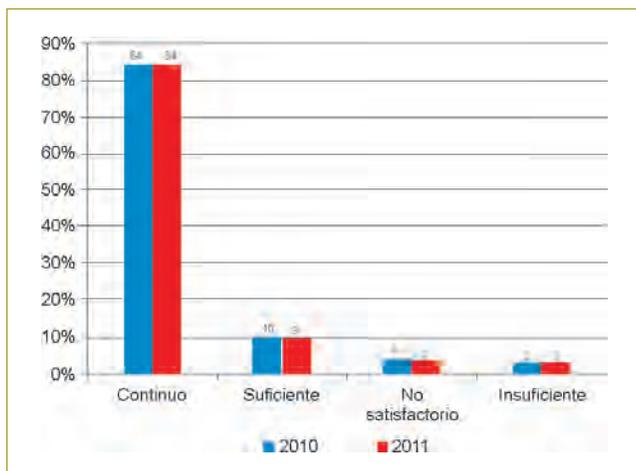


Figura 3. Índice de Continuidad (IC).

### Índice de Tratamiento (IT)

El análisis de 473 plantas de purificación de agua existentes en 314 municipios del país indica que el 54 % son de tipo convencional, de las cuales 24 disponen de unidades de presedimentación, 214 de desarenación, 217 de mezcla rápida, 210 de aplicación de químicos, 196 de coagulación, 267 de floculación, 263 de sedimentación, 308 de filtración y 292 de desinfección.

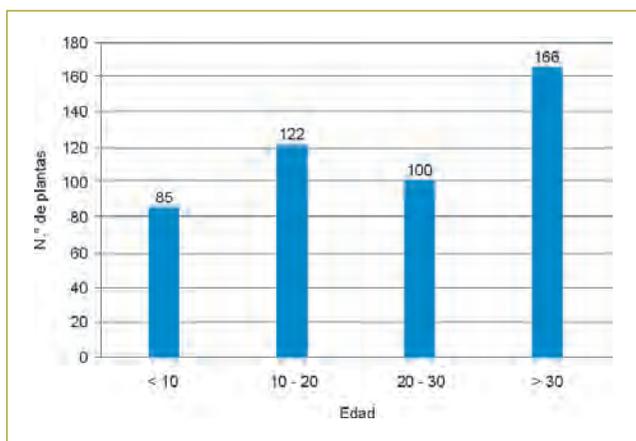


Figura 4. Número de plantas por rango de edad.

De las 473 plantas de potabilización analizadas, 166 tienen más de 30 años (figura 4), distribuidas así: 11,4 % en Antioquia, 7,2 % en Caldas, 10,2 % en

Cundinamarca, 6 % en Santander y 20,5 % en el Valle del Cauca. Con menos de 10 años se encuentran 85 sistemas de potabilización, ubicados principalmente en los departamentos de Antioquia (15,3 %), Boyacá (11,8 %), Cundinamarca (11,8 %) y Córdoba (10,6 %).

### Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp)

El Irabapp (ecuación 4.6) es la ponderación de los factores de tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de suministro de agua para consumo humano. Se clasifica de acuerdo con lo indicado en el cuadro siguiente (cuadro 8), en el que se modifica la clasificación original del Iraba (cuadro 6), teniendo en cuenta que en este trabajo el puntaje máximo para el IT es de 50 puntos, pues no se conocen datos de la dotación del laboratorio ni de trabajadores certificados en la planta de purificación.

$$Irabapp = 70 - (IT + IC) \quad (4.6)$$

Donde:

pp = persona prestadora.

IT = Índice de Tratamiento (máximo 50 puntos).

IC = Índice de Continuidad (máximo 20 puntos).

Se analizaron 44 prestadores del año 2010 y 58 del año 2011, ubicados principalmente en los departamentos de Antioquia, Caldas y Valle del Cauca.

Durante los años 2010 y 2011, el IT para la mayoría de los prestadores fue de 50 puntos y el IC de 20 puntos, lo cual indica que se dispone de todos los procesos requeridos para el tratamiento del agua cruda y que existe un suministro continuo de agua potable.

En los años 2010 y 2011, 42 y 55 prestadores, respectivamente, exhibieron un Iraba que los clasifica como “SIN RIESGO”, es decir, que pueden continuar prestando el servicio de agua potable. Los municipios de Villanueva (La Guajira) y Villavicencio (Meta) calificaron como de “RIESGO BAJO” y Yarumal (Antioquia) como de “RIESGO ALTO”.

### CONCLUSIONES

Los valores del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA) de los años 2010 y 2011 mostraron que las fuentes su-

**Cuadro 8**  
Clasificación del nivel del riesgo en salud por Irabapp  
y acciones que deben realizarse [15]

Clasificación Iraba (%)	Nivel de riesgo a la salud	Acciones
49,1 - 70	Muy alto	Requiere la formulación inmediata de un plan de cumplimiento a corto, mediano y largo plazo por parte de la persona prestadora, con la verificación de la SSPD.
28,1 - 49	Alto	Requiere la formulación e implementación de un plan de acción a corto, mediano y largo plazo, con la verificación de la SSPD.
17,6 - 28	Medio	La persona prestadora debe disminuir, mediante gestión directa, las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio.
7,1 - 17,5	Bajo	La persona prestadora debe eliminar, mediante gestión directa, las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio.
0 - 7	Sin riesgo	La persona prestadora cumple con las disposiciones legales vigentes en materia de agua para consumo humano. Continuar con la prestación del servicio.

perfiles analizadas fueron de calidad “mala” a “muy mala” en más del 79 % de las muestras, entre el 3 y 8 % fueron agua de “BUENA” calidad y en ningún caso se clasificaron como de calidad “EXCELENTE”.

El IRCA calculado indica que en los años 2010 y 2011 el agua suministrada en el país se clasificó como “SIN RIESGO”, con una frecuencia de ocurrencia cercana al 74 %, es decir, que se suministró agua apta para el consumo humano. Sin embargo, un 5 % del IRCA refleja que el agua suministrada fue de “RIESGO INVIABLE SANITARIAMENTE” en 251 municipios durante el año 2010 y en 351 municipios en el año 2011.

Durante los años 2010 y 2011 se observó un índice de continuidad del 84 %, que señala que el servicio de acueducto fue continuo por periodos superiores a 23 horas diarias.

El análisis de 473 plantas de tratamiento de agua construidas en 314 municipios del país indica que el 54 % son de tipo convencional, de las cuales 166 tienen más de 30 años de construcción.

El Irabapp clasifica a los 44 prestadores del servicio en el año 2010 y a los 58 del 2011, como proveedores de agua SIN RIESGO para la salud, o sea, cumpliendo con las disposiciones legales para consumo humano.

## REFERENCIAS

- Ibarra Prado, N.A. (2013, abril). Valorización del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), del Índice de Tratamiento (IT), del Índice de Continuidad (IC) y del Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp), para el periodo 2010 - 2011, de sistemas de tratamiento de agua potable. Proyecto de grado. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, maestría en Ingeniería Civil, énfasis en Ingeniería Ambiental.
- Universidad de Pamplona (2012). Índices de Calidad (ICAS) y de Contaminación (ICOS) del agua de importancia mundial, capítulo III. Disponible en [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo3.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf). Consultado el 13 de octubre de 2012.
- Sistema de Información Ambiental (SINA) (2010). Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Disponible en <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/022166/PARTE1.pdf>. Consultado el 13 de octubre de 2012.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Informe Nacional del Agua. Disponible en [http://www.engr.colostate.edu/~neilg/ce\\_old/projects/Colombia/Colombia/cd1\\_files/spanish/12%20ena%20IDEAM%20study.pdf](http://www.engr.colostate.edu/~neilg/ce_old/projects/Colombia/Colombia/cd1_files/spanish/12%20ena%20IDEAM%20study.pdf). Consultado el 13 de octubre de 2012.
- Torres, P. et al. (2008). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Samboñi, N. et al. (2011). *Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta*, vol. 13, N.º 12, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad del Valle, pp. 49-60.
- Arango, M. (2008, julio). Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, N.º 9, pp. 121-141. Medellín: Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Jaramillo, C. (2010). Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia. *Revista de Ingenierías*, vol. 10, N.º 19, pp. 33-46. Medellín: Universidad de Medellín.
- Defensoría del Pueblo. Diagnóstico de la calidad del agua para consumo humano 2006 y 2007. Disponible en [http://www.defensoria.org.co/red/anexos/pdf/02/informe\\_136.pdf](http://www.defensoria.org.co/red/anexos/pdf/02/informe_136.pdf). Consultado el 14 de octubre de 2012.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2010). Estudio sectorial Acueducto y Alcantarillado, 2006 – 2009. ISBN 978-958-98816-7-5. Bogotá, D.C.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2011). Estudio sectorial Acueducto y Alcantarillado, 2010. ISBN 978-958-98816-7-5. Bogotá, D.C.
- Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del

Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Sección II, título C, Sistemas de Potabilización. Bogotá, D.C.

13. UNEP (2007). Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report. Ontario, Canadá.
14. Ministerio de la Protección Social (2007). Decreto 1575 de 2007, "Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano".
15. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). Resolución 2115 DE 2007.

# Sobre la razonabilidad social de las tarifas de peaje en las carreteras colombianas

## Social reasonableness of toll rates in Colombian highways

**FERNANDO SÁNCHEZ SABOGAL**

Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia

elexdos@gmail.com

Recibido: 15/04/2013 Aceptado: 30/04/2013

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

A pesar del rezago en infraestructura vial que presenta Colombia, el valor de las tarifas de peaje por kilómetro que debemos pagar los colombianos se encuentra entre los más costosos del planeta. Para el autor, el problema no es sólo el simple valor de la tarifa sino, además, la magnitud de ésta en relación con la calidad técnica de las carreteras donde ella se debe pagar y con los índices de calidad de vida de los habitantes del país. En ese orden de ideas, se ha definido el término “razonabilidad social de las tarifas de peaje”, como la relación entre el PIB per cápita y la tarifa de peaje por cada 100 kilómetros de carretera servida.

Comparando las tarifas vigentes en Colombia con las establecidas en Chile, México, Estados Unidos de América, Francia y España, el autor llega a la conclusión de que las razonabilidades sociales de las tarifas colombianas para cualquier tipo de vehículo están muy por debajo de las de los demás países estudiados, con el agravante de que en la mayoría de ellos las tarifas corresponden a autopistas de doble calzada y control total de accesos (inexistentes en Colombia) y donde, además, el usuario dispone de la posibilidad de emplear vías alternas pavimentadas y totalmente libres de peaje.

**Palabras claves:** tarifas de peaje, usuarios, razonabilidad social.

### Abstract

Despite the underdevelopment of the highway infrastructure evidenced in Colombia, the toll rates per kilometer that Colombians are required to pay are amongst the highest in the world. For the author, the problem does not only lay in the cost but also in the relationship between it, the technical quality of the roads, and the quality of life of the country residents. Therefore, the term “social reasonableness of toll rates” has been defined as the relationship between the Gross Domestic Product (GDP) per capita and the toll rate for each 100 kilometers of traveled highway. By comparing the existing Colombian fares with those present in Chile, Mexico, the United States, France and Spain, the author arrives at the conclusion that the social reasonableness of the Colombian toll rates for any type of vehicle are well below those of the other countries in this study. The situation worsens when considering that the majority of the countries used for comparison have freeways with total access control, which is inexistent in Colombia. In addition, these countries offer users the possibility to utilize several alternate toll-free paved roads.

**Keywords:** Toll rates, users, social reasonableness.

“Aquí nos quieren convencer de que la plata en manos de los ricos genera desarrollo, mientras que en manos de los pobres lo que produce es inflación”.

Jorge Carrillo Rojas  
Presidente de la Unión de Trabajadores  
de Colombia (UTC)

## ANTECEDENTES

Han pasado tres lustros desde que el autor elaboró un documento titulado “Reflexiones de un usuario sobre las concesiones viales en Colombia”<sup>1</sup> en el que consideraba, con bastante ingenuidad, que las tarifas de peaje deberían ser compatibles con los beneficios recibidos por los usuarios y con las ecuaciones financieras de los concesionarios pero, ante todo, socialmente razonables.

Debido a que no existía una manera objetiva de establecer qué tan razonables podían resultar las tarifas de peaje, el autor ideó el término “razonabilidad social de las tarifas de peaje”, el cual definió como la relación entre el PIB per cápita y la tarifa de peaje por cada 100 kilómetros de carretera servida. En aquel instante, la tarifa para los vehículos livianos en Colombia era, en promedio, de US\$0,04/km, valor que duplicaba el promedio cobrado en las autopistas de peaje de los Estados Unidos de América. Como consecuencia de ello y comparando los datos colombianos con los prevaecientes en ese momento en otros países latinoamericanos, se llegó a la conclusión de que la razonabilidad social de las tarifas colombianas era, en la práctica, la más baja dentro del grupo analizado.

Aunque el autor era funcionario del Instituto Nacional de Vías, entidad encargada en esa época de estructurar y administrar los proyectos de concesión de las carreteras colombianas, su conclusión fue ignorada por sus superiores y el tiempo parece haber demostrado que tanto el Invías como las entidades que lo sustituyeron en la función de administrar las concesiones en los años siguientes, mantuvieron los intereses del usuario al margen del desarrollo del sistema y tal pareciera que en la actualidad el Ministerio de Transporte fuera incapaz

de concebir un solo proyecto vial nuevo que no sea financiado por el mecanismo de la concesión.

Transcurridos quince años desde la elaboración de ese informe, parece oportuno retomar las cifras para determinar si, en relación con la razonabilidad social, las tarifas de peaje se han vuelto más justas y amables con los usuarios de la red vial nacional o si estos siguen siendo ordeñados inmisericordemente por una élite oligopólica cada vez más dominante que diligente.

## LA TARIFA DE PEAJE

Es, en los términos más elementales, la suma que exige la sociedad explotadora de una vía de comunicación para permitir que el usuario pueda recorrerla. En el esquema que maneja el estado colombiano, ello va unido a una forma particular de financiación que les permite a las sociedades concesionarias construir o rehabilitar las vías y luego mantenerlas y explotadas durante el tiempo que dura la concesión, amortizando las inversiones y obteniendo beneficios.

Los estudios que se realizan para definir las tarifas se suelen fundamentar en sesudas elucubraciones sobre un elevado y arbitrario número de factores pero, como lo afirman Valencia y Mora<sup>2</sup>, careciendo de “unos indicadores o parámetros que permitan establecer los niveles de permisibilidad del precio por el uso de la vía, sujeto a las condiciones y economía de la población”, cuya incorporación parecería indispensable como elemento de valoración en materia de peajes.

El hecho tangible es que, independientemente de que las tarifas hayan sido obtenidas a partir de la aplicación de las más rigurosas teorías de la economía del transporte o de simples actos de taumaturgia, las sumas de peaje que debe abonar un usuario para circular con un vehículo liviano por algunos tramos de la red vial nacional en el año 2013, son las que se muestran en el cuadro 1.

1. Fernando Sánchez Sabogal (1998). “Reflexiones de un usuario sobre las concesiones viales en Colombia”, Jornadas de Ingeniería de la Universidad Nacional, Manizales.

2. William Valencia R. & Guillermo Mora Carreño (2008, diciembre). “Identificación de criterios en materia tarifaria y de localización de estaciones de peajes. Visión alternativa sobre el criterio de autosostenibilidad”, OFRE.

**Cuadro 1**  
Sumas que se deben pagar por peaje en algunos tramos de la red vial nacional  
(vehículos livianos)

Tramo (Nota 1)	Peaje total automóviles (\$ col.)	Longitud del tramo (km)	Tarifa/ km (\$ col.)	Tarifa/ km (US \$) (Nota 2)
Bogotá - Briceño	7 500	30	250,0	0,130
El Cortijo - Villeta	15 200	81	187,7	0,097
Cartagena - Barranquilla	17 600	109	161,5	0,084
Bogotá - Los Alpes	6 400	38,3	167,1	0,087
Bogotá - Girardot	16 200	134	120,9	0,063
Neiva - Espinal - Girardot	25 000	168	148,8	0,077
Bogotá - Villavicencio	30 500	95	321,1	0,167
Santa Marta - Paraguachón	30 700	250	122,8	0,064
Los Patios - La Calera - Guasca	6 100	35,7	170,9	0,089
<b>Promedio (Nota 3)</b>				<b>0,086</b>

Nota 1: Los tramos incluidos en la tabla forman parte de la red concesionada, con excepción del último

Nota 2: El cambio a dólares se ha realizado con la tasa representativa a 30 de junio de 2013 (1 US \$ = \$ 1928 col.)

Nota 3: El promedio no incluye el peaje unitario del tramo Bogotá - Villavicencio

A título comparativo, en el cuadro 2 se incluyen las sumas que, por el mismo concepto, sufragan durante el mismo año los usuarios de vehículos livianos en algunas carreteras de Estados Unidos de América, Francia, España, México y Chile. Lo más llamativo es que las tarifas unitarias colombianas exceden en más de 100 % las chilenas y, sin embargo, los rasgos técnicos de las carreteras concesionadas de Chile y la calidad del servicio que se brinda allí a los usuarios no desmerecen en lo más mínimo en relación con lo que ofrecen los concesionarios colombianos.

## LA RAZONABILIDAD SOCIAL DE LAS TARIFAS

Como ya se mencionó, la razonabilidad social se obtiene dividiendo el PIB per cápita por la tarifa de peaje por cada 100 kilómetros de carretera a disposición del usuario.

El uso del PIB per cápita como medida del bienestar social o de la calidad de vida de los habitantes de un país ha sido objeto de muchas críticas. La principal de ellas, el hecho evidente de que es un concepto hipotético y una representación estadística apenas ilustrativa de cómo se repartiría el producto en partes iguales entre todos los habitantes del país. Además, se reconoce que el PIB per cápita no contabiliza externalidades negativas, ni es cierto que toda la producción incrementa el bienestar material.

Debido a ello, algunas organizaciones han propuesto el empleo de otros indicadores para medir mejor el nivel de desarrollo humano de un territorio. En los años noventa, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) propuso el Índice de Desarrollo Humano (IDH), indicador social estadístico compuesto por tres parámetros: 1) salud, medida según la esperanza de vida; 2) educación, medida en función de una combinación ponderada de la tasa de alfabetización de adultos y de la tasa bruta de matrícula combinada de primaria, secundaria y superior, y 3) nivel de vida, medido a través del PIB per cápita.

En el cuadro 3 se presentan los valores del PBI per cápita estimados por el Fondo Monetario Internacional para el presente año en Colombia y en los países incluidos en el cuadro 2, así como los valores del IDH estimados por el PNUD en 2012 para esos mismo países, según un informe presentado en Ciudad de México el 14 de marzo del presente año<sup>3</sup>. Como lo muestra la figura 1, la correlación entre estos dos parámetros a partir de la información de los seis países es muy elevada y dado que, además, ellos presentan relación de causalidad, resulta lícito usar el PIB per cápita como parámetro

3. PNUD (2013). "Human Development. Report 2013. The Rise of the South. Human Progress in a Diverse World".

## Cuadro 2

Sumas que se deben pagar por peaje en algunos tramos de carreteras de otros países  
(vehículos livianos)

Tramo	Peaje total automóviles (moneda local)	Longitud (km)	Tarifa/ km (moneda local)	Tarifa/ km (US \$)
<b>Estados Unidos de América<sup>4 5 6</sup></b>				
Florida Turnpike (Miami – Orlando)	17,90	340,5	0,053	0,053
Pennsylvania Turnpike (Pittsburg – Harrisburg)	19,00	307,2	0,062	0,062
Lake Pontchartrain Causeway	3,00	38,35	0,078	0,078
			<b>Promedio</b>	<b>0,064</b>
<b>Francia<sup>7</sup> (Nota 1)</b>				
París – Marsella	57,10	766,5	0,0745	0,097
París – Lille	15,70	210,22	0,0747	0,097
París – Niza	74,10	917,0	0,0808	0,105
Lyon – Montpellier	24,40	303,05	0,0805	0,105
			<b>Promedio</b>	<b>0,101</b>
<b>España<sup>8 9</sup> (Nota 1)</b>				
Burgos – Armiñón	11,85	84,3	0,141	0,183
Valencia – Alicante	16,85	148,5	0,113	0,148
Sevilla – Cádiz	7,15	93,8	0,076	0,099
Málaga – Estepona	7,55	82,7	0,091	0,119
Zaragoza – Mediterráneo	29,15	215,5	0,135	0,176
Madrid – Arganda del Rey	3,60	33,9	0,106	0,138
Bilbao – Zaragoza	31,45	294,42	0,107	0,139
			<b>Promedio</b>	<b>0,143</b>
<b>México<sup>10</sup> (Nota 2)</b>				
México – Cuernavaca	95,00	85,0	1,118	0,089
México – Puebla	130,00	132,0	0,985	0,079
Monterrey – Nuevo Laredo	205,00	220,0	0,932	0,075
Guadalajara – Colima	232,00	198,0	1,171	0,094
			<b>Promedio</b>	<b>0,084</b>
<b>Chile<sup>11</sup> (Nota 3)</b>				
Temuco – Río Bueno	2500,00	171,7	15,46	0,029
Santiago – Los Vilos	5200,00	218,0	23,85	0,047
Santiago – San Antonio	2300,00	131,4	17,50	0,034
			<b>Promedio</b>	<b>0,037</b>

Nota 1: Conversión euro – dólar: 1 € = 1,30 US\$

Nota 2: Conversión peso mexicano – dólar: 1 \$ mex. = 0,08 US\$

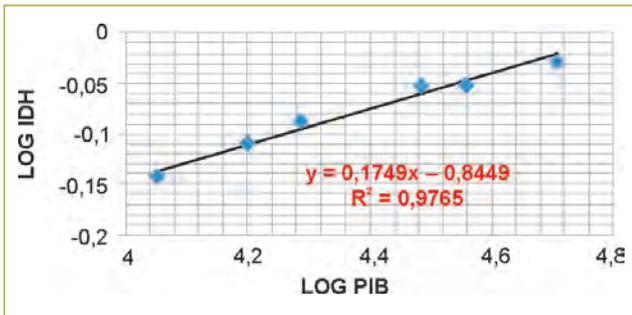
Nota 3 Conversión peso chileno – dólar: 1 \$ chil. = 0,0019763 US\$

4. [www.floridasturnpike.com/](http://www.floridasturnpike.com/)
5. [www.paturnpike.com/toll/tolls.aspx](http://www.paturnpike.com/toll/tolls.aspx)
6. [www.thecauseway.us/causeway/default.php](http://www.thecauseway.us/causeway/default.php)
7. [www.autoroutes.fr/](http://www.autoroutes.fr/)
8. [www.aseta.es](http://www.aseta.es)
9. [http://www.fomento.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIRECCIONES\\_GENERALES/CARRETERAS/PEAJES/](http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CARRETERAS/PEAJES/)
10. <http://www.capufe.gob.mx/portal/site/wwwCapufe/menuitem.4b3d9573af6a7fe05a034bd7316d8a0c/>
11. [www.concesiones.cl](http://www.concesiones.cl)

para estimar si las tarifas de peaje impuestas en las carreteras colombianas guardan relación de equidad con las vigentes en los demás países incluidos en el análisis.

**Cuadro 3**  
 PIB per cápita e Índice de Desarrollo Humano (IDH)

País	PIB per cápita <sup>12</sup> (US \$)	IDH
Colombia	11 248	0,719
Estados Unidos	51 248	0,937
Francia	35 941	0,893
España	30 620	0,885
México	15 931	0,775
Chile	19 474	0,819



**Figura 1.** Relación entre el PIB per cápita y el IDH.

En ese orden de ideas, el cuadro 4 presenta los valores de la razonabilidad social de las tarifas para los vehículos livianos en los seis países, a partir de los PIB per cápita incluidos en la primera columna del cuadro 3 y de las tarifas medias de peaje por kilómetro tomadas de la última columna de cada uno de los cuadros 1 y 2.

Más que los valores exactos de la razonabilidad social, lo verdaderamente relevante son las relaciones entre los órdenes de magnitud de ella en los diversos países objeto del análisis. Desprevenidamente, se podría suponer que la situación colombiana es muy similar a la de México y no muy apartada de la de España. La realidad, sin embargo, es muy diferente, pues mientras en dichos países las carreteras de peaje son autopistas

**Cuadro 4**

Razonabilidad social de las tarifas de peaje para vehículos livianos

País	PIB per cápita (US \$)	Tarifa media (US \$/100 km)	Razonabilidad social
Colombia	11 248	8,60	1307
Estados Unidos	51 248	6,40	8007
Francia	35 941	10,10	3558
España	30 620	14,30	2141
México	15 931	8,40	1897
Chile	19 474	3,70	5263

en el sentido estricto de la palabra, con doble calzada y control total de accesos, las carreteras concesionadas en Colombia tienen muchos kilómetros con calzada bidireccional y ninguna cuenta con el control completo de accesos requerido por una autopista. Además, se debe tener presente que, al contrario de Colombia, tanto en México como en España el Estado les ofrece a los usuarios vías alternas pavimentadas y libres de cuotas de peaje.

La situación colombiana resulta más deprimente si se compara con la de Francia o los Estados Unidos de América. Por ejemplo, el peaje en el *causeway* del lago Pontchartrain, constituido por dos viaductos independientes de doble calzada que atraviesan el lago en una longitud de 38,35 km (figura 2), es inferior al que se cobra en el tortuoso tramo de calzada de dos carriles Patios - La Calera - Guasca (figura 3), a pesar de las enormes diferencias existentes en cuanto a complejidad técnica y costo de los dos proyectos y a la circunstancia de que cada viaducto tiene una longitud mayor en más de tres kilómetros que nuestro tramo de carretera.



**Figura 2.** Causeway del lago Pontchartrain (tomada de [www.thecauseway.us/causeway/default.php](http://www.thecauseway.us/causeway/default.php)).

El hecho de que en las carreteras colombianas otorgadas en concesión no exista control total de accesos crea un agravante adicional para los usuarios pues, en la práctica, las tarifas les resultan mucho más onerosas y tanto más cuanto menor sea el uso que hagan de un de-

12. International Monetary Found (2013, April). “World Economic and Financial Surveys. World Economic Outlook Database”.

terminado sector, debido a que al ingresar a éste deben abonar el importe completo de la tarifa única establecida para cada tipo de vehículo, sin importar la distancia que vayan a recorrer allí. Como lo ilustra la figura 4, esto hace que la tarifa/km no guarde una correspondencia lineal recta con la distancia efectivamente recorrida por el vehículo dentro del sector.



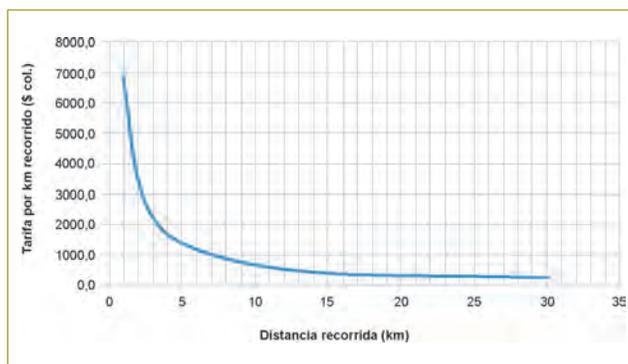
**Figura 3.** Carretera Patios - La Calera.

### LA RAZONABILIDAD SOCIAL DE LAS TARIFAS PARA LOS VEHÍCULOS DE CARGA

El servicio de transporte de carga por carretera es un factor determinante para la competitividad del país, no sólo por su incidencia dentro de los costos de las mercancías, sino por ser la principal alternativa para su movilización. De acuerdo con datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) publicados por el Ministerio de Transporte<sup>13</sup>, durante los años recientes el PIB del sector transporte ha representado cerca del 5 % del PIB nacional, en el que los servicios de transporte por carretera han contribuido en una proporción superior al 70 %. En 2011, el 98 % de la carga nacional, excluyendo el carbón y los hidrocarburos, se movilizó por este modo, lo que lo convierte en un soporte fundamental del sector productivo.

Como resultado de esta tendencia, el impacto de los servicios del transporte de carga por carretera en la estructura de costos del comercio exterior es significativo. Es así como los fletes de transporte de carga

por carretera representan, en promedio y según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), cerca del 22 % del total de los costos de Distribución Física Internacional (DFI). Por lo tanto, la incidencia que tiene el costo de los peajes sobre ellos es significativa.



**Figura 4.** Distancia recorrida por un vehículo liviano vs. tarifa efectiva de peaje por kilómetro en el tramo Bogotá – Briceño.

Empleando un procedimiento similar al descrito para los vehículos livianos, se determinaron las tarifas de peaje por kilómetro para los vehículos de carga dominantes dentro del parque automotor (C2, C3 y C3-S2) en algunos tramos de la red vial nacional y se compararon con las vigentes para el mismo tipo de vehículos en una muestra de carreteras de peaje de Estados Unidos, Francia, España, México y Chile. Los resultados se presentan resumidos en la tabla 5. Con el fin de no distorsionar los cálculos para las carreteras colombianas, se excluyeron de ellos las tarifas establecidas en la carretera Bogotá – Villavicencio (en US\$/km: 0,54 para los camiones C2; 0,607 para los C3 y 0,760 para los C3-S2) donde, por su cuantía, parece que la tarifa/km aplicada a los camiones C2 fuera la más alta del mundo para una carretera sin control de accesos y con calzada simple bidireccional. A pesar de esta exclusión, nuestras tarifas medias por kilómetro para los camiones superan ampliamente las establecidas en los otros países americanos incluidos en el estudio y también, en algunos casos, las vigentes en las autopistas francesas y españolas.

Partiendo de los valores del cuadro 5, se ha calculado la razonabilidad social de las tarifas para estos tres tipos de camiones, con los resultados que se presentan en el cuadro 6, los cuales no pueden ser más desalentadores para el usuario colombiano.

13. Ministerio de Transporte (2012). “Transporte en cifras. Versión 2012”, Oficina Asesora de Planeación.

**Cuadro 5**

Sumas promedio por kilómetro que deben pagar por peaje los vehículos de carga en algunos tramos de carretera de diversos países

País	Tarifa/km (US\$)		
	Camión C2	Camión C3	Camión C3-S2
Colombia	0,143	0,280	0,379
Estados Unidos	0,131	0,182	0,267
Francia	0,226	0,309	0,309
España	0,216	0,216	0,267
México	0,141	0,141	0,273
Chile	0,068	0,119	0,119

Dentro del grupo incluido en el análisis, posiblemente sean las carreteras chilenas las más similares a las colombianas en cuanto a sus características técnicas y al esquema de funcionamiento de la concesión. Se aprecia, sin embargo, que las tarifas/km en Chile no sólo son muy inferiores a las colombianas para los tres tipos de camiones sino que, además, su razonabilidad social es cuando menos cuatro veces mayor. Si la situación colombiana se compara con la de los otros países incluidos en el análisis, cuyas vías son autopistas en el sentido estricto de la palabra, la tozuda realidad de las cifras no permite la más mínima discusión.

## COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

1. Los medios de comunicación colombianos han difundido repetidamente durante los últimos años la inconformidad de los usuarios por las que consideran elevadas tarifas de los peajes, tanto en las carreteras concesionadas como en las operadas directamente por la nación. El 17 de junio de 2011, por ejemplo,

el diario *El Tiempo* publicó, con el título “Los peajes más caros de América Latina”, un artículo en el que se menciona que, en cuanto a costos, Colombia es el segundo país con peajes más caros de la región después de El Salvador, con la salvedad de que en ese país hay un peaje cada 350 kilómetros. Así mismo, haciendo referencia a un estudio adelantado por la Universidad Manuela Beltrán, indica que “el valor de tránsito por kilómetro entre Bogotá y Villavicencio es tres veces mayor al que se paga entre Washington y Nueva York”.

2. El jueves 28 de octubre de 2012, *vanguardia.com* reprodujo unas declaraciones del presidente de la Federación Colombiana de Transportadores de Carga por Carretera (Colfecar), según las cuales los peajes que se pagan en Colombia son los más costosos del mundo, y representan el 11 % de los costos operativos del sector<sup>14</sup>.
3. El 20 de mayo de 2013, la revista *Semana* presentó un artículo en el que advirtió que los habitantes de La Calera preparaban una movilización para protestar contra las nuevas disposiciones que entrarían a regir en el peaje de Patios a partir del 1.º de junio del presente año. A juicio de los manifestantes, este peaje resultaba en la práctica el más caro de Sudamérica, inclusive para algunos vecinos que eran beneficiarios de algún subsidio.
4. En todos los casos, los usuarios han coincidido en un hecho incontrovertible: las tarifas de peaje por vehículo-km en la red vial nacional son muy elevadas

14. *vanguardia.com* (2012). “Los peajes colombianos son los más costosos del mundo: Colfecar”, jueves 18 de octubre.

**Cuadro 6**

Razonabilidad social de las tarifas de peaje para camiones

País	PIB per cápita (US\$)	Tarifa media (US \$/100 km)			Razonabilidad social		
		Camiones C2	Camiones C3	Camiones C3-S2	Camiones C2	Camiones C3	Camiones C3-S2
Colombia	11 248	14,3	28,0	37,9	787	402	297
Estados Unidos	51 248	13,1	18,0	26,7	3912	2847	1919
Francia	35 941	22,6	30,9	30,9	1590	1163	1163
España	30 620	21,6	21,6	26,7	1418	1418	1147
México	15 931	14,1	14,1	27,3	1130	1130	584
Chile	19 474	6,8	11,9	11,9	2864	1636	1636

y en algunas ocasiones escandalosas. Las cifras incluidas en este informe, provenientes de información del Invías y de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), lo confirman plenamente. “En Colombia se paga mucho más por usar las carreteras y con menos beneficios que en otros países”, aseveró el periódico *Portafolio* el 20 de junio de 2011.

5. “La infraestructura es cara y hay que pagarla”, sentenció el director de la ANI<sup>15</sup> respondiendo despectivamente al reclamo justo y prácticamente unánime de los usuarios, a la vez que anunciaba la instalación de casetas de peaje cada 40 km en todas las carreteras del país, sin que supiera explicar cuál era el criterio utilizado por la nación para cuantificar las tarifas en Colombia que, en promedio, exceden en más del 100 % las vigentes en las vías chilenas.
6. Evidentemente, la infraestructura es costosa, pero no sólo en Colombia sino en todo el mundo y, sin embargo, en países con mejores estándares de vida y de infraestructura carretera existen redes principales libres de peaje. Ello no significa que la red vial les haya salido gratis, sino que los estados han sido eficientes en la distribución de los recursos y, sobre todo, sus funcionarios han sido competentes en su administración y en el control de los contratos de construcción. En la referencia 1, el autor incluyó una comparación de los precios unitarios de 77 contratos suscritos en la época por el Invías, de los cuales nueve correspondían a la Subdirección de Concesiones. La conclusión fue que “los precios unitarios reconocidos en los contratos de concesión presentan una clara tendencia a ser mayores que los demás. En 18 de las 27 partidas de pago analizadas (67 % de los casos) son los máximos absolutos y en 24 de los 27 casos (89 %) superan el promedio general”. Tal vez en ese hecho podría el señor director de la ANI comenzar a explicarse la razón por la cual la infraestructura vial concesionada le ha venido saliendo tan cara a los colombianos.
7. De todas maneras y en aras de la duda, no sobraría que alguien comparara en detalle los costos de construcción, mantenimiento y operación de las carreteras en Colombia con los de las autopistas

de los otros países, para establecer si las elevadas tarifas de peaje colombianas son el resultado de un sinnúmero de sobrecostos ajenos a las operaciones de ingeniería y administración de los proyectos o si se derivan de estructuraciones que, simplemente, dan lugar a ganancias exorbitantes para los concesionarios. El segundo director general del Invías, refiriéndose a los contratos de concesión de la primera generación, afirmó lo siguiente en una de sus últimas intervenciones: “Nos inquieta la forma como se adelantan las inversiones con participación del sector privado. (...) En algunos casos, se han entregado concesiones que han resultado en que el sector privado en su legítimo ánimo por obtener rentabilidad económica con negocios basados en estructuras de costos desconocidas, termina obteniendo ganancias descomunales”<sup>16</sup>.

8. La “razonabilidad social”, definida y calculada en este informe, ilustra de manera cruda la manera como las tarifas de peaje vigentes en las carreteras colombianas resultan abusivas en relación con la calidad de vida y las posibilidades económicas de sus habitantes. No existe un número que establezca un límite entre lo que es una buena y una mala razonabilidad social de las tarifas de peaje. La importancia de este parámetro no radica, por lo tanto, en la magnitud escueta de su valor numérico, sino en la comparación de las razonabilidades obtenidas a partir de los datos de diferentes procedencias. Los gobiernos de los países donde las tarifas de peaje presentan una razonabilidad social más elevada, son más consecuentes con las posibilidades de sus habitantes y es casi seguro que éstos gozan de un mayor grado de bienestar. Vistas las tarifas colombianas, no resulta extraño que el índice Gini, reconocido indicador de desigualdad, ubique a Colombia en un lugar deshonrosamente preponderante, como se puede apreciar en el cuadro 7, elaborada a partir de los datos de un documento preparado por la CIA sobre una muestra de 136 países<sup>17</sup>.

15. Carlos A. Camacho Marín (2012). “Anuncio de la ANI de instalar peajes cada 40 km deja dudas en materia de infraestructura”. *Motor.com.co*, 18 de mayo de 2012.

16. Guillermo Gaviria Correa, intervención pública en julio de 1998.

17. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2172rank.html>, “The World Factbook. Country Comparison: Distribution of Family Income – Gini Index”.

**Cuadro 7**  
Índices Gini de los países incluidos en el estudio

Ranking	País	Índice Gini
8	Colombia	58,5
15	Chile	52,1
25	México	48,3
41	Estados Unidos	45,0
101	Francia	32,7
104	España	32,0

9. Como lo muestran los cuadros 4 y 6, las razonabilidades de las tarifas colombianas para todos los tipos de vehículos son muy inferiores a las de los demás países estudiados, con el agravante de que en la mayoría de estos últimos las tarifas corresponden a autopistas de doble calzada y control total de accesos y donde, además, el usuario dispone de la posibilidad de emplear vías alternas pavimentadas y libres de peaje.
10. El hecho de que no exista control total de accesos en las carreteras colombianas sometidas a peaje hace aun más lesivo el tributo para los usuarios, ya que deben pagar la tarifa plena así sólo requieran hacer un uso mínimo del trayecto cobijado por la caseta de cobro (figura 4). Esta situación resulta particularmente frecuente en las casetas ubicadas en el alfoz de los grandes centros urbanos, con el inmerecido beneficio adicional que ello reporta a quienes tienen las vías bajo su cuidado.
11. Este informe no puede terminar sin hacer mención de otros dos asuntos. El primero se refiere a las tarifas de peaje en la carretera Bogotá – Villavicencio. Impactante le debe resultar a un ciudadano del primer mundo enterarse de que la tarifa/km que le cobran por circular por esta abrupta y sobrecogedora vía en un automóvil ( $\$321/\text{km} = 0,167 \text{ US\$/km}$ ) triplica la que debe pagar por utilizar la Florida Turnpike o supera en un 60 % la exigida por circular por una espléndida autopista entre París y Niza. Y, en relación con los camiones, la tarifa unitaria del C2 ( $1041,1 \text{ \$/km} = 0.54 \text{ US\$/km}$ ) resulta casi ocho veces mayor que la que se paga en algunas carreteras concesionadas en Chile; dos y media veces mayor a la impuesta en las autopistas francesas y casi cuatro veces la autorizada en las autopistas mexicanas o estadounidenses. En lo que se refiere a los camiones C3 y C3-S2, las diferencias, aunque un poco meno-

res, no se encuentran muy alejadas de las anteriores (cuadro 6). El caso del C2 resulta especialmente preocupante, por cuanto es el tipo de camión utilizado de preferencia para el transporte de los productos agropecuarios desde el campo hacia los centros de consumo, motivo por el cual una tarifa escandalosa de peaje se refleja inevitablemente de manera adversa en el costo del mercado de todos los habitantes de la ciudad, con mayor impacto sobre aquellos que conforman los estratos de menor poder adquisitivo.

12. El segundo y último punto está relacionado con la calidad del servicio que están obligados los concesionarios a ofrecer a los usuarios, la cual se mide a través de unos indicadores técnicos y unos índices de estado que deben ser superados en los instantes acordados para su verificación. A comienzos de este siglo, el autor presentó un informe en el XIII Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos<sup>18</sup>, en el cual concluyó que los valores límites fijados a los diversos parámetros objeto de evaluación y la ponderación que se hacía de ellos en las fórmulas establecidas por el Invías para calcular el índice de estado, no consideraban adecuadamente el hecho de que el beneficiario primario en los contratos de concesión debía ser el usuario y no el concesionario. Además, se demostró que la aplicación de los factores incluidos en las fórmulas elaboradas para el cálculo del índice de estado podía conducir a combinaciones que implicaban sobrecostos a los usuarios y no motivaban el compromiso del concesionario con la calidad.
13. En el primer semestre del presente año el autor escribió un nuevo informe sobre el tema<sup>19</sup>, con el fin de analizar la situación actual, tomando como referencia principal la denominada Ruta del Sol. Aunque se estableció que, con el transcurso del tiempo, se han superado algunas de las deficiencias que presentaban los métodos aplicados en los contratos anteriores,

18. Fernando Sánchez Sabogal (2001). “Sobre el índice de estado en los contratos de concesión de la red vial nacional”, XIII Simposio Colombiano Sobre Ingeniería de Pavimentos, Universidad de los Andes, Bogotá, D. C.

19. Fernando Sánchez Sabogal (2013). “Los indicadores del sistema de gestión, el índice de evaluación global y el índice de estado en los contratos de concesión de las carreteras colombianas”, inédito.

se llegó a la conclusión de que el Estado continúa siendo laxo en relación con algunos indicadores de la calidad del servicio, al punto de que los valores límites que se consideran apropiados para algunos parámetros en los nuevos contratos resultarían intolerables en otros países.

14. Pero no se debe pasar por alto, tampoco, que al socaire de los aumentos que la nación autoriza a los concesionarios, el Ministerio de Transporte actualiza periódicamente las tarifas de peaje de las carreteras bajo administración del Invías sin que, en este caso, exista el compromiso de brindar a los usuarios los servicios auxiliares a los cuales están obligados los concesionarios ni, tampoco, haya obligación de cumplir los indicadores técnicos de estado<sup>20</sup>.
15. Recordando que las tarifas de peaje autorizadas en Colombia superan con creces las establecidas en países donde sus habitantes no sólo poseen un mayor poder de adquisición sino que, además, reciben un servicio mejor, en particular por el estándar más elevado de sus carreteras, es necesario que la ANI o la entidad que la reemplace en el futuro, imponga a los indicadores de estado unos requisitos más rigurosos, que resulten realmente consecuentes con las tarifas que pagan los usuarios de las concesiones

nacionales. Igualmente, no parece existir razón alguna para que el Instituto Nacional de Vías no aplique en las carreteras de peaje a su cargo unos criterios de valoración de estado y unos estándares de servicio similares o aun superiores a los establecidos en las vías concesionadas.

16. Es patente que, desde hace ya varios años, los gobiernos colombianos han venido derivando hacia otros fines casi la totalidad de los cuantiosos recursos que le genera el sector transporte, sin revertirle una cantidad razonable para sostenerlo e impulsarlo. En subsidio, han optado por acudir a la engañosa caja de Pandora de la concesión para paliar su consuetudinaria ineficiencia. Como consecuencia inevitable de este maniluvio, quienes terminan pagando, y a precios muy elevados, son, única y exclusivamente, los cada vez más empobrecidos usuarios. Hace dos décadas, un lector de un diario argentino sentenció, refiriéndose a las en ese entonces incipientes concesiones viales, que los usuarios “pagarán por tres lo que podía hacerse por uno y quedarán indefensos frente al canon y reconocimientos que determine el funcionario de turno, sin disposición legal que lo limite”<sup>21</sup>. ¡Todo un profeta!

20. Ministerio de Transporte, “Resolución 0000228 del 1.º de febrero de 2013”, Bogotá, D.C.

21 Ingeniero Bernardo J. Loitegui, “Carta de lectores”, diario *La Nación*, Buenos Aires, 10 de septiembre de 1990.

# Reducción del tiempo no productivo (NPT) en proyectos de perforación exploratoria de pozos petrolíferos en Colombia. Caso de estudio

## Non-Productive Time (NPT) reduction in exploratory oil drilling well projects in Colombia: A case study

GERMÁN EDUARDO GIRALDO, ALEXANDER CÁCERES RÍOS, JUAN CARLOS ALCALDE, CLARA LUCÍA MUÑOZ Y MARCELA SUÁREZ VELÁSQUEZ

Unidad de Proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

german.giraldo@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/04/2013 Aceptado: 30/04/2013

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

El costo diario de perforación exploratoria de un pozo petrolífero en Colombia puede variar entre los US\$80.000 y US\$180.000, dependiendo de la profundidad del objetivo geológico y la complejidad del pozo. Este costo puede aumentar si se materializan algunos riesgos u otros imprevistos, generando demoras durante la perforación y completamiento del pozo. El tiempo que se emplea para resolver estos problemas se denomina “tiempo no productivo” (en inglés, *Non-Productive Time*, NPT). El NPT registrado en este tipo de proyectos puede llegar a aumentar, e incluso a duplicar el tiempo y costo del proyecto. En este artículo se analizan las causas del NPT en tres proyectos de perforación exploratoria dentro del área de influencia de la compañía HDMI y se propone una serie de acciones correctivas y preventivas para reducir el NPT en los pozos analizados, que puede aplicarse a otros pozos de exploración, independientemente de su tamaño.

**Palabras claves:** tiempo no productivo, gestión de la calidad, pozos petrolíferos, perforación exploratoria, Colombia.

### Abstract

The daily cost of exploratory oil drilling well projects in Colombia may vary between US\$ 80,000 and US\$ 180,000, depending on the geological target depth and complexity of the well. This cost may increase if some risks materialize during drilling and completion of the well, thus causing delays. The time it takes to solve these problems is called “non-productive time” (NPT). The NPT registered in such projects, may increase and even double the project’s time and cost. In this paper, we analyze the causes of the NPT in three exploration drilling projects within the area of influence of the company HDMI and propose a set of corrective and preventive actions to consider for reducing the NPT in the wells tested, which can be applied to other exploratory wells regardless of size.

**Keywords:** Non-productive time, quality management, oil drilling well projects, exploratory drilling, exploratory wells, Colombia.

## INTRODUCCIÓN

El sector petrolero en Colombia tuvo en 2012 una participación del 9 % en el producto interno bruto (PIB) nacional (ANDI, 2013) y un incremento del 5,5 % frente al PIB del 2011 (ACP, 2013), año en el cual presentó la mayor tasa de crecimiento entre todos los sectores económicos de Colombia, con un aumento del 17 % (a precios constantes) frente al registrado en 2010, lo que a su vez lo convierte en una de las principales fuentes de crecimiento y desarrollo económico para la nación (ACP, 2012). Colombia se encuentra clasificado en el puesto 22 entre los 210 principales países productores de petróleo del mundo y en el lugar número 4 en Latinoamérica, con una producción promedio de 944 millones de barriles al día (CIA, 2013), lo cual equivale aproximadamente al 40 % de la producción de Venezuela (2,47 millones de barriles diarios), el principal productor latinoamericano (González Posso, 2011). La Asociación Colombiana del Petróleo (ACP) estima que la producción de petróleo en Colombia sobrepasó el millón de barriles en 2013, aumentando entre 9 y 12 % (ACP, 2013), lo que promete un mayor crecimiento.

A causa del aumento en la producción, las organizaciones que desarrollan actividades de exploración y explotación de petróleo en Colombia se han posicionado en los primeros lugares entre las compañías más grandes del país. Tal es el caso de la colombiana Ecopetrol y la canadiense Pacific Rubiales Energy (propietaria de Pacific Stratus, Kappa Energy Holdings y Meta Petroleum), que reportaron crecimientos en sus utilidades del 85 y el 109 %, respectivamente, en el 2011 con respecto al 2010 (Portafolio.com, 2012), y crecimientos, aunque un poco menores (-4,4 y -7,4 % para el 2012) en relación con 2011, que continúan siendo impresionantes y las posiciona como las compañías número 1 y número 7 entre las empresas del año en Colombia, considerando todos los sectores de la economía (Portafolio, 2013), siendo Pacific la segunda productora de petróleo y gas más grande del país.

Para mantener su posición entre las más grandes, las empresas requieren la reorganización, optimización y mejora continua de los procesos, con el fin de aprovechar al máximo la capacidad instalada y dar el uso adecuado a los recursos disponibles (humanos, tecnológicos, económicos, etc.); de lo contrario, el crecimiento podría verse frenado, provocando como consecuencia la desaceleración económica del sector y el país. La explo-

ración y perforación de pozos, así como la explotación del yacimiento constituyen los proyectos y operaciones de mayor importancia para estas organizaciones; por ende, su desempeño afecta el crecimiento actual de las regiones en las cuales se desarrollan, por lo que se hace necesario mejorar su productividad.

En Colombia, un pozo puede alcanzar profundidades entre 800 y 7000 metros (2000 y 22.000 pies), dependiendo de la región y de la profundidad a la cual se encuentre la estructura geológica o formación seleccionada con posibilidades de contener petróleo (Ecopetrol, 2011). Algunas regiones presentan alta complejidad e incertidumbre geológica, por lo que las operaciones de perforación requieren personal con conocimientos, habilidades y experiencia relacionados con el sector petrolero, y a su vez, demandan equipos de avanzada tecnología, al igual que la aplicación de estándares de seguridad (QHSE) y de conocimientos multidisciplinarios, tanto para el operador como para las compañías que prestan servicios asociados. Lo anterior hace que la perforación sea una actividad en la que se necesita una alta inversión de recursos (humano, financiero, equipos) tanto en la etapa de planeación como en la de ejecución.

El costo diario de perforación puede variar entre US\$80.000 y US\$180.000, dependiendo de la profundidad del objetivo geológico (yacimento) y la complejidad del pozo (direccionalidad) (HDMI, 2013); los costos están distribuidos aproximadamente en los siguientes servicios: equipo de perforación (taladro), equipo de perforación direccional, cementación, fluido de perforación, materiales tales como tubería de revestimiento, cabeza del pozo, tubería de completamiento, además del recurso humano, campamento, locación, vías de acceso y obras civiles menores. El costo del pozo puede aumentar si se materializan los riesgos registrados y analizados durante la planeación o ejecución del proyecto, generando problemas durante la perforación y completamiento del pozo. El tiempo que se emplea para resolver tales inconvenientes y realizar las operaciones adicionales necesarias para dar respuesta a la solución de estos problemas se clasifica como “tiempo no productivo” (en inglés, *Non-Productive Time*, NPT), definido como el periodo durante el cual no existe avance de acuerdo con el cronograma, retrasando los entregables.

El NPT se puede clasificar en la siguientes categorías: reparación del taladro, fallas en herramientas en fondo y en superficie, pega de tubería, pérdida de circulación del

lodo, control de pozo, espera por mal tiempo, espera por materiales; estos eventos no deseados tienen un impacto negativo sobre los objetivos gerenciales, aumentando principalmente el tiempo y costo del proyecto. Los riesgos se materializan por diferentes causas, las cuales se deben identificar y analizar para evitar que se presenten nuevamente durante el desarrollo del proyecto o proyectos posteriores.

En el presente artículo se muestran la recolección y el análisis de las principales causas del NPT durante la perforación de tres pozos petrolíferos en Colombia, operados por la compañía HDMI, y se propone un conjunto de acciones correctivas, preventivas y aspectos que hay que tener en cuenta para su reducción, con el fin de mitigar o eliminar las causas y, por ende, las consecuencias de estos riesgos, así como mejorar la planeación y ejecución de los proyectos de perforación petrolera, incrementando la productividad e impacto de este importante sector en la economía nacional.

## PROYECTOS DE EXPLORACIÓN Y PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE POZOS PETROLÍFEROS

En la industria petrolera, los principales proyectos se refieren a la exploración, perforación y la explotación de pozos. El término exploración se refiere a la búsqueda de yacimientos de petróleo o gas con base en investigaciones geológicas, en tanto que la perforación exploratoria se refiere a la localización de los depósitos de hidrocarburos a partir de los resultados de la exploración previa.

### Exploración

Consiste en localizar e identificar, con base en estudios geológicos, los lugares en los cuales existen formaciones, constituidas típicamente por mantos de rocas sedimentarias y arcillosas, que impiden la salida del petróleo a la superficie. La localización y la identificación se hacen sobre todo mediante fotografías aéreas, imágenes satelitales o imágenes de radar de algún área de interés potencial, y la identificación se realiza mediante la aplicación de métodos remotos, de superficie. Posteriormente se integra esta información y por último los geólogos crean modelos e interpretan la información resultante, para determinar si hay o no la posibilidad de que existan hidrocarburos en la zona.

Para ello se utilizan métodos de diferentes tipos, como los métodos remotos (gravimetría y magnetometría), métodos de superficie (cartografía geológica y columnas estratigráficas), así como el análisis de las muestras de rocas o geoquímicos, imágenes del subsuelo (datos sísmicos), análisis petrofísicos, geoquímicos y bioestratigráficos, la integración, modelamiento y evaluación de toda la información que sea posible recolectar sobre las estructuras que conforman el subsuelo, entre otros métodos y análisis. Finalmente, los geólogos crean modelos e interpretan la información resultante para determinar si hay o no la posibilidad de que existan hidrocarburos en la zona.

### Perforación de pozos

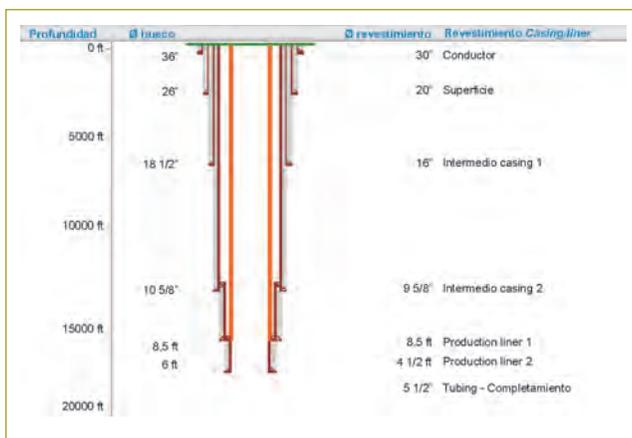
Luego de que se ha obtenido un concepto favorable acerca de la posibilidad de que existan depósitos de hidrocarburos en la zona, se inicia la perforación del pozo, el cual se localiza en una zona inexplorada y se le denomina “pozo exploratorio”. Dependiendo de la profundidad estimada (generalmente entre 800 y 7000 metros), el tipo de formación geológica y las condiciones propias del suelo de la zona, se selecciona el equipo de perforación más adecuado. El tiempo de perforación varía, dependiendo de las variables anteriores, y se estima entre dos meses y un año (HDMI, 2013).

El proceso de perforación se realiza por fases o etapas (figura 1), de tal manera que el tamaño del pozo (radio) sea mayor o más ancho en la parte superior y menor o angosto en la parte inferior, hasta llegar a la profundidad del objetivo del pozo (el yacimiento); además, hay que instalar un revestimiento por tamaño de hueco, con el fin de evitar derrumbes y darle estabilidad al hueco perforado.

Durante el proceso de perforación es indispensable la circulación de “lodo de perforación”, el cual les da consistencia y estabilidad a las paredes del pozo, enfría la broca y envía a la superficie el material triturado; el lodo es inyectado por la tubería de perforación y circula hacia la superficie a través del espacio entre la tubería y las paredes del pozo. A lo largo de este proceso se toman registros eléctricos que ayudan a identificar el tipo de formación geológica y a determinar sus características, como densidad, porosidad, contenido de agua, petróleo y gas natural. Adicionalmente, para proteger el pozo de problemas como filtraciones y derrumbes,

se adhieren a las paredes tubos de revestimiento con un cemento especial que se inyecta a través de la misma tubería de perforación, el cual se solidifica en cada etapa. Al terminar el proceso de perforación el pozo queda completamente “revestido”, garantizando su estabilidad e integridad, lo cual facilita el proceso de extracción del petróleo en la etapa de producción.

A continuación se presentan las secciones de hueco de un pozo y sus tamaños, al igual que el revestimiento correspondiente a cada sección para su estabilidad e integridad (HDMI, 2013) (figura 1).



**Figura 1.** Esquemático de un pozo petrolífero (fases por tamaños de hueco y revestimiento).

### Planeación y diseño de la perforación

La planeación de la perforación se inicia mediante la solicitud para la perforación del pozo, documento en el que se establecen los objetivos gerenciales del pozo, así como las coordenadas de perforación y trayectoria de éste. El grupo de personas encargadas de la perforación tiene como objetivo principal alcanzar la profundidad estimada en una forma eficiente, segura y económica, según el plan, y que permita una eficiente extracción del crudo, sin riesgo de que se presenten problemas de consistencia o estabilidad, es decir, que tenga “integridad mecánica”. El grupo lo integran diferentes profesionales, tales como geólogos, ingenieros de petróleos, ingenieros de perforación, ingenieros civiles, profesionales en QHSE, los cuales se encargan de la planeación y ejecución para una entrega exitosa del pozo, cumpliendo con los objetivos técnicos y gerenciales (alcance, costo, tiempo y QHSE), de acuerdo con el plan.

A renglón seguido se enumeran las actividades más importantes para la planeación del pozo:

- Evaluación de la información de pozos del área donde se pretende perforar.
- Identificación de los riesgos geológicos, geomecánicos y de perforación, además de otros eventos no deseados, y los planes para su gestión.
- Revisión de lecciones aprendidas para aplicarlas dentro de la perforación.
- Selección de la opción para perforar.
- Estimación de los costos y el presupuesto.
- Revisión de entrega de equipos críticos.
- Elaboración del cronograma del pozo.
- Programa del pozo.
- Procedimientos para la perforación de cada sección de hueco.

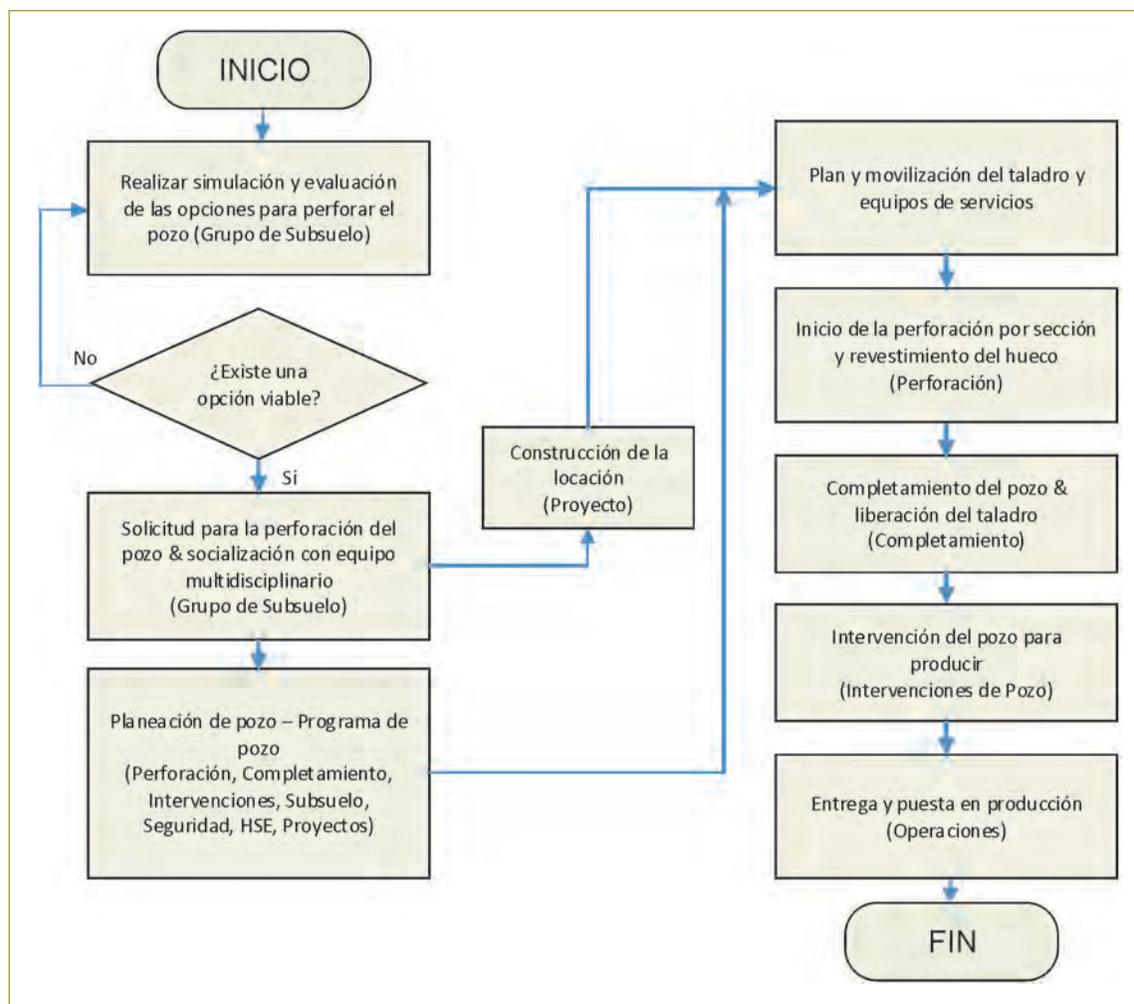
En la página siguiente se puede observar el proceso resumido para la perforación exploratoria de un pozo petrolífero (diagrama 1).

### METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio se divide en cuatro etapas. En la primera se revisó la bibliografía existente, se consultaron y examinaron diferentes estándares (PMI, ISO y API), artículos, documentos y estudios provenientes de bases de datos especializadas (Open Wells y Data Analyzer), de donde se extractaron datos relevantes acerca del proceso de perforación y las categorías de NPT, que constituyen el marco de referencia de este trabajo.

En la segunda etapa se seleccionaron aleatoriamente tres pozos (A, B y C) dentro del área de influencia de la compañía HDMI. Después se extractaron de las bases de datos mencionadas los datos correspondientes a cada una de las fallas y errores que pudieran generar NPT dentro de las actividades operativas que comprenden la perforación exploratoria para cada uno de los pozos: nombre de la actividad, duración, categorías y tiempo no productivo.

En la tercera etapa, la información recolectada se llevó a MS Excel, donde, utilizando tablas dinámicas, se clasificó, organizó y analizó, mediante el uso de técnicas como el histograma, diagrama de Pareto y diagramas de causa-efecto. Se estudiaron las principales categorías de fallas identificadas, con el fin de analizar sus causas.



**Diagrama 1.** Proceso resumido para la perforación exploratoria de un pozo petrolífero.

Por último, en la cuarta etapa se propuso un conjunto de acciones correctivas y preventivas que hay que tener en cuenta para reducir el NPT en los pozos analizados, que pueden aplicarse a otros pozos de exploración, independientemente de su tamaño.

## RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de las etapas 1, 2 y 3 de la investigación, y en la siguiente se registran los resultados de la etapa 4, es decir, las acciones correctivas y preventivas que hay que considerar para reducir el NPT.

Así mismo, se muestran las diferentes categorías de NPT para los tres pozos analizados (cuadro 1).

Los objetivos técnicos de los tres pozos analizados incluyen:

- Entrega de la integridad del cemento en el yacimiento.
- Adquisición exitosa de datos, registros de pozo abierto para caracterizar la roca cerca del yacimiento para el análisis geomecánico.

Los objetivos gerenciales incluyen:

- Cumplir con el alcance, tiempo y costo planeados, enmarcados en operaciones seguras, realizando las actividades definidas en el plan de calidad del proyecto y las especificaciones del producto.

**Cuadro 1**  
Categorías de NPT

Categoría de NPT	Descripción
Cementación	Hace referencia al NPT causado por la integridad del cemento utilizado para la cementación del revestimiento del pozo, aunque también se puede presentar por la existencia de pérdidas de retornos o problemas relacionados con la compañía de servicios de cementación.
Fallas de herramientas en el fondo del pozo	Hace referencia al NPT relacionado con fallas de herramientas o equipos que se encuentren dentro del hueco.
Problemas en el fondo del pozo	Hace referencia al NPT relacionado con inconvenientes operativos causados por la geología, estabilidad del hueco, entre otros ajenos a fallas en el fondo del pozo.
Fluidos	Hace referencia al NPT relacionado con el lodo, manejo de residuos ( <i>waste management</i> ), materiales para el lodo o limpieza del hueco.
Error humano	Hace referencia al NPT relacionado con procedimientos incorrectos, falta de entrenamiento de las cuadrillas o personal líder en el pozo, mala comunicación y en general toda decisión o comportamiento del personal responsable de las operaciones del pozo.
Reparación del equipo de perforación / taladro	Hace referencia al NPT relacionado con cualquier falla del equipo de perforación/taladro que no permita el avance del plan de perforación para atender o reparar el daño.
Fallas en la superficie	Hace referencia al NPT relacionado por cualquier falla de la herramienta o equipo en superficie diferente del equipo de perforación/taladro que no permita el avance del plan de perforación para atender o reparar el daño.
Pega de tubería	Hace referencia al NPT que se presenta cuando la tubería de perforación, el ensamblaje de fondo o las herramientas de registro se atascan dentro del hueco, perdiendo movimiento hacia arriba, abajo o torque.
Espera	Hace referencia al NPT que se presenta cuando se requiera detener el avance de la perforación debido a suministro de personal, herramientas, equipos, permisos, HSE, paros por la comunidad, suministros o mal clima.

### NPT, pozos A, B y C

Para el pozo exploratorio A se perforaron tres yacimientos con una profundidad objetivo de 17.000 pies, mientras que para el pozo B se perforaron tres yacimientos con una profundidad objetivo de 16.850 pies. Finalmente, la perforación del pozo exploratorio C se realizó mediante la continuación de un pozo ya existente, lo cual se denomina un “reingreso al pozo”. La profundidad objetivo en este caso es de 19.143 pies.

Más adelante se muestran las categorías de NPT y su duración para los tres pozos. En el pozo A se presentaron principalmente fallas en las herramientas de fondo, problemas con el fondo del pozo, cementación del revestimiento y fallas en las herramientas de superficie. En el pozo B se registraron problemas sobre todo en las herramientas en el fondo del pozo, cementación del revestimiento, fallas de herramientas en superficie, pega de tubería y errores humanos. Por último, durante la perforación del pozo C hubo principalmente fallas en las herramientas en fondo, problemas en la cementación del revestimiento, fallas en las herramientas de superficie y reparaciones del taladro (cuadro 2).

**Cuadro 2**  
Resumen de NPT, pozos A, B y C

Categoría	Pozo A NPT (horas)	Pozo B NPT (horas)	Pozo C NPT (horas)
Falla de equipo de superficie	362,25	-	-
Falla de herramienta de fondo	303	285,25	780
Cementación	106,25	390,5	59,25
Falla en superficie	99	54	22
Error humano	77	1,25	-
Reparación del taladro	59,5	33	6,75
Espera	47,25	34	2
Pega de tubería	41,25	48,25	-
Fluidos	-	12	-
<b>Total</b>	<b>1095,5</b>	<b>858,25</b>	<b>870</b>

A continuación se presenta el ordenamiento (diagrama de Pareto) de las causas del NPT correspondientes a los tres pozos analizados. Para el pozo A se observa que el 33 % del NPT corresponde a las fallas en los equipos de superficie, seguido por un 28 % de NPT causado por fallas en las herramientas de fondo, la cementación del revestimiento con un 9 % y las fallas en las herramientas de superficie con un 9 %. La suma de estas tres fallas corresponde al 79,46 % del total

del NPT. Para el pozo B se observa que el 45,5 % del NPT corresponde a la cementación del revestimiento, 33,3 % a fallas en las herramientas de fondo y 6,3 % a las fallas presentadas en las herramientas de superficie. La suma de estas tres fallas corresponde al 85,03 % del total del NPT. Finalmente, para el pozo C se observa que el 89,66 % del NPT corresponde a las fallas en las herramientas de fondo y 6,8 % a las fallas presentadas en la cementación del revestimiento. La suma de estas tres fallas corresponde al 96,47 % del total del NPT.

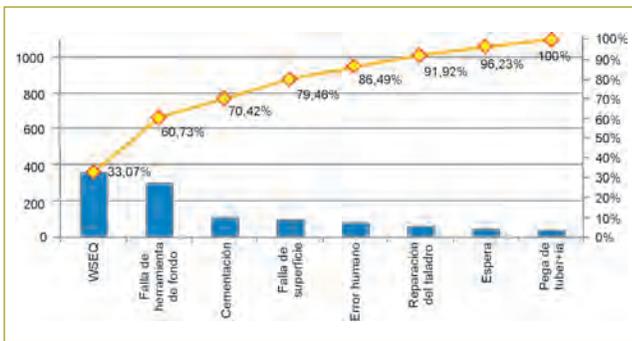


Gráfico 1. Causas de NPT para el pozo A.

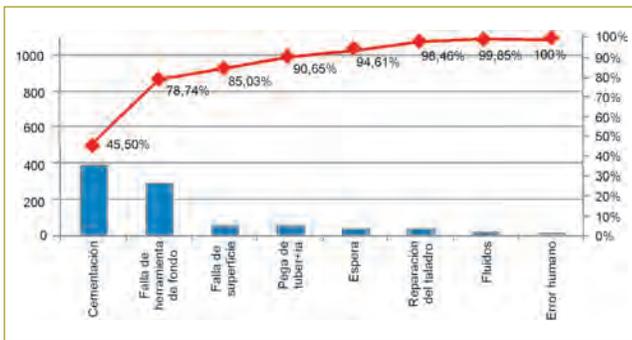


Gráfico 2. Causas de NPT para el pozo B.

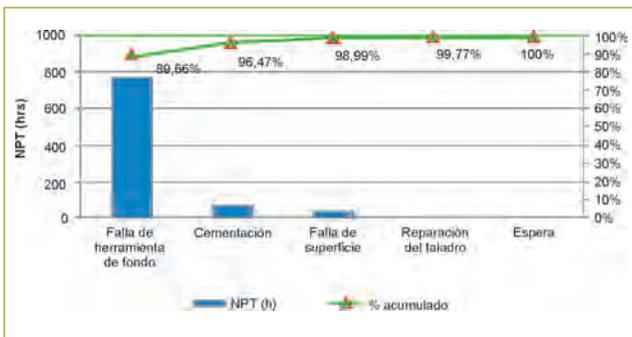


Gráfico 3. Causas de NPT para el pozo C.

### Impacto sobre la línea base de tiempo y costos para los pozos A, B y C

Las fallas y errores que se presentan durante la perforación del pozo traen como consecuencia NPT, el cual retrasa la operación, genera sobrecostos y afecta a su vez el inicio de la etapa de producción, así como el comienzo de otros proyectos. Esto se debe sobre todo a que los equipos y herramientas de trabajo típicamente son costosos y escasos, y pasan de un proyecto a otro. A renglón seguido se muestra el impacto de las fallas y errores sobre la línea base de tiempo y costo para los tres pozos analizados (cuadro 3 y gráfico 4).

Cuadro 3

Impacto sobre tiempo y costo para los pozos A, B y C

Pozo	Tiempo (días)		Diferencia (días)	NPT (%)	Incremento en costo (%)
	Línea base	Real			
A	247	317	-70	28	35
B	141	238	-97	69	112
C	163	179	-16	10	6
<b>Total</b>	<b>551</b>	<b>734</b>	<b>-183</b>	<b>33,2</b>	<b>44</b>

Como se puede observar, a causa de las fallas y errores, el NPT que se presentó en los pozos afectó considerablemente los objetivos gerenciales de entregar el pozo en el tiempo y costo acordados, generando incrementos de 33 % en tiempo y 44 % en costo para los tres proyectos (cuadro 3).

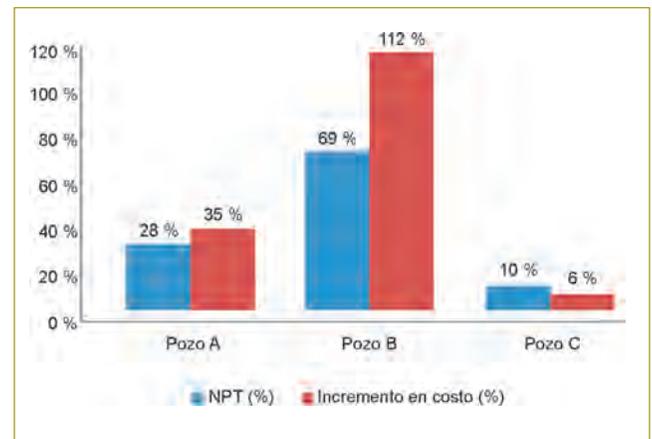


Gráfico 4. Impacto sobre tiempo y costo para los pozos A, B y C.

## Análisis de causas de NPT

Luego de hacer una investigación acerca de las causas de NPT, se lograron identificar las subcategorías más representativas y su código de identificación dentro de la organización:

1. Tubería de revestimiento.
2. Error humano.
3. Falla de herramientas.
4. Tubería de perforación.
5. Ensamblaje de fondo *Bottom Hole Assembly*.
6. Procedimientos.
7. Falla de motor (BHA).
8. Sistema de circulación de lodos.
9. Fallas de registro Wireline.
10. Equipo de cabeza del pozo.
11. Falla de herramienta de registro.

Para cada una de estas subcategorías se analizaron las principales causas, con el fin de proponer acciones correctivas que las eliminen.

## Tubería de revestimiento

Consiste en la instalación de la tubería metálica enroscada, formando una columna de tuberías hasta alcanzar la profundidad objetivo, según el diseño planeado para cubrir el hueco perforado. Más adelante se muestran las principales causas por las cuales falla la tubería de revestimiento (optimización de procedimientos de inspección para tubería de perforación [*Drill pipe*], tubería de producción [*Tubing*] y tubería de revestimiento [*Casing*] de pozos petrolíferos utilizando ensayos no destructivos, 2007) (figura 2).

Se encontró que tanto los pines y cajas de la tubería pueden sufrir pérdida de integridad y ocasionar una posible falla en la sarta, debido a la tensión y torsión que mantiene la tubería durante la perforación.

## Error humano

En este tipo de pozos trabajan directa e indirectamente durante la perforación más o menos cien personas, quienes desarrollan actividades directas, como la programación, supervisión, operación y mantenimiento, entre

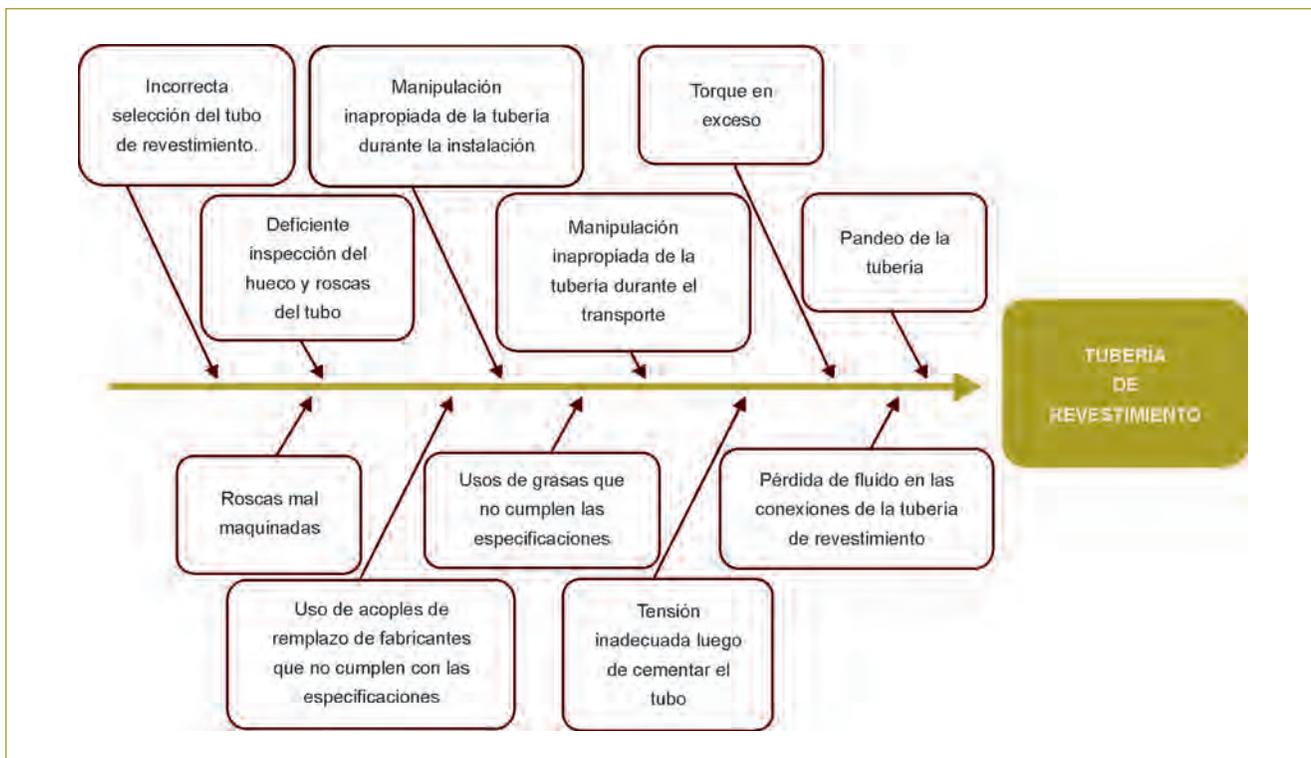
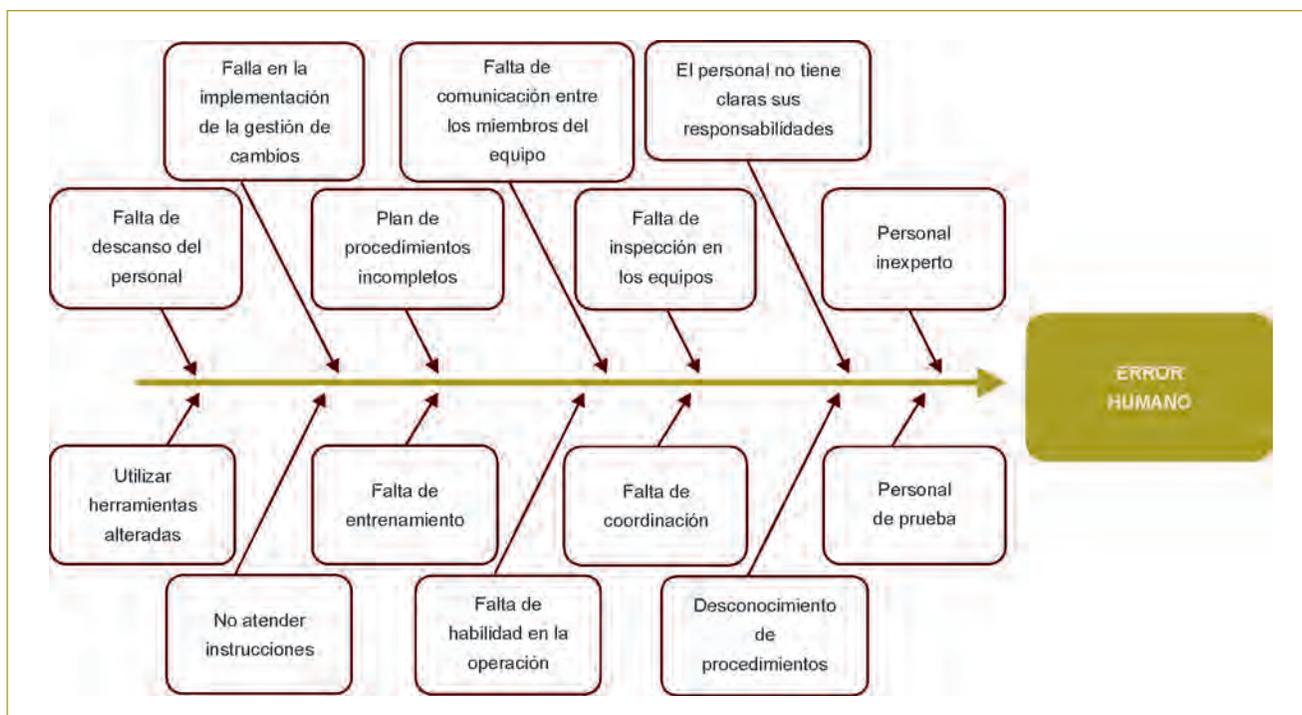


Figura 2. Principales causas por las cuales falla la tubería de revestimiento.



**Figura 3.** Principales causas por las cuales falla el personal asignado a la perforación.

otras de especial importancia, e indirectas tales como los servicios técnicos, el suministro de los fluidos de perforación y bombeo de cemento. El personal trabaja las 24 horas del día y todos los días del año. En la figura anterior se muestran las principales causas por las cuales falla el personal asignado directa o indirectamente a la perforación (IADC, 2005) (figura 3).

Los errores humanos detectados están relacionados sobre todo con falta de comunicación, escaso entrenamiento, falta de experiencia, descanso insuficiente y falta de definición de roles y responsabilidades. Adicionalmente, se encontró que no se había implementado la gestión de cambios, es decir, no se acreditaron los cambios en los documentos pertinentes.

### **Falla de herramientas**

La herramienta MWD (*Measurements While Drilling*, Midiendo mientras se perfora) permite controlar la orientación del taladro y las mediciones de profundidad, inclinación y azimut (desviación desde la superficie con respecto al polo norte magnético en el plano horizontal) en tiempo real (mientras se perfora), con el objetivo de ajustar la trayectoria del pozo. En la página siguiente se

muestran las principales causas por las cuales falla esta herramienta (figura 4).

Las fallas están relacionadas frecuentemente con las altas vibraciones del ensamblaje del fondo y el mal funcionamiento de los sensores de la herramienta, y en algunos casos se presentan errores ocasionados por la descarga de las baterías del MWD.

### **Tubería de perforación**

La tubería de perforación (en inglés, *drill pipe*) está compuesta por columnas de acero con roscas cónicas en los extremos llamadas “uniones”. Los diámetros de la tubería dependen del tamaño y la profundidad. Para lograr la profundidad requerida, cada columna se une a la siguiente a través de un conector.

Las fallas se relacionan principalmente con el manejo inadecuado de la tubería de perforación durante la operación y el mantenimiento, como golpes en las roscas y cajas, sobretorque en el ensamblaje de la tubería, y falta de grasas en las rocas y cajas (figura 5).

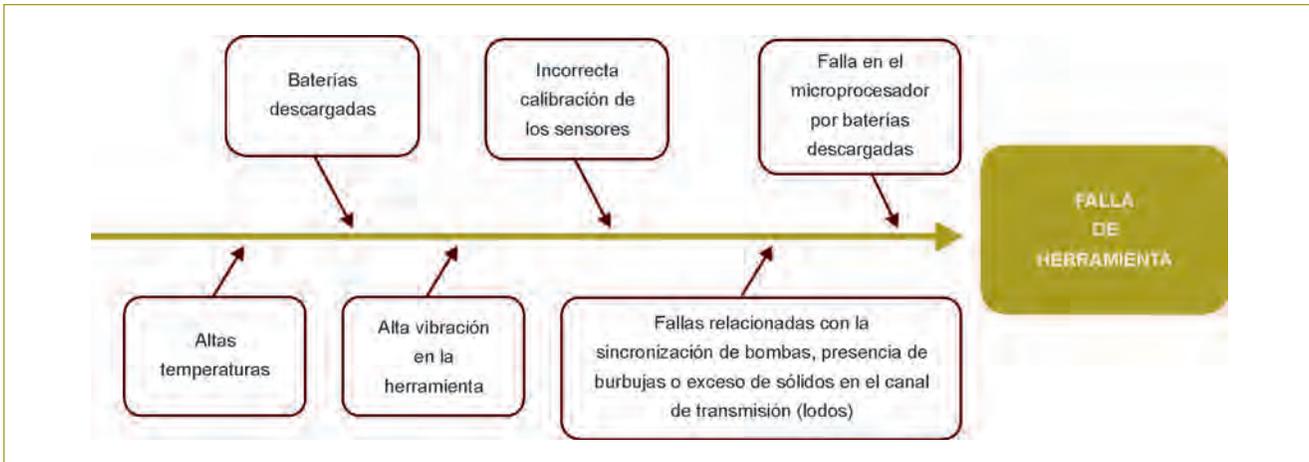


Figura 4. Principales causas por las cuales falla la herramienta MWD.

### Ensamblaje de fondo *Bottom Hole Assembly*

Es la sección en la cual se agrupa el conjunto de herramientas necesarias para operar la broca y la tubería de perforación. Tiene como principal función proporcionar el peso requerido a la broca para maximizar la tasa de penetración y perforar el hueco, así como también proporcionar la direccionalidad al taladro y minimizar las vibraciones. El ensamblaje de fondo está compuesto por la broca, el motor o turbina, los collares de perforación (*drill collars*), los estabilizadores o rimadores (en inglés, *stabilizers or reamers*), la tubería pesada y los accesorios (Infopetróleo, 2011).

La principal falla en el ensamblaje de fondo está relacionada con la corrosión que puede presentar el

ensamblaje durante la perforación, al igual que con la falta de revisión y certificación de las herramientas por parte de los contratistas, lo que puede poner en riesgo el ensamble (figura 6).

### Procedimientos

Las fallas en los procedimientos se presentan sobre todo por omisiones en el cumplimiento de éstos o por fallas en su creación. Estas acciones convierten una situación planeada en una situación indeseable o imprevista, poniendo en riesgo la perforación (*La fiabilidad humana en la gestión*, 2001) (figura 7).

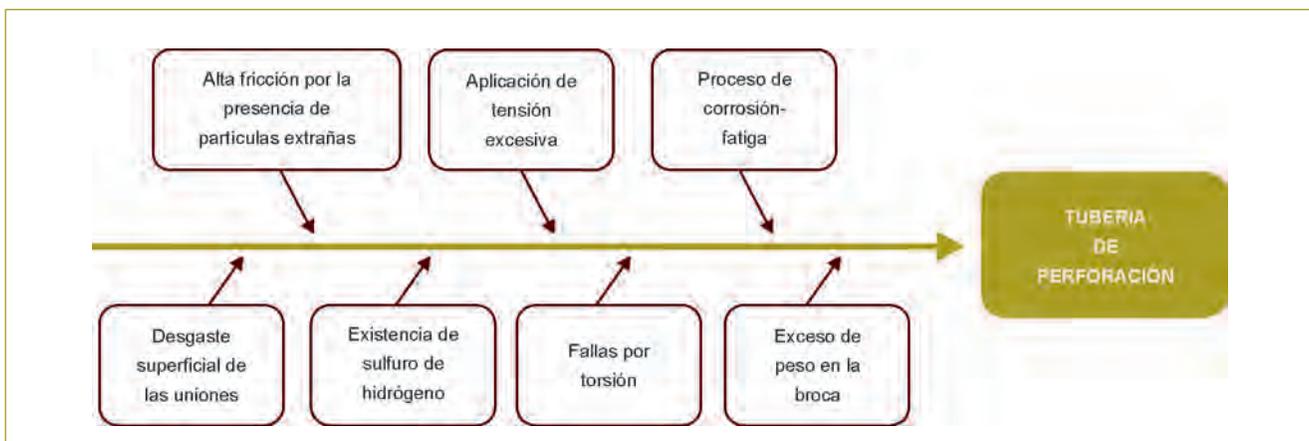


Figura 5. Principales causas por las cuales falla la tubería de perforación.

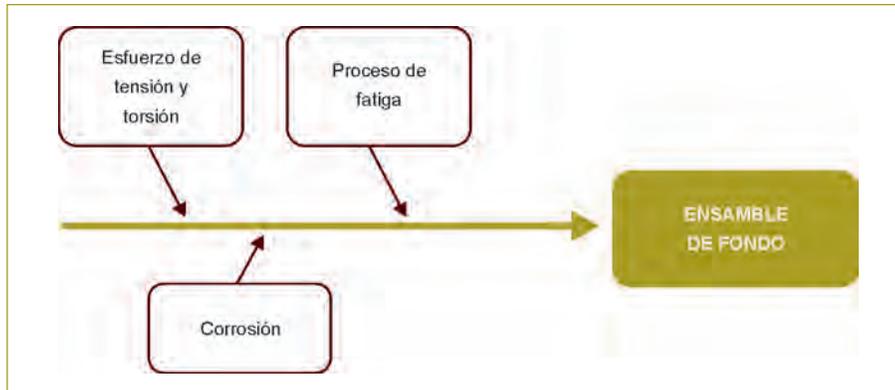


Figura 6. Principales causas por las cuales falla el ensamblaje de fondo.

Se encontró que la principal causa de errores en procedimientos tiene que ver con factores humanos como motivación, compromiso, rendimiento y responsabilidad del personal. También se observó que la principal causa de accidentes está relacionada con la falta de concentración, la escasa atención y el desinterés del personal.

(Cavo Drilling Motors, 2011) (Toro Downhole Tools, 2012) (Fundación Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas, 2007).

Se encontró que las fallas están relacionadas con el peso que se aplica al ensamblaje del fondo y con el incumplimiento de las especificaciones que suministra la compañía que provee los motores (figura 7).

**Falla de motor (ensamblaje)**

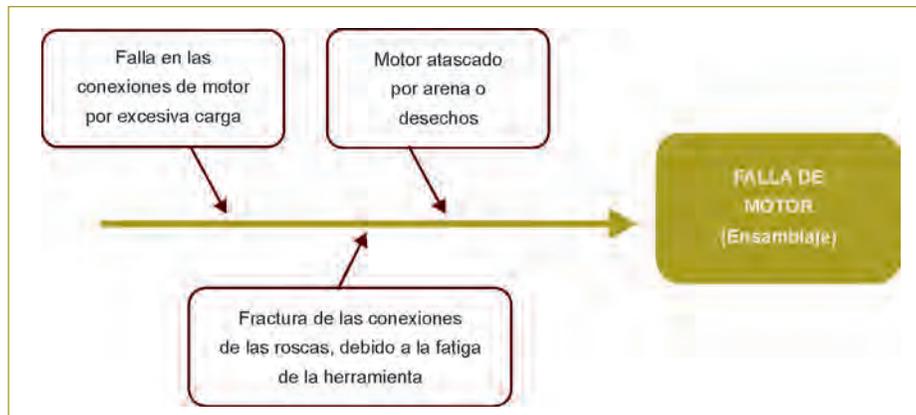
Para dar dirección a la perforación, se utilizan motores que forman parte del ensamblaje del fondo y que se instalan sobre la broca de perforación. Los motores tienen incorporados un cuerpo de desvío (en inglés, *bent housing*) ajustable, el cual permite que la broca se incline entre 0,5 y 3 grados con el fin de cambiar la dirección sin que se requiera la rotación de la tubería de perforación (Escuela Politécnica Nacional, 2010) (SAI, 2011)

**Sistema de circulación de lodos**

Su función principal es lograr la circulación del lodo químico a alta presión, el cual lubrica, refrigera y transporta los cortes del terreno desde el fondo del pozo hasta la superficie. El sistema está compuesto por bombas de lodo, tubería vertical (en inglés, *stand pipe*), mangueras de inyección, unión giratoria, sarta de perforación, cuadrante, equipo de control sólido y el equipo de mezclado.



Figura 7. Principales causas por las cuales falla la aplicación de los procedimientos.



**Figura 8.** Principales causas por las cuales falla el motor.

La principal causa de fallas encontrada en este sistema tiene que ver con la falta de limpieza y mantenimiento de los equipos de circulación de lodos (figura 9).

#### **Fallas de registro Wireline**

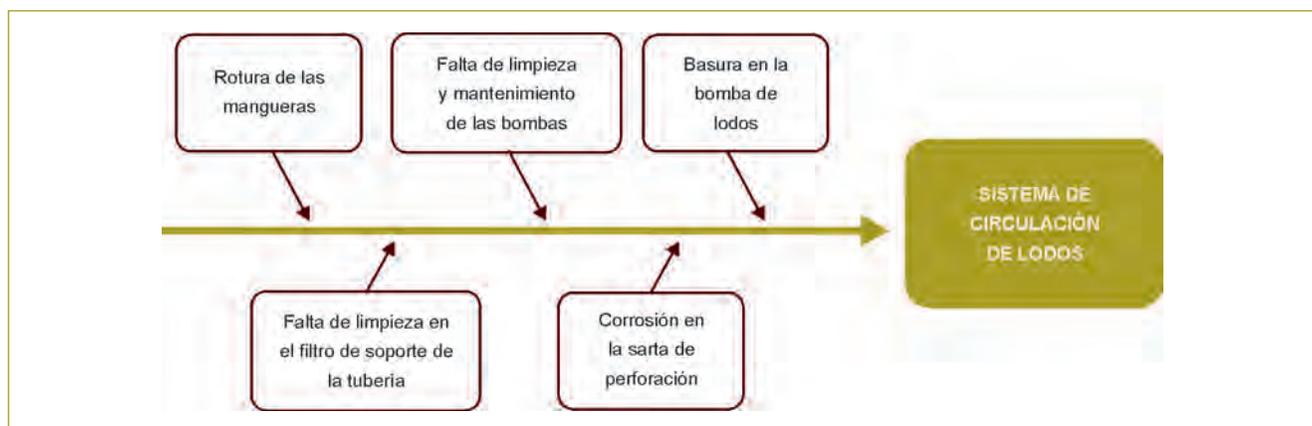
El registro Wireline Logging permite observar, por medio de cables, las características de la formación, como la saturación del agua, petróleo y gas, y el tipo de roca y porosidad, entre otros.

Se halló que la principal causa de los problemas en el registro Wireline está relacionada con la mala aplicación del procedimiento de toma de muestras y la falta de monitoreo en las fases de la operación (figura 10).

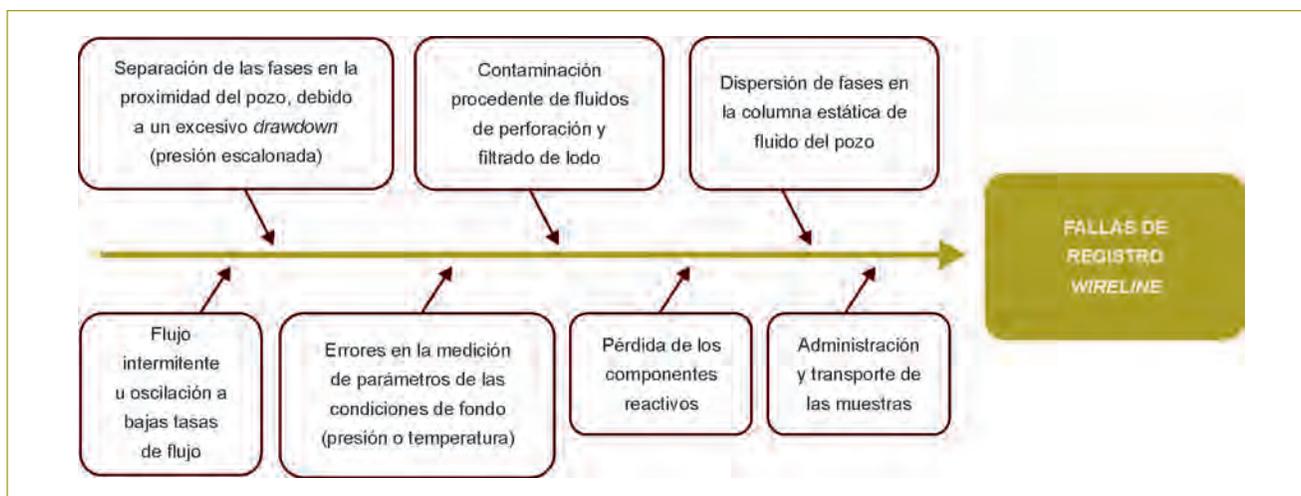
#### **Equipo de cabeza del pozo**

Este equipo de control está compuesto por un conjunto de válvulas preventoras conocidas como BOP (*Blow Out Preventer*), que constituyen el sistema de seguridad y control ante eventos inesperados durante la perforación. Su principal función es cerrar el pozo en caso de que el petróleo o gas de las formaciones perforadas traten de subir a la superficie. Estas válvulas son accionadas por un dispositivo hidráulico conocido como “acumulador de presión”, que se encuentra instalado a un lado de la torre de perforación (Control de Pozos, 2009).

Las fallas asociadas al equipo de cabeza del pozo se presentan por la inexperiencia de los operarios al momento de la inspección, manipulación y manteni-



**Figura 9.** Se muestran las principales causas por las cuales falla el sistema de circulación de lodos.



**Figura 10.** Principales causas por las cuales falla el registro Wireline.

miento del equipo (IADC, 2001 y 2003). Esta mala manipulación causa daños y desgaste innecesario de la herramienta (figura 11).

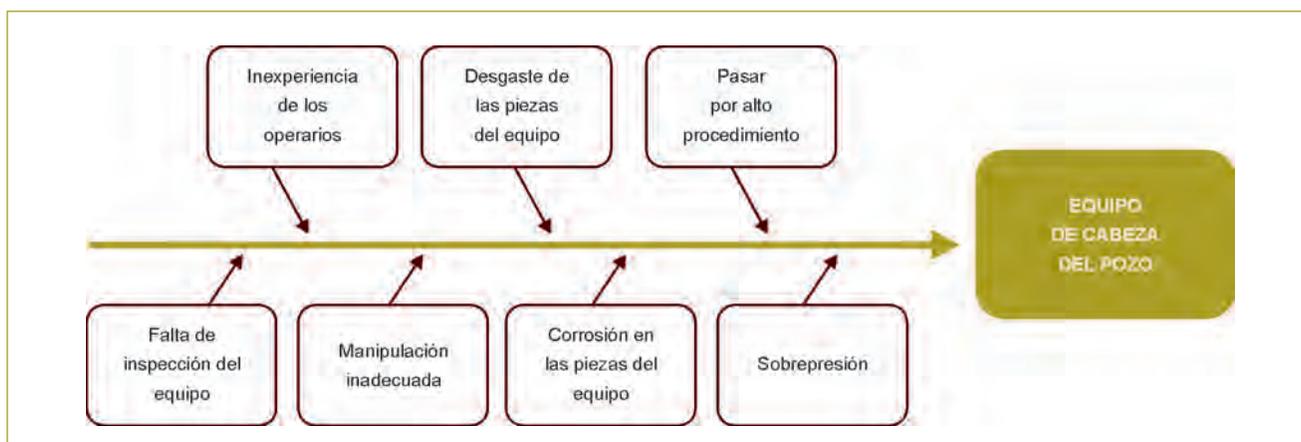
### Herramienta de registro

El equipo de registros permite conocer los tipos de formación y las características físicas de la roca (densidad, porosidad, resistividad, contenido de agua, petróleo y gas natural) que facilitan la toma de decisiones en tiempo real. Adicionalmente, ayuda a tomar mediciones como la inclinación, vibración, presión y direccionalidad.

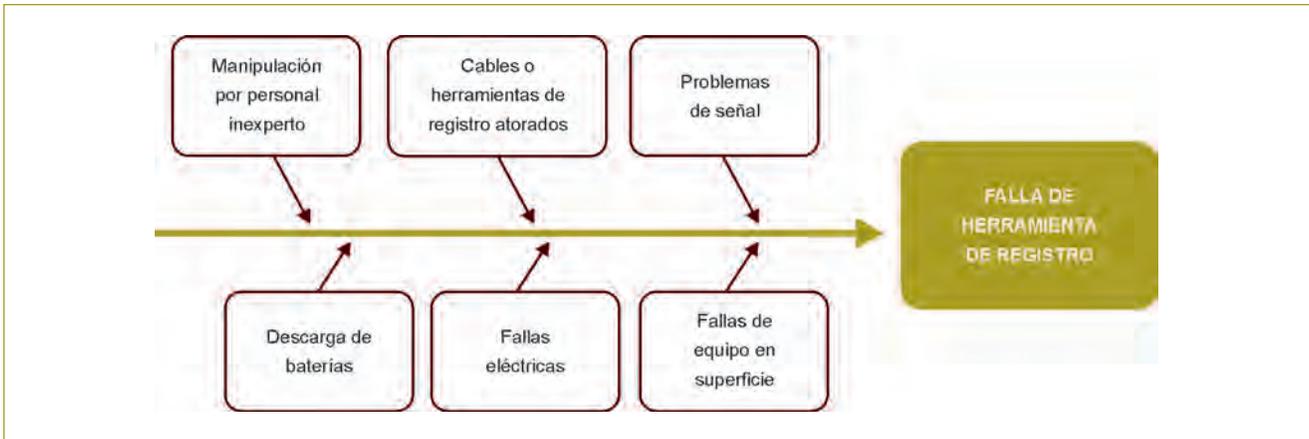
Las fallas de la herramienta de registro están asociadas principalmente a interrupciones eléctricas, descarga de baterías y problemas en la señal (figura 12).

### ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS PARA REDUCIR EL NPT

A continuación se presentan las acciones correctivas, preventivas y aspectos que hay que tener en cuenta para reducir el NPT en las categorías identificadas.



**Figura 11.** Principales causas por las cuales falla el equipo de cabeza del pozo.



**Figura 12.** Principales causas por las cuales falla la herramienta de registro.

### *Tubería de revestimiento*

- Revisar periódicamente los pines y cajas de las tuberías con el fin de determinar su desgaste.
- Mantener los pines y cajas de la tubería de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
- Mantener limpios los tubos y roscas, y protegidos con los lubricantes adecuados.

### *Error humano*

- Definir e implementar el plan de comunicaciones.
- Definir e implementar el plan de entrenamiento y capacitación para los trabajadores.
- Definir e implementar un programa de inducción que contenga los aspectos necesarios para garantizar una operación correcta y segura, y que permita a los trabajadores integrarse exitosamente y con rapidez a sus labores.
- Documentar e implementar un manual de funciones y perfiles de cargos en el que se definan la educación, formación, habilidades y experiencia para cada cargo, así como las jornadas de trabajo y horas de descanso respectivas.
- Supervisar constantemente al personal.
- Brindar al personal jornadas de comunicación y socialización de los procedimientos y del manejo adecuado de los cambios a éstos.

### *Falla de herramientas*

- Acciones para reducir las vibraciones del fondo.

- Verificar y realizar pruebas a los sensores antes de su instalación.
- Verificar la carga de las baterías del MWD antes de su instalación.

### *Tubería de perforación*

- Crear y mantener un control adecuado a las inspecciones realizadas a los equipos y herramientas –incluyendo la tubería de perforación–, con especial importancia para la sarta de perforación.
- Realizar el torque según las especificaciones técnicas documentadas en la hoja de vida del equipo, de modo que se eviten daños en pines y cajas de la tubería.
- Mantener la tubería con grasa en las conexiones y protectores en los pies y cajas.

### *Ensamblaje de fondo Bottom Hole Assembly*

- Verificar y certificar las herramientas que garantizan el correcto ensamble de fondo.
- Supervisar a los contratistas durante las labores de ensamble.
- Revisar el estado de corrosión de las herramientas y ensambles.
- Contar siempre con la presencia del especialista en el momento en el que se operen las herramientas.

### **Procedimientos**

- Crear programas de motivación y desarrollo del espíritu de equipo, de modo que los trabajadores se identifiquen con los objetivos y aumente el sentido de pertenencia con la organización.
- Crear planes de incentivos para el personal.
- Involucrar al personal en la redacción de los procedimientos.
- Comunicar al personal los objetivos que se persiguen en cada una de las etapas del proceso.
- Organizar actividades que promuevan la seguridad (HSE).
- Revisar y actualizar los procedimientos actuales.
- Certificar que los procedimientos cuentan con los puntos de control de calidad necesarios para garantizar la seguridad y correcto funcionamiento de los equipos y herramientas, así como el éxito en el objetivo de perforación.

### **Falla de motor (BHA)**

- Armar el equipo BHA según las especificaciones y procedimientos establecidos.
- Definir una hoja de vida para cada una de las herramientas, equipos y motores, en la que se documentarán sus especificaciones y tolerancias. Incluir en las especificaciones las normas aplicables (API, por ejemplo).
- Crear un programa de capacitación y formación para el correcto uso de las herramientas, equipos y motores.

### **Sistema de circulación de lodos**

- Crear y comunicar el programa de mantenimiento correctivo y preventivo al personal responsable de la limpieza y mantenimiento de los equipos y herramientas.
- Crear y comunicar el programa de mantenimiento correctivo y preventivo al personal responsable de la limpieza y mantenimiento de los equipos y herramientas.

### **Fallas de registro Wireline**

- Revisar y mejorar el procedimiento de toma de muestras.

- Revisar y mejorar los procedimientos de mejora continua.
- Definir y comunicar la frecuencia de monitoreo para las fases de la perforación.

### **Equipo de cabeza del pozo**

- Documentar e implementar un manual de funciones y perfiles de cargos en el que se definan la educación, formación, habilidades y experiencia para cada cargo, así como las jornadas de trabajo y horas de descanso respectivas.
- Crear y comunicar el programa de mantenimiento correctivo y preventivo al personal responsable de la limpieza y mantenimiento de los equipos y herramientas.
- Definir e implementar el plan de entrenamiento y capacitación para los trabajadores.

### **Herramienta de registro**

- Proveer un sistema de respaldo para las interrupciones eléctricas.
- Verificar el tiempo de carga disponible para la herramienta antes de iniciar la operación.
- Inspeccionar, verificar y sincronizar los equipos y herramientas antes de iniciar la operación y al finalizar la jornada.
- Definir y comunicar el programa de inspección, verificación, sincronización y calibración de equipos.
- Disponer de personal con el perfil adecuado para realizar las verificaciones y calibraciones de equipos que lo requieran.
- Almacenar y difundir las lecciones aprendidas, de modo que sirvan al mejoramiento continuo de los procesos.
- Mantener en los puntos de uso (al alcance de todo el personal que lo requiera) los procedimientos, guías e instrucciones necesarios para garantizar una correcta operación.
- Llevar un registro de los problemas que se presenten durante la operación, así como de las sugerencias del personal, de modo que éstos puedan discutirse en el comité de mejoramiento y se puedan transformar en lecciones aprendidas.
- Crear y mantener un plan de gestión de riesgos actualizado, al igual que los planes de contingencia

necesarios como respuesta a los riesgos que se puedan correr durante la perforación.

## CONCLUSIONES

En este estudio se recopilan y analizan los problemas que se presentan durante la perforación exploratoria de pozos petrolíferos en Colombia, de modo que se puedan proponer acciones correctivas y preventivas para la reducción del tiempo no productivo, que afecta el cumplimiento de los objetivos gerenciales del proyecto (alcance, tiempo y costo). Del resultado de este análisis se concluye que:

- Debido a la complejidad geológica que se presenta en las regiones del territorio colombiano para perforar y alcanzar el objetivo del pozo o yacimiento, es necesario hacer una planeación completa y estructurada que incluya el análisis de las lecciones aprendidas de pozos ya perforados, de modo que no se cometan los mismos errores del pasado.
- La mayor cantidad de errores evidenciados se debe principalmente a errores humanos, lo que evidencia la necesidad de mejorar las capacidades de este valioso recurso. Hay que fortalecer el perfil (educación, formación, habilidades y experiencia) de todas las personas involucradas en la operación, mediante la implementación de un programa de mejoramiento continuo.
- Involucrar y motivar al personal ayudará a reducir los errores humanos y, por tanto, mejorará la integridad del pozo y el cumplimiento de los objetivos gerenciales.
- Se requiere crear e implementar un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) que permita, entre otras mejoras, las siguientes:
  - Crear un plan de inducción, capacitación y entrenamiento al personal nuevo y antiguo, así como un programa de motivación y construcción del trabajo en equipo.
  - Crear procedimientos para implementar acciones correctivas y preventivas, así como planes de respuesta a riesgos.
  - Crear e implementar procedimientos para inspeccionar los equipos y hacer auditoría a los trabajos realizados, con el fin de crear cultura de mejoramiento continuo.

- Revisar, actualizar y mejorar los procedimientos, definiendo el sistema de control de cambios a documentos y registros.
- Registrar y compartir los eventos, problemas y sugerencias con los demás equipos de perforación a modo de lecciones aprendidas, que a su vez ayudan a reducir errores y fallas, y por ende disminuyen también el NPT que pueda presentarse.
- Permitir el seguimiento y control a las actividades de perforación a través de un conjunto de métricas que ayuden a tomar decisiones oportunas y acertadas.

Para más información consultar Alcalde, J. C., Cáceres Ríos, A., Muñoz, C.L. & Suárez Velásquez, M. (2012, mayo). Elaboración de una guía metodológica para la gestión de la calidad de proyectos de perforación de pozos petroleros en Colombia. Trabajo de grado. Especialización en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos. Unidad de Proyectos. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

## REFERENCIAS

1. Azcona, J. P. (2012). La exploración petrolera [consultado 09 dic. 2012]. Disponible en <http://encontrarte.aporrea.org/media/56/la%20exploracion.pdf>.
2. Acosta, W. O. & Salazar, B. (2007). Optimización de procedimientos de inspección para tubería de perforación (*Drill pipe*), tubería de producción (*Tubing*) y tubería de revestimiento (*Casing*) de pozos petroleros utilizando no destructivos. Quito, pp. 40-41 [consultado 15 dic. 2011]. Disponible en <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/751>.
3. Agencia Central de Inteligencia (CIA) (2011). *The Factbook* (Libro Mundial de Hechos). ISSN 1553-8133.
4. González Posso, C. (2011). *Petróleo y transformación de conflictos*. Indepaz, ISSN 1909-0900.
5. Asociación Colombiana del Petróleo (ACP) (2012). Sector petrolero le apuesta a un crecimiento de entre el 9 y el 12 %. Con acceso 6 de febrero de 2013. <http://www.elpais.com.co/elpais/colombia/noticias/preve-aumento-hasta-30-produccion-petrolera>
6. Asociación Colombiana del Petróleo (ACP) (2012, junio). Informe estadístico petrolero 2011. Bogotá <http://www.acp.com.co/>.
7. Asociación Colombiana del Petróleo (ACP) (2013, marzo). Informe estadístico petrolero 2012. <http://www.acp.com.co/>.
8. Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC) (2005). Manejo de materiales (tuberías de perforación) [consultado 15 dic. 2011]. Disponible en [http://www.iadc.org/alerts/2005\\_Alerts/2005%20Spanish/spsa%2005-14.pdf](http://www.iadc.org/alerts/2005_Alerts/2005%20Spanish/spsa%2005-14.pdf).
9. Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC) (2005). Uso indebido de herramientas de mano [consultado 15 dic. 2011]. Disponible en [http://www.iadc.org/alerts/1998\\_Alerts/Spanish%20Safety%20Alerts/spsa98-11.pdf](http://www.iadc.org/alerts/1998_Alerts/Spanish%20Safety%20Alerts/spsa98-11.pdf).

10. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) (2013). Colombia: Balance 2012 y perspectivas 2013. <http://www.andi.com.co/>. Bogotá, diciembre 2012.
11. Cavo Drilling Motors (2011). *Manual de Operación del Motor*. 4.ª ed. Houston, p. 32 [consultado 29 dic. 2011]. Disponible en [http://www.cavodm.com/Manual\\_de\\_Operaciones.pdf](http://www.cavodm.com/Manual_de_Operaciones.pdf).
12. Ceballos, N. (2010). Análisis Comparativo de la Obtención de Registros Eléctricos en Tiempo Real (Lwd) entre Herramientas Acimutales y Convencionales para El Geoposicionamiento de Pozos Direccionales de Alto Angulo y Horizontales. Quito, Ecuador, 2010, p. 67. Trabajo de Grado (Ingeniería de Petróleos). Facultad de Ingeniería en Geología Petróleos. Escuela Politécnica Nacional. [en línea]. [consultado 29 dic. 2011] Disponible en «<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2548/1/CD-3228.pdf>».
13. Control de Pozos (2009). [consultado 03 ene. 2012] Disponible en «<http://achjjj.blogspot.com/2009/06/control-de-pozos.html>».
14. Ecopetrol (2011). Exploración [consultado 11 nov. 2011] Disponible en: «<http://www.ecopetrol.com.co/especiales/elpetroleoymundo/exploracion2.htm>».
15. Ecopetrol. Exploración. (2011). [consultado 11 nov. 2011] Disponible en: «<http://www.ecopetrol.com.co/especiales/elpetroleoymundo/exploracion3.htm>».
16. Ecopetrol (2013). El petróleo y su mundo: perforación exploratoria. <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/elpetroleoymundo/perforacion-exploratoria3.htm> con acceso: 21 de Junio de 2013.
17. González Posso, C. (2011). Petróleo y transformación de conflictos. Indepaz, ISSN 1909-0900.
18. HDMI (2011). Repositorio Bogotá.
19. Infopetroleo.com (2011). Información Técnica del Petróleo. [consultado 15 dic. 2011] Disponible en «[http://www.infopetroleo.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4&Itemid=1](http://www.infopetroleo.com/index.php?option=com_content&task=view&id=4&Itemid=1)».
20. International Association Of Drilling Contractor, [en línea]. [consultado 15 dic. 2011] Disponible en «[http://www.iadc.org/alerts/2001\\_Alerts/2001%20Spanish%20Alerts/spsa01-45.pdf](http://www.iadc.org/alerts/2001_Alerts/2001%20Spanish%20Alerts/spsa01-45.pdf)».
21. International Association Of Drilling Contractor. [en línea]. [consultado 15 dic. 2011] Disponible en «[http://www.iadc.org/alerts/2003\\_Alerts/2003%20Spanish%20Alerts/spsa%2003-36.pdf](http://www.iadc.org/alerts/2003_Alerts/2003%20Spanish%20Alerts/spsa%2003-36.pdf)».
22. Korin, I., Morris, W., Gómez, M., Achem, H., Rodríguez, J. y Oroná, J. (San Antonio Internacional) (2011). Desarrollo e implementación de un Sensor de Vibraciones para sartas de perforación (Desarrollo & Tecnología). 29 de diciembre de 2011. Disponible en «<http://www.iapg.org.ar/seccionalsur/Desarrollo.pdf>».
23. Méndez, D., Santiago, L., Fela, F. (2007). Análisis de Falla de un "Bearing Mandrel" Durante la Perforación de un Pozo. Fundación Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas. Estado Zulia, Venezuela. Cusco-Perú. [consultado 29 dic. 2011] Disponible en «<http://www.ciasem.com/PSD/Cusco2007/imagenes-1/P176%20David%20Mendez.pdf>».
24. Portafolio (2013). Las 1001 compañías del año en Colombia. Revista Portafolio, Mayo –Junio de 2013, edición No. 6. ISSN 2256-425X.
25. Portafolio.com (2012). Utilidades de Pacific Rubiales crecieron 109% en el 2011. Tomado de: <http://www.portafolio.co/negocios/utilidades-pacific-rubiales-crecieron-109-el-2011><http://www.portafolio.co/negocios/utilidades-pacific-rubiales-crecieron-109-el-2011> con acceso el 18 de Abril de 2013.
26. Rasmussen, Duncan y Leplat (2001). La fiabilidad humana en la Gestión. En Paz Borroso. [consultado 29 dic. 2011] Disponible en «<http://www.unizar.es/aeipro/finder/PREVENCIÓN%20Y%20SEGURIDAD/EH01.htm>».
27. Toro Downhole Tools (2012). Toro Drilling Motor Handbook. Ed. 2012. p. 2. [consultado 29 dic. 2011] Disponible en «[http://torotools.com/Toro\\_Drilling\\_Motor\\_Handbook.pdf](http://torotools.com/Toro_Drilling_Motor_Handbook.pdf)».



# Entrevista

“La ingeniería se puede ejercer sin corrupción”

Por Cristina Salazar Perdomo

**DIANA MARÍA ESPINOSA BULA**  
Presidenta de la Sociedad Colombiana  
de Ingenieros (SCI)



Ingeniera civil y especialista en Saneamiento Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería, y magíster en Derecho de los Recursos Naturales de la Universidad Externado de Colombia. Consultora, empresaria y, desde este año, presidenta de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI). Apasionada por el ejercicio de su profesión, es tan exigente en el trabajo como descomplicada y carismática. Habló para la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* sobre la profesión, el futuro de la SCI y el compromiso de las nuevas generaciones.

## UNA MUJER DE RETOS

**Primero que todo hablemos de cómo, después de 126 años, una de las sociedades más conservadoras de Colombia elige a una mujer para presidirla y por qué específicamente a usted.**

Pienso que mi llegada a la presidencia de la Sociedad Colombiana de Ingenieros es providencial. Hace algunos años asistí a un seminario con tres compañeros de otras universidades y vi que la entidad necesitaba más participación nuestra. Cuando salimos, todos reconocimos que había sido un encuentro muy interesante, que los profesores sabían mucho, que eran unos maestros de la ingeniería... pero tenían más de 60 años. Entonces dijimos “Tenemos que llegar a la sociedad. Hagámonos socios”. Les mandé los papeles de inscripción a todos, y al final la única que se hizo socia fui yo. De eso hace ya trece años.

Con esto quiero manifestar que definitivamente uno logra lo que se propone si lo hace con dedicación, constancia, estudio, y además cuenta con un poco de suerte. Tan pronto como entré a la SCI, decidí actuar en dos comisiones técnicas permanentes: en la parte de contratación y en la ambiental, que es mi especialidad. Empecé a trabajar y conocí al doctor Germán Gómez Pinilla, en ese entonces presidente de la Comisión Ambiental. Tuvimos empatía y me propuse aprender de él. Luego me nombraron secretaria de esa comisión, después vicepresidenta y, cuando él murió, presidenta. Así que, ¿por qué yo? Pues porque es la primera vez que una mujer se lanza al ruedo. Claro que me dio un poco de miedo asumir este tipo de retos, ya que cuando compito quiero ganar, pero al mismo tiempo me sentía confiada por mi labor en y por la SCI desde mi llegada.

Menos del 10 % de los miembros de la SCI son mujeres. Mi nombramiento respondió a un ejercicio

profesional adecuado. He ocupado cargos públicos, actúo como pienso y como hablo, soy una persona con carisma y tengo mucha empatía con la gente.

### **A propósito de sus logros, ¿piensa que definitivamente hay que pagar un precio por el éxito o que sí es posible equilibrar la labor con la familia, con la empresa y en otros ámbitos de la profesión?**

Uno sacrifica muchas cosas dependiendo de lo que llame éxito. Me casé a los 22 años, tuve tres hijos y un matrimonio extraordinario que se acabó cuando no funcionó, porque uno debe vivir de acuerdo con la forma en que se siente. Los hijos brindan una felicidad inmensa pero también enormes preocupaciones. Claro que eso no es sólo de una ejecutiva sino de toda madre. A las mujeres nos toca muy duro.

Pienso que para ser un excelente profesional hay que prepararse bien, al igual que para ser deportista, padre o madre. Es difícil alcanzar la perfección en la vida personal, profesional, familiar... Para mí, el éxito no es ser el primero en todo sino sentirse feliz y estar contento con lo que se hace, y yo todo lo hago con pasión.

### **PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LA SCI**

#### **Entrando en materia, si se hiciera un balance de lo que la Sociedad Colombiana de Ingenieros le ha proporcionado al país, ¿qué podría decirse?, ¿por qué ha sido importante su labor?**

Pienso que la SCI y los ingenieros le hemos aportado mucho a este país. Lo que pasa es que la actividad gremial, académica, científica no es para todo el mundo, y hoy en día veo a la juventud más preocupada por ganar dinero, en razón de que ciertos valores han ido cambiando con el tiempo, lamentablemente. Por fortuna, pertenezco a una generación que siempre ha tenido presentes los valores que le inculcaron y creo que es bueno seguirlos cultivando.

En la actualidad, de pronto por falta de gestión interna de la corporación, los jóvenes no miran hacia el gremio. Para remediar esto se ha conformado el Comité de Juventudes, cuyos miembros comparten con quienes tienen toda esa sabiduría y esa experiencia adquirida a lo largo de los años.

Algo más: *Anales de Ingeniería*, la revista de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, cuenta la historia de este país. Con 125 años de existencia, es el medio escrito más

antiguo que existe en Colombia. Por otra parte, la SCI, como corporación técnica, académica y científica, es la segunda más antigua después de la Academia Colombiana de Medicina. Uno de los propósitos a corto plazo es que el gobierno solicite conceptos a la entidad. También estamos trabajando para fortalecer esa relación.

### **Es decir, como ente consultor siguen siendo fuertes...**

Claro. Creo que eso depende mucho del liderazgo de quien lleve el nombre de la SCI, así como de que el gobierno sea receptivo y quiera recibir esos beneficios técnicos, académicos y científicos que podemos darle. Porque –dejémosnos de tonterías– no sólo la juventud sino también los gobiernos ejecutan proyectos no necesariamente para satisfacer necesidades técnicas, geográficas o ambientales, pues a veces priman los intereses que existen en algunos sectores. Por eso, una de nuestras tareas es lograr que los proyectos y nuestros conceptos técnicos se tengan en cuenta y contribuyan a tomar decisiones.

### **A propósito del Comité de Juventudes del que hablaba ahora, quiero saber –haciendo un poco de abogado del diablo– qué opina en cuanto a la queja de algunos ingenieros de otras áreas de que ésta es la Sociedad Colombiana de Ingenieros... civiles. ¿Cuál es la situación real?**

La ingeniería en el país nació con la fundación de la Escuela Militar de Ingeniería en 1814, a cargo del sabio Francisco José de Caldas. Luego, en 1861, en el



gobierno de Tomás Cipriano de Mosquera se expidió el decreto que creó el Colegio Militar, que en 1867, con la fundación de la Universidad Nacional de Colombia, pasó a ser la Escuela de Ingeniería. De ahí el nombre de ingeniería civil, porque es la que nosotros ejercemos.

Así las cosas, la ingeniería civil es la más antigua; por ende, la mayoría de los ingenieros del país son civiles y así mismo los miembros de la SCI. La Sociedad Colombiana de Ingenieros es la sombrilla que cubre a los ingenieros a título personal, como socios en todas las ramas de la ingeniería, de los más de 800 programas que hay en el país. Sin embargo, existen asociaciones como la de Egresados de la Escuela Colombiana de Ingeniería y de otras técnicas muy especiales: los ingenieros electrónicos, electromecánicos, industriales... y ellos son socios correspondientes de la SCI.

### ¿Cuál es la participación de esos socios correspondientes en la SCI?

Ellos forman parte de un grupo de sociedades correspondientes. Además, hemos llegado a acuerdos para que los ingenieros de otras asociaciones puedan pertenecer a la SCI, con algunos privilegios. Es un beneficio que hemos implementado en esta administración para aumentar el número de asociados.

### ¿Cómo es la relación de la Sociedad Colombiana de Ingenieros con sus pares internacionales?

Nosotros somos miembros de varias asociaciones internacionales, entre ellas la Federación Mundial de Organizaciones de la Ingeniería (Femoi), la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (Upadi) y la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, por su sigla en inglés). Pertenecemos al Colegio Máximo de las Academias, que es nacional, y somos socios de la Universidad Politécnica de Madrid y de un centro de anticorrupción a escala mundial.

### ¿Qué ha hecho la entidad en materia de investigación?

Nuestro trabajo de investigación no es muy fuerte, simplemente brindamos apoyo cuando nos lo solicitan. En este momento, como consecuencia de los tratados de libre comercio (TLC), muchas asociaciones de ingenieros nos ofrecen intercambios educativos para los socios; quieren que participemos en investigaciones. Entonces ofrecemos nuestro espacio y nuestra agremiación para

colocar las plataformas de investigación. Lo estamos haciendo con Alemania, principalmente, y con España.

### A propósito del ámbito internacional, ¿qué piensa el ingeniero colombiano con respecto a la presencia de empresas extranjeras en el país?

Hay una preocupación grande, en virtud de que los ingenieros se sienten desplazados por la ingeniería internacional; sin embargo, eso es una consecuencia, primero, de que Colombia es un país atractivo para hacer inversiones, y segundo, de la firma de varios TLC. Resulta que en estos acuerdos a los extranjeros los tratan—incluso en el mismo Ministerio de Comercio Exterior— como si fueran colombianos.

En este orden de ideas, le estamos solicitando al gobierno nacional que exija que la ingeniería extranjera sea socia de la ingeniería colombiana, con el propósito de blindar a nuestros profesionales. Ya hubo unos concursos en los que el 70 % de los procesos de cuarta generación era ingeniería extranjera y el 30 % restante, colombiana.

Así mismo, estamos pidiendo que a los consorcios conformados por firmas internacionales y nacionales se les dé un mayor puntaje cuantos más ingenieros colombianos tengan para su proyecto y estamos proponiendo que la consultoría colombiana pueda pedir apoyo tecnológico específico, sin tener que traer a la empresa sino únicamente al experto en la especialidad que se requiera.

### De aquí a un año y medio, cuando termine su periodo presidencial, ¿qué logros significativos espera haber alcanzado?

Ante todo, que el gobierno escuche a la SCI a la hora de tomar decisiones; aumentar la membrecía; traer a las nuevas generaciones y empoderarlas, demostrarles que vale la pena pertenecer a la entidad y aprender de la experiencia de los ingenieros de otras generaciones, porque eso no lo van a encontrar en otro lugar.

## SOBRE LA FORMACIÓN DE INGENIEROS

Con respecto a las nuevas generaciones, si hiciéramos un paralelo entre la formación que recibieron los ingenieros con más trayectoria que usted, la que recibió usted misma y la que están recibiendo los jóvenes en la actualidad... ¿qué rescata de otras épocas y qué cree que falta ahora?

Veo lo siguiente: primero, que la carrera de ingeniería antes era de seis años, después pasó a cinco y ahora quieren que sea de cuatro. Eso es un problema. En mi caso, estoy muy satisfecha de lo que aprendí en la Escuela Colombiana de Ingeniería, de los profesores que tuve... La clase de Ética, que por cierto me la dictó un expresidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros... es valiosa y se necesita. Tuve unas cátedras importantes que hoy no se ven, por ejemplo la de Puentes. Para mí, mi universidad es un ejemplo de vida.

Actualmente, a los estudiantes les enseñan aspectos administrativos que no nos dieron a nosotros y son importantes; hay también muchas electivas, por lo que pueden escoger lo que les gusta, mezclar esa educación, esa formación tan matemática y cuadrículada, y volverla un poco más humana. Cada época tiene su ventaja. En cuanto a reducir el número de semestres de ingeniería me parece una mala idea, ya que ésta es una carrera fundamental, que enseña a pensar mucho, a tomar decisiones acertadamente.

**En este momento es inevitable hablar de lo que pasó en Medellín hace poco, específicamente con el edificio Space. Esto genera desazón en la gente que no tiene la menor idea de ingeniería y ha hecho quizá la inversión más importante de su vida: comprar su vivienda a una firma reconocida, que ahora recibe duros cuestionamientos. ¿Qué puede usted decir al respecto?**

Estamos de luto. Hablé con tres expertos que fueron mis profesores en la Escuela y me dijeron que estaban dolidos por la situación. Nuestra profesión es de mucho riesgo. La gente asegura que la ingeniería es una ciencia exacta. Falso. En las obras influyen numerosos factores e intervienen muchas personas, por lo que es muy fácil que exista una falla humana. Esto le puede pasar a cualquiera de nosotros. Afortunadamente, la decisión de evacuar, tomada por la alcaldía y la entidad de riesgo de Medellín, fue oportuna.

El hecho puede obedecer a muchas fallas. Es inaudito e irresponsable que en los medios estén culpando a unos y a otros. Hay que hacer un estudio juicioso con ingenieros estructurales, diseñadores, especialistas en suelos y patólogos, para saber realmente qué sucedió, pues como presidenta de esta agremiación me preocupa que se tomen decisiones equivocadas.

Precisamente hace poco escuché decir a un alcalde que el POT que él había hecho era para prevenir eso. Eso es irresponsable. No podemos esperar que sólo se construyan edificios de tres pisos ni tampoco afirmar que las curadurías son unas mafias. Esta clase de especulaciones pueden hacerle mucho daño a la profesión.

Así mismo, es una desgracia para el dueño de un bien inmueble quedarse en la calle de la noche a la mañana, por lo que tenemos que ponernos en los zapatos de los demás, pero también creo que hay que concientizar a la gente de que se corren unos riesgos inmensos de fallas humanas en todo lo que hacemos.

### **“NECESITAMOS LA LEY DEL PRIMER CONTRATO”**

**Hablando de corrupción, se ha encontrado que los jóvenes de varios países no tienen esperanza de un futuro mejor... Por ejemplo, hay quienes creen que es imposible lograr un buen contrato sin que medie un acto de corrupción.**

Eso hay que desmontarlo. Para mí, es falso. Estoy convencida de que se puede ejercer la profesión sin corrupción. Lo que tenemos que hacer es cultivar la ética y los valores en honor del ejercicio de la profesión y de su dignidad. Es como con el narcotráfico, que permeó todos los poderes, infortunadamente, pero todos no somos narcotraficantes. Eso lo sabemos y lo hemos sufrido como colombianos.

Los ingenieros estamos llamados a acabar con esa situación. Convoco a los jóvenes a creer que existe la seguridad de que podemos trabajar sin corrupción y a ayudar a erradicarla, porque ellos son el futuro de esta nación y son los encargados de continuar con la tarea, porque la corrupción no puede ser la generalidad.

Hoy, decir contratista es decir ladrón; hay que ponerle fin a eso. Ahora, el que es corrupto debe ir a la cárcel, perder la matrícula, pero no podemos quitar matrículas por lo que haya pasado. Si muchos entes estatales desconfían de los ingenieros, también muchos ingenieros desconfían de los entes estatales. Yo hice unos cálculos de cuántas personas se presentan a un concurso equis: pocas. ¿Por qué? Porque los pliegos están hechos a la medida del que quieren que gane. Parte de lo que estamos buscando en la sociedad es ayudar a la Agencia Nacional de Contratación Pública a reglamentar ese decreto, a sacar unos pliegos para que todo el mundo tenga opción.

A esos ingenieros jóvenes quiero decirles que estamos en la tarea de concretar la ley del primer contrato para que tengan opción de dar ese paso e ir escalando. Es un objetivo que me he propuesto. La estamos armando para presentarla al Congreso y ya la hemos socializado con algunos ingenieros congresistas. Esta ley debería existir porque si un ingeniero quiere salir a hacer algo, no le dan el contrato porque no tiene experiencia. Se debe romper ese esquema.

**Su perfil es muy amplio y muy interesante porque ha estado en todos los frentes: en el gobierno, en el sector privado, además es empresaria... y ahora preside un gremio. ¿Cuál es la visión de un ingeniero que ha estado en esos frentes y puede decir que sí se puede trabajar con el gobierno y hacer empresa?**

A ver le cuento: mi primer trabajo lo tuve con un profesor de la Escuela, que dictaba Acueductos y Alcantarillados, el doctor Lauro Horacio Arturo. Un día me llamó y me dijo: “¿Usted quiere trabajar conmigo?, ¿quiere ser mi auxiliar de ingeniería?”. Pues bien, precisamente en esos días iba a trabajar en la Feria Internacional de Bogotá, en el pabellón de Venezuela. Aun así, yo acepté y le pregunté por qué me había escogido. Me respondió: “Porque usted es muy inquieta en clase y pregunta mucho. Entonces sé que esto le gusta”. Estuve muchos años con él hasta que creé mi empresa, una empresa pequeña, porque mi idea era no seguir de empleada. Trabajé en cuatro compañías de consultoría, una de las cuales era de mi papá; allí se me presentó la oportunidad de ser socia de otra empresa especializada en temas de purificación y tratamiento de aguas residuales, que es lo que me gusta. Entonces renuncié. Después trabajé con el gobierno en dos oportunidades: en la administración de Gaviria y en la de Samper. Me retiré y volví a mi empresa, que está dedicada al área ambiental. En 2014 cumple 30 años. A propósito: el socio por el cual yo entré a esa compañía lo conocí en la SCI. Por eso digo que uno en la Sociedad Colombiana de Ingenieros encuentra muchas cosas; uno no las viene a buscar, pero las encuentra.

Muchos de mis clientes son de la SCI. Recibí mi diploma en esta sede, porque las ceremonias de grado de la Escuela Colombiana de Ingeniería se hacían aquí. Hoy en día tengo una empresa que era de un ingeniero que conocí en la entidad, y que lamentablemente falleció.

En lo referente al ejercicio de la ingeniería, me parece preocupante que se le esté dando mucho valor al aspecto económico y financiero, en detrimento de la experiencia, la capacidad de organización, la trayectoria específica en determinada obra o en diseños o consultoría; lamentablemente, el gobierno le está dando gran importancia a lo económico, por lo que los grandes inversionistas vienen y contratan a cuatro que hagan lo que tienen que hacer. Por eso se comercializó tanto la ingeniería.

**Hace poco, un funcionario decía que los ingenieros colombianos tienen mucho prestigio en el exterior porque aplican estrictamente las normas de construcción. A su juicio, ¿qué otras características distintivas tienen estos profesionales?**

Pienso que los ingenieros colombianos somos bastante ingeniosos y tratamos de acomodar la tecnología a nuestras condiciones, porque en el país no se dispone de los recursos para contar con sistemas muy sofisticados, debido a que los costos de mantenimiento son muy altos. En Colombia hay cerca de 1200 municipios sin recursos para mantener acueductos y alcantarillados, por lo que se deben buscar sistemas y adecuar la tecnología a nuestras condiciones. Yo quiero ver a un español construyendo como lo hacemos acá, porque allá hay máquinas para todo. Aquí nos ingeniamos una tarabita para pasar un tanque. Quiero ver a los que dicen ser “los chachos” cómo van a construir la infraestructura en esas condiciones y con los recursos que tenemos.



**Usted ha hablado de la enorme necesidad que tienen los ingenieros colombianos de ser más eficientes y más productivos. ¿Cómo hacerlo?**

Primero, debemos ser más competitivos en nuestras empresas, criticarnos y autocriticarnos y buscar mejoras en los procesos; hay que aprovechar esa inventiva que tenemos y aplicarla en cada proyecto para que el actual sea mejor que el anterior.

Segundo, tener personas que investiguen, hay que estudiar más. No podemos dejar que los computadores diseñen. Debemos revisar bien cómo hacemos las cosas y los tiempos en que las hacemos, porque definitivamente hay que brindarle al cliente un buen servicio para que quede satisfecho.

Tercero, deben optimizarse el tiempo y los recursos, y eso sólo lo hacemos evaluándonos, autocriticándonos y mejorando.

**En el área ambiental, ¿cómo estamos trabajando en Colombia para corregir errores cometidos por generaciones en el mundo?**

Esa pregunta tiene muchas respuestas. Entendamos que nuestros recursos naturales deben ser una fortaleza y no la piedra en el zapato o la debilidad, pero el Estado colombiano y la política nacional no están diseñados para que todas las entidades trabajen al mismo ritmo. Encontramos un contrato de una concesión que tiene un tiempo, pero resulta que la entidad que da las aprobaciones y licencias tiene otros tiempos y depende de otros factores. Son cadenas que dificultan el andar. Nos preocupamos por ser minuciosos y no nos ocupamos de lo realmente importante.

Hay que hacer infraestructura, porque ésta tiene un impacto en el país, en la región y en los recursos naturales. Nuestra ingeniería debe ser sostenible, adecuada a las necesidades y a las condiciones en que estemos. Urge desarrollar la infraestructura implementando unas medidas que permitan mitigar esos impactos, sin dejar de hacerla, porque la necesitamos.

Es un círculo vicioso porque tenemos que mejorar la calidad de vida de las personas sobre todas las cosas, pero luego vemos que esto va a producir un impacto y nos preguntamos cómo vamos a resarcir el daño. En-

tonces hay que disponer de los recursos económicos necesarios tanto para la infraestructura como para la reparación.

La parte ambiental debe ser una fortaleza. Ahora nos queremos fijar unos límites de cumplimiento porque en los otros países están así, pero no podemos asumir la responsabilidad de lo que éstos han hecho. No. Nosotros estamos en otro momento. Debemos no sólo hacer la reglamentación sino exigir su cumplimiento.

Promulgamos muchas leyes y muchos decretos, pero no definimos. Debemos elaborar el ordenamiento ambiental de las cuencas hidrográficas, hacer cumplir las leyes, basarnos en estudios ambientales que nos digan los problemas que tienen los proyectos y cómo los vamos a solucionar, pero no que se conviertan en un *checklist* para que devuelvan un estudio si falta tal papel. De eso no se trata.

Necesitamos un Ministerio de Medio Ambiente que haga seguimiento a las aprobaciones que da y no dedicarnos más a parar y a parar... Muchas veces el encargado del chequeo no va a la obra y no sabe cómo son las volquetas, ni que esa obra se va a tener que meter por un municipio y dañar todas las calles...

**A propósito del tema de las torres de comunicaciones que dan al parque Tayrona, los indígenas protestan y los empresarios argumentan que no pueden dejar incomunicados a los pueblos. ¿Qué hacer en ese caso?**

Ese es un tema muy difícil porque somos una población con multiplicidad de etnias, minorías que tienen unos derechos adquiridos. Se les debe socializar y, en algunos casos, concertar las definiciones. Hay que involucrar en los proyectos a esos indígenas, a esas minorías, para que conozcan de primera mano lo que se va a hacer. De ninguna manera el gobierno debe parar un proyecto por unos beneficios que realmente no son los que ordena la ley.

El Estado tiene mucha culpa en ello, porque les ha incumplido a las comunidades en varias cosas después de impactarlas. Lo más importante de la consulta previa es que lo que se acuerde, se cumpla.

# Foro

## “Infraestructura para el desarrollo nacional. Retos para el siglo XXI”

En el marco de ECIENCIA 2013, encuentro científico y cultural interuniversitario de la Escuela Colombiana de Ingeniería, se convocó a varios sectores, entre ellos el gremio de ingenieros y la academia, para proponer las acciones que se deben ejecutar con el fin de responder a los grandes desafíos sociales, comerciales y ambientales del país.

### PANELISTAS

**Ingeniera Diana María Espinosa Bula**, presidenta de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI)  
Ingeniera civil y especialista en Saneamiento Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y magíster en Derecho de Recursos Naturales de la Universidad Externado de Colombia. Consultora y empresaria, se desempeñó como asesora de la Dirección General del Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (INAT) y subgerente general de Infraestructura del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder).

**Ingeniero Santiago Henao Pérez**, director del Centro de Estudios de Vías y Transporte de la Escuela Colombiana de Ingeniería  
Ingeniero civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería y magíster en Ingeniería de Transportes y Operaciones de la Universidad de Newcastle (Inglaterra). Ha sido jefe de la Oficina de Planeación del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, director de Planeación de la Sociedad Colombiana de Transporte Ferroviario, vicepresidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros y representante local del Laboratorio de Investigaciones de Transportes del Reino Unido en Bogotá.

**Ingeniero Andrés Figueredo Serpa**, vicepresidente de Planeación, Riesgos y Entorno de la Agencia Nacional de Infraestructura (INA)

Ingeniero civil de la Universidad Santo Tomás, magíster en Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes y magíster en Gestión Portuaria de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona). Se ha desempeñado como profesional en la Unidad de Planeación Estratégica y la Unidad de Planeación Financiera del Instituto de Desarrollo Urbano, subdirector de Operación Marítima y Portuaria del Ministerio de Transporte, coordinador portuario en el Instituto Nacional de Concesiones y consultor del Banco Mundial para el plan de expansión portuaria en el Pacífico colombiano.

### MODERADOR

**Físico Vicente Albéniz Laclaustra**, profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería  
Filósofo de la Universidad de Bordeaux. Físico teórico de la Universidad de Barcelona y magíster en Educación de la Universidad Complutense. Coordinador académico y editor de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (Acofi), y asesor académico de la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (Asibei). En la Escuela Colombiana de Ingeniería es profesor de Física, así como de los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad en las maestrías.

## PRESENTACIÓN

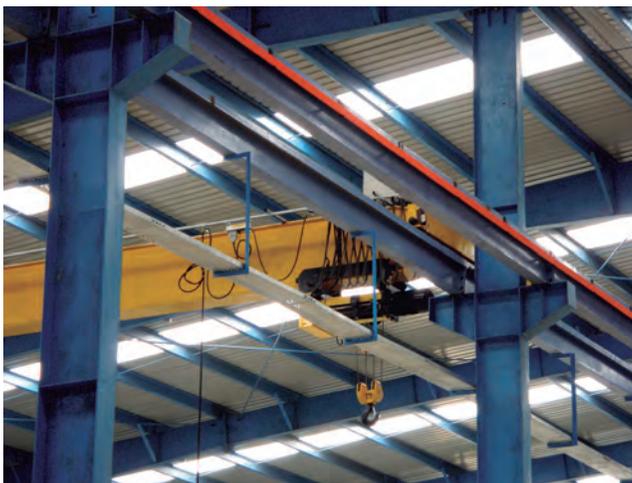
### Vicente Albéniz Laclaustra

La infraestructura es esencial. Curiosamente, esta palabra no nace en la ingeniería sino en los estudios sociales, de manera fundamental en la crítica marxista de éstos. Se concibe como infraestructura toda la base material que permite el desarrollo de la sociedad. En nuestro caso, hablamos de una infraestructura propia de la ingeniería, y en tal sentido vamos a abordar diversos aspectos.

### Diana María Espinosa Bula

La Sociedad Colombiana de Ingenieros es una corporación sin ánimo de lucro, técnica, académica y científica, con 126 años de existencia. ¿Cuál es su compromiso? Primero, es un ente que cobija todas las ramas de la ingeniería y tiene presencia en 25 regionales en el país, desde San Andrés y Providencia hasta el Amazonas, más otra que estamos creando, que es la de Territorios Nacionales. Con estas 26 igualaríamos al Instituto Nacional de Vías, una entidad emblemática que llega a todos los rincones de Colombia con sus inversiones.

¿Qué estamos buscando? Dignificar la profesión. La ingeniería ha sido golpeada últimamente y debemos izar el estandarte de que ésta es la profesión que el país necesita. ¿Cómo? Trabajando con una legislación que ponga en igualdad de condiciones a la pequeña, la mediana y la gran ingeniería, tratando de que los ingenieros valoremos nuestra profesión y además que sea la forma de aportar a esta sociedad. ¿Con qué? Con obras de ingeniería, con la academia, la educación y un comportamiento ético responsable.



Qué estamos buscando con el gobierno nacional: que haya pluralidad de oferentes en todos los contratos de obra que licita, porque la única forma de escoger al mejor es tener muchos oferentes. Lo más importante es que los ingenieros estemos comprometidos con la calidad del trabajo que desarrollamos y que seamos mucho más competitivos.

La SCI es órgano consultivo del gobierno nacional desde 1904. Además de ser un gremio, somos completamente independientes y hacemos las críticas necesarias al gobierno a escala local, regional y nacional. Estamos convencidos de que necesitamos generar una infraestructura acorde con la realidad del país, con nuestra localización geográfica, con los tratados de libre comercio recientemente firmados. No se trata de que el gobierno nacional centralice y ejecute unos proyectos, sino de integrar a todas las regiones.

Tenemos, además de las regionales, 32 sociedades correspondientes, es decir, asociaciones de egresados como la de la Escuela, y otras técnicas, específicas, como la Sociedad de Geotecnia, la de Ingeniería Sísmica, la de Estructuras.

En materia de infraestructura, tenemos un rezago exagerado. Hay muchos elefantes blancos, obras que se hicieron y se dejaron botadas. Lo ideal sería optimizarlas, restablecerlas.

Otro tema que preocupa es la llegada de numerosas empresas de ingeniería extranjeras. En el último año han entrado al país más de 2500 ingenieros y profesionales afines, como topógrafos, procedentes de Venezuela, España, Brasil y México.

Como gremio, concientizamos al gobierno nacional de que la infraestructura del país debe suplir una necesidad ambiental, social y geográfica con las mejores soluciones técnicas. Lamentablemente, las obras de infraestructura obedecen a una coyuntura política o a la disponibilidad de recursos económicos, pero ya le estamos haciendo la guerra a eso.

Las obras en las regiones son trascendentales, no pueden ser proyectos ordenados en Bogotá, desde un escritorio; hay que involucrar a las autoridades locales, a la población de la zona. Hoy en día cursa en el Congreso de la República la ley de infraestructura, y una de las motivaciones de la ministra de Transporte es la convergencia regional.

La Sociedad Colombiana de Ingenieros les está dando cada vez más importancia a las regionales. Una

muestra de esto es que está sesionando en diferentes lugares del país, para conocer las necesidades, dificultades y fortalezas de cada región en particular.

Para la SCI, la defensa y el fortalecimiento de la ingeniería nacional son lo principal. Nuestro objetivo es lograr que estos proyectos de infraestructura sean responsabilidad de los ingenieros colombianos, desarrollados por la ingeniería nacional; que seamos socios, no subcontratistas de las grandes empresas y firmas que están llegando supuestamente con inversiones. La verdad es que llegan en busca de contratos y, una vez conseguidos, subcontratan a los ingenieros nacionales a un menor precio.

Estamos trabajando de la mano con la Agencia Nacional de Contratación, Colombia Compra Eficiente, para hacer unos pliegos de licitación tipo que no estén adecuados al interés o al deseo del mandatario de turno en la alcaldía, la gobernación o la entidad contratante. La idea es que el 1.º de enero del año 2014, por medio del Decreto 1510 que sancionó el presidente de la república, se inicie la tarea de los pliegos tipo.

Les estamos proponiendo a los gobernadores y alcaldes que haya la opción del primer contrato de obra para que los ingenieros egresados tengan la posibilidad de que, con su matrícula profesional y un desempeño adecuado, un balance sencillo, puedan acceder a un primer contrato de obra y no tengan que esperar diez o quince años para esto.

Así mismo, en conjunto con la Cámara Colombiana de la Infraestructura y el Instituto Nacional de Vías, estamos organizando unas mesas de trabajo para buscar formas de licitar más claras, prácticas, transparentes, que se apliquen de inmediato. Como resultado de esto, vamos a hacer un manual de consultoría para el Instituto Nacional de Vías y para el sector del transporte.

El reto de la ingeniería es lograr un desarrollo sostenible, una construcción sostenible, dirigir el trabajo a una infraestructura de vanguardia. Debemos actuar con responsabilidad y rigurosidad; entregar a la comunidad las obras que necesita, porque los ciudadanos son los beneficiarios de lo que hacemos y los que definitivamente sufren el impacto negativo si no se ejecuta la obra.

Tenemos un rezago en todas las áreas, no sólo en la de transporte. Lo hay en adecuación de tierras, en agua y saneamiento básico. De los 1180 municipios del país, sólo 365 tienen agua potable. Allá es donde debe llegar la infraestructura.



Esta es nuestra propuesta: crear el Ministerio de la Infraestructura y no centrarlo en el sector del transporte. En 1905 se creó el Ministerio de Obras Públicas y en 1950 el Instituto de Fomento Municipal (Insfopal), gracias al cual se construyeron grandes acueductos y alcantarillados a lo largo y ancho del país. Hoy todo está sectorizado, enfocado en el sector del transporte.

### Andrés Figueredo Serpa

Primero quiero explicar cómo están organizados, desde la óptica del sector institucional, el Ministerio de Transporte y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) como uno de los agentes adscritos que tienen a su cargo la gestión de proyectos de infraestructura, con la vinculación del sector privado y el esquema de concesiones en los diferentes modos de transporte.

Luego de un proceso de renovación, la ANI se ocupa, tanto en la estructuración como en la gestión, de las concesiones viales, férreas, aeroportuarias y portuarias. Tiene una presidencia y cinco vicepresidencias que apoyan la estructuración, la gestión contractual y la supervisión de los proyectos. Precisamente, uno de los principales pasos que dio este gobierno en el sentido de modernizar las entidades a su cargo fue la gestión de proyectos de gran impacto para el desarrollo de la nación.

Al comienzo de su gestión, este gobierno encontró rezagos en cada uno de los modos de transporte. Hoy en Colombia, comparativamente con la región e incluso con otros continentes, los costos de logística representan el 23 % del producto interno bruto (PIB). En la medida en que podamos ir reduciendo ese índice,

desde el punto de vista de la competitividad y la conectividad, podremos tener la posibilidad de conectar esos centros de producción con los de consumo en unos tiempos menores, lo que se va a reflejar, obviamente, en el crecimiento de la economía. Vamos a ver cómo este programa de concesión de carreteras, el más ambicioso del gobierno nacional en la actualidad, aportaría en ese índice de crecimiento económico.

En una muestra del Foro Económico Mundial, en cada uno de los modos de transporte, se ubica a Colombia en el puesto 130 entre 140 países en el caso vial; en el férreo, en una muestra de 120 ocupamos la casilla 113; en el portuario, entre 150 estamos en el lugar 110; en el aeroportuario, en una muestra de 140 nos corresponde la posición 96. Estas cifras son contundentes y evidentes en cuanto a la necesidad —ya no digamos la posibilidad— de que el país vuelque la mirada al desarrollo de la infraestructura y la conectividad.

Al analizar el cambio de visión en la priorización del recurso público en la historia del país, el comportamiento de la inversión en un porcentaje del PIB muestra que ésta ha fluctuado entre 0,5 y 1 % en el sector del transporte, ha estado entre 1 y 1,5 % en el sector de las comunicaciones y ha oscilado entre 3 y 5 % del PIB en el sector energético. Es lo que se ha venido haciendo en materia de inversiones en los gobiernos anteriores.

Estos números son bastante dicentes. Desde principios del 2000 hasta la fecha, el comportamiento de la inversión en obras públicas, bien sea mediante el esquema de concesión o de la figura de obra pública, lo que se ha venido invirtiendo en estos años evidencia que en 2012 tuvimos el mayor repunte. En cuanto a la priorización de los recursos públicos, se le está apuntando a destinar a la inversión en infraestructura entre el 2 y 3 % del PIB sostenido durante los próximos quince años. Es uno de los mayores desafíos.

Entre 2000 y 2010 se tenía un promedio de 60 km/año en avance de construcción de dobles calzadas. A comienzos de este periodo de gobierno, en 2011, se ejecutaron 101 km de doble calzada y en 2012, 202 km. La meta para este año es de 300 km. En septiembre habíamos alcanzado 160 km y estimamos que cerraremos en 260 km de doble calzada construida con los nuevos proyectos en ejecución.

Si bien es cierto que el principal desafío es tener una adecuada planeación y estructuración de los proyectos, es urgente también lograr excelente ejecución y gestión.

Cuando hallamos obstáculos en el camino, como lo relacionado con los permisos socioambientales, o esa interferencia de red que no se previó y se identificó en una fase de estructuración, la gestión predial a veces termina convirtiéndose en el cuello de botella que impide que las obras avancen de manera acelerada.

El gobierno ha hecho un enorme esfuerzo en el fortalecimiento institucional. En el desarrollo de un nuevo marco normativo, la Ley 1508 de 2012 presenta las nuevas reglas de juego para efectos de contratación de asociaciones público-privadas por concesión, en la que una de las principales características es que ahora las obras y la remuneración hacia los contratistas se hacen sobre la base de entregas de unidades funcionales operativas. En el momento en que la unidad funcional de 10 km está construida y se encuentra operando, el contratista tiene derecho al recaudo del peaje y de la vigencia futura. Esto termina constituyendo un incentivo para que las obras se ejecuten oportunamente.



El gobierno nacional está impulsando una ley de infraestructura que busca facilitar el proceso de licenciamiento de redes e indicar quiénes asumen la responsabilidad en el momento en que se presente un conflicto. Así no sólo se le da la opción sino la obligación al juez del predio que se necesita llevar a expropiación para que haga la entrega anticipada y sea posible desarrollar la obra.

Actualmente se está definiendo el mapa de la cuarta generación de concesiones, en cuanto a los kilómetros que van a concesionarse y a la inversión. Acabamos de lanzar los nueve primeros contratos de concesión con

una licitación pública formal, con el aval fiscal y los recursos disponibles por más de doce billones de pesos.

El programa que se ha estructurado es de 47 billones para concesionar 8000 km de vías nuevas. Hoy se tienen en concesión 5176 km, que representan 22 billones de pesos. En términos de longitud, es casi 1,5 veces lo que se ha concesionado y en inversión es el doble en dos años. Lo anterior se ha hecho en las últimas dos décadas.

En materia de crecimiento del PIB, se le apuesta a subir un punto de crecimiento de la economía; es decir, pasar de 4,6 a 5,3 el aporte del sector de infraestructura de transporte. En generación de empleo, esperamos que se concreten no menos de 200.000 puestos de trabajo con ocasión del desarrollo de este programa en los próximos cinco años, que corresponden a la etapa constructiva primordialmente concentrada.

Estamos enfocados en que estas estructuraciones tengan unos diseños ajustados a las especificaciones del Instituto Nacional de Vías, con una velocidad de operación apta para el transporte de carga. En proyectos como el de la autopista de la Prosperidad, por ejemplo, se están considerando unos tramos de túneles y viaductos muy significativos, de tal modo que no sigamos como en el pasado cuando, dadas las restricciones fiscales, las decisiones que se tomaban respecto de esas vías terminaban siendo darle la vuelta a la montaña y volver a bajar, sino que definitivamente tenemos que pensar en obras a largo plazo que resuelvan los problemas de conectividad.

No solamente se trata de lo que el Estado lleva a licitación, sino que esta Ley 1508 permite también que el sector privado le proponga proyectos al Estado; gracias a esto, hoy tenemos numerosas solicitudes recibidas, nueve de ellas en estudio de prefactibilidad y seis de factibilidad, con inversiones cercanas a los 5,4 billones de pesos.

De igual manera, en el sector férreo se está haciendo una inversión muy significativa. Es una infraestructura desatendida por los gobiernos desde hace muchos años. Se tomó la decisión de recuperar los tramos férreos existentes entre Chiriguaná, La Dorada y Bogotá-Belencito. Ya se adjudicó un contrato de 200.000 millones de pesos, que en los próximos dos años debe permitir su recuperación, y en una segunda y tercera fase, mediante ese esquema de asociación pública-privada de iniciativas privadas presentadas, la idea es continuar con la expansión de estas infraestructuras, hasta el punto

de que podamos conectar la infraestructura férrea del Atlántico con la del Pacífico.

En el tema aeroportuario ya son más de 17 aeropuertos concesionados, y los seguimos entregando con esa misma figura. Se están presentando iniciativas privadas de desarrollo logístico alrededor de estos aeropuertos. Tal vez una de las inversiones más relevantes es la de El Dorado, que permitió tener un terminal renovado al 100 %, con una inversión superior a los mil millones de dólares.

En el tema portuario, esto es absolutamente dinámico. En la actualidad, existen en el país más de 90 terminales portuarias menores de comercio exterior. Es un sector muy activo. Este año, en las concesiones vigentes, se están ejecutando inversiones por 400 millones de dólares y tenemos iniciativas radicadas y en estudio por 1550 millones de dólares.

### Santiago Henao Pérez

Nuestro aporte desde la óptica de la academia puede ser brindar algunas luces, conceptos que tenemos sobre la infraestructura. De pronto por mi sesgo personal, está muy orientado a la infraestructura de transporte pero, como lo decía Diana Espinosa, abarca muchos otros sectores.

Uno de los pilares que, a nuestro juicio, debe tener toda inversión es la planeación. Por lo menos en la infraestructura de transporte en Colombia, es un ejercicio riguroso, ordenado, un protocolo que brinda un proceso continuo de previsión de recursos.

Para cumplir algunos objetivos, establece una serie de prioridades con el fin de atender las necesidades de una región; así las cosas, el ejercicio de planeación no se queda en un tema académico para presentar diagnósticos. Bogotá está padeciendo por la falta de planeación y la improvisación de muchos proyectos, y eso a la larga sale costoso. Los economistas tienen un dicho: el mayor costo que uno tiene en un servicio es no obtener el servicio.

En este contexto, en el Centro de Estudios de Vías y Transporte de la Escuela enfocamos el contenido de los cursos y las actividades en una teoría de optimización de los recursos. Esa es la gran pregunta que nos hacemos aquí: en qué forma un país debe transportar toda su mercancía, su carga, sus pasajeros; cómo aprovechar al máximo las ventajas comparativas de cada uno de los



modos. El ferrocarril tiene grandes ventajas en carga voluminosa, extrapesada, extradimensionada. Esa carga no debería transportarse por carretera. Los sobrecostos los pagamos internamente todos los afectados; no somos productivos porque no lo hacemos al mínimo costo.

Estamos desperdiciando los recursos de un ferrocarril o del modo portuario. En la prensa publicaron un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo en el que se dice que peor que los aranceles es el costo que tenemos que pagar por el mal estado de las vías. Ese rezago, que se remonta a más de cinco décadas, no es gratuito. Sabemos que los proyectos de transporte son costosos, razón por la cual tenemos que hacer una correcta planeación, pues no podemos improvisar ni a escala local ni en el ámbito nacional.

Todavía usufructuamos un aeropuerto de 50 años y carreteras de la década de los treinta. Colombia recibió cerca de 25 millones de dólares por parte del gobierno de Estados Unidos en compensación por su actuación en la pérdida de Panamá, dinero que se invirtió en ferrocarriles que desaparecieron.

En cuanto a la construcción anticipada a la demanda, ahí fallamos mucho. Los proyectos de dobles calzadas se están demorando diez años en construirse y la proyección del tráfico se satura. La oferta de servicio se ve desmejorada por la duración de obras de esta clase, que tardan entre dos y tres años de construcción.

Una gran ventaja que trae la infraestructura de transporte es que genera economías de escala que estamos desaprovechando. No han sido claras las políticas de transporte por río, ni por carretera, ni por ferrocarril. Cada modo de transporte tiene sus ventajas geográficas comparativas. Se estima que con un dólar de combus-

tible se puede transportar una tonelada de carga 25 km por carretera, 107 km por ferrocarril y 536 km por vía fluvial.

Esto apunta a una cuestión energética, estamos desperdiciando recursos. No es justo que en la ciudad una persona vaya sola en su carro; no es racional ni consecuente con la optimización de los recursos.

En cuanto al Centro de Estudios de Vías y Transporte de la Escuela Colombiana de Ingeniería, tenemos cursos de geomática —que integra elementos tecnológicos y los sistemas para la medición del territorio— en el pregrado en Ingeniería Civil, en la línea de Vías y Transporte.

La ingeniería de tránsito, de transporte, de vías, con sus cursos de diseño geométrico, está preparando ingenieros civiles idóneos, capacitados para afrontar los retos de construcción de carreteras.

Por otra parte, en Colombia no se construyen ferrocarriles ni tampoco se enseña cómo. Entonces quién los va a construir. Seguimos en ese círculo vicioso. Esporádicamente ofrecemos cursos de ferrocarriles y de aeropuertos, que es otro tema fundamental para la conexión de nuestra red.

Creamos una especialización en Diseño, Construcción y Conservación de Vías, con énfasis en conservación, porque no sólo se trata de montar la infraestructura, el mantenimiento también es primordial para garantizar mayor duración.

En resumen, los cursos son de planeación. El país tiene que hacer muchísimo con lo que se viene. Hemos estado muy alejados de los temas de túneles, y éstos y la geotecnia vial van a ser una llave fundamental en lo que se impone en Colombia. Pavimentos, ingeniería de tránsito, economía del transporte, impacto ambiental... El manejo de todo esto hay que hacerlo en forma armónica.

Tradicionalmente, en Colombia se ha considerado que el Ministerio de Obras Públicas en otro momento o el Ministerio de Transporte ahora, en el fondo es un ministerio de carreteras. Así que bienvenida la idea de constituir todo un verdadero ministerio de infraestructura que cubra también los demás sectores.

En el año 2008 creamos la maestría en Ingeniería Civil, con énfasis en el área de tránsito y transporte, en la cual damos todos estos lineamientos generales con el enfoque que mencioné antes: geografía del transporte. La geografía dejó de ser ese tema árido, insípido, sólo

de conocimientos de áreas y kilómetros cuadrados. Es todo un tema de movilidad, de comercio internacional. Además, está presente la investigación de operaciones, esa herramienta matemática que permite hallar soluciones óptimas, precisamente aplicada al transporte.

La logística de la carga, del manejo de puertos y de la interacción de la carga es fundamental, al igual que la planeación del transporte y evidentemente también sistemas de transporte público de pasajeros, que es otro de los aspectos por atender en las ciudades.

En cuanto a concesiones, abordamos lo referente a participación público-privada, diseño avanzado de vías, intersecciones a nivel, diseño de operación de aeropuertos, sistemas ferroviarios, diseño de operación de sistemas marítimos y fluviales, así como temas específicos de ingeniería de tránsito y transporte.

## PREGUNTAS

### Los retos fundamentales en infraestructura

- **¿Cuáles son los retos que consideran desde la sociedad y cuáles son las propuestas de la Sociedad Colombiana de Ingenieros?**

#### Diana María Espinosa Bula

Hacer una construcción sostenible en todas las áreas, llegar a los municipios del país con los servicios públicos domiciliarios y la infraestructura indispensable para conectar los centros de producción y los centros de consumo, aprovechar los recursos humanos que tenemos, la localización geográfica, las hidroeléctricas; buscar proyectos de energía alternativa y crear una infraestructura acorde con nuestras condiciones geográficas y nuestras necesidades técnicas sociales. No basta con las concesiones y las alianzas público-privadas; el gobierno debe llegar con inversión social donde se requiera.

Hoy por hoy, como no tenemos recursos, se está viendo un endeudamiento con vigencias futuras muy grandes y los proyectos se están entregando a extranjeros. Estos proyectos deberían ser para infraestructura nueva, la rehabilitación y el mantenimiento tendrían que hacerse con recursos del gobierno o pedir préstamos.

Nuestra propuesta es la siguiente: crear un ministerio de la infraestructura que no esté centrado en el sector del transporte. Este gobierno está haciendo un esfuerzo notable al tratar de rehabilitar el ferrocarril. No

debemos hablar solamente del río Magdalena; debemos pensar en el río Meta, en el Arauca, en la conexión con el Pacífico. Además, hay que mirar si es conveniente para estos ríos, si se ha hecho el análisis de carga entre los medios de transporte...

La conclusión es que necesitamos inversión social en todos los rincones del país. En otras palabras, rehabilitación, mantenimiento y optimización con recursos nacionales.

#### Andrés Figueredo Serpa

En efecto, coincido con varias de las apreciaciones de Diana Espinosa. El principal desafío es alcanzar el objetivo al cual le estamos apostando en materia de economía, de generación de empleo, de conectividad. En la medida en que tengamos infraestructura, arterias principales rehabilitadas, operativas, el ferrocarril de la costa atlántica y la pacífica funcionando con equipos de última generación, con una visión comercial que se complementa con el uso del camión en las vías que se están recuperando, vamos a empezar a conseguir la meta propuesta. Ese es el principal reto.

Cómo lo vamos a lograr. Primero, manteniendo de manera permanente esa visión de priorización del gasto hacia el sector de infraestructura en los gobiernos. Hace poco el presidente Santos decía que lo que representa menor costo políticamente para hacer una reducción del gasto es el sector de infraestructura. Eso era lo que hacían los ministros de Hacienda de administraciones anteriores.





Segundo, generando herramientas normativas, como la Ley 1508, que propicia la figura de las asociaciones público-privadas, y la ley de infraestructura, que se está tramitando en el Congreso, la cual va a beneficiar no solamente los contratos de concesión en la modalidad de vinculación del sector privado sino los de obra pública. Es una ley que contempla herramientas, procedimientos y reglas de juego claras, de cómo gestionar los temas ambientales, prediales, sociales, de redes, de comunidades, en unos tiempos cortos por parte de las autoridades y de los otros actores.

Coincido en gran medida con la presidenta de la SCI en que el principal objetivo de estos contratos de concesión —que son a tan largo plazo— es que le apunten a obras de infraestructura relevantes. Realmente, las concesiones son eso, un mecanismo de financiamiento para desarrollar obras de infraestructura que el Estado no puede sufragar porque carece de los recursos necesarios. Entonces se apalanca con ese esquema a 20 o 25 años.

### Santiago Henao Pérez

Hace ocho años organizamos un foro muy similar, al cual asistió el ministro de Transporte de ese entonces, Andrés Uriel Gallego, y se escucharon las mismas promesas. En realidad, el gran reto está en la ejecución. Que el gobierno nacional haga el desarrollo y que absorba los profesionales que se están preparando. Tenemos que aprender mucho de los dirigentes del sector hidroeléctrico, que han hecho una adecuada planeación, han presentado muy bien los estudios y no le han tenido miedo a la construcción de túneles hidráulicos; hay muchos en Colombia, sobre todo en las centrales hidroeléctricas. En cambio, la construcción de túneles para automóviles y ferroviarios sí ha estado muy retrasada. Resumo todo en una palabra: ejecución.

### Pregunta para Diana María Espinosa Bula

**A partir de su experiencia y su formación, ¿cuál es la relación entre desarrollo de infraestructura y respeto por el medio ambiente?**

Antes de 1993, cuando no existía el Ministerio de Ambiente, los primeros pinitos en el tema ambiental se hicieron por intermedio del Inderena. El primer Código de Recursos Naturales que tuvo Colombia data de 1974. Considero que si lo aplicáramos estaríamos cumpliendo con todo. Sin embargo, ha habido una legislación cambiante en los últimos tres años. Tenemos un cálculo de más de quince decretos que han modificado la legislación, en los aspectos relacionados con el aire, el ruido, el área forestal. Pienso que el gran reto es, primero, diseñar y planear los proyectos desde los puntos de vista técnico, ambiental y social, con el fin de que no exista más ese mapa en el que los grupos al margen de la ley se han tomado nuestros recursos naturales y nuestros parques, y la inversión del gobierno no ha llegado. Segundo, planear esos proyectos. El gobierno debe tener también entidades cuyos tiempos de respuesta sean acordes con las necesidades de la infraestructura.

Vemos una entidad como la Agencia Nacional de Infraestructura, que contrata unas concesiones y les dice a los concesionarios: “En un año hay que tener diseños, licencias aprobadas, consultas, etc.”. Pero se está respondiendo a un chequeo de requisitos y no estamos analizando lo importante. Nos preocupamos por cumplir con una lista cuando entregamos un estudio de impacto ambiental, pero debemos buscar lo importante y ver lo fundamental.

Hay que beneficiar a esa comunidad que necesita inversión. Me molesta cuando dicen que la piedra en el zapato es el tema socioambiental, pues la verdad es que no podemos imponer los proyectos. Pienso que esta ley de infraestructura va a ser benéfica. El gobierno tiene que asumir riesgos, compromisos, porque por ejemplo el Ministerio del Interior dice “Aquí hay quince comunidades”, y en la ejecución del proyecto aparecen otras diez; aquí cabe aclarar que el concesionario, el contratista y el privado no pueden asumir lo que el gobierno ni siquiera ha identificado. Creo que es muy importante esa reflexión.

La legislación nacional cambia todos los días. El gobierno debe analizar si se necesita un nuevo decreto y qué implicaciones puede tener. Además, debe planear

sus proyectos, contar desde el principio con el componente socioambiental desde el principio y, obviamente, con su parte técnica. Se requieren unas entidades del gobierno acopladas a los tiempos de respuesta que necesita la infraestructura y unas comunidades que no vulneren el derecho de los demás colombianos, aunque ellos sean minoría. Que tengan ese derecho de la consulta previa, pero que no se tranque un proyecto que beneficia al resto del país.

#### Preguntas para Andrés Figueredo Serpa

**¿Cuál es el sector de la infraestructura que necesita mayor desarrollo en Colombia? ¿Por qué si se habla de descentralización las inversiones en vías sólo comunican las ciudades principales?**

Claramente, la más rezagada hoy en día es la infraestructura vial, la conectividad. En un balance general de infraestructura, podríamos decir que el principal desafío está allí.

Es una decisión de una responsabilidad muy grande, porque estamos comprometiendo los impuestos de todos los ciudadanos, los estamos pignorando a 20 años. Son vigencia futura, pero el hecho de que hoy en día el Ministerio de Hacienda, en su análisis de gastos a largo y mediano plazo, encuentre que hay disponibilidad presupuestal para comprometer 47 billones de pesos, de por sí es una garantía.

Se están encontrando otras fuentes. Por ejemplo, el debate que se ha venido dando con la venta de Isagén, que se pretende que sea una fuente de financiamiento para esos proyectos a largo plazo. Por supuesto que el gran desafío es la materialización y tener una ingeniería adecuada, eficiente, pero si no existe la forma de financiar esos proyectos a tan largo plazo, no vamos a cumplir con el objetivo.

Entre estas prioridades están las vías terciarias y secundarias, responsabilidad que sigue estando a cargo del Instituto Nacional de Vías (Inviás). Cada vez se suscriben más convenios entre el Inviás y los entes territoriales. En este gobierno, con la distribución de las regalías, se buscó ejecutar esos recursos de modo eficiente. Es un programa activo y se mantiene paralelo a estos proyectos a largo plazo.

#### Pregunta para Santiago Henao Pérez

**La infraestructura compromete diversos saberes. ¿Qué se hace con ingenieros de otras áreas o cómo se promueve la alianza universidad-empresa-Estado?**

Sobre la iniciativa privada, es una ocasión especial para reconocer que el Estado no ha sido muy buen ejecutor, por lo que tiene que aliarse con particulares. Se necesitan mutuamente. En ese sentido, bienvenidas todas las participaciones público-privadas. Con respecto a la alianza universidad-empresa-Estado, en la Escuela se prestan servicios a diferentes entidades. En el área de pavimentos, es muy fuerte el aporte de la universidad en investigación de nuevos materiales, en ensayos de materiales.

En el tema de los saberes, hemos parcializado las cosas como si todo fuera ingeniería civil. Evidentemente, el mundo va más allá. Lo que se viene en sistemas inteligentes de tránsito, aprovechando la electrónica, el reconocimiento y la identificación de vehículos, el recaudo electrónico de peajes, es gigantesco. Todo lo que se aprende ahora, en diez años quedará obsoleto. El desarrollo tecnológico de la electrónica, asociado con las telecomunicaciones, con sistemas de control, para el tránsito y el transporte en general, va a ser una verdadera revolución.





# REVISTA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

## Alcance y política

El objetivo de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* es difundir artículos técnicos que contribuyan al desarrollo del país a través de una publicación con alta calidad editorial y rigor científico.

La revista acepta prioritariamente los siguientes tipos de trabajos, que le permiten mantener su categorización:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **Artículo de revisión.** Documento producto de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.

También admite artículos de las siguientes tipologías:

4. **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren una pronta difusión.
5. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico.
6. **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

Cabe destacar que se privilegian para la revista los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

La revista circula trimestralmente y recibe sólo artículos inéditos. Los trabajos recibidos se someten al concepto de pares académicos y del Consejo Editorial.

## Requisitos para la publicación de artículos

Los artículos presentados a la revista deben remitirse por correo electrónico a [revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co), adjuntando los siguientes formatos debidamente diligenciados: autor.doc, clasificación.doc y tipo.doc, cuyos archivos se pueden descargar de <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. En este mismo sitio está disponible la plantilla guía que contiene la estructura determinada por la revista para los artículos.

## Scope and policy

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* disseminates technology articles helping to our country development. It emphasises on its high quality print and its scientific rigour. Articles submitted for publication shall be classified into one of the following categories— which allow it keeps its indexation:

1. **Scientific and technological research article.** These documents offer a detailed description about the original findings of research projects. In general, the usually used structure contains four important sections: introduction, methodology, results and conclusions.
2. **Reflection article.** These documents present the results of a research project on a specific, interpretative, or critical view by the author about a particular topic by using original sources.
3. **Review.** A document resulting from a finished research, where the published and/or unpublished findings of investigation in a particular field of science or technology are analysed, systematised and integrated to report the progress and the development tendencies. These documents include a careful bibliographic review.

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* also accepts the following types of articles:

4. **Short article.** A brief text presenting the original, preliminary and/or partial results of a scientific or technological study, which normally need to be disseminated as quickly as possible.
5. **Case report.** A document that presents the results of a study on a specific situation in order to report the technical and methodological experiences considered in a particular case.
6. **Thematic review.** These documents are the product of a critical review of literature on a particular topic.

Our revista privilege articles as the highlight ones in numbers 1, 2 and 3.

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* is a quarterly publication that only accepts unpublished articles. The revista submits all the papers to the verdict of two academic peers, who evaluate the article.

## Ruling for publication

The article must be sent by e-mail to [revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co) with 3 files attached: Author.doc, Classification.doc and Type.doc available in <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. There is also a template guide for the structure of the article (template guide.doc).



# Entregando lo mejor de los **colombianos**

Línea de atención al Cliente Nacional: 01 8000 111 210  
Línea de atención al Cliente Bogotá: (57-1) 4199299

➤ [www.4-72.com.co](http://www.4-72.com.co)