

- **Reforma al Banco de la República.**
- **Alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM) para ciudades con población \leq 20.000 habitantes.**
- **Muros de contención contemporáneos, construidos con criterios de diseño de los muros taironas.**
- **Evaluación de la remoción de DBO, DQO, SST, NTK, PT y CF en un humedal de flujo subsuperficial construido con carbón mineral y cultivado con *Zantedeschia aethiopica*.**
- **Modelo de medición y análisis de factores de responsabilidad social empresarial (RSE) para el diseño de estrategias y programas en pequeñas y medianas empresas.**
- **Breve historia de la ingeniería vial en Bogotá (a propósito de algunos hechos recientes).**
- **NOTICIAS**
Nombramiento de graduadas

Enero - Marzo de 2013

ISSN 0121-5132

P.V.P. Colombia \$12.000,00



Publicación admitida por Colciencias en el Índice Nacional de Publicaciones Seriadas, Científicas y Tecnológicas colombianas - Publindex - Clasificación tipo C
Publicación incluida en Ulrichsweb.com™
Tarifa postal reducida N.º 2013-107 4-72
Servicios Postales Nacionales S.A.
Vence 31 de diciembre de 2013 - ISSN 0121-5132

- Reforma al Banco de la República.
- Alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM) para ciudades con población ≤ 20.000 habitantes.
- Muros de contención contemporáneos, construidos con criterios de diseño de los muros taironas.
- Evaluación de la remoción de DBO, DQO, SST, NTK, PT y CF en un humedal de flujo subsuperficial construido con carbón mineral y cultivado con *Zantedeschia aethiopica*.
- Modelo de medición y análisis de factores de responsabilidad social empresarial (RSE) para el diseño de estrategias y programas en pequeñas y medianas empresas.
- Breve historia de la ingeniería vial en Bogotá (a propósito de algunos hechos recientes).
- NOTICIAS
Nombramiento de graduadas

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
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

La infraestructura de regadíos en Colombia

Alfonso Rodríguez Díaz

7-10

Reforma al Banco de la República

Eduardo Sarmiento Palacio

Luego de más de veinte años de la creación del Banco de la República autónomo, se abrió el debate sobre su conveniencia y continuidad. En el Congreso cursa un proyecto de ley para modificar la norma constitucional que estableció el banco central autónomo, así como la ley que lo reglamentó.

11-19

Alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM) para ciudades con población ≤ 20.000 habitantes

Andrea del Pilar Galvis Ramírez - Jairo Alberto Romero Rojas

En este artículo se evalúan y comparan cuatro sistemas de tratamiento de aguas residuales para municipios con población de diseño ≤ 20.000 habitantes, para proveer criterios de selección en términos de conveniencia desde el punto de vista técnico-económico. Las opciones seleccionadas para la evaluación son 1) laguna anaerobia + laguna facultativa, 2) lagunas facultativas en serie, 3) lodos activados tipo aireación prolongada y 4) reactor UASB + postratamiento con laguna facultativa.

21-28

Muros de contención contemporáneos, construidos con criterios de diseño de los muros taironas

Marta Inés González Sánchez

Los muros taironas encontrados en 1976 en Ciudad Perdida, en la Sierra Nevada de Santa Marta, situada en el litoral norte de Colombia, llevan en pie más de 400 años. En este artículo se recogen los resultados de un trabajo investigativo con el que se buscó entender su funcionamiento y compararlo con el de los muros de contención que se construyen en la actualidad.

Contenido

29-37

Evaluación de la remoción de DBO, DQO, SST, NTK, PT y CF en un humedal de flujo subsuperficial construido con carbón mineral y cultivado con *Zantedeschia aethiopica*

Carlos Ariel Díaz Acero - Jairo Alberto Romero Rojas

En este artículo se presentan los resultados de la evaluación de un humedal piloto de flujo subsuperficial horizontal, construido con carbón mineral y con vegetación macrófita ornamental, *Zantedeschia aethiopica*, para el tratamiento de un agua residual típica.

39-51

Modelo de medición y análisis de factores de responsabilidad social empresarial (RSE) para el diseño de estrategias y programas en pequeñas y medianas empresas

Juan David Sepúlveda Chaverra

En el presente trabajo se persigue el desarrollo de un modelo de evaluación de factores de responsabilidad social empresarial que facilite a pequeñas y medianas empresas establecer, mediante un proceso de autoevaluación, su nivel de RSE, al tiempo que, aplicado a grupos empresariales, permita el análisis de estrategias sectoriales.

53-67

Breve historia de la ingeniería vial en Bogotá (a propósito de algunos hechos recientes)

Fernando Sánchez Sabogal

La finalidad de este artículo es brindar una visión muy somera de la evolución de las obras viales en la capital de la república durante los últimos 200 años, resaltando tanto los éxitos como los fracasos. Así, mientras algunas construcciones se han constituido en verdaderos hitos, otras, muy frescas en la memoria de los bogotanos, se han convertido en auténticos chascos.

69 / NOTICIAS

Dos graduadas de la Escuela nombradas en importantes cargos, como reconocimiento a su trayectoria profesional.

71 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

La infraestructura de regadíos en Colombia

ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Miembro del Consejo Directivo. Miembro adherente del Claustro de Electores.

alfonso.rodriguez@escuelaing.edu.co

Hoy, cuando se ha vuelto imperativo hablar de los tratados de libre comercio que Colombia ha suscrito principalmente con países desarrollados e industrializados y que entran o están por entrar en vigencia, es necesario echar una mirada a la agricultura pero sobre todo a su infraestructura, con la cual se quiere afrontar este importante reto, con la idea de competir comercialmente en igualdad de condiciones para lograr mayores beneficios y reducir la desigualdad social de la que tanto se habla por parte de los gobernantes de turno.

Es bueno recordar que siempre se ha considerado a Colombia una nación con un gran potencial agrícola, y desde hace muchos años se menciona que este sector es una fuente imprescindible para el desarrollo socioeconómico del país a mediano y largo plazo; sin embargo, las estadísticas que muestran la contribución de este sector al PIB parece que dijieran lo contrario, a pesar de que algunos analistas precisan que este comportamiento no implica una pérdida de su dinámica, ya que se mantiene una tasa de crecimiento promedio del 3 % en la última década.

El sector agrícola colombiano llegó a representar el 60 % del PIB en 1925, participación que se redujo al 37 % en 1953, al 25,33 % en 1970, al 11,44 % en el 2007 y al 8,5 % en el 2008. Hoy el país es otro en cuanto a su producción, pero la importancia de este sector sigue siendo alta si se tienen en cuenta nuestra cultura agrícola y la calidad de vida, la generación de

empleo y los aspectos socioambientales. Tampoco se puede desconocer su trascendencia en la agroindustria.

Colombia, con una extensión territorial de 110,95 millones de hectáreas, posee 42,2 millones de hectáreas de suelo agrícola (38 % del territorio), y de una superficie potencial para actividades agrícolas de 21,5 millones de hectáreas, actualmente se utilizan tan sólo 4,9 millones, de acuerdo con datos del Ministerio de Agricultura; para ganadería se usa una superficie de 38,6 millones de hectáreas (apenas cinco millones de hectáreas en pastos mejorados), de las cuales sólo 20 millones son aptas para explotaciones ganaderas.

El país tiene 6,9 millones de hectáreas potencialmente regables (16,3 % del suelo agrícola) y apenas unas 900.000 hectáreas cuentan con mejoras en riego y drenaje (frente a los seis millones de hectáreas de México, para poner un ejemplo); además, se estima que cerca de un tercio de estos sistemas no funcionan adecuadamente y las tarifas no representan los costos reales de inversión y operación.

De estas 900.000 hectáreas con riego, aproximadamente el 70 % corresponde a obras desarrolladas por el sector privado, en especial de riego a pequeña escala, y la cantidad restante al riego público. Los proyectos de riego público, de acuerdo con documentos de la FAO, se iniciaron en Colombia en 1936, cuando el gobierno nacional, por intermedio de Electroaguas, empezó la construcción de los sistemas de adecuación de tierras

de los valles del Alto Chicamocha, Firavitoba y Samacá, en Boyacá. En el mismo año, el Ministerio de Economía comenzó las obras del sistema de La Ramada en la sabana de Bogotá, y en la década de los cuarenta construyó una presa derivadora para el desarrollo del río Recio, en el Tolima. En el periodo 1948-1953, la Caja de Crédito Agrario, Industrial y Minero construyó los distritos de riego de los ríos Coello y Saldaña, y la Corporación Autónoma del Valle del Cauca empezó en 1958 la construcción del distrito de riego Roldanillo - La Unión - Toro.

En 1961, el gobierno encargó de la adecuación de tierras en el país al Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (Incora), incrementándose en aquella época la inversión pública en este sector, en el que se construyeron catorce distritos de riego, drenaje y control de inundaciones. A partir de 1976, se le asignó dicha función al Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (Himat), entidad que empezó a transferir la administración de los distritos a las asociaciones de usuarios. Sus actuaciones se centraron en la rehabilitación de 15 de los 22 distritos ya existentes, por lo que en esta época sólo se construyó un distrito nuevo, que se inició en 1980 en el departamento del Tolima. En 1983, el Himat comenzó también el programa de riego a pequeña escala, y una década después, en 1994, se creó el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (INAT), organismo que ha continuado con la política de transferencia a las asociaciones de usuarios, así como el programa de riego a pequeña escala iniciado por el Himat.

A la fecha, el Estado ha desarrollado 29 distritos de riego medianos y grandes y unos 566 distritos pequeños, cuya superficie es menor de 500 hectáreas. En su gran mayoría requieren inversiones para rehabilitar su infraestructura (la reactivación de los distritos de riego empezó hace unos diez años y durante este periodo sólo se pueden mencionar tres nuevos, recientemente terminados o en su etapa de construcción: Río Ranchería, Triángulo del Tolima y el proyecto Tesalia - Paicol,

que apenas suman una superficie de 42.761 hectáreas). Así mismo, vale la pena mencionar que en el caso del riego localizado, aspersión, microaspersión o goteo, se dispone de unas 40.000 hectáreas en el sector público y de 7.000 hectáreas en el sector privado.

Por último, un referente valioso son las estadísticas regionales: México, con 9.800.000 hectáreas potencialmente regables, ya tiene con riego el 66 % de esta superficie; Chile, con un potencial de 2.500.000 hectáreas, ya tiene con riego el 52%; Perú, con 6.411.000 hectáreas, tiene con riego el 19 % , y Colombia, con un potencial de 6.900.000 hectáreas, tiene con riego el 13 %.

Las cifras son claras: la infraestructura de regadío en Colombia es poca y deficiente para afrontar el consumo interno y los retos planteados con los acuerdos comerciales.

Es prioritario revisar las políticas para impulsar y desarrollar el sector agrícola. Es bien sabido que en todos los países se subsidia buena parte de la agricultura, pero una política centrada en la generación de riqueza es clave para enfrentar este gran reto; hay que planificar, construir y desarrollar una infraestructura de regadío concebida para generar proyectos rentables y competitivos.

No es necesario inventar nada nuevo. La agricultura está pensada como una gran industria, como una agricultura de regadío en la que se debe producir las 24 horas del día y los 365 días del año, con sistemas colectivos de riego optimizados en los que se deben tener en cuenta el riego a la demanda y la cantidad adecuada de agua para las plantas, el trazado y diseño de las conducciones, el riego localizado y automatizado, el tamaño mínimo de las parcelas y el número de operarios que aseguren una mínima rentabilidad, al igual que la operación y el mantenimiento de estos macroproyectos.

Así trabaja el sector privado, por lo que el Estado debe adoptar este modelo si quiere que el sector agrícola realmente progrese. La disponibilidad de recursos es importante, pero éstos todavía se siguen malgastando; ojalá no sea tarde para enderezar el camino.

Reforma al Banco de la República

EDUARDO SARMIENTO PALACIO

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

eduardo.sarmiento@escuelaing.edu.co

RESULTADOS A LOS VEINTE AÑOS DE FUNCIONAMIENTO

Luego de más de veinte años de la creación del Banco de la República autónomo, se abrió el debate sobre su conveniencia y continuidad. En el Congreso cursa un proyecto de ley para modificar la norma constitucional que estableció el banco central autónomo, así como la ley que lo reglamentó.

En general, se advierte una clara inconformidad con el modelo que durante veinte años, en aras de controlar la inflación, causó la crisis de 1999, generó revaluación e interfirió en la producción y el empleo. La principal objeción recae en el Banco de la República, que le da prioridad a la inflación sobre cualquier otro objetivo, y tuvo entre sus más fervientes defensores a los últimos ministros de Hacienda.

La magistratura monetaria introducida en la Constitución no la entendieron bien los gobiernos y los tecnócratas, en buena medida porque era más política que económica y se fundamentaba en el arte del buen gobierno en el amplio sentido de la palabra. Partía del principio de que la moneda no podía dejarse en los presidentes de turno, porque terminaban empleándola con propósitos políticos y personales, lo que además de ser una fuente de injusticia y de formación de la política, constituía un serio obstáculo para el buen desempeño de la administración económica. Tanto el control de emisión como su orientación debían estar en manos de

expertos que operan dentro de directrices dictadas por el Estado con criterios técnicos. No se trata de ninguna manera de un poder para perpetuar mitos de las universidades de Estados Unidos, y mucho menos de los organismos internacionales, sino de un poderoso medio para promover el interés público y el bienestar general.

El desarrollo de las disposiciones constitucionales quedó en manos de los miembros de la junta directiva del Banco de la República, conformada por el presidente Gaviria con economistas de clara orientación monetarista. En la ley de funciones del Banco de la República y en las resoluciones posteriores de la junta directiva la norma constitucional se interpretó a la luz de la teoría de la neutralidad del dinero de la Universidad de Chicago, que proclama que el dinero tiene efectos nominales y no reales. Se estipuló como función principal del banco central regular la inflación, independientemente del resto de objetivos.



Los desaciertos del Banco de la República se originan en una teoría que tuvo un enorme prestigio en la década de los ochenta, debido a que operó relativamente bien en los países desarrollados, pero que en los últimos diez años ha probado ser equivocada en todas partes.

La inconsistencia la puso de presente la Corte Constitucional en un fallo sobre una demanda a la interpretación de la Constitución. Con base en conceptos de los miembros de la junta directiva, y del suscrito, señaló que la función del emisor no podía reducirse a la inflación. Además, debe contemplar la producción, el empleo y la estabilidad cambiaria y financiera. Lamentablemente, el dictamen de la Corte nunca se cumplió.

Los principios de la neutralidad del dinero, que justificaron a todos los bancos centrales del mundo, nunca se validaron en Colombia y cayó en total desprestigio luego de la recesión de 2008. En todas partes la expansión monetaria, destinada a financiar los déficits fiscales, contribuyó a reactivar la economía mundial, así como las nacionales, y no tuvo mayor efecto sobre la inflación.

La situación más ilustrativa se presenta en la última parte de los años noventa. En ese entonces la economía venía operando con un déficit creciente de la balanza de pagos y revaluación. El agravamiento del déficit y las dificultades para financiarlo transformaron las revaluación en presiones de devaluación. El alza de la tasa de interés y la reducción del déficit fiscal para evitar los efectos inflacionarios configuraron un cuantioso exceso de ahorro que desplomó la demanda. La economía entró en la peor recesión del siglo. A la contracción del déficit en cuenta corriente se agregaron el alza de la tasa de interés y la reducción del déficit fiscal. Antes estamos vivos. El producto nacional cayó 4,5 %, el desempleo se disparó por encima de 20 %, la industria perdió la tercera parte del capital y el sector financiero se quebró. Los hechos se encargaron de demostrar que la elevación de la tasa de interés no baja la inflación sin afectar la actividad productiva y el empleo.

Curiosamente, la funesta experiencia sirvió para radicalizar el sistema. Se estableció el piloto automático de la inflación objetivo, que lleva a subir la tasa de interés cuando aumenta la expectativa de alza de precios y a disminuirla en el caso contrario. El mecanismo ha sido un medio para bajar la inflación reduciendo la actividad productiva y el empleo y acentuando la revaluación. Así, en los últimos nueve años no se ha adoptado la decisión para intervenir el tipo de cambio sin limitaciones monetarias. Un manejo de esta naturaleza, de seguro, habría frenado la apreciación y evitado los efectos destructivos sobre la industria, la agricultura y el empleo formal.

El balance está a la vista. En los veinte años de funcionamiento del Banco de la República el producto nacional creció al menor ritmo del siglo, el desempleo y la informalidad laboral alcanzaron las tasas registradas más altas, la participación de la industria y la agricultura en el PIB bajó a la mitad, y el sistema, en conjunto, se hizo más vulnerable.

Los desaciertos del Banco de la República se originan en una teoría que tuvo un enorme prestigio en la década de los ochenta, debido a que operó relativamente bien en los países desarrollados, pero que en los últimos diez años ha probado ser equivocada en todas partes. Está demostrado que el dinero afecta la inflación, el tipo de cambio, la producción y el empleo, y que es un contrasentido científico darle prioridad absoluta a la inflación sin reparar en los demás objetivos.

Bienvenido el debate. Por ahora, la discusión está planteada entre un banco central que le da prioridad excluyente a la inflación, y otro que concilie los distintos propósitos y resuelva los conflictos con base en la información coyuntural, pero es necesario ir más lejos. El diagnóstico debe completarse con el cambio del contexto externo que siguió a la globalización.

CAMBIO DE LOS FUNDAMENTOS MACROECONÓMICOS EXTERNOS

El orden económico internacional está fundamentado en economías que funcionan con tasas de interés positivas y producción cercana al pleno empleo. Así, la política fiscal se encarga de mantener el tipo de cambio y la política monetaria de evitar la presión sobre la inflación sin grandes secuelas en la producción.

No se ha querido entender el cambio de las condiciones mundiales. El mercado, guiado por la teoría

de la ventaja comparativa, impulsó una competencia que deprimió los ingresos laborales y no indujo a los capitalistas a movilizar las ganancias a la inversión. Se configuró un exceso de ahorro mundial y tasas de interés cercanas a cero. De acuerdo con los principios más elementales de economía, el mundo y sus componentes tienden a operar por debajo de las posibilidades reales. La oferta agregada internacional es mucho mayor que la de demanda. La política monetaria de tasa de interés deja de ser efectiva para regular la demanda agregada y la política fiscal es ineficaz para sostener el tipo de cambio.

El drama humano no es de poca monta. Los esfuerzos académicos de las dos últimas décadas se orientaron a crear un marco institucional para regular la economía por la vía de la austeridad. En razón de las presiones inflacionarias mundiales, el esquema contenía la inflación y propiciaba el equilibrio de la balanza de pagos. La aplicación del mismo operativo dentro de un marco recesivo es fatal, porque causa recesión y revaluación.

En cierta forma, los pensadores económicos dieron por hecho que disponían de una teoría universal que podía implementarse a lo largo y ancho del planeta con un banco central que impusiera la austeridad monetaria. Luego, avanzaron al establecer que la política monetaria debía orientarse dentro del objetivo de inflación objetivo, que implica subir la tasa de interés cuando aumenta la inflación y bajarla en el caso contrario. Por su parte, la política fiscal debía limitarse a configurar un presupuesto balanceado que asegurara la estabilidad de la balanza de pagos. La receta aseguraba el crecimiento económico, el control de la inflación y la estabilidad de la balanza de pagos. Y todo resultaba de la teoría de equilibrio monetario que dictamina que la tasa de interés gobierna el sistema económico como un relojito perfecto.

El sistema funcionó bien en los países desarrollados entre 1980 y 2008 y mal en las economías en desarrollo, y la diferencia se justificaba diciendo que las últimas lo aplicaban en forma inadecuada. Las cosas cambiaron con la globalización, que hizo metástasis en 2008. Desde ese momento, el modelo funciona mal en todas partes y peor en los países desarrollados. En lugar de aceptar que se operaba con una teoría que no era universal y explicar las razones de los aciertos y desaciertos, se ha caído en una obsesión ideológica de atribuir los errores a la aplicación inadecuada de la receta. Se resisten a reconocer que se trata de una teoría parcial que opera de manera distinta de acuerdo con las condiciones externas

y las características de los países. Mucho menos se ha profundizado sobre los fundamentos que han dado lugar a los cambios drásticos de los resultados.

El debate se habría facilitado enormemente si se reconociera que por las simples razones de la globalización las economías operan con fundamentos distintos. En razón de los factores laborales, las economías que operaban antes de la globalización dentro de marcos expansivos hoy lo hacen al contrario. Los marcos institucionales funcionan de un modo diferente. Las políticas de austeridad, que antes daban buenos resultados, hoy en día lo hacen en forma deplorable.

Lo anterior tiene una clara evidencia en los estudios econométricos realizados a lo largo y ancho del mundo. En todos los lugares se encuentra que la incidencia de las políticas fiscales y monetarias tienen más impacto sobre la actividad productiva y menos sobre los precios que en el pasado. Más aún, los trabajos del FMI, que antes resultaban en multiplicadores fiscales de 0,5, ahora aparecen superiores a 1,3. No es algo que pueda atribuirse a los investigadores, sino a los fundamentos de la economía. Simplemente, el contexto mundial actual es menos expansivo que el existente antes de la globalización, tal como lo predice la teoría elaborada en el planeta.

Muchos de los fracasos actuales se originan en que el marco institucional que se montó para contrarrestar la inflación se mantiene en un contexto internacional, con tendencias en contra de la producción y el empleo. No existen las instituciones ni el pensamiento para enfrentar la nueva realidad. Los países han respondido a las manifestaciones con políticas de represión salarial que han acentuado el exceso de ahorro mundial sobre la



inversión. De hecho, numerosas naciones han quedado expuestas a déficit en cuenta corriente y situaciones recesivas que no pueden resolverse con las instituciones existentes. Sin duda, la manifestación más clara es la de los países periféricos de Europa y el euro. Mientras se mantenga la moneda única, Europa no podrá salir de la recesión y los desbalances cambiarios.

MARCO INSTITUCIONAL

El contexto mundial expansivo, que antecedió a la globalización, se manifestaba en inflación y altas tasas de interés y llevó al paradigma de banco central de inflación objetivo, tipo de cambio flotante y austeridad fiscal. Durante mucho tiempo se consideró que este andamiaje inducía y armonizaba las variables económicas centrales. El sistema estaba basado en la descripción de equilibrio monetario, que operaba adecuadamente cuando la economía estaba cerca del pleno empleo y funcionaba con tasas de interés positivas. Así, el tipo de cambio se sostenía con la austeridad fiscal, la inflación se controlaba con la tasa de interés y la producción resultaba de las condiciones externas.

Las condiciones cambiaron drásticamente dentro de un ambiente contractivo de exceso de ahorro y tasa de interés cero. La política monetaria es incapaz de regular la demanda efectiva, así como la política fiscal no puede regular la tasa de cambio. Las dos políticas

en su conjunto se tornan contractivas. El sistema es incapaz de regular el tipo de cambio; más aún, de evitar la revaluación.

Como solución única para sostener el tipo de cambio y mantener en forma constante la producción y el empleo, emerge el paradigma del banco central de producción y empleo objetivo, tipo de cambio fijo ajustable y desbalance fiscal. En la práctica, puede materializarse con una abierta intervención en el mercado cambiario, tanto mediante la limitación de la inversión extranjera para la minería como por la compra de divisas sin restricción monetaria, y la ampliación del déficit fiscal, orientada a elevar el poder adquisitivo de los trabajadores de menores ingresos.

El nuevo banco central, aunque puede mantener la magistratura monetaria de independencia, requiere objetivos e instrumentos diametralmente opuestos. En vez de enmarcarse dentro de una formulación de equilibrio en que las relaciones económicas se cumplen como igualdades, se basaría en una formulación de desequilibrio en que lo hacen como desigualdades. La primacía de la inflación sobre el resto de propósitos económicos sólo aplicaría en situaciones críticas. En su lugar, la reforma debe otorgar amplios poderes que permitan darles prioridad a la producción y el empleo en ciertas circunstancias, intervenir el mercado cambiario y regular las entradas de capitales sin limitaciones monetarias, aceptar y financiar los déficits fiscales y someter al sistema financiero a una estricta regulación.

Como solución única para sostener el tipo de cambio y mantener en forma constante la producción y el empleo, emerge el paradigma del banco central de producción y empleo objetivo, tipo de cambio fijo ajustable y desbalance fiscal.

Alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM) para ciudades con población ≤ 20.000 habitantes

Municipal wastewater treatment plants for cities with population ≤ 20.000 inhabitants

ANDREA DEL PILAR GALVIS RAMÍREZ¹ - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

andregal@hotmail.com - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/11/2012 Aceptado: 01/12/2012

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

Resumen

En este artículo se evalúan y comparan cuatro sistemas de tratamiento de aguas residuales para municipios con población de diseño ≤ 20.000 habitantes, para proveer criterios de selección en términos de conveniencia desde el punto de vista técnico-económico. Las opciones seleccionadas para la evaluación son 1) laguna anaerobia + laguna facultativa, 2) lagunas facultativas en serie, 3) lodos activados tipo aireación prolongada y 4) reactor UASB + postratamiento con laguna facultativa. Los resultados de la evaluación indican que, en general, la alternativa de tratamiento más apropiada es la de lagunas facultativas en serie⁽¹⁾.

Palabras claves: tratamiento de aguas, aguas residuales, plantas de tratamiento, lagunas de estabilización, lodos activados, UASB.

Abstract

This article evaluates and compares 4 wastewater treatment plants for municipalities with a population of ≤ 20.000 inhabitants design to provide criteria of selection in terms of convenience from the technical point of view. The treatment technologies selected for evaluation are 1) anaerobic lagoon + facultative pond, 2) facultative ponds in series, 3) activated sludge type extended aeration and 4) UASB reactor + post-treatment with facultative pond. The results of the evaluation show that, in general, the most appropriate alternative of treatment is serially facultative ponds⁽¹⁾.

Keywords: water treatment, wastewater, treatment plants, stabilization ponds, activated sludge, UASB.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el artículo 72 del Decreto 1594 de 1984, expedido por el Ministerio de Agricultura⁽⁹⁾, todo vertimiento de aguas residuales debe cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Referencia	Valor
pH	5 a 9 unidades
Temperatura	≤ 40 °C
Material flotante	Ausente
Grasas y aceites	Remoción ≥ 80 % en carga
Sólidos suspendidos	Remoción ≥ 80 % en carga
Demanda bioquímica de oxígeno	Remoción ≥ 80 % en carga

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) expide el Decreto 3930 el 25 de octubre de 2010⁽⁵⁾, que establece los usos, el ordenamiento y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados, y mantiene transitoriamente vigentes los artículos para control de vertimientos del Decreto 1594 de 1984⁽⁹⁾.

La experiencia con las tecnologías de tratamiento de aguas residuales^(6,7,8,11) permite afirmar que para satisfacer los requerimientos del artículo 72 es necesario proveer plantas de tratamiento secundario que, para ciudades con población ≤ 20.000 habitantes, generen vertimientos de calidad suficiente en DBO (demanda bioquímica de oxígeno), SST (sólidos suspendidos totales), pH, G y A (grasas y aceites) y material flotante, en condiciones de bajo costo, operación simple, baja producción de lodos y mínimo impacto ambiental. Las alternativas seleccionadas para evaluación tienen amplia aceptación y proveen elementos útiles de análisis para su uso eventual como PTAR en municipios de población ≤ 20.000 habitantes⁽⁷⁾.

METODOLOGÍA

Se hizo un inventario de las ciudades con población ≤ 20.000 habitantes^(2,3,4) y se determinaron el caudal y la caracterización del agua residual municipal. Se adoptaron criterios de diseño para cada unidad de los sistemas de tratamiento propuestos y se calcularon sus costos iniciales y de operación. Con base en una matriz de evaluación de la importancia de los factores que inciden

en la selección de la mejor alternativa, se determinó la más conveniente.

RESULTADOS

El análisis de 1008 planes de desarrollo municipales permitió establecer que en 336 de ellos se hace un diagnóstico sobre la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), mientras que en los 672 municipios restantes no se incluye el tema⁽²⁾ (figura 1). De los 336 municipios que informan sobre la PTAR, sólo 84, un 23%, tienen planta (figura 2).

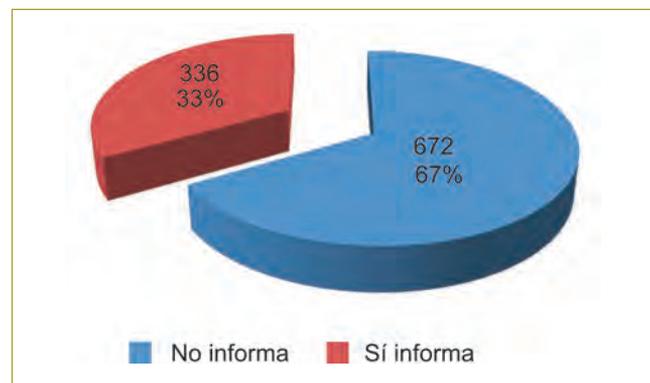


Figura 1. Municipios con diagnóstico sobre PTARM⁽²⁾.

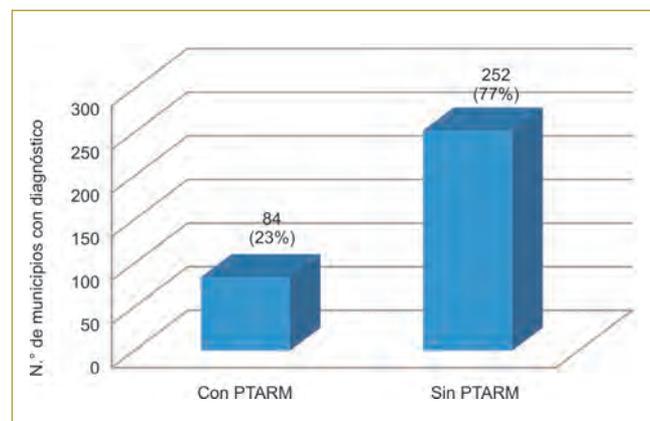


Figura 2. Municipios con información que cuentan con PTARM⁽²⁾.

A continuación se presenta el inventario de PTARM, en municipios con población urbana ≤ 20.000 habitantes (tabla 1 y figura 3).

Tabla 1
Inventario de PTARM en municipios con población urbana ≤ 20.000 habitantes

Departamento	Municipios con PTARM	Municipios sin PTARM	Total
Amazonas	0	1	1
Antioquia	30	69	99
Arauca	5	0	5
San Andrés	1	0	1
Atlántico	2	11	13
Bolívar	8	28	36
Boyacá	19	99	118
Caldas	4	18	22
Caquetá	2	12	22
Casanare	15	2	17
Cauca	13	25	38
Cesar	21	9	21
Chocó	0	29	29
Córdoba	10	10	20
Cundinamarca	39	65	104
Guainía	1	0	1
Guaviare	0	3	3
Huila	12	20	32
La Guajira	8	2	10
Magdalena	6	18	24
Meta	10	51	61
Norte de Santander	6	29	35
Putumayo	5	5	10
Quindío	1	5	6
Risaralda	1	9	10
Santander	18	61	79
Sucre	10	9	19
Tolima	15	24	39
Valle del Cauca	4	20	24
Vaupés	2	1	3
Vichada	1	3	4
Total	266	656	922

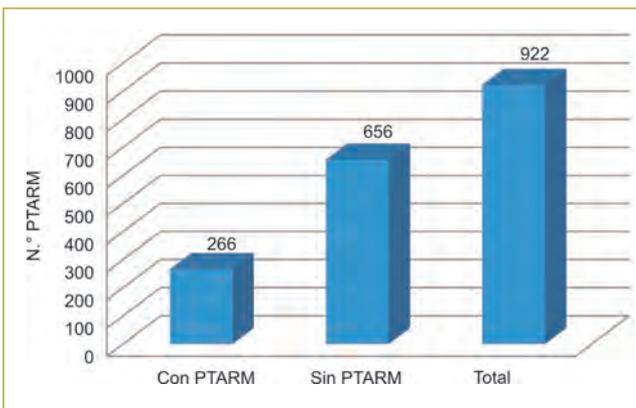


Figura 3. PTARM en municipios con población urbana ≤ 20.000 habitantes.

A renglón seguido se presenta la distribución de las PTARM utilizadas en municipios con población urbana ≤ 20.000 habitantes, según el tipo de sistema de tratamiento (tabla 2).

Tabla 2
Tipos de PTARM en municipios con población urbana ≤ 20.000 habitantes

Parámetro	N.º municipios	(%)
Sin información	72	27,1
Lagunas de estabilización	67	25,2
Lodos activados	27	10,2
Aireación extendida	24	9,0
UASB	23	8,6
Tratamiento primario	21	7,9
Filtros percoladores	13	4,9
Zanjones de oxidación	12	4,5
Otros	7	2,6
Total	266	100

A partir de la caracterización de aguas residuales crudas para 28 municipios de Cundinamarca se obtuvo la caracterización promedio de la tabla siguiente (tabla 3).

Tabla 3
Caracterización ARC en poblaciones de Cundinamarca⁽¹⁰⁾

Parámetro	Promedio
DBO (mg/L)	177
SST (mg/L)	260
Coliformes totales $\times 10^{-4}$ (NPM/100 mL)	10812

Las alternativas seleccionadas para la evaluación se ilustran más adelante (figuras 4 a 7).

Como caudal de diseño se adoptó el caudal promedio afluente a las PTARM de municipios con aforos conocidos, igual a 202 L/hab.d, es decir, 46,76 L/s para una población con 20.000 habitantes.

En las tablas 4 a 11 se incluyen los parámetros de diseño para los procesos seleccionados, de conformidad con el RAS 2000, y se resumen los resultados obtenidos.

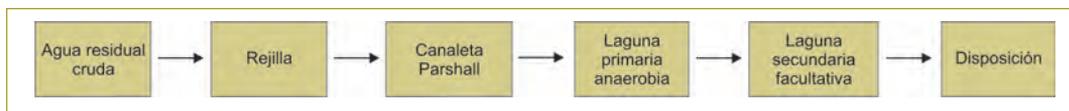


Figura 4. Laguna anaerobia + laguna facultativa.

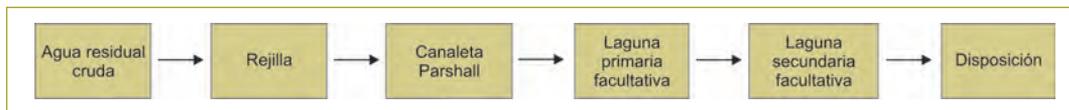


Figura 5. Lagunas facultativas en serie.

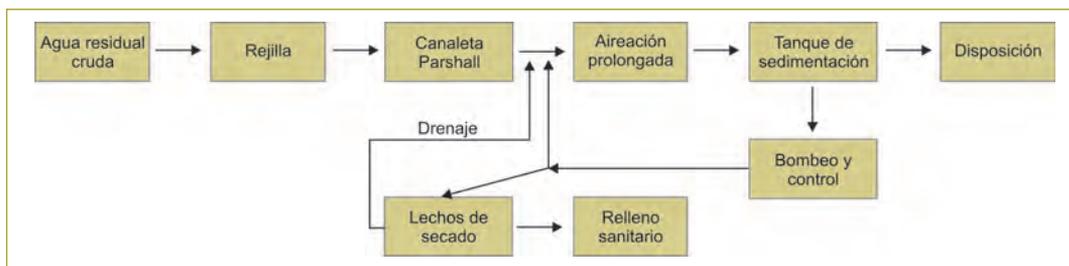


Figura 6. Lodos activados tipo aireación prolongada.

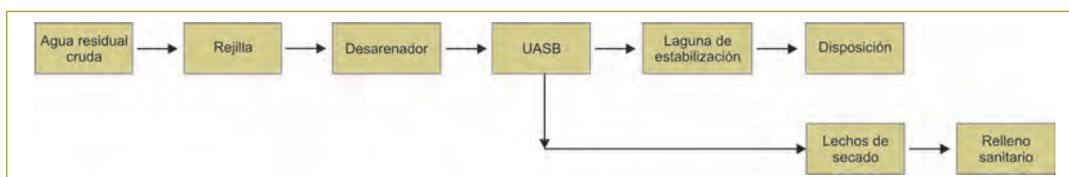


Figura 7. UASB + postratamiento con laguna de estabilización.

Tabla 4
Datos de entrada

Población	20000 hab
$Q_{\text{diseño}}$	46,8 L/s
$Q_{\text{diseño}}$	4040 m ³ /d
DBO afluente (tabla 3)	177 mg/L
SST (tabla 3)	260 mg/L
T	20 °C
CO	715 kgDBO/d

Tabla 5
Laguna anaerobia + laguna facultativa

Laguna anaerobia		Laguna facultativa	
θ	5 d	CO	358 kgDBO/d
% remoción DBO	50 %	θ	10 d
V_{lodo}	800 m ³ /año	COS	177 kgDBO/ha.d
Periodo de desenlode	8 años	Profundidad	2,0 m
Profundidad	3 m	Profundidad lodos	0,7 m
Profundidad lodos	1 m	Volumen	40401 m ³
Volumen	20200 m ³	V_{lodo}	600 m ³ /año
Área	0,67 ha	Área	2,02 ha
DBO _{efluente}	88,5 mg/L	% remoción DBO (McGarry)	78 %
COS	1062 kgDBO/ha.d	DBO _{efluente}	19 mg/L
COV	35 gDBO/m ³ d	Periodo de desenlode	22 años
		COV	8,9 gDBO/m ³ d

Tabla 6
Lagunas facultativas en serie

Laguna facultativa 1		Laguna facultativa 2	
COS _(MARA)	253 kgDBO/ha.d	COS	202 kgDBO/ha.d
θ	17,5 d	CO _{afluente}	164 kgDBO/d
V _{LODO}	800 m ³ /año	DBO _{afluente}	41 mg/L
Área	2,83 ha	θ	4 d
Profundidad	2,5 m	V _{LODO}	600 m ³ /año
Profundidad lodos	0,8 m	Área	0,81 ha
Volumen	70641 m ³	Profundidad	2,0 m
COV	10 gDBO/m ³ d	Profundidad lodos	0,7 m
% remoción DBO (McGarry)	77 %	Volumen	16284 m ³
DBO _{efluente}	41 mg/L	COV	10,1 gDBO/m ³ d
Periodo de desenlode	29 años	% remoción DBO _(supuesto)	50 %
		DBO _{efluente}	20 mg/L
		Periodo de desenlode	9 años

Tabla 7
Lodos activados de aireación extendida

Datos de entrada		Cálculos	
Población	20000 hab	Vol. zanjones	3030 m ³
Q _{DISEÑO}	164 kgDBO/d	θ	0,75 d
V _{LODO}	800 m ³ /año	DBO _{afluente}	41 mg/L
Área	2,83 ha	θ	4 d
Profundidad	2,5 m	V _{LODO}	600 m ³ /año
Profundidad lodos	0,8 m	Área	0,81 ha
Volumen	70641 m ³	Profundidad	2,0 m
COV	10 gDBO/m ³ d	Profundidad lodos	0,7 m
% remoción DBO (McGarry)	77 %	Volumen	16284 m ³
DBO _{efluente}	41 mg/L	COV	10,1 gDBO/m ³ d
Periodo de desenlode	29 años	% remoción DBO _(supuesto)	50 %
		DBO _{efluente}	20 mg/L
		Periodo de desenlode	9 años

Tabla 8
Tanque de sedimentación del proceso de lodos activados

Caudal medio	4040 m ³ /d
θ	2 h
Carga superficial _(RAS 2000)	16 m/d
Área superficial	253 m ²
Diámetro del tanque	18 m
Profundidad tanque _(RAS 2000)	4 m
Vol. tanque	1010 m ³
Caudal pico	12120 m ³ /d
θ	2 h
Carga superficial _(RAS 2000)	32 m/d
Área superficial	379 m ²
Diámetro del tanque	22 m
Profundidad tanque _(RAS 2000)	4 m
Vol. tanque	1515 m ³

Se adoptó el diseño con el caudal pico, que equivale a tres veces el caudal medio, para un tiempo de retención de dos horas y carga superficial de 32 m/d.

Tabla 9
Lechos de secado proceso de lodos activados

Área de lechos	1000 m ²
Área de lechos	0,1 ha

Tabla 10
UASB + postratamiento con laguna facultativa

UASB		Laguna facultativa	
θ	10 h	CO _{afluente}	250 kgDBO/d
θ	0,42 d	COS _(40% MARA)	101 kgDBO/ha.d
Vol. total	1683 m ³	DBO _{afluente}	62 mg/L
N.º reactores UASB	4	θ	12,2 d
Vol reactor	421 m ³	Profundidad	2,0 m
Q/reactor	1010 m ³ /d	Profundidad lodos	0,7 m
Altura del reactor _(RAS 2000)	5 m	Volumen	49463 m ³
A total	337 m ²	V _{LODO}	600 m ³ /año
COV	0,25 kgDBO/d.m ³	Área	2,5 ha
Carga hidráulica	0,13 m/h	% remoción DBO _(supuesto)	60 %
% remoción DBO _(RAS 2000)	65 %	DBO _(efluente)	25 mg/L
DBO _{efluente}	62 mg/L	Periodo de desenlode	27 años
V ascensional	0,50 m/h	COV	5,1 gDBO/m ³ d

Los lechos de secado se dimensionan para un área de 0,01 m²/habitante (20 % lodo del proceso de lodos activados).

secundario (lagunas, lodos activados, UASB)^(13,14). Los resultados obtenidos se muestran en la página siguiente (tabla 13 y figura 8).

Tabla 11
Lechos de secado proceso UASB

Área de lechos	200 m ²
Área de lechos	0,02 ha

Los costos directos de inversión se calcularon con los costos para sistemas de tratamiento de aguas residuales de los ministerios de Medio Ambiente y de Desarrollo Económico (tabla 12). El costo del tratamiento de lodos se calculó como el 5 % del costo del tratamiento

Tabla 12
Costos directos de inversión para tratamiento de aguas residuales⁽¹⁴⁾

Proceso	(\$/hab.)		(US\$/hab.)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Preliminar	4.400	17.600	2	8
Primario	44.000	66.000	20	30
Lagunas	22.000	66.000	10	30
Lodos activados	88.000	264.000	40	120
UASB	44.000	88.000	20	40

Tabla 13
Costos directos de los procesos seleccionados

PTARM	Proceso	Costo total (\$/hab.)		Costo total (20.000 habitantes)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Lag. anaerobia + lag. facultativa	Preliminar + lagunas (2)	48.400	149.600	968.000.000	2.992.000.000
Lag. facultativas en serie	Preliminar + lagunas (2)	48.400	149.600	968.000.000	2.992.000.000
Lodos activados	Preliminar + lodos activados + Tratamiento de lodos	96.800	294.800	1.936.000.000	5.896.000.000
UASB + lag. estabilización	Preliminar + primario + UASB + Laguna + tratamiento de lodos	117.700	245.300	2.354.000.000	4.906.000.000

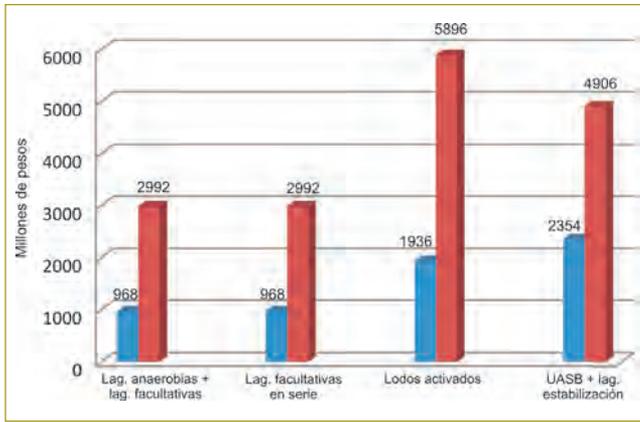


Figura 8. Costos directos de los procesos seleccionados.

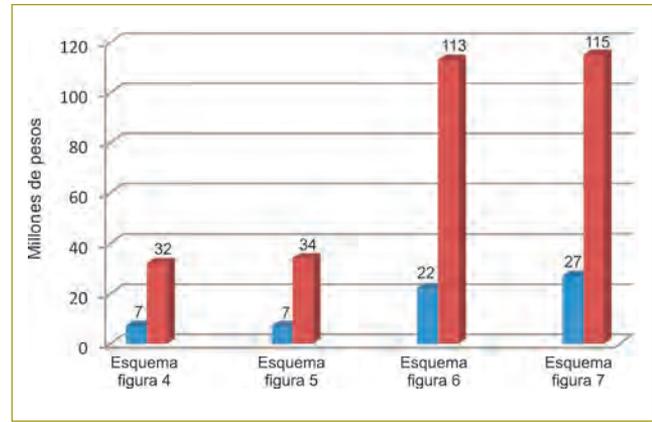


Figura 9. Costos anuales de operación de una PTARM para 20.000 habitantes.

A renglón seguido se presentan los costos de operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (tabla 14), así como los costos de operación anuales para una población de 20.000 habitantes (tabla 15 y figura 9)⁽¹⁴⁾. Los costos en pesos colombianos se calcularon para una tasa representativa del mercado (TRM dólar) igual a \$1775,80⁽¹⁵⁾.

Tabla 14
Costos de operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales⁽¹⁴⁾

Tratamiento	Rango de costo US\$/hab.año	
Preliminar	0,07	0,3
Primario	0,15	0,27
Lodos activados	0,23	0,81
Lagunas facultativas	0,07	0,27
Lagunas anaerobias	0,07	0,27
UASB	0,15	0,27
Tratamiento de lodos	0,31	2,08

Los criterios de evaluación y selección de la alternativa óptima fueron costo directo, costo de operación, requisitos de tratamiento, complejidad, producción y manejo de lodos, impacto ambiental y disponibilidad de terreno, a los cuales se les asigna su importancia (tabla 16).

Así mismo, se incluye la matriz de evaluación y selección de la alternativa óptima, de acuerdo con el peso asignado a cada criterio de importancia para cada esquema de PTARM. A cada criterio de importancia se le da un peso máximo de 10 y mínimo de 0, para una valoración máxima total de 1000 (tabla 17).

Igualmente, se dedujo que la alternativa óptima, según los criterios y pesos asignados, para usarla en ciudades con menos de 20.000 habitantes es la de lagunas facultativas en serie (tabla 17 y figura 5).

Tabla 15
Costos de operación de una PTARM para 20.000 habitantes

PTARM	Proceso	Rango de costo US\$/hab.año		Rango de costo 20.000 habitantes		Rango de costo 20.000 habitantes (\$/año)	
Lag. anaerobia + Lag. facultativa	Preliminar + laguna anaerobia + lag. facultativa	0,21	0,90	4.200	18.000	7.458.360	31.964.400
Lag. facultativas en serie	Preliminar + lagunas facultativas ⁽²⁾	0,21	0,96	4.200	19.200	7.458.360	34.095.360
Lodos activados	Preliminar + lodos activados + tratamiento	0,61	3,19	12.200	63.800	21.664.760	113.296.040
UASB + lag. estabilización	Preliminar + primario + UASB + laguna + tratamiento de lodos	0,75	3,25	15.000	65.000	26.637.000	115.427.000

Tabla 16
Importancia de los factores de selección de la PTARM

Ítem	%	Observaciones
Costo inicial	20	Los municipios no buscan sólo cumplir con la normatividad colombiana sino que buscan que la alternativa seleccionada tenga el menor impacto económico posible, pues esto también influye en el cobro del servicio público de los usuarios inscritos. Además, a cada municipio se le asignan recursos para obras públicas y es por esto que estos buscan optimizar el costo y mantenimiento de las obras a realizar.
Costo de operación	20	De acuerdo con el análisis realizado, el sistema de tratamiento de aguas residuales más empleado en Colombia por los municipios es el de Lagunas de Estabilización, por ser menos costoso de construir, operar y mantener que los procesos mecánicos.
Requisitos de tratamiento	10	La experiencia indica que los procesos relacionados permiten obtener los requisitos de tratamiento exigidos por la norma.
Complejidad	15	Una operación y control simple requiere personal menos calificado y un desempeño más seguro de la PTARM.
Producción y manejo de lodos	15	Si se producen biosólidos o lodos residuales se requiere tratamiento subsiguiente y disposición. este requerimiento supone mayor necesidad de control y supervisión y tiene gran importancia.
Impacto ambiental	10	Las PTARM son un requisito de ley. Sin embargo, su impacto ambiental es importante por la posible presencia de olores, mosquitos y problemas de aceptabilidad por parte de la comunidad.
Disponibilidad de terreno	10	Procesos como las lagunas de estabilización requieren grandes cantidades de área, mientras que procesos como lodos activados o UASB requiere área superficial mínima.
Total	100	

Tabla 17
Matriz de evaluación y selección de la alternativa óptima

Sistema de tratamiento	laguna anaerobia + laguna facultativa			Lagunas facultativas en serie			Lodos activados tipo aireación prolongada			UASB + postratamiento con laguna de estabilización		
	Importancia	Peso	Valor	Importancia	Peso	Valor	Importancia	Peso	Valor	Importancia	Peso	Valor
Costo inicial	20	10	200	20	10	200	20	5	100	20	6	120
Costo de operación	20	10	200	20	10	200	20	5	100	20	6	120
Requisitos de tratamiento	10	5	50	10	6	60	10	9	90	10	9	90
Complejidad	15	10	150	15	10	150	15	6	90	15	6	90
Producción y manejo de lodos	15	10	150	15	10	150	15	4	60	15	4	60
Impacto ambiental	10	40	40	10	6	60	10	8	80	10	6	60
Disponibilidad de terreno	10	4	40	10	4	40	10	8	80	10	7	70
Total	100		830	100		860	100		600	100		610

CONCLUSIONES

- Colombia cuenta con 922 municipios con población urbana menor de 20.000 habitantes, de los cuales sólo 266, el 29%, poseen PTARM.
- Los tratamientos más empleados, en las 266 ciudades con PTARM, son lagunas de estabilización y lodos activados, 25 y 10%, respectivamente.
- Como opciones de tratamiento, a emplear en ciudades con población inferior a 20.000 habitantes, se plantearon cuatro esquemas de tratamiento secundario:
 - Tratamiento preliminar + laguna anaerobia + laguna facultativa.
 - Tratamiento preliminar + dos lagunas facultativas en serie
 - Tratamiento preliminar + lodos activados tipo aireación prolongada.
 - Tratamiento preliminar + tratamiento primario + UASB + laguna facultativa.
- La alternativa óptima de tratamiento se seleccionó con base en los siguientes criterios de importancia: costo inicial, costo de operación y mantenimiento, requisitos de tratamiento, complejidad, producción y manejo de lodos, impacto ambiental y disponibilidad de terreno.
- De acuerdo con los pesos asignados a cada criterio, en cada sistema de tratamiento, se obtiene que la alternativa de tratamiento secundario más recomendable para municipios con población urbana ≤ 20.000 habitantes es la de tratamiento preliminar con dos lagunas facultativas en serie.

REFERENCIAS

1. Galvis R., Andrea del Pilar (2012, agosto). Alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, PTARM, para ciudades con población menor o igual a 20.000 habitantes. Tesis maestría en Ingeniería Civil. Centro de Estudios Ambientales Escuela Colombiana de Ingeniería.
2. *El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo* (2012). Capítulo 1: El estado del agua, el alcantarillado y los residuos sólidos en los municipios, <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd59/infancia/cap3-1.pdf>. 5 de abril.
3. Dane (2012). <http://www.dane.gov.co>. 3 de marzo.
4. Superintendencia de Servicios Públicos (2009, noviembre). Sistemas de alcantarillado en Colombia.
5. MAVDT (2010). Decreto 3930.
6. Comunidad Europea (1991). Directiva del consejo del 21 de mayo, 91-271-CEE.
7. Sperling, M. & Oliveira, S.C. (2009). Comparative performance evaluation of full-scale anaerobic and aerobic wastewater treatment processes in Brazil. *Water Science & Technology (WST)*, (59),1.
8. Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Resolución 1096, RAS 2000, 17 de noviembre.
9. Ministerio de Agricultura (1984). Decreto 1594, 26 de junio.
10. Corporación Autónoma Regional (CAR). Consolidado de muestreos y análisis fase I y II, noviembre de 2010.
11. Romero R., Jairo A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
12. Romero R., Jairo A. (2008). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
13. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008). Guía de acceso, presentación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento a financiar mediante el mecanismo de ventanilla única.
14. Ministerio del Medio Ambiente (2002). *Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales*.
15. Periódico *El Tiempo* (2012). www.eltiempo.com. 21 de julio.

Muros de contención contemporáneos, construidos con criterios de diseño de los muros taironas

Tairona structures and retaining walls, discovered in 1976 in Sierra Nevada de Santa Marta, in the northern coast of Colombia, exist unharmed for 400 years.

MARTA INÉS GONZÁLEZ SÁNCHEZ

Ingeniera civil de la Universidad de los Andes. Maestría en Ingeniería - Geotecnia de la Universidad Nacional.

marta_i_gonzalez@hotmail.com

Recibido: 01/11/2012 Aceptado: 25/11/2012

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

Resumen

Los muros taironas encontrados en 1976 en Ciudad Perdida, en la Sierra Nevada de Santa Marta, situada en el litoral norte de Colombia, llevan en pie más de 400 años. En este artículo se recogen los resultados de un trabajo investigativo con el que se buscó entender su funcionamiento y compararlo con el de los muros de contención que se construyen en la actualidad. En el análisis se encontró que los habitantes nativos de la Sierra trabajaron una “tierra armada”, compuesta por bloques de roca, suelos residuales compactados y refuerzos adicionales en lájas de roca. Los criterios de diseño de los muros taironas se aplicaron en dos proyectos contemporáneos, creando soluciones resistentes a sismos y amigables con el medio ambiente.

Palabras claves: muros de contención flexibles, tierra armada.

Abstract

This article is the result of field work research and its further conclusions on how these indigenous structures work and the comparison with modern contention walls. The analysis demonstrated that natives in Sierra Nevada utilized a sort of “reinforced soil” composed of blocks of rock, compacted by stone blocks and compacted residual soils, complemented by rock slabs as reinforcement. Design criteria of Tairona retaining walls have been applied in two contemporary projects. They proved to be resistant to earthquakes and an adequate environmental response.

Keywords: flexible retaining walls, reinforced soil, mechanically stabilized earth.

Desde 1986 se inició una evaluación, desde el punto de vista ingenieril, de los muros de contención de Ciudad Perdida, descubierta en 1976 en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. Los conocimientos adquiridos en ese entonces se pudieron aplicar en dos proyectos de finales del siglo XX. El objetivo de este artículo es compartir dichas experiencias y aprendizajes con los lectores, de manera que les puedan ser útiles.

LA CULTURA TAIRONA

La cultura tairona (800 a 1600 d. C.) construyó más de 200 ciudades, entre los 900 y los 1200 metros sobre el nivel del mar, en la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, la montaña más alta del mundo contigua al mar. Los vestigios de los asentamientos taironas están ubicados en un bosque húmedo subtropical, donde llueve casi todo el año y la precipitación alcanza niveles que van desde los 2000 hasta los 4000 mm anuales, con temperaturas que oscilan entre 17 y 24 °C¹.

La zona se caracteriza por tener suelos residuales, provenientes de rocas sedimentarias y metamórficas, como cuarcitas y serpentinas. Los taironas explotaron canteras de este tipo de rocas y produjeron bloques de roca con caras del orden de 0,2 a 0,3 m, y espesores de 0,05 a 0,15 m. Dada la fácil fracturación de las rocas, por sus planos de sedimentación, ellos también extrajeron lajas de hasta 3,2 m de longitud, con anchos de hasta 0,9 m y espesores de 0,05 a 0,15 m.

Los taironas escogieron las partes altas de pendientes moderadas para construir las terrazas sobre las cuales ubicaban las edificaciones de sus ciudades. De ahí la necesidad de levantar muros de contención utilizando los materiales disponibles: bloques de roca, lajas de gran magnitud y suelos residuales compactados. Como buenos ingenieros y profundos conocedores de su territorio y sus condiciones geográficas, ellos acomodaban los diseños de sus muros a los materiales disponibles, la topografía local existente, y el espacio y altura requeridos. Durante las exploraciones arqueológicas se encontraron muros de contención de hasta 10,0 m de altura libre, unos con cara vertical, otros con la cara inclinada y otros escalonados, siendo sus alineamientos

horizontales en muchas ocasiones de forma circular o elíptica (fotografías 1 a 3).



Fotografía 1. Muros de centro de Ciudad Perdida.



Fotografía 2. Muro escalonado.



Fotografía 3. Muro de cara vertical.

1. <http://www.vivenciaandina.com/viajes-a-colombia/ciudad-perdida.htm>, 10/11/2012.

DESCRIPCIÓN DE LOS MUROS TAIRONAS²

Los muros taironas están compuestos por bloques de roca colocados unos sobre otros, sin ningún tipo de pegamento entre ellos. Su estructura interna se asemeja a un muro de tierra armada, donde los anclajes están compuestos por lajas (figura 1).

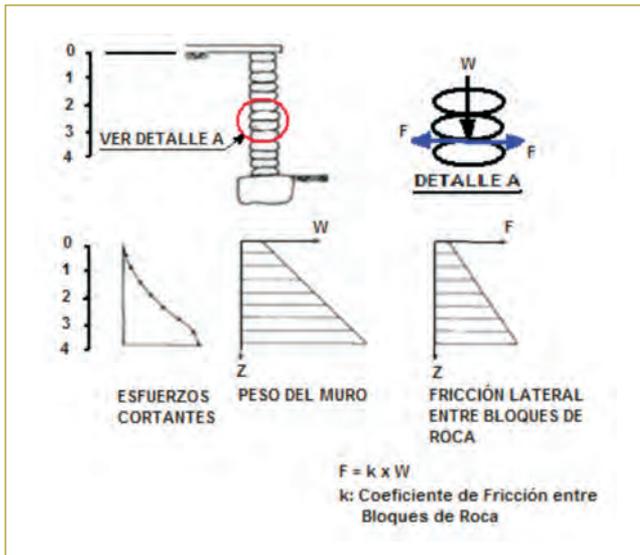


Figura 1. Fuerzas que actúan en la estabilidad local del muro.

La estabilidad local de los muros depende de la fricción que se genera entre las caras de las piedras que están en contacto. Esta fricción es proporcional al peso que actúa sobre cada piedra y es máxima en la parte inferior del muro, donde tanto el peso aplicado como el esfuerzo cortante son mayores.

Para incrementar la fricción, los taironas colocaban bloques de roca no sólo en la fila que integra la cara del muro, sino también detrás de ella, formando una sección trapezoidal, con la menor cara hacia abajo (figura 3). Así las cosas, el espesor de la pared del muro podía variar desde cerca de 0,3 m en la parte inferior, hasta más de 1,0 m en la parte superior, dependiendo de la altura del

- R. Maldonado & M.I. González (1989). Engineering of the taironas circa 1200. Proceedings of the Twelfth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Rio de Janeiro, p. 1273.

muro. Esta sección trapezoidal se localiza dentro de la cuña de falla activa del muro, de manera que la fuerza resultante se concentre en la parte baja del muro.

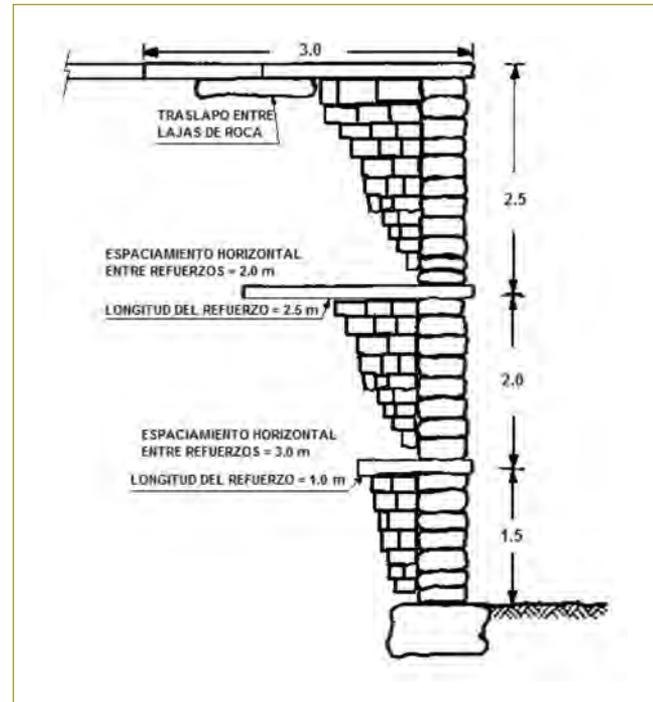


Figura 2. Corte típico de un muro tairona.

El primer refuerzo adicional aparece justo cuando la fricción generada entre los bloques de roca no es suficiente para estabilizar la presión lateral. Estos anclajes, similares a los de una tierra armada moderna, obtienen su resistencia de la fricción que se genera entre las lajas de roca y el relleno de suelo residual conformado detrás del muro.

Una vez instalado el refuerzo, los taironas repetían el proceso de colocar los bloques de roca, conformando una nueva sección trapezoidal, con su base menor hacia abajo, hasta que se necesitara un nuevo refuerzo. Este procedimiento se repetía hasta alcanzar la altura de muro deseada. Entonces instalaban una última laja de refuerzo, la cual no sólo trabajaba como anclaje, sino que también protegía el muro contra erosión superficial.

Las lajas utilizadas como anclajes no siempre eran piezas únicas. Muchas veces se hacían traslapes de manera que la fricción se transmitiera en forma adecuada entre lajas vecinas (figura 2).

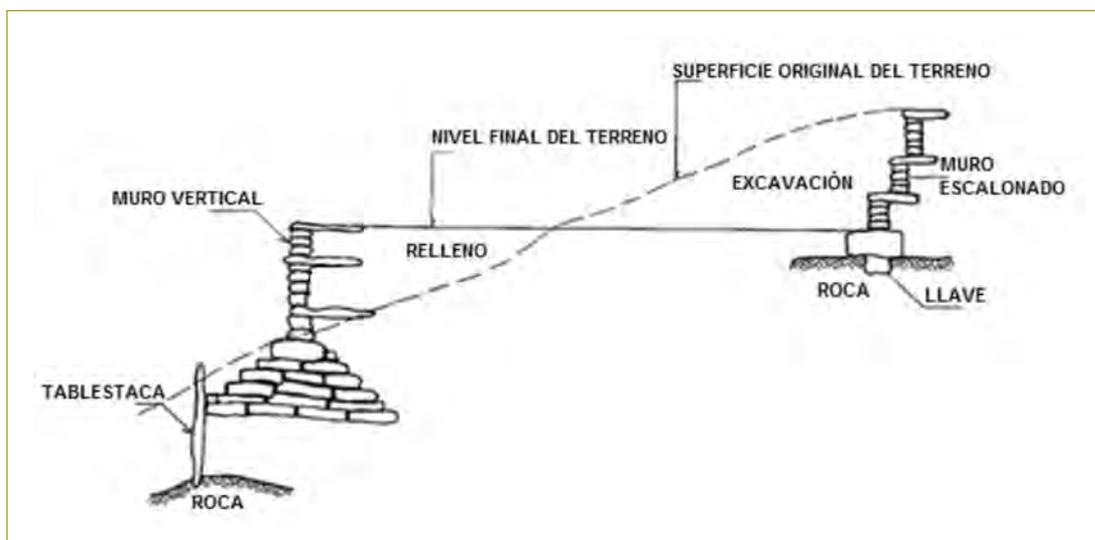


Figura 3. Tipos de muros de contención y cimentaciones encontradas.

En las pocas cimentaciones inspeccionadas durante las excavaciones arqueológicas se encontraron bloques de roca organizados piramidalmente, formando ángulos de inclinación de 45 grados con la horizontal. También se hallaron “llaves” excavadas en roca, colocadas por debajo de los bloques de cimentación, para mejorar la resistencia a las fuerzas horizontales que actúan en la base de ésta. En sitios con estabilidad muy precaria se encontraron lajas de roca colocadas en sentido vertical delante de la cimentación, para que trabajaran a manera de tablestacas (figura 3).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Los análisis de estabilidad de taludes efectuados para los muros de Ciudad Perdida arrojaron factores de seguridad de 1,3 a 1,5, mucho menores que los usados hoy en día para diseñar muros convencionales. Los cálculos se hicieron utilizando los siguientes parámetros:

PARÁMETROS DE DISEÑO

Cohesión del suelo residual compactado:	30 a 40 KPa
Peso unitario del suelo residual compactado:	16 KN / m ³
Peso unitario de las rocas:	28 KN / m ³
Coefficiente de fricción entre bloques de roca:	0,65
Presiones de tierra:	En reposo
Longitud máxima de los anclajes de roca:	3,2 m

MUROS DE CONTENCIÓN CONSTRUIDOS CON BASE EN LOS MUROS TAIRONAS

Los análisis anteriores sirvieron de base para brindar soluciones adecuadas a las necesidades de los clientes en los dos casos que se presentan a continuación:

Campo de golf Condominio Aposentos (Sopó, Cundinamarca)³

En 1994, el ingeniero civil Fernando Gamboa Álvarez, para quien se había trabajado por años en cimentaciones de grandes plantas industriales, estaba diseñando un campo de golf para un condominio ubicado en la sabana de Bogotá. Él debía crear un área determinada alrededor de uno de los hoyos del campo, por lo que le surgió la necesidad de construir más de 300 m de muros de contención con alturas variables entre 4,5 y 10,0 m.

Una solución convencional suponía la utilización de anclajes y mucho concreto a la vista. Esto, además de costoso, iba en contra del paisajismo del proyecto, razón por la cual se propuso una solución con muros tipo tairona. Así las cosas, luego de realizar la exploración de campo y los ensayos de laboratorio de un estudio de

3. M.I. González & R. Maldonado, Maldonado Ingeniería S. A. (1994). Estudio de suelos muros green 8 campo de golf, Condominio Aposentos, para Promotora Aposentos. Informe 3042/94.

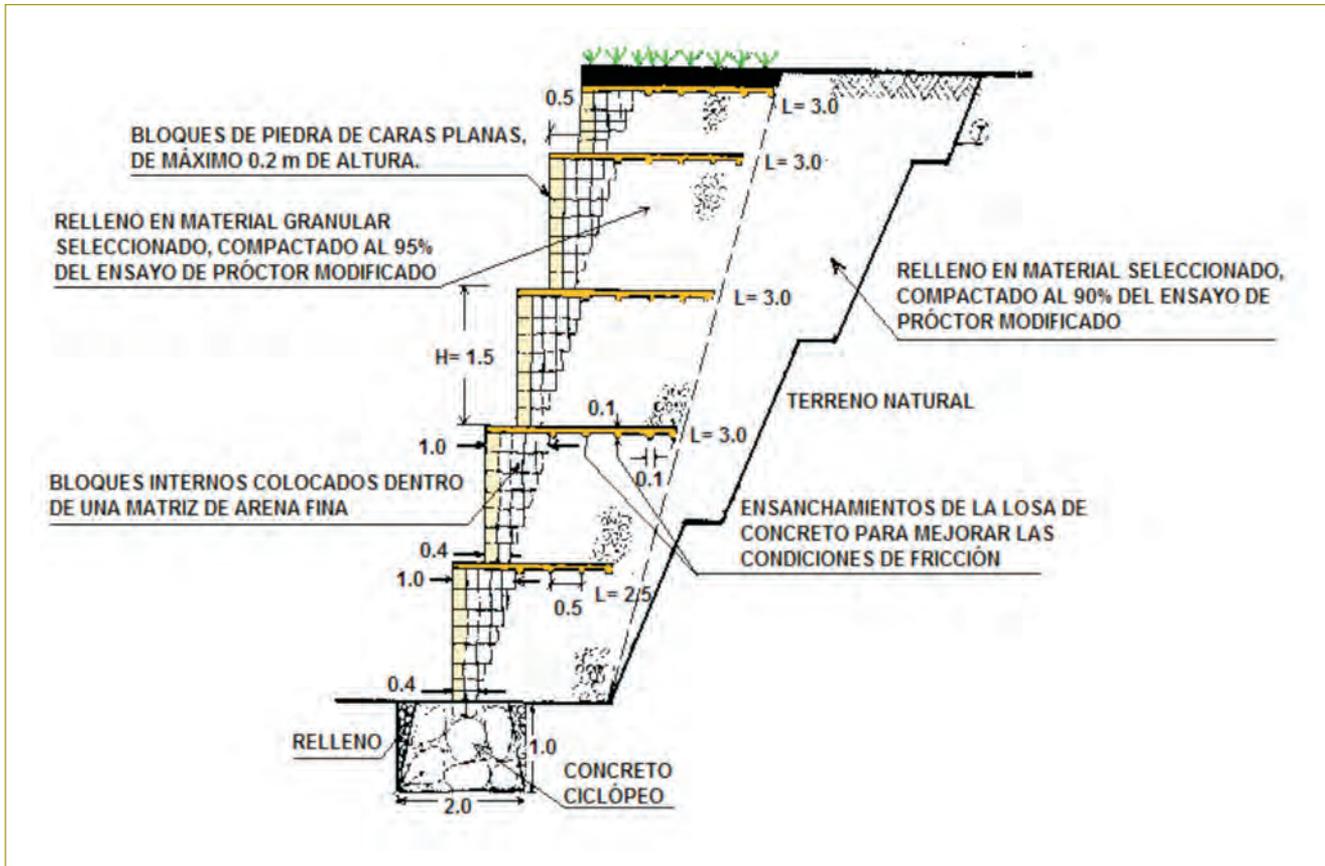


Figura 4. Sección típica de muro de 7,0 m de altura.

suelos convencional, se diseñaron los muros aplicando lo aprendido del análisis teórico y las comprobaciones de campo que se habían hecho en Ciudad Perdida.

El suelo reforzado se evaluó como un relleno de material granular, con anclajes de 1,0 m de ancho y 3,0 m de longitud, espaciados 1,0 m entre sí en sentido horizontal y 1,5 m en sentido vertical (figura 4).

Para la construcción del muro se especificaron bloques de piedra con caras planas y de no más de 0,2 m de altura. Dada la dificultad de conseguir el mismo tipo de rocas de la Sierra Nevada de Santa Marta, las lajas en piedra del diseño original se remplazaron por placas delgadas de concreto, reforzadas con malla electrosoldada. La malla debía soportar los esfuerzos de tensión y el concreto proveer la superficie de adhesión con el suelo, además de proteger la malla contra la corrosión (figuras 4 y 5).

De esta manera, para muros de 4,5 a 10,0 m de altura libre resultaron anchos de suelo reforzado de 2,5 a 3,0 m, apoyados 1,0 m por debajo del nivel original del

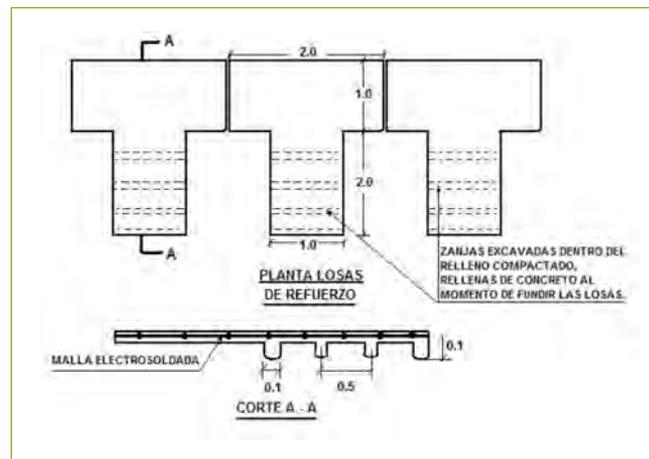


Figura 5. Refuerzo con losas de concreto.

terreno, sobre zapatas corridas, también de 2,5 a 3,0 m de ancho. A continuación se pueden apreciar algunos muros durante la construcción (fotografías 4 y 5).

Los muros de Aposentos se construyeron a finales de 1994. El 19 de enero del mismo año ocurrió un



Fotografía 4. Muro de más de 6,0 m de altura, durante la construcción.



Fotografía 5. Detalle de un muro.

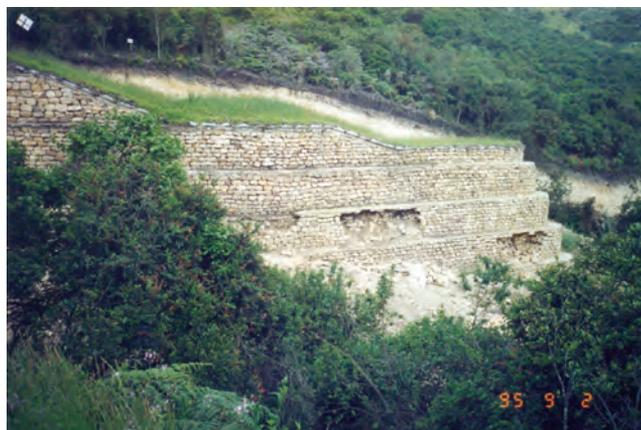
sismo de magnitud 6,5, con epicentro en Tauramena (Casanare). Como consecuencia de este sismo, algunos de los muros sufrieron daños locales (fotografía 6), los cuales se repararon fácilmente reacomodando las mismas piedras.

Durante las inspecciones se encontró que los daños ocurrieron en puntos donde se tenían separaciones muy grandes entre piedras, con lo cual la fricción no se pudo generar de manera adecuada, o bien las losas de concreto habían quedado muy delgadas.

No obstante lo anterior, en términos generales los muros se han comportado muy bien.

Edificio Monterrojo, cerros de Suba (Bogotá)⁴

En el año 2004 se utilizaron muros tipo tairona como solución de contención de 30,0 metros lineales de muros de hasta 3,0 m de altura, necesarios para conformar el



Fotografía 6. Daños locales ocurridos luego del sismo de 1995.

paisajismo alrededor de un edificio ubicado en un área que se caracteriza por la presencia de arcillas duras con un muy alto potencial de expansión. Esta situación se agudizaba con el hecho de que se talaron unos árboles de gran tamaño, urapanes y eucaliptos, al momento de preparar el lote para la construcción del edificio. La situación de suelos era tan crítica, que el edificio de cinco pisos y sótano se cimentó sobre pilas y no sobre una losa de cimentación convencional.

Ya avanzada la obra, surgió la inquietud de cómo soportar los muros de contención, pues si se usaban muros convencionales, sobre zapatas corridas, éstos quedarían sometidos a los movimientos de los suelos superficiales, con altas posibilidades de presentar agrietamientos con los cambios volumétricos de las arcillas, en los cambios de humedad de épocas lluviosas a sequías. Por esta razón se propuso utilizar muros de tipo tairona, que por estar conformados por bloques sueltos, se ajustarían sin problemas a los movimientos de los estratos portantes de sus correspondientes cimentaciones.

En este caso, se conformaron muros de cara vertical y también muros escalonados (fotografías 8 a 11). Para muros con alturas de 1,5 m, o inferiores, se utilizaron los bloques de roca, sin refuerzos intermedios de losas de concreto. Dada la altura requerida, en este caso se distribuyeron dos líneas de refuerzos de concreto, con longitudes de 1,5 a 1,75 m de longitud, espaciados 1,0 m, en sentido horizontal.

4. M.I. González (2004). Diseño de muros de contención para paisajismo edificio Monte Rojo, carrera 81 N.º 127A-66, Bogotá, para los arquitectos Stefano Anzellini y María Inés García-Reyes.



Fotografía 7. Estado actual muro principal.



Fotografía 8. Zona de máxima altura de muros.



Fotografía 9. Muro posterior durante la construcción.



Fotografía 10. Estado actual del muro posterior.

Como se observa en las fotografías precedentes, el comportamiento de los muros ha sido excelente hasta la fecha.

PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo utilizado en estos dos proyectos se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Colocar las primeras hiladas de bloques de piedra que conforman la cara posterior del muro. Los bloques deben provenir de rocas resistentes, tener bases planas para garantizar una adecuada fricción entre unos y otros, y alturas de 0,20 m como máximo.
2. Iniciar la colocación del relleno de material granular seleccionado, en capas no mayores de 0,20 m de espesor, compactadas al 95 % del ensayo de proctor modificado, en la anchura del suelo reforzado. En caso de requerirse una franja más ancha de relleno, por detrás de la zona de suelo reforzado se podrá colocar un material de menores especificaciones, compactándolo también en capas de 0.2 m de espesor y al 90 % del ensayo de proctor modificado.
3. Acomodar piedras adicionales detrás de la cara posterior, colocándolas dentro de una matriz de arena fina que mejore la fricción entre ellas. Los espesores de las piedras se incrementarán de 0,4 m en la base hasta 1,0 a 1,5 m, justo abajo del primer nivel de refuerzo.
4. Completar los diferentes tipos de relleno, hasta alcanzar 1,5 m de altura, nivel en el cual se construirá el primer refuerzo de concreto.
5. Fundir los refuerzos de concreto, excavando previamente pequeñas zanjas transversales en la zona de anclaje, de manera que luego queden como pequeños dientes y así se mejoren las condiciones de fricción de los anclajes.
6. Repetir los pasos hasta alcanzar la altura de muro requerida.

CONCLUSIONES

Los taironas utilizaron muros de suelos reforzados de altas especificaciones técnicas y en perfecta armonía con su medio ambiente, entre los años 800 y 1600 de nuestra era.

Al mezclar las rocas disponibles en la zona, en este caso en la sabana de Bogotá, con “lajas” fabricadas en concreto, fue posible construir muros que cumplen los criterios de diseño taironas.

Muros de hasta 10,0 m de altura, contruidos de este modo, demostraron un comportamiento adecuado ante la acción de sismos de 6,5 de magnitud.

La estructura flexible de este tipo de muros ha respondido muy bien a los cambios volumétricos de las arcillas con alto potencial de expansión usadas como estrato portante de éstos.

El control de calidad tanto en la preparación de los materiales como durante la construcción es fundamental. Mientras mayor comprensión del sistema constructivo tengan los trabajadores encargados de levantar los muros, más fácil será obtener una buena calidad en la obra.

Los muros tipo tairona son amigables con el medio ambiente, se mimetizan con el paisaje y, en caso de requerirse, son de fácil mantenimiento y limpieza.

Evaluación de la remoción de DBO, DQO, SST, NTK, PT y CF en un humedal de flujo subsuperficial construido con carbón mineral y cultivado con *Zantedeschia aethiopica*

Evaluation of the removal of BOD, COD, TSS, TKN, TP and FC in a subsurface flow constructed wetland with mineral coal and planted with *Zantedeschia aethiopica*

CARLOS ARIEL DÍAZ ACERO¹ - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

diazchar@gmail.com - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/10/2012 Aceptado: 30/10/2012

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

Resumen

En este artículo se presentan los resultados de la evaluación de un humedal piloto de flujo subsuperficial horizontal, construido con carbón mineral y con vegetación macrófita ornamental, *Zantedeschia aethiopica*, para el tratamiento de un agua residual típica (Díaz Acero, 2012).

El humedal, operado con carga hidráulica de 480 m³/ha.d, tiempo de retención de 4 d, carga de SST de 152 kg/ha.d, carga de DBO₅ de 188 kg/ha.d y carga de DQO de 506 kg/ha.d, provee remociones promedio superiores al 85 % en turbiedad, sólidos suspendidos, coliformes fecales y totales; remoción de NTK de 56 %, remoción de fósforo total de 27 % y de DQO y DBO₅ de 70 y 52 %, respectivamente, como resultado de actividad o fenómenos de absorción y adsorción físico-química de la vegetación, el medio poroso, la evapotranspiración y la actividad biológica. El humedal es una opción estéticamente agradable para tratamiento complementario de aguas residuales domésticas y provee, agregando desinfección, un efluente apto para riego.

Palabras claves: agua residual, carbón, humedal, tratamiento, *Zantedeschia aethiopica*.

Abstract

This article provides the results of the evaluation of a pilot scale horizontal subsurface flow constructed wetland with mineral coal and an ornamental macrophyte vegetation (*Zantedeschia aethiopica*) for the treatment of a typical domestic wastewater (C.A. Díaz Acero, 2012).

The wetland, operated with hydraulic charge of 480 m³/ha.d, retention time of 4 d, charges of: 152 kg SST/kg/ha.d; DBO₅ 188 kg/ha.d, and DQO 506 kg/ha.d; provides removal of 85% in turbidity, SST, CF and CT; 56% in NTK, 27% in PT, 70% in DQO and 52 % in DBO, as a result of activity or the phenomena of absorption and adsorption physicalchemical of the vegetation, the porous media, the evapotranspiration and biological activity. The wetland is an aesthetically pleasing option for a complementary treatment of domestic wastewater, and with disinfection provides a useful effluent for irrigation.

Keywords: wastewater, coal, wetland, treatment, *Zantedeschia aethiopica*.

INTRODUCCIÓN

En los años cincuenta, en Europa, se introduce el concepto de los humedales como sistemas para mejorar la calidad del agua (Kadlec & Knight, 1996).

El humedal genera procesos físicos, químicos y biológicos ligados a la vegetación, los microorganismos y el suelo. Entre las funciones que puede tener un humedal se destacan mejorar la calidad del agua, ser fuente de hábitat para diversas especies tanto animales como vegetales y amortiguar crecientes. Para aprovechar los procesos de remoción propios de un humedal natural, surgen los humedales construidos como una tecnología para el tratamiento principal o complementario de aguas residuales, en especial de pequeñas comunidades, ya que es en éstas donde, en la mayoría de los casos, resulta difícil construir, operar o mantener adecuadamente los sistemas de tratamiento convencionales. En la década de los ochenta, en Europa y Estados Unidos, aparecen los humedales construidos tanto de flujo superficial como subsuperficial, dependiendo de si el agua está o no expuesta a la atmósfera, respectivamente. Los primeros pueden tener problemas de malos olores, presencia de vectores y riesgo público por posible contacto con el agua residual (EPA, 2000).

Los humedales de flujo superficial, debido a su configuración, pueden albergar distintos tipos de vegetación: macrófitas emergentes, flotantes o sumergidas; los de flujo subsuperficial sólo presentan macrófitas emergentes y se clasifican, según el sentido del flujo del agua, en horizontales o verticales.

El uso de humedales construidos para el tratamiento de agua residual doméstica se ha incrementado en todo el mundo, se construyen con un medio poroso como medio filtrante, generalmente de grava, arena, arcilla y tierra. El uso de carbón mineral como medio filtrante en humedales construidos no se ha divulgado.

Los humedales de flujo subsuperficial horizontal pueden proveer un nivel de tratamiento secundario con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, pero con frecuencia son menos eficaces para la eliminación de nitrógeno, a menos que se proporcione un mayor tiempo de retención hidráulica y la oxigenación suficiente (Liu et ál., 2005).

En Canadá se ha investigado el uso de humedales con *Zantedeschia aethiopica* para remoción de nitrógeno, DQO y noninfeol etoxilado tensoactivo (Belmont & Metcalfe, 2003).

En México, se ha estudiado el tratamiento de aguas residuales domésticas y la producción comercial de flores en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y vertical, utilizando cuatro especies ornamentales comerciales: *Zantedeschia aethiopica*, *Strelitzia reginae*, *Anturium andreaeanum* y *Agapanthus africanus*. Los resultados indicaron una mayor eficiencia de los humedales de flujo vertical y la posibilidad de producir flores comerciales en ellos (Zurita, De Anda & Belmont, 2009).

En Tailandia se evaluó el tratamiento de agua residual doméstica con vegetación ornamental, en seis humedales piloto, tres plantados con *Heliconia* y tres con *Canna*, con cargas hidráulicas de 55 a 440 mm/d, logrando remociones para sólidos suspendidos totales (SST), de 88 a 97 %, para demanda química de oxígeno (DQO), de 42 y 83 %, para nitrógeno (N), de 4 y 37 %, y para fósforo (P), de 6 y 35 %, respectivamente, con mejores resultados de remoción de contaminantes para la *Canna* pero con un mayor potencial económico para la *Heliconia* (Brix & Konnerup, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

El humedal piloto de flujo subsuperficial se ubicó en la Escuela Colombiana de Ingeniería (ECI), en una zona con condiciones topográficas y nivel freático favorables para su construcción y monitoreo. Para su construcción se ejecutaron las labores necesarias de replanteo, descapote, excavación y retiro manual de material, impermeabilización del fondo con geomembrana e instalación de las estructuras de entrada y salida del agua residual.

Como medio poroso para siembra de la *Zantedeschia aethiopica* se colocaron manualmente estratos de carbón mineral, grava y tierra, previo triturado y tamizado, conforme con los diámetros contemplados en los parámetros de diseño e ilustrados más adelante (figura 1 y tabla 1). Se sembraron 28 plantas en el humedal; un grupo de testigos en el lago del campus de la Escuela, en condiciones totalmente acuáticas, y otro grupo de testigos en un área contigua al humedal, en condición seca, para observar la adaptación y el desarrollo de la vegetación en los diferentes medios.

La *Zantedeschia aethiopica* se puede propagar comercialmente por semilla, en forma vegetativa por división de los rizomas y por cultivo de tejidos, siendo la forma vegetativa la usada en el estudio. La calla crece de manera óptima a temperaturas diurnas de 18 a 21 °C

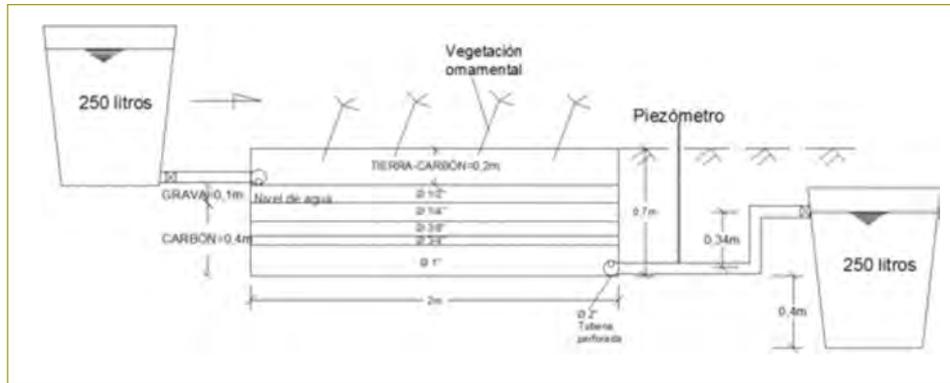


Figura 1. Configuración del humedal.

y de 13 a 16 °C en la noche; la humedad relativa debe ser mínimo del 60 %. Entre las exigencias de calidad para los mercados internacional y nacional se destaca la longitud del tallo floral entre 70 y 80 cm, sin ningún daño físico o por patógenos (Asocolflores, 1999).

Tabla 1
Características del humedal

Parámetro	Valor
Longitud	2 m
Ancho	1 m
Medio	Carbón mineral y grava
Profundidad del carbón	0,4 m
Profundidad de la grava	0,1 m
Profundidad de tierra + carbón (1/1)	0,2 m
Profundidad del agua	0,4 m
Volumen zona húmeda	0,8 m ³
Vegetación	<i>Zantedeschia aethiopica</i>
Densidad de plantas	14/m ²

El humedal se alimentó con agua residual sintética preparada en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela, usando agua de grifo. Su composición se presenta a continuación (tabla 2) y puede clasificarse como agua residual doméstica de concentración media alta fuerte (Metcalf & Eddy, 1991). Entre diciembre de 2010 y abril de 2011 se dosificó un caudal promedio de 96 L/d de agua residual con monitoreo diario del sistema y muestreo periódico del afluente y del efluente para un total de diez campañas de muestreo. Los métodos para análisis de temperatura, pH, turbiedad, conductividad, color, oxígeno disuelto, DBO₅, DQO, SST, NTK, PT, coliformes fecales y coliformes totales

corresponden a los descritos en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005), procedimientos empleados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

En las figuras 2 a 4 se ilustra el sistema de tratamiento y muestras del afluente y del efluente del humedal.

Tabla 2
Composición del afluente

Componente	Concentración (mg/L)
Glucosa comercial	500
Urea	100
Dihidrógeno fosfato de potasio (KH ₂ PO ₄)	20
Hidrógeno fosfato de dipotasio (K ₂ HPO ₄)	40
Sodio dihidrógeno fosfato 1-hidrato (NaH ₂ PO ₄ · H ₂ O)	35
Cloruro de amonio (NH ₄ Cl)	3
Sulfato de magnesio (MgSO ₄ · 7H ₂ O)	60
Cloruro de calcio (CaCl ₂)	5
Cloruro ferroso (FeCl ₂ · 4H ₂ O)	1
Materia fecal humana	0,4
Lodo tanque séptico	200

RESULTADOS

A renglón seguido se presenta la caracterización promedio del afluente y del efluente del humedal, así como las eficiencias obtenidas en la operación del humedal, los criterios requeridos para irrigación y los parámetros de diseño recomendados (tabla 3).



Figura 2. Humedal de flujo subsuperficial piloto.



Figura 3. Muestra del afluente.



Figura 4. Muestra del efluente.

Tabla 3
Resumen de resultados

Parámetro	Afluente	Efluente	Eficiencia (%)	Criterio para riego		Diseño recomendado	
				(OMS, 2006)	(Minsalud, 1984)	(Metcalf & Eddy, 1991; Droste, 1997; Crites & Tchobanoglous, 1998)	(Albuquerque et ál., 2009)
Caudal (L/d)	96	96	-	-	-	-	-
Temperatura (°C)	18 ± 3	18 ± 2,5	-	-	-	-	-
pH	4,9 ± 0,8	6,1 ± 0,3	24	6,0 – 9,0	4,5 – 9,0	-	-
Turbiedad (UTN)	149	15	85	-	-	-	-
SST (mg/L)	317	15	94	150	-	-	< 100
Carga SST (kg SST/ha.d)	152	-	-	-	-	390	50 – 120
Conductividad (μmho/cm-25 °C)	444	476	-	700	-	-	-
Color (UPC)	54	46	15	-	-	-	-
OD (mg/L)	0	1,8	-	-	-	-	-
DQO (mg/L)	1054	272	70	500	-	-	-
DBO (mg/L)	392	179	52	300	-	-	< 400
Carga DQO (kg DQO/ha.d)	506	-	-	-	-	-	50 – 200
Carga DBO (kg DBO/ha.d)	188	-	-	-	-	< 112	20 – 120
NTK (mg/L)	52	23	56	70	-	-	-
PT (mg/L)	12	9	27	10	-	-	-
Carga NTK (kg NTK/ha.d)	25	-	-	-	-	-	-
Carga PT (kg PT/ha.d)	6	-	-	-	-	-	-
Tiempo de retención, d	4	4	-	-	-	3 – 4 (DBO)	-
						6 – 10 (N)	5 – 14
						4 - 15	
Carga hidráulica superficial (m ³ /ha.d)	480	480	-	-	-	470 - 1870	< 2000
Área, m ² /persona equivalente	2,7	2,7	-	-	-	-	3 – 6
CF (UFC/100 mL)	1,3 x 10 ⁵	3,6 x 10 ³	97,6	1000	1000	-	-
CT (UFC/100 mL)	1,3 x 10 ⁶	2,3 x 10 ⁴	95,5	-	5000	-	-

Temperatura

La temperatura promedio del afluente fue de 18 ± 3 °C y la del efluente de $18 \pm 2,5$ °C, mientras que la temperatura ambiente promedio observada fue de 14 °C. Durante todo el periodo de estudio las temperaturas registradas en el afluente y en el efluente fueron mayores que la temperatura ambiente.

pH

El afluente presentó un pH promedio de $4,9 \pm 0,8$; el efluente, $6,1 \pm 0,3$. En todos los casos hubo un incremento de pH que indica que la reacción en el humedal es alcalinizante, debido probablemente a la oxidación bioquímica de compuestos orgánicos, a desnitrificación, o a consumo de CO_2 mediante fotosíntesis.

Turbiedad

Seguidamente se ilustran los resultados de turbiedad y eficiencia de su remoción para el periodo analizado. La turbiedad promedio del afluente es de 149 UNT, con un mínimo y máximo de 48 y 363 UNT, respectivamente. Se obtiene un efluente con una turbiedad media de 15 UNT, para una eficiencia promedio en remoción de turbiedad del 85 % (figura 5).

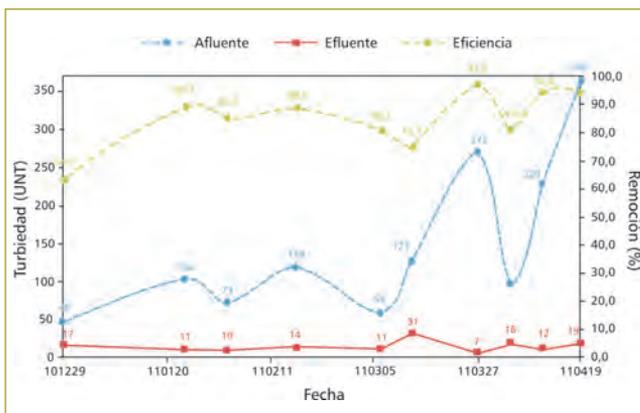


Figura 5. Variación y remoción de turbiedad.

Sólidos suspendidos totales

A continuación se observan los valores registrados de SST y la eficiencia de remoción lograda por el humedal. El valor promedio de SST del afluente es de 317 mg/L,

con un mínimo y máximo de 111 y 807 mg/L, en ese orden. En el agua tratada los SST promedio son de 15 mg/L, con un intervalo de 1 a 25 mg/L. A pesar de la fuerte variación de SST en el afluente, 111 a 807 mg/L, el humedal produce un efluente, en todos los casos, con SST menores de 25 mg/L. La eficiencia en remoción de SST es superior al 88 %, con un promedio de 94 ± 3 %. Se puede afirmar que los procesos de sedimentación y filtración en el humedal operaron satisfactoriamente, para contribuir al logro de las eficiencias (figura 6).

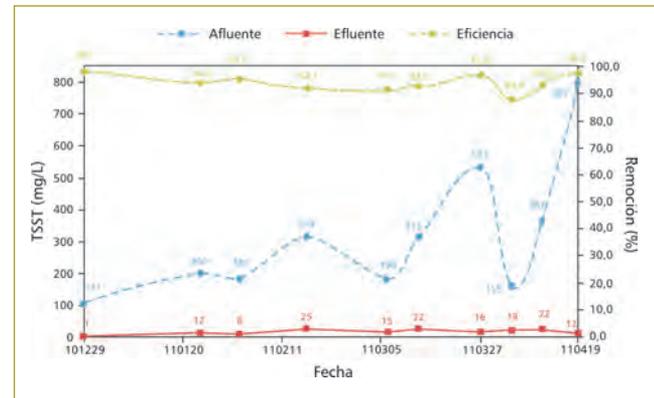


Figura 6. Variación y remoción de SST.

Conductividad

La conductividad promedio del afluente es de 444 $\mu\text{mho/cm}$, con una variación de 296 a 603 $\mu\text{mho/cm}$. Se generó un efluente con una conductividad media de 476 y un intervalo entre 441 y 528 $\mu\text{mho/cm}$. La conductividad del efluente fue relativamente constante, a pesar de la fuerte variación en el afluente, debido probablemente al contacto del agua con el carbón mineral.

Color

El color promedio del afluente es de 54 UPtCo y de 46 en el efluente. La remoción promedio de color es de 15 %, la máxima de 25 % y la mínima de 10 %. La eficiencia del humedal en remoción de color fue baja, posiblemente porque no hubo cambio apreciable en la concentración de sólidos disueltos, como lo indican los valores de conductividad y, además, por el aumento de pH.

Oxígeno disuelto

Al dosificar un afluente sin oxígeno disuelto, se obtiene un efluente con un promedio de OD de $1,8 \pm 0,6$ mg/L, con un rango entre 1 y 2,5 mg/L-O₂. La ausencia de OD en el afluente se debe a la alta concentración de materia orgánica acumulada en el tanque de abastecimiento, producto principalmente del lodo y de la materia fecal dosificada. La recuperación de OD dentro del humedal presume un proceso de fotosíntesis de las macrófitas emergentes usadas o de aireación y actividad bioquímica en el humedal.

Demanda química de oxígeno

A renglón seguido se observa el comportamiento de la DQO, con un afluente promedio de 1054 mg/L y un rango entre 615 y 2000 mg/L-O₂. Se obtiene un efluente con DQO promedio de 272 mg/L, con un rango entre 185 y 385 mg/L-O₂ (figura 7).

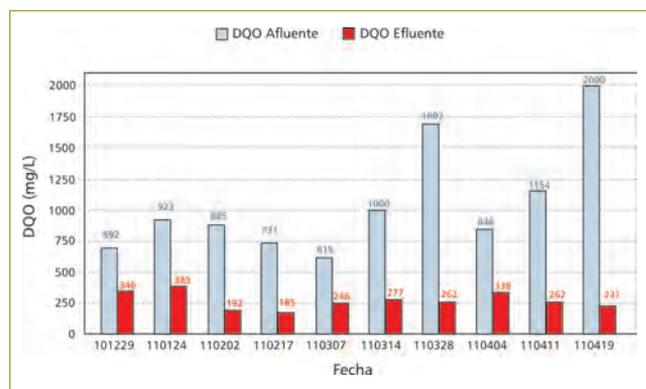


Figura 7. Variación de DQO.

Demanda bioquímica de oxígeno

Más adelante se incluye el registro de DBO₅, con un afluente promedio de 392 mg/L, un valor mínimo de 266 mg/L y un máximo de 559 mg/L, para un efluente con DBO₅ promedio de 179 mg/L, con un intervalo entre 145 y 221 mg/L-O₂ (figura 8).

El afluente siempre reveló una DQO mayor que la DBO₅, con un cociente promedio DBO₅/DQO de 0,37, DQO/DBO₅ de 2,7, lo que señala que el agua cruda fue predominantemente no biodegradable. En el efluente, el cociente promedio DBO₅/DQO fue de 0,66, DQO/DBO₅ de 1,5; esto hace presumir que

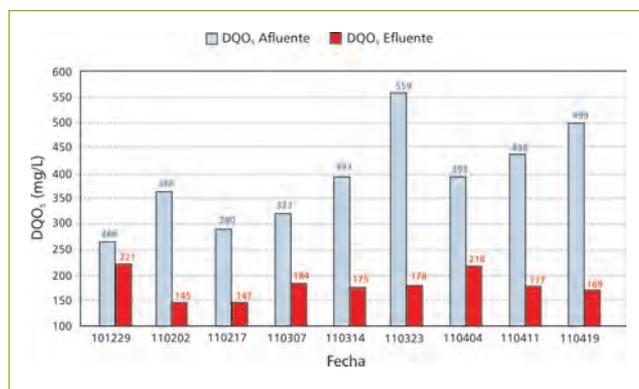


Figura 8. Variación de DBO₅.

predomina la actividad físico-química sobre la actividad biológica dentro del humedal.

Remoción de carga orgánica

Los valores de remoción de materia orgánica se presentan en la página siguiente (figura 9). La remoción promedio de DQO es de 70 ± 13 %, con valores que fluctuaron entre 50 y 89 %. La remoción promedio de DBO₅ es de 52 ± 16 %, con un rango entre 17 y 68 %.

La carga promedio aplicada de DQO es de 506 kg/ha.d, con un intervalo de 295 a 960 kg/ha.d; la de DBO₅ promedio es de 188 kg/ha.d, con un rango entre 128 y 268 kg/ha.d; estos valores se pueden considerar altos en comparación con los valores típicos que se citan en la bibliografía, menores de 120 kg DBO/ha.d, para un humedal de flujo subsuperficial (Albuquerque et ál., 2009; Romero, 2010). Las remociones observadas, mayores siempre en DQO que en DBO₅, indican que hubo un predominio de actividad o fenómenos de absorción y adsorción físico-química sobre la actividad biológica, debido a la vegetación, al medio poroso, a la evapotranspiración y al hecho de que el agua cruda es predominantemente no biodegradable.

Nitrógeno total Kjeldahl

Los resultados expuestos posteriormente indican un afluente con NTK promedio de 52 mg/L-N, con un valor máximo de 62 mg/L y con un mínimo de 40 mg/L (figura 10). El valor medio de NTK en el efluente es de 23 mg/L-N, con un rango entre 8 y 31 mg/L-N. Se registra una eficiencia promedio en la remoción de NTK de 56 %, con un intervalo entre 39 y 79 %. La

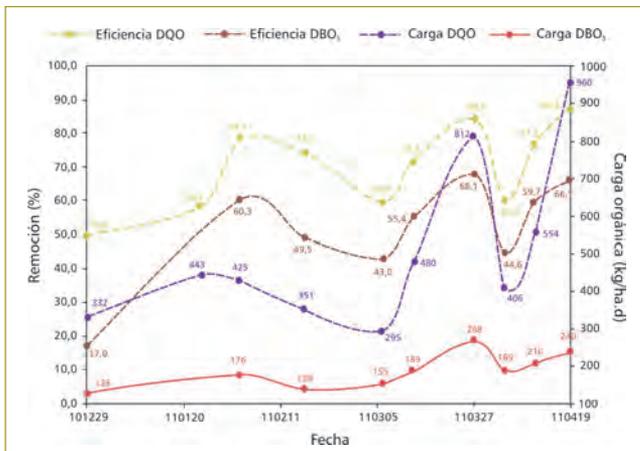


Figura 9. Remoción y carga orgánica de DQO y DBO₅.

carga promedio aplicada fue de 25 kg N/ha.d, con un intervalo entre 19 y 30 kg N/ha.d. El porcentaje de remoción promedio de NTK obtenido (56 %) puede considerarse bueno si se compara con el desempeño de sistemas de humedales subsuperficiales, como los incluidos en la evaluación de tecnología de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), que fue del 40 (EPA, 1993).

Se puede afirmar que la forma predominante de NTK en el afluente es la de ion amonio NH_4^+ , dado que el pH es menor de 7 (Metcalf & Eddy, 1991). Los humedales de flujo subsuperficial presentan generalmente microzonas aeróbicas en la superficie de las raíces y de los rizomas; el resto del medio sumergido tiende a carecer de oxígeno, lo que limita la remoción biológica del amoníaco por nitrificación. Sin embargo, la remoción de nitratos por desnitrificación biológica puede ser muy efectiva, en razón de que las condiciones anóxicas requeridas están siempre presentes y se cuenta con suficientes fuentes de carbono. Con base en lo anterior y en los niveles de OD alcanzados en el efluente del humedal, se puede pensar que la remoción de NTK se debe probablemente a procesos microbiales de nitrificación - desnitrificación en la mezcla de zonas aerobias y anóxicas del humedal. Además, existe la asimilación de nitrógeno por las macrófitas y por la biomasa microbiana.

Fósforo total

Más adelante se presentan los resultados de fósforo total y de eficiencia en remoción de fósforo para el periodo

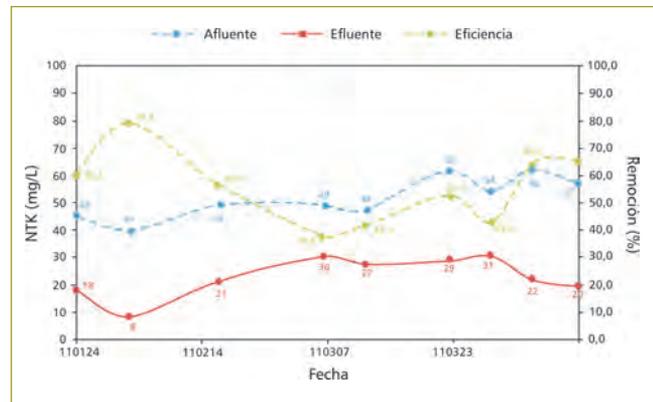


Figura 10. Variación y remoción de NTK.

analizado (figura 11). En el afluente el PT promedio es de 12 mg/L y varió entre 2 y 15 mg/L. La carga promedio aplicada de PT fue 6 kg/ha.d, con intervalo de 1 a 7 kg/ha.d. El humedal produjo un efluente con un PT medio de 9 mg/L y un rango entre 1,1 y 11 mg/L. La eficiencia promedio en remoción de PT fue de 27 %, con una máxima remoción en la séptima campaña de muestreo de 49 %. Los resultados observados confirman que la remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales construidos no es muy efectiva (EPA, 1993).

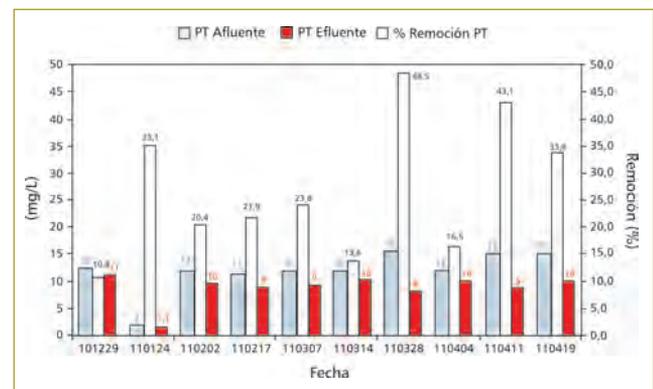


Figura 11. Variación y remoción de PT.

En humedales, la remoción de fósforo se debe principalmente a la adsorción del medio poroso y al consumo de las plantas (Arias et ál., 2001; Akratos & Tsihrintzis, 2007). Algunos investigadores señalan que para lograr remoción eficiente de fósforo en un humedal construido es probablemente necesario instalar una unidad de filtro separada, con un material de alta capa-

acidad de adsorción de fósforo, el cual se puede cambiar cuando se sature con fósforo, o adicionar químicos de precipitación como óxidos de hierro o aluminio al agua residual (Brix, Arias & Del Bubba, 2001).

Coliformes fecales y coliformes totales

El afluente tuvo una concentración media de CF de $1,3 \times 10^5/100$ mL con un rango entre 2×10^4 y 2×10^5 CF/100 mL. El humedal proporciona un efluente promedio de $3,6 \times 10^3$ CF/100 mL, con un rango entre 0 y 3×10^4 CF/100 mL. La concentración media de CT del afluente es de $1,3 \times 10^6$ CT/100 mL, un valor mínimo de $4,7 \times 10^4$ CT/100 mL y un máximo de 4×10^6 CT/100 mL. El contenido promedio de CT del efluente fue de $2,3 \times 10^4/100$ mL, con un rango entre 0 y $1,5 \times 10^5$ CT/100 mL.

Como se puede observar, en todos los casos la eficiencia en remoción de CF fue superior al 80 %, con un valor promedio de 97,6 % (figura 12). En coliformes totales se obtuvo una remoción promedio de 95,5 %, con valores que fluctuaron entre 59,5 y 100 %. Los coliformes se eliminan esencialmente por procesos de sedimentación, filtración, absorción y procesos de degradación biológica (García, Soto, González & Bécáres, 2006). Del mismo modo, se afirma que un medio con un tamaño de grano muy pequeño puede ser más efectivo para remoción de coliformes (García, Vivar, Aromir & Mujeriego, 2003).

El humedal en estudio provee remociones en CF y CT debido principalmente a procesos de filtración y sedimentación, como lo confirma la baja turbiedad del efluente (figura 5).

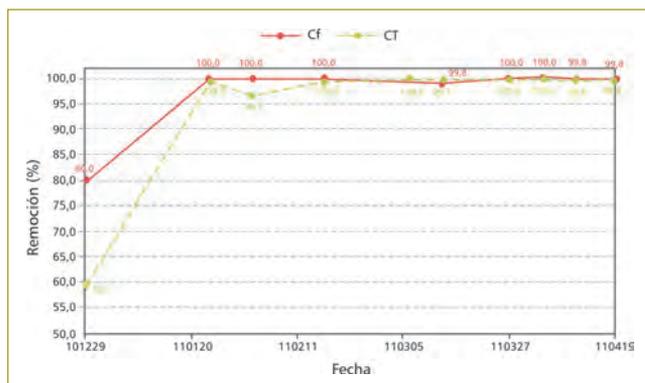


Figura 12. Remoción de CF y CT.

Vegetación macrófita ornamental *Zantedeschia aethiopica*

El crecimiento y desarrollo de la *Z. aethiopica* estuvo expuesto a las heladas y a las bajas temperaturas que predominaron durante el periodo de estudio (registro estación meteorológica Guaymaral, 2010-2011), presentándose temperaturas inferiores a las óptimas para esta vegetación, es decir, menores de 18 °C en el día y de 13 °C en la noche.

Se puede asegurar que la *Z. aethiopica* necesita un drenaje controlado, pues tolera mejor los suelos parcialmente húmedos que los totalmente inundados, ya que estos últimos favorecen problemas como la pudrición. Las plantas sembradas en el humedal se desarrollaron mejor que los testigos sembrados en condiciones totalmente acuáticas y que los testigos en condición seca.

El agua residual acelera el crecimiento de la vegetación por los nutrientes que aporta, logrando floración en periodos más cortos, aproximadamente 30 días, en comparación con la vegetación que se plantó como testigo en condición seca, que tardó en florecer alrededor de 60 días.

Se lograron callas en el humedal con alturas de tallo floral de 80 cm, aproximadamente, lo que estaría dentro de la exigencia del mercado; sin embargo, el rendimiento de la planta en cuanto a producción de flores con estas características de mercado fue bajo, en comparación con los estándares para este tipo de flor, que son de 1,5 flores/mes por planta (Agudelo, 2005).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El humedal analizado y operado con carga hidráulica de 480 m³/ha.d, tiempo de retención de 4 d, carga de SST de 152 kg/ha.d, carga de DBO₅ de 188 kg/ha.d y carga de DQO de 506 kg/ha.d, provee remociones promedio superiores al 85 % en turbiedad, sólidos suspendidos, coliformes fecales y totales.
- La eficiencia promedio en remoción de NTK fue de 56 %, valor aceptable en humedales subsuperficiales (EPA, 1993).
- La eficiencia promedio en remoción de fósforo total es de un 27 %.
- El humedal construido con carbón mineral y cultivado con *Zantedeschia aethiopica* es una opción estéticamente agradable de tratamiento comple-

mentario para aguas residuales domésticas y provee, agregando desinfección, un efluente apto para riego.

- La vegetación ornamental usada, *Zantedeschia aethiopica*, produce una flor atractiva que cumpliría con especificaciones comerciales, para generar una fuente económica alterna.
- La *Zantedeschia aethiopica* es una especie más tolerable a suelos secos o drenados que a suelos totalmente inundados.
- El carbón mineral utilizado es un material con buenas propiedades de porosidad, conductividad hidráulica y absorción.
- Se recomienda continuar investigando la eficiencia del humedal con afluentes y cultivos diferentes para aumentar su conocimiento y evaluar la incidencia del tiempo de retención, así como de las cargas aplicadas sobre el desempeño y aplicabilidad del sistema de tratamiento, al igual que para comparar con parámetros recomendados para diseño.

REFERENCIAS

- Agudelo Osorio, D. (2005). Evaluación del efecto de la planta *Zantedeschia aethiopica* (calla lily), en la calidad de agua de riego del Centro Agropecuario Marengo (CAM) y su viabilidad como cultivar en sistemas acuáticos. Bogotá: Universidad Nacional.
- Akratos, C.S. & Tsihrantzis, V.A. (2007). Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot - scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecol. Eng.* 29, (2), 173-191.
- Albuquerque, A., Arendacz, M., Gajewska, M., Obarska-Pempkowiak, H., Randerson, P. & Kowalik, P. (2009). Removal of organic matter and nitrogen in an horizontal subsurface flow (HSSF) constructed wetland under transient loads. *Water Sci. & Technol.* 60, (7), 1677-1682.
- APHA, AWWA & WEF (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed.
- Arias, C.A., Del Bubba, M. & Brix, H. (2001). Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. *Water Res.* 35, (5), 1159-1168.
- Asocolflores (1999). *Asociación Colombiana de Exportadores de Flores*, N.º 136. Bogotá.
- Belmont, M.A. & Metcalfe, C.D. (2003). Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, cod and nonylphenol ethoxylate surfactants. A laboratory-scale study. *Ecol. Eng.* 21, (4-5), 233-247.
- Brix, H., Arias, C.A. & Del Bubba, M. (2001). Media selection for sustainable phosphorous removal in subsurface flow constructed wetlands. *Water Sci. Technol.* 44 (11-12), 47-54.
- Crites, R.W. & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. New York: McGraw Hill Co.
- Díaz Acero, C.A. (2012). Evaluación de la remoción de DBO, DQO, SST, NTK, PT y CF en un humedal de flujo subsuperficial construido con carbón mineral y cultivado con *Zantedeschia aethiopica*. Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Droste, R.L. (1997). *Theory and practice of water and wastewater treatment*. Wiley.
- EPA (1993). *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment. A technology assessment*, EPA 832-R-93-008. Washington, DC: EPA, OWN.
- EPA (2000). *A handbook constructed wetlands*, vol. 2, Domestic wastewater.
- EPA (2000). *Design manual constructed wetlands for municipal wastewater treatment*. Cincinnati, Ohio: EPA. CERL.
- García, J., Vivar, J., Aromir, M. & Mujeriego, R. (2003). Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal in tertiary treatment reed beds. *Water Res.* 37, 2645-2653.
- García, M., Soto, F., González, J. & Bécares, E. (2006). A comparison of bacterial removal efficiencies in constructed wetlands and algae-based systems. 10th International conferences on wetlands system for water pollution control, 335.
- Kadlec, R.H. & Knight, R. (1996). *Treatment wetlands*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.
- Liu, W., Dahab, M.F. & Surampalli, R.Y. (2005). Nitrogen transformations modeling in subsurface-flow constructed wetlands. *Water Environ. Res.*, 77, 246-258.
- Metcalfe & Eddy (1991). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*, 3.^a ed. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Ministerio de Salud (1984). Decreto 1594 del 26 de junio de 1984. Bogotá, Colombia.
- OMS (WHO) (2006). *A Compendium of Standards for Wastewater Reuse in the Eastern Mediterranean Region*. Regional Office for the Eastern Mediterranean.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Zurita, F., De Anda, J. & Belmont, M.A. (2009). Treatment of Domestic Wastewater and Production of Commercial Flowers in Vertical and Horizontal Subsurface-Flow Constructed Wetlands. *Ecol. Eng.* 35(5): 861-869.

Modelo de medición y análisis de factores de responsabilidad social empresarial (RSE) para el diseño de estrategias y programas en pequeñas y medianas empresas

Measuring model and analysis of corporate social responsibility (CSR) for the design of strategies and programs in small and medium enterprises (SME)

JUAN DAVID SEPÚLVEDA CHAVERRA

Ingeniero industrial, MSc. en Desarrollo empresarial. Docente investigador. Universidad Manuela Beltrán.

Juankarenium@gmail.com

Recibido: 25/09/2012 Aceptado: 15/10/2012

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

Resumen

En el presente trabajo se persigue el desarrollo de un modelo de evaluación de factores de responsabilidad social empresarial que facilite a pequeñas y medianas empresas establecer, mediante un proceso de autoevaluación, su nivel de RSE, al tiempo que, aplicado a grupos empresariales, permita el análisis de estrategias sectoriales. Para el cumplimiento de los objetivos trazados se realizaron tres etapas de trabajo; una primera, donde a partir de un proceso de análisis cuantitativo aplicado a trabajos de investigación extraídos del sistema *ISI web of science* se definieron las principales dimensiones teóricas que debía contener el modelo, para, a partir de ellas, en una segunda etapa, determinar el proceso de medición y evaluación mediante un sistema basado en lógica difusa diseñado en Matlab. En la tercera etapa se desarrolló un caso aplicado a una empresa que permitió probar los criterios de evaluación definidos y establecer el alcance analítico que brindan los resultados.

Palabras claves: medición, responsabilidad social empresarial, modelo.

Abstract

This article aims to the development of a model designed to evaluate Corporate Social Responsibility (CSR) that allows Small and Medium enterprises to establish their levels of CSR by applying a self-evaluation process. At the same time, this model was designed to be applied on the analysis of industry strategies. This model was designed in three stages. The first one, based on the application of a Scientometric analysis to research papers from ISI web of science, that allowed to determine the principal theoretical dimensions of the model; the second stage was oriented to establish the process of measure and evaluation of this dimensions with a fuzzy logic process designed on Matlab. Then a study was done, using data from a small company, and its results allowed to test the defined evaluation criteria and the analytical approaches that can be extracted.

Keywords: measuring, corporate social responsibility, model.

INTRODUCCIÓN

La responsabilidad social empresarial (RSE) es un proceso de gestión que permite a las organizaciones involucrarse con su entorno mediante estrategias que generan resultados positivos, tanto para sus *stakeholders* como para la misma organización (Harwood, Humby & Harwood, 2011); sin embargo, no existe una definición absoluta en cuanto al concepto, y esto lleva en sí mismo la dificultad de definir criterios y parámetros de medida que permitan establecer el rendimiento de las acciones de RSE hechas por las empresas (Grosbois, 2012). Igualmente, puede decirse que si este problema existe al nivel de la medida de los resultados, es mucho más evidente en el momento de establecer la línea base para una pequeña y mediana empresa (pyme) que quiere involucrarse dentro de los procesos de RSE.

Con base en lo anterior, en este trabajo se propone un modelo de medición del nivel de RSE aplicable a pymes; los criterios, componentes, variables y medidas en que se basa este diseño tienen un origen teórico, definido a partir de la evaluación cuantitativa de la bibliografía reciente en el área, elementos que se abordan en la primera parte de los resultados, a partir de los cuales se muestra el desarrollo de un modelo para el cálculo del nivel de RSE basado en lógica difusa, cuyos criterios de diseño y cálculo se implementaron con Matlab; por último, la tercera parte involucra el análisis de un caso aplicado a una pequeña empresa del sector de muebles de madera en la ciudad de Bucaramanga.

Los resultados dejan ver tres componentes estrechamente ligados a la práctica de la RSE, derivados de las tendencias de aplicación de procesos de investigación a nivel mundial; se demuestra igualmente la utilidad de los procesos de medición para establecer puntos fuertes, débiles, estrategias y acciones en torno a la RSE en pequeñas y medianas empresas, y se definen puntos de interés para la continuidad de este proceso de investigación.

METODOLOGÍA

El objetivo general es desarrollar un modelo de evaluación de factores asociados con la RSE que facilite a las organizaciones de cualquier tamaño establecer, mediante un proceso de autoevaluación, su nivel de relación con éstos, al tiempo que los resultados obtenidos, si bien no tienen un nivel de categorización que

favorezca el establecimiento de *rankings* comparativos, permite analizar estrategias sectoriales en el desarrollo de tales conceptos como estrategia competitiva. Así mismo, los resultados del modelo permiten identificar puntos fuertes y débiles en torno a este proceso de gestión. Para cumplir dicho objetivo se trazaron dos etapas de análisis en un proceso de investigación analítica proyectiva.

La primera etapa, denominada de búsqueda, procesamiento y análisis de información, buscaba establecer las tendencias teóricas en torno al desarrollo del concepto de RSE y los principales factores asociados a éste; para ello se realizó un proceso de revisión bibliométrica tomando como base artículos publicados en el sistema ISI, cuyos descriptores apuntaran al tema de responsabilidad social empresarial. De esta búsqueda se obtuvieron un total de 89 artículos publicados entre los años 2008-2012; los resúmenes de estos trabajos se mapearon utilizando análisis de correspondencias con la ayuda del *software* NTSYS, tomando como base la metodología para construcción de mapas tecnológicos propuesta por Angulo et ál. (2007).

A partir de los resultados de esta primera etapa se identificaron, además de las tendencias conceptuales (mapa de correspondencia), los principales macrofactores relacionados con el tema de RSE; la revisión de los trabajos tomados de ISI sirvió como soporte para definir la segunda etapa de análisis, que consistió en establecer las principales variables que soportan las acciones de RSE, según las dimensiones identificadas.

Con las variables analizadas se construyó un modelo de evaluación y análisis del potencial o nivel de RSE empresarial, utilizando lógica difusa, lo que permitía calificar cada variable utilizando escalas cualitativas y cuantitativas, buscando un resultado que permitiera a las organizaciones determinar su nivel de relación con la RSE, al tiempo que facilita comparaciones y análisis sectoriales.

RESULTADOS

Tendencias conceptuales

El procesamiento de los artículos reseñados permitió construir el mapa tecnológico que se muestra más adelante (figura 1). Este mapa, conocido como mapa tecnológico (Angulo et ál., 2007) muestra en el espacio la manera en la cual los principales descriptores (pala-

bras claves extraídas de los resúmenes) concurren en conceptos o tendencias dentro del tema analizado. Para esta etapa se estableció la siguiente hipótesis de trabajo:

Ho: Existe una relación de dependencia entre los descriptores y los trabajos analizados

El análisis de correspondencias NTSYS arrojó como resultado un valor chi-cuadrado $X^2 = 14800,925$, con 16434 grados de libertad y un p-valor = 0,0000 significativo sobre un 99,9 % de certeza, señalando sobre los datos analizados una fuerte correlación entre los artículos publicados y las palabras que se han utilizado como descriptores del campo teórico analizado, comprobando la hipótesis nula establecida.

El análisis del mapa obtenido, luego de la comprobación de su capacidad para describir las tendencias del campo analizado, parte de la identificación de una nube central, donde concurre el mayor número de descriptores y se aprecia en la figura como el espacio más denso (figura 1). Esta nube central, compuesta por descriptores como *information, strategy, report, regulation, conflict, organization, industry, area, studies, goal, provide, in-*

vestment, values, adopt, application, information, change, build, beneficial, economic, important, human, problems, theory, context, se denominó *clúster de desarrollo interno*, ya que el análisis conjunto de estos descriptores permite evidenciar que se enfocan en los elementos de gestión de la organización que persiguen un desarrollo organizacional ligado a las necesidades y requerimientos de los *stakeholders* internos.

Posteriormente las nubes 1 y 2, aunque muestran tendencias separadas e independientes, alejadas de la nube central, se llamaron *clúster de relaciones con los clientes y el entorno*, compuesto por descriptores como *environment, governance, responsibility, advantage, system, practices, aspects, national, impact, associated, potential, socially, model, appropriate, decide, consumer, supply, chain*; igualmente se determinó, luego del estudio y análisis bibliográfico, que involucra elementos relacionados con acciones enfocadas al desarrollo de elementos dirigidos a los clientes, proveedores, el medio ambiente, aspectos éticos y elementos sociales.

El clúster 3, denominado de *sostenibilidad de las acciones*, involucra descriptores que se enfocan aspectos relacionados con el valor, la imagen, la influencia de la organización en su entorno, su nivel de compromiso

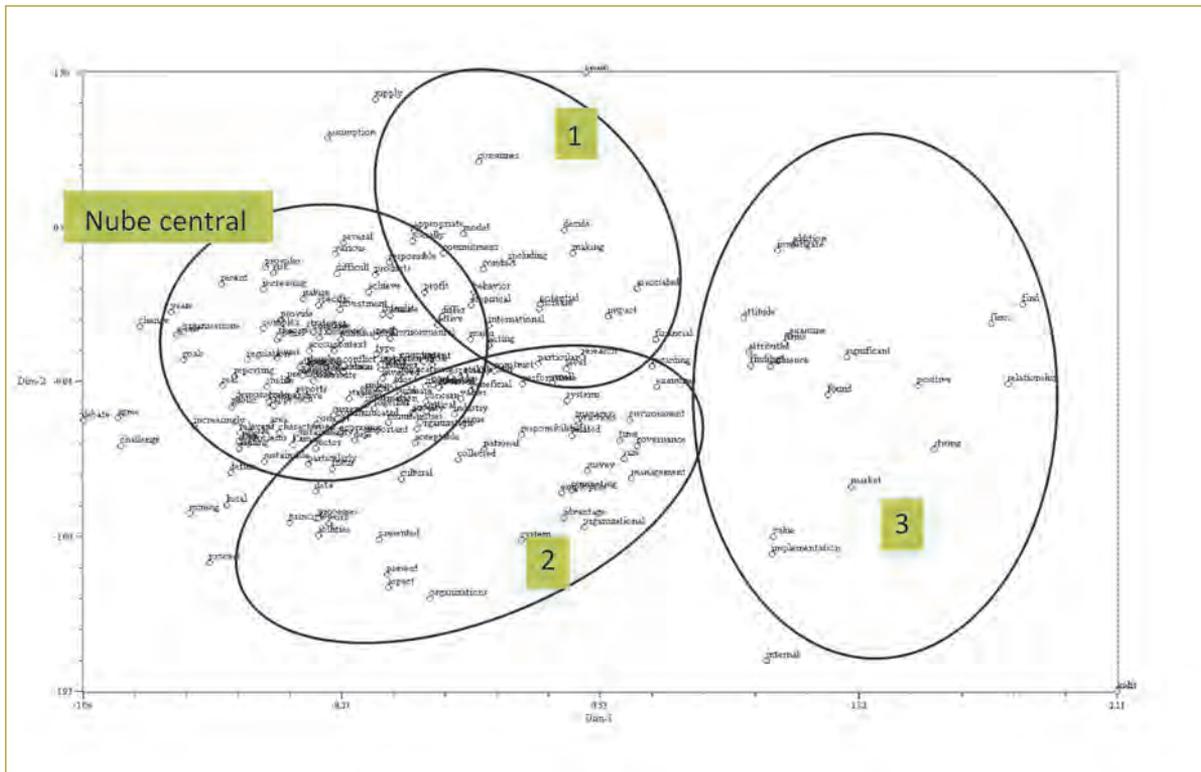


Figura 1 Mapa de correspondencias.

con las acciones emprendidas y el impacto en la comunidad.

Con el objetivo de comprobar mediante una herramienta de contraste los resultados obtenidos, se realizó un mapa autoorganizado (mapa SOM) utilizando como soporte Matlab, cuyos resultados muestran una concurrencia similar hacia los aspectos reseñados (figura 2).

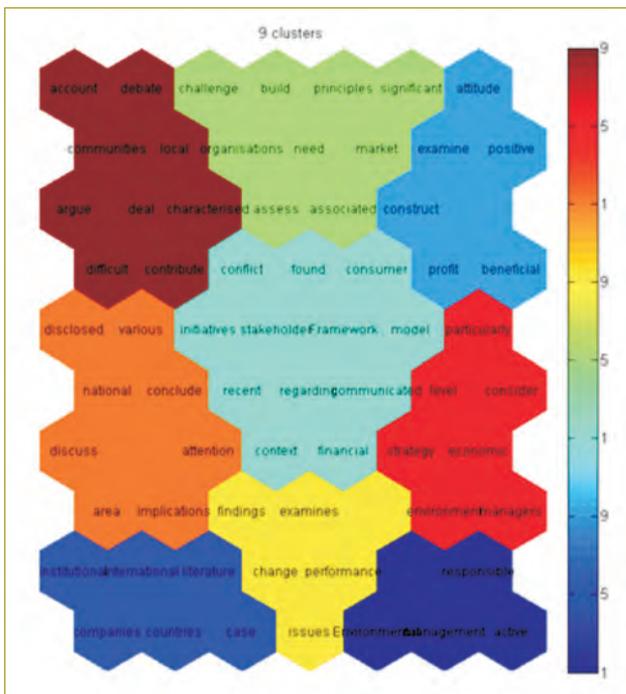


Figura 2 Mapa SOM.

Como resultado de la construcción de este mapa se obtuvieron en su desarrollo unos valores de 2,553 para el error de cuantificación, el cual explica la calidad del aprendizaje y ajuste del mapa al análisis de los datos. Por otra parte, se tomó la medida del error topográfico, que representa la precisión del mapeo en la conservación de la topología y las características del sistema de datos analizados (Kohonen, 2001), que para este caso particular fue de 0,020. Tales valores demuestran el potencial de explicación de los clústeres obtenidos sobre el sistema analizado.

Definición del modelo

Descripción y objetivos

En el proceso de desarrollo de un modelo que articule de manera coordinada sus objetivos, etapas y premisas, es necesario establecer inicialmente su nivel de alcance, ya que de esto depende el enfoque de los procesos internos que se desarrollen y sus resultados específicos.

Para el propósito de esta propuesta, se ha definido metodológicamente que el alcance involucre el diagnóstico, análisis y calificación de los principales factores que afectan las acciones estratégicas en las empresas, relacionados con la RSE; por tanto, el alcance de esta propuesta involucra actividades de medición y análisis como base para el desarrollo posterior. En este orden de ideas, las etapas que se involucran en el desarrollo de este modelo son autoevaluación, calificación y análisis de resultados (figura 3), las cuales hacen referencia al desarrollo general del modelo.

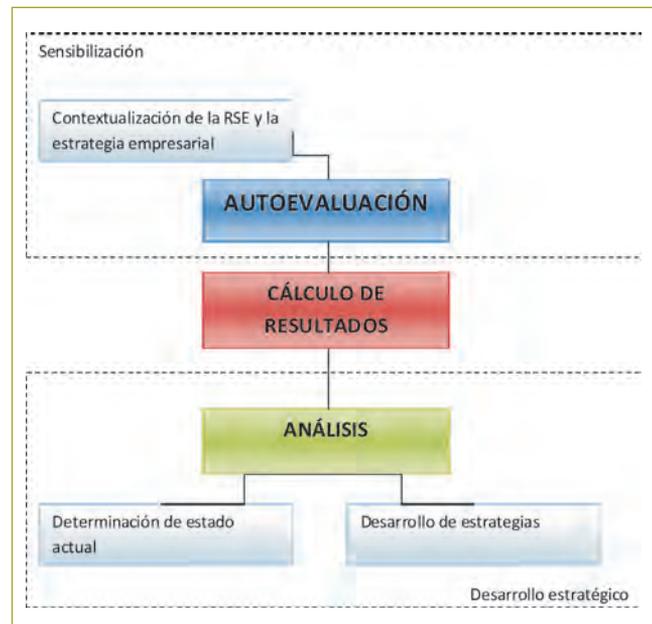


Figura 3 Modelo de medición propuesto.

La etapa de autoevaluación no se puede completar sin un marco de sensibilización, que facilite a los actores profundizar en la importancia del tema y la necesidad de establecer una línea base de análisis que favorezca emprender acciones concretas en torno al desarrollo de la RSE en sus organizaciones; por tanto, el marco general que cubre esta etapa se ha denominado un marco de

sensibilización, que incluye una contextualización previa sobre la RSE y el desarrollo estratégico empresarial. La autoevaluación se ha diseñado con base en los componentes identificados a partir de la revisión bibliográfica y se describen en detalle en la sección siguiente.

El cálculo de resultados es una etapa intermedia enfocada en el cálculo de los principales indicadores que constituyen el modelo a partir de la integración de funciones matemáticas y herramientas avanzadas de cálculo. En este trabajo se propuso la calificación a partir de herramientas de lógica difusa, y se probó su eficiencia utilizando un modelo diseñado como el *software* Matlab, cuyos componentes se describen en detalle más adelante; sin embargo, se entiende la limitación que el uso de estas herramientas supone para las pymes, por lo cual se encuentra en marcha un proyecto de programación que haga esta herramienta accesible a las empresas objetivo del proyecto.

La tercera etapa, cuyo alcance está delimitado al análisis de los resultados, busca que los resultados del cálculo se integren a un proceso de diálogo organizacional relacionado con sus estrategias y las acciones que hay que emprender. El módulo difuso diseñado permite que una empresa pueda lograr un alto nivel sin cubrir completamente todos los componentes, ya que los perfiles y el interés estratégico de las acciones de RSE pueden variar entre sectores; se muestra un caso aplicado del modelo para entender con mayor profundidad esta etapa. Se entiende además que el desarrollo de estrategias, si bien no comprende los alcances de este proyecto, es una condición necesaria para que las empresas se integren activamente en el desarrollo de acciones de RSE, por lo cual, con la sola evaluación, no existe un impacto potencial.

Componentes y medición

Como parte del análisis en el proceso de desarrollo del modelo, se construyó un primer arreglo que incluía, en la primera columna, los clústeres o macrofactores de la medición obtenidos a partir del análisis de correspondencias; en la segunda columna se definieron las dimensiones que corresponden a los componentes de análisis del modelo, y en la tercera, las variables definidas para la medición dentro de cada factor, de acuerdo con los hallazgos de la revisión bibliográfica y el mapa construido; esta primera aproximación permitió defi-

nir el esquema de trabajo y las necesidades básicas de información.

Para la evaluación por factores fue necesario, además, determinar el valor óptimo de operación cualitativo de cada variable, el cual se transformó en una pregunta que puede evaluarse con la asignación de un puntaje de uno (1) a cinco (5), de acuerdo con una escala de Lickert, donde cinco (5) es el valor óptimo de la evaluación. Más adelante se muestran las variables definidas para cada componente y el criterio de evaluación definido, al igual que los referentes bibliográficos utilizados como soporte para el diseño.

Cada dimensión se califica con el promedio alcanzado por las variables analizadas, y a partir de los resultados de estas calificaciones se obtiene un indicador que determina el nivel porcentual de desarrollo de la organización dentro del componente. Para lograr este valor, se tomó como referencia la ecuación de área propuesta por Sepúlveda et ál. (2010), la cual se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Calificación} = 0,008 \times \left(\left(\sum_{i=1}^4 (V_i \times V_{i+1}) \right) + (V_5 \times V_1) \right)$$

Donde:

- V = calificación obtenida por cada dimensión (tal como se explicó, es un valor que oscila entre 1 y 5, y resulta de calcular el promedio obtenido por todas las variables que se analizan en la dimensión correspondiente).
- i = cada una de las dimensiones que representan el componente.

Medición difusa

Para la realización de esta etapa del trabajo se aplicó un modelo de evaluación basado en lógica difusa. En este apartado se describen las funciones de pertenencia analizadas, las reglas de decisión y análisis, el método de *defuzificación* y el proceso de interpretación de los resultados obtenidos, con el ánimo de aportar en el análisis y construcción de conocimiento y estrategias para la implementación de la RSE en el sector productivo y de servicios.

Se eligió un arreglo de tipo Mamdani y como apoyo al cálculo se utilizó el *toolbox* de lógica difusa, en am-

Tabla 1 Principales componentes identificados, variables de medición y fuentes

Comp.	Dim.	Descripción	Variables	Criterio	Fuente
DESARROLLO INTERNO	Económico	Incluye el desarrollo de acciones enfocadas en la consecución de resultados económicos y financieros.	Política financiera	Existe una política, la cual se evalúa periódicamente en torno a los elementos financieros y el rendimiento de la organización.	Kemp, Owen & Van de Graaff (2012); Harwood, Humby & Harwood (2011); Ho, Lee & Huh (2010); Durmaz, Ateş & Duman (2011); Lee & Park (2009); Mukherjee & Reed (2011); Sadler & Lloyd (2009); Li (2012).
			Bases técnicas	Hay criterios y procesos que soportan el análisis y la toma de decisiones económicas.	
			información	La información relacionada con el rendimiento económico de la organización es CLARA, PERIÓDICA y ACCESIBLE a los inversionistas de la organización.	
			Toma de decisiones	Los inversionistas de la organización tienen acceso (directo o por representación) a los procesos de toma de decisiones en criterios de igualdad.	
			Objetivo	Existe un objetivo estratégico explícito para la creación de valor y riqueza económica.	
	Laboral	Actividades destinadas a la formalización, gestión y acciones relacionadas con el talento humano de las organizaciones.	Selección	La selección de los empleados se realiza con criterios CLAROS, TRANSPARENTES y en IGUALDAD DE CONDICIONES sin ningún criterio de exclusión.	Metzner & Fischer (2010); Gallhofer, Haslam & Van der Walt (2011).
			Contratación	Los contratos con el personal están acordados con la ley, y delimitan claramente las funciones.	
			Salario	El salario es competitivo frente a la oferta salarial del sector y está acorde con las condiciones de trabajo.	
			Bienestar	Existen políticas explícitas de bienestar laboral, así como un proceso de análisis y conocimiento de las necesidades del personal.	
			Cumplimiento	La organización CONOCE y TRANSMITE los aspectos legales que involucran su práctica productiva, y ha DEFINIDO medidas para su cumplimiento.	Campbell (2012); Luning (2012); Lanis & Richardson (2012); Rahman & Stuart Cooper (2011); Mukherjee & Reed (2011).
Org.	Estrategias y acciones de gestión, incluyendo planificación, organización, dirección y control.	Compromiso	La organización, dentro de sus posibilidades, trata de ir más allá de los requisitos mínimos legales necesarios para su actividad.		
		Planeación	Se conocen y discuten los principios de RSE dentro de la organización, al tiempo que este conocimiento incide sobre los planes de la organización.	Mellat & Adams (2012); Garay & Font (2012); Sardinha, Reijnders & Antunes (2011); Chung, Sung & Pyo (2012); Castka & Balzarova (2008); Kabir (2011); Ma (2012).	
		Gestión	La organización tiene definida un CARGO o FUNCIÓN para el desarrollo de actividades consideradas dentro del marco de la RSE.		
		Control	Se hace un seguimiento de los resultados de las actividades involucradas con el proceso de RSE o acciones que existan en la organización.		
		Cultura	Dentro del idioma de la organización prevalecen palabras y conceptos enfocados en el bienestar y el desarrollo de los grupos de interés que la rodean.	Spangler & Pompper (2011); Cavalcanti et al. (2012); Ma (2012).	
RELACIONES CON LOS CLIENTES Y EL ENTORNO	Cultural	Elementos de cultura y clima, incluyendo y enfocados en aspectos propios de la RSE.	Coherencia	Más allá del lenguaje organizacional, las acciones, el comportamiento y la actitud de los miembros refleja un compromiso real con el bienestar y el desarrollo de los grupos de interés.	Goering (2012); Cramer (2008); Cruz (2009); Harwood & Humby (2008), Ni & Li (2012).
			Relación	Se conocen los clientes, gustos, preferencias y necesidades. Además, la estrategia organizacional BUSCA permanentemente su satisfacción.	
			Valor agregado	El producto/servicio de la organización ofrece elementos diferenciadores frente a la competencia, buscando que el cliente obtenga una experiencia positiva con la organización.	
			Acceso	El precio al cliente es justo. Así mismo, el producto no discrimina las posibilidades de acceso y adquisición por condiciones de sexo, raza, religión.	
			Contrato	Existen condiciones que garantizan estabilidad en la relación con sus proveedores.	Goering (2012); Ciliberti, Pontrandolfo & Scozzi (2008); Cramer (2008); Cruz (2009); Harwood & Humby (2008).
	Clientes	Gestión de proveedores, selección, establecimiento de relaciones a largo plazo y cadenas de abastecimiento.	Relación	Las condiciones de selección, evaluación y pago en la relación con los proveedores son justas y competitivas, evitando tomar ventaja de una posición de poder.	
			Valor agregado	Existe un proceso logístico que facilita la disminución de costos e impactos, así como favorecen el desarrollo competitivo de la relación entre la organización y sus proveedores.	
			Acceso	La organización busca establecer contacto con organizaciones que realicen actividades de RSE, o en su defecto ayuda a sus proveedores a realizar estas actividades.	
			Relación		
			Valor agregado		

Tabla 1 (continuación)
Principales componentes identificados, variables de medición y fuentes

Comp.	Dim.	Descripción	Variables	Criterio	Fuente
SOSTENIBILIDAD DE LAS ACCIONES	Medio ambiente	Acciones enfocadas en el cuidado y la protección del medio ambiente.	Política	Existe una política de cuidado y protección del medio ambiente, y se realizan campañas de promoción y prevención sobre posibles daños ambientales del producto/servicio. La política involucra elementos adicionales a los mínimos valores legales.	Pop, Dina & Martin (2011); Vintroy, Fortuny, Sanmiquel, Freijo & Edo (2009); Mutti et ál. (2012); Cruz (2009); Lambooy (2011); Mikkilä, Toppinen (2008); Arnaudov, Koseska (2012); Málóvics, Nagypál & Kraus (2008); Brennan, Binney, McCrohan & Lancaster (2011).
	Ético	Existencia de una cultura de legalidad y cumplimiento normativo.	Código	Hay un código de conducta, un lenguaje asociado y acciones coherentes con éste, dentro de la práctica organizacional que evita el incumplimiento de normas, la corrupción y el desarrollo de prácticas en todos los niveles que afecten la imagen de la organización.	Filizöz & Fişne (2011); Sikka (2010); Bond (2009); Arnaudov, Koseska (2012); Huimin & Ryan (2011).
		Acciones destinadas al desarrollo del entorno de la organización desde el punto de vista de las necesidades sociales latentes.	Conocimiento	La organización conoce a TODOS los agentes sociales presentes en su entorno y se ha preocupado por identificar sus necesidades, y ha desarrollado espacios para escuchar sus propuestas y requerimientos en torno a sus actividades.	Humayun (2011); Rundle-Thiele (2009); Barraclough & Morrow (2008); Sikka (2011); Azizul & McPhail (2011); Hediger (2010).
	Social		Relación	Existe una relación cordial, de respeto y colaboración entre la organización y los actores sociales de su entorno. Esta relación es pública y se ha hecho explícita mediante actividades de colaboración y desarrollo en la solución de problemas comunes.	
			Estrategia	Existe en la organización una estrategia explícita de desarrollo y apoyo a los actores sociales con miras a construir un entorno favorable al crecimiento y desarrollo de la comunidad.	
			Filantropía	Se desarrollan acciones filantrópicas continuas desde la organización hacia su entorno.	
	Valor	Generación de valor a partir de los resultados de las acciones de RSE.	Valor	Dentro de la estrategia organizacional hay acciones específicas en torno a la creación de valor para el cliente y el desarrollo de una oferta competitiva más allá de los requerimientos mínimos que ésta manifiesta.	Goering (2012); Sardinha, Reijnders & Antunes (2011); Williams (2011).
	Imagen	Gestión de la imagen corporativa como resultado de las acciones de RSE.	Imagen	Existe una preocupación constante de la organización por la imagen que ésta genera y desarrolla acciones coherentes para su fortalecimiento en todos sus stakeholders.	Humayun (2011); Barraclough & Morrow (2008); Pomeroy & Johnson (2009); Linthicum, Reitenga & Sánchez (2010).
	Influencia	Nivel de influencia de las acciones sobre las necesidades propias del entorno.	Influencia	La organización conoce el poder de su marca en el entorno y lo utiliza para el desarrollo de acciones positivas que favorezcan a todos los actores sociales y stakeholders de ésta.	Fernando (2010); Nicolau (2008); Agudo et ál. (2012); Azizul & McPhail (2011).
	Compromiso con las acciones	Existencia de políticas a largo plazo encaminadas a la ejecución de estrategias de RSE.	Compromiso	Existe un compromiso de estrategias, acciones y políticas en el cumplimiento de las acciones que involucran resultados de RSE en la organización	Gravelle & Rogers (2011); Fernando (2010).
Impacto en comunidad	Medición, valoración y análisis de los resultados de las acciones.	Impacto	Se conoce, mide y controla el impacto de las acciones de la organización, así como se buscan herramientas para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.	Gravelle & Rogers (2011); Mutti et ál. (2012); Sikka (2011); Azizul & McPhail (2011).	

biente Matlab. A continuación se muestra el esquema del modelo utilizado.

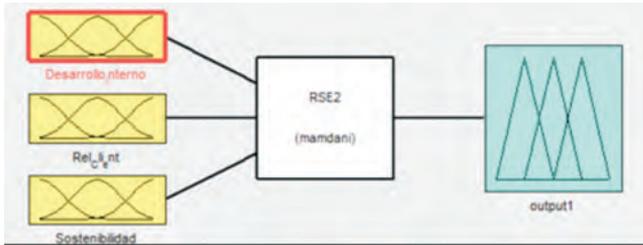


Figura 4 Modelo difuso diseñado.

Las variables de entrada corresponden a los tres componentes identificados (“Desarrollo interno”, “Relaciones con los clientes y el entorno”, “Sostenibilidad de las acciones”). Para definir las funciones de pertenencia se establecieron cinco niveles compartidos por todos los componentes: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, que representan el estado de cada componente dentro de la organización con respecto a la RSE. La calificación de cada componente, obtenida en el apartado anterior, determina los valores de entrada del modelo. El grado de pertenencia se definió especialmente para el caso (*ad hoc*) y se utilizó una función de pertenencia gaussiana (De Armas et ál., 2008). A renglón seguido se pueden ver las funciones de pertenencia analizadas (figura 5).

Posteriormente se definieron 42 reglas de análisis con los valores posibles de las variables. Para esto se definieron un conjunto de reglas utilizando el formato (Del Brío y Sanz, 2002):

$$R^{(i)} : \text{IF } X_{i1} \text{ is } F_1^1 \text{ and } \dots \text{ And } X_n \text{ is } F_n^1 \text{ THEN } y \text{ is } G^1$$

Cabe destacar que las reglas siguen el sentido común del comportamiento del sistema y son escritas en términos de las etiquetas de las funciones de pertenencia. El editor de reglas utilizado en Matlab adquiere la presencia mostrada a continuación (figura 6).

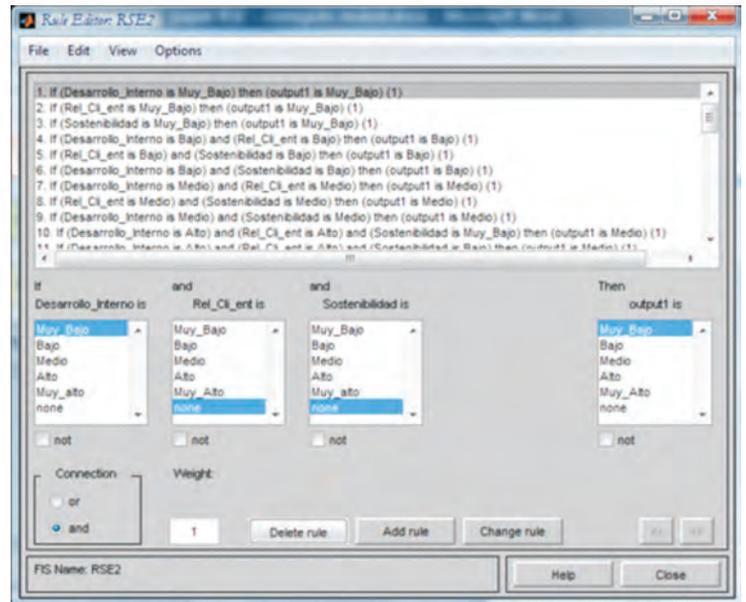


Figura 6 Editor de reglas.

A partir de este punto es posible hacer un llamado al visor de reglas y observar el comportamiento del sistema frente a la variación de cualquiera de los parámetros de las variables de entrada. Más adelante se muestra el visor para un estado en que las variables toman valores muy próximos a los nominales correspondientes del sistema,

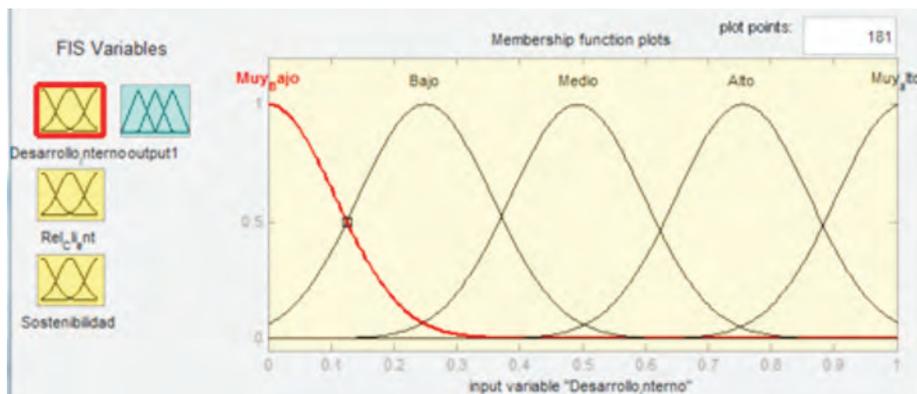


Figura 5 Funciones de pertenencia.

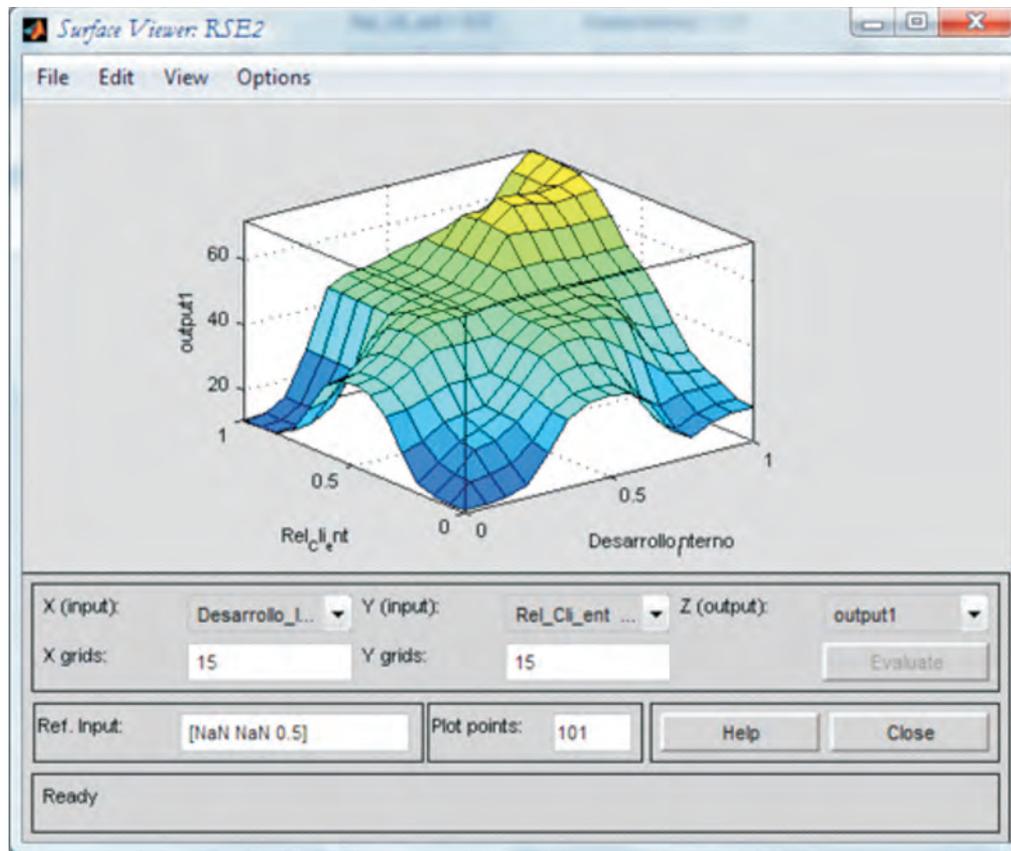


Figura 7 Superficie de respuesta, relación clientes vs. desarrollo interno.

así como la superficie que refleja el comportamiento de la variable de salida carga en función de las variables “Desarrollo interno” y “Sostenibilidad”. Si se desea observar en función de otra de las variables o combinación de éstas, se seleccionan las correspondientes en los botones X (*input*), Y (*input*) (figura 7).

El procedimiento de este modelo difuso consiste en calcular el grado de pertenencia en todos los conjuntos difusos de las dimensiones de entrada, a partir de las evaluaciones correspondientes por cada organización. Después de esto, el indicador del nivel de RSE es determinado por el proceso de inferencia difusa, el cual utiliza un conjunto de reglas establecidas y posteriormente la defuzzificación de la salida difusa por medio del método de centroide.

Caso aplicado

Se aplicó un proceso de evaluación a partir de datos obtenidos del proyecto “Diseño de un modelo de res-

ponsabilidad empresarial para el sector de muebles de madera en la ciudad de Bucaramanga” y del análisis de un caso particular, seleccionado por conveniencia por la facilidad de acceso a la información; a continuación se muestran los resultados alcanzados.

Tal como se puede apreciar, la empresa tiene un perfil que se enfoca en sus clientes como principales beneficiarios de la RSE, lo que muestra un enfoque de responsabilidad guiado por el mercado; el análisis de componentes, sin embargo, deja ver que cada uno de los componentes no alcanza a tener una evaluación superior al 50 %; al integrar estos resultados dentro del modelo difuso se obtiene una calificación de 35,7 % de nivel de RSE en la organización, lo que la ubica en una categoría “Bajo”. Los resultados procesados en Matlab se pueden apreciar más adelante (figura 8).

En la dimensión de desarrollo interno, a partir de la ecuación de área desarrollada se obtiene una calificación de 0,4 que lo define, dentro del modelo difuso, como una dimensión de nivel “medio” con una alta valoración

Tabla 2
Caso aplicado empresa del sector de muebles de madera

Componente	Calificación	Dimensiones	Promedio	Variables	Calificación
Desarrollo interno	0,40	Económico	2,5	Política financiera Bases técnicas Información Toma de decisiones Objetivo	2 3 2 3 3
		Laboral	2	Selección Contratación Salario Bienestar	1 2 2 3
		Legal	4	Cumplimiento Compromiso	4 4
		Organizacional	3,3	Planeación Gestión Control	3 4 3
		Cultural	4	Cultura Coherencia	4 4
Relaciones con los clientes y el entorno	0,36	Clientes	4,3	Relación Valor agregado Acceso	5 4 4
		Proveedores	1,5	Contrato Condiciones Logística RSE proveedores	2 2 1 1
		Medio ambiente	3	Política	3
		Ético	3	Código	3
		Social	3,5	Conocimiento Relación Estrategia Filantropía	4 4 4 2
		Sostenibilidad de las acciones	0,30	Valor	3
		Imagen	3	Imagen	3
		Influencia	2	Influencia	2
		Compromiso con las acciones	4	Compromiso	4
		Impacto en la comunidad	2	Impacto	2

en las variables legales, culturales y organizacionales, que permite establecer que dentro de la organización existen condiciones básicas para el desarrollo de procesos de RSE que involucren su estrategia de gestión; en lo económico se evidenció un bajo nivel de desarrollo, debido principalmente a las características de informalidad en los procesos de gestión que se encuentran presentes en el sector económico en que se desenvuelve la empresa, características que afectan de igual manera la variable laboral, siendo éste el principal elemento de mejora

que hay que considerar al momento de implantar una política explícita de RSE en la organización.

En cuanto a relaciones con los clientes y el entorno, dimensión que clasifica en el modelo difuso en un nivel bajo, se pudo observar cómo la empresa obtiene una mayor calificación en la variable de clientes con un valor de 4,3, y que evidencia un enfoque particular de mercado en sus decisiones y acciones estratégicas. En el tema social se desarrollan actividades enfocadas en un tipo de población particular, al igual que con ancianos

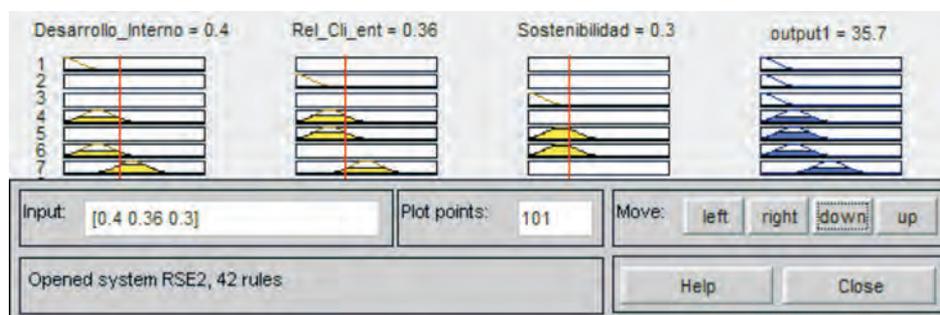


Figura 8 Cálculo del nivel de RSE en la empresa analizada utilizando lógica difusa.

de la ciudad, fuera de que se han planteado acciones de apoyo en los últimos desastres invernales que ha sufrido la ciudad; sin embargo, se observa una baja calificación de la variable “Filantropía” debido principalmente a la limitación de recursos con que cuenta la organización para ejecutar este tipo de acciones. En el tema ambiental se comprobó una cultura de ahorro de los recursos, basada en consideraciones económicas, pero se evidenció la ausencia de una política definida para el manejo de estos temas, siendo el cuidado del medio ambiente un elemento coyuntural.

Con respecto a la sostenibilidad de las acciones, definido como el factor con la más baja calificación, ubicado dentro del modelo difuso en un nivel muy bajo, el análisis en la empresa permitió establecer que la ausencia de elementos que hagan explícitas las acciones, el enfoque exclusivamente de beneficios que guía la ejecución de actividades sin una estrategia de gestión y aprovechamiento de éstas, así como las limitaciones culturales autoimpuestas en torno a las restricciones de capital, disminuyen las posibilidades de sostenibilidad deseadas. Los factores de influencia e impacto que obtuvieron la menor calificación dentro de esta dimensión se restringen igualmente por condiciones de ubicación de la organización dentro de un sector comercial al cual sus impactos se ven limitados en ausencia de beneficiarios directos de éstos, lo que evidencia igualmente un alto nivel de desconocimiento de las posibilidades de extender su influencia social más allá de las fronteras geográficas delimitadas por su ubicación espacial.

A partir de los resultados obtenidos, es posible definir los puntos fuertes y débiles, así como estrategias específicas que apunten a un mayor nivel de RSE en la organización.

CONCLUSIONES

El análisis cuantitativo permitió establecer las principales tendencias y concurrencias en torno al desarrollo de la investigación en temas de responsabilidad social; dichas tendencias se definieron como los componentes principales del modelo de medición que quedó soportado en un nivel de desarrollo interno, de relaciones con los clientes, y el entorno y la sostenibilidad de las acciones de RSE que ejecuta la organización.

El desarrollo interno se centra en los elementos de gestión de la organización que persiguen un desarrollo organizacional ligado a las necesidades y requerimientos de los *stakeholders* internos, incluyendo empleados e inversionistas, desde unas ópticas legal, económica, organizacional y cultural.

El nivel de relaciones con los clientes y el entorno permite establecer elementos de medición enfocados en el análisis de clientes, proveedores, medio ambiente, ética y necesidades sociales.

El nivel de sostenibilidad de las acciones involucra aspectos relacionados con el valor, la imagen, la influencia de la organización en su entorno, su nivel de compromiso con las acciones emprendidas y el impacto en la comunidad.

LIMITACIONES Y TRABAJO POSTERIOR

Se entiende que el modelo propuesto plantea una serie de limitaciones en su aplicación, entre las que se encuentran las siguientes:

- Las herramientas utilizadas para la etapa de calificación, específicamente Matlab, no son de fácil acceso para las organizaciones, por lo que se necesita

desarrollar una etapa posterior de diseño de herramientas libres que facilite la masificación en el uso de la metodología.

- Las etapas de este modelo involucran medición y análisis, razón por la cual se requiere integrarlo con herramientas que permitan el desarrollo de estrategias, que orienten la implantación de acciones específicas de RSE y su medición dentro de un marco de desarrollo empresarial.
- Los elementos de este análisis de limitaciones se han propuesto como acciones de investigación que dan continuidad a este macroproyecto y se espera que estén desarrollados para el mes de junio de 2013.

REFERENCIAS

- Agudo, J. et ál. (2012, November). Social responsibility practices and evaluation of corporate social performance. *Journal of Cleaner Production*, vol. 35, 25-38.
- Angulo, G., Meriño, L. & Sepúlveda, J. (2007) Diseño de una metodología para la construcción de mapas tecnológicos: caso aplicado celdas de energía. *Revista Teknos*.
- Arnaudov, K. & Koseska, E. (2012). Business ethics and social responsibility in tourist organizations in terms of changing environment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 44, 387-397.
- Azizul, M. & McPhail, K. (2011, November). Regulating for corporate human rights abuses: The emergence of corporate reporting on the ILO's human rights standards within the global garment manufacturing and retail industry. *Critical Perspectives on Accounting*, vol. 22, issue 8, 790-810.
- Barracough, S. & Morrow, M. (2008, April). A grim contradiction: The practice and consequences of corporate social responsibility by British American Tobacco in Malaysia. *Social Science & Medicine*, vol. 66, issue 8, 1784-1796.
- Bond, J. (2009, May). Professional ethics and corporate social responsibility. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 87, issue 3, 184-190.
- Brennan, L., Binney, W., McCrohan, J. & Lancaster, N. (2011, February). Implementation of environmental sustainability in business: Suggestions for improvement. *Australasian Marketing Journal (AMJ)*, vol. 19, issue 1, 52-57.
- Campbell, B. (2012, June). Corporate Social Responsibility and development in Africa: Redefining the roles and responsibilities of public and private actors in the mining sector. *Resources Policy*, vol. 37, issue 2, 138-143.
- Castka, P. & Balzarova, M. (2008, May). The impact of ISO 9000 and ISO 14000 on standardisation of social responsibility: an inside perspective. *International Journal of Production Economics*, vol. 113, issue 1, 74-87.
- Cavalcanti, M. et ál. (2012, January). A comparative understanding of corporate social responsibility of textile firms in Brazil and China. *Journal of Cleaner Production*, vol. 20, issue 1, 119-126.
- Chung, S., Sung, S. & Pyo, H. (2012). Formalizing Corporate Social Responsibility: Korean Experiences. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 40, 514-520.
- Ciliberti, F., Pontrandolfo, P. & Scozzi, B. (2008, October). Investigating corporate social responsibility in supply chains: a SME perspective. *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, issue 15, 1579-1588.
- Cramer, J. (2008, February). Organising corporate social responsibility in international product chains. *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, issue 3, 395-400.
- Cruz, J. (2009, December). The impact of corporate social responsibility in supply chain management: Multicriteria decision-making approach. *Decision Support Systems*, vol. 48, issue 1, 224-236.
- De Armas, M. et ál. (2010). Inteligencia artificial aplicada al análisis de sistemas energéticos con Matlab. Cartagena: Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco.
- De Grosbois, D. (2012, September). Corporate social responsibility reporting by the global hotel industry: Commitment, initiatives and performance. *International Journal of Hospitality Management*, vol. 31, issue 3, 896-905.
- Del Brío, B. & Sanz, A. (2002). *Redes neuronales y sistemas difusos*. México: Alfa Omega - RA-MA.
- Dias, I., Reijnders, L. & Antunes, P. (2011, September). Using corporate social responsibility benchmarking framework to identify and assess corporate social responsibility trends of real estate companies owning and developing shopping centres. *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, issue 13, 1486-1493.
- Durmaz, V., Ateş, S. & Duman, G. (2011). CSR As A Tool To Cope With Economic Crises: The Case Of TEI. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 24, 1418-1426.
- Fernando, M. (2010). Corporate social responsibility in the wake of the Asian tsunami: Effect of time on the genuineness of CSR initiatives. *European Management Journal*, vol. 28, issue 1, 68-79.
- Filizöz, B. & Fişne, F. (2011). Corporate Social Responsibility: A Study of Striking Corporate Social Responsibility Practices in Sport Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 24, 1405-1417.
- Gallhofer, S., Haslam, J. & Van der Walt, S. (2011, November). Accountability and transparency in relation to human rights: A critical perspective reflecting upon accounting, corporate responsibility and ways forward in the context of globalisation. *Critical Perspectives on Accounting*, vol. 22, issue 8, 765-780.
- Garay, L. & Font, X. (2012). Doing good to do well? Corporate social responsibility reasons, practices and impacts in small and medium accommodation enterprises. *International Journal of Hospitality Management*, vol. 31, issue 2, 329-337.
- Goering, G. (2012, June). Corporate social responsibility and marketing channel coordination. *Research in Economics*, vol. 66, issue 2, 142-148.
- Gravelle, J. & Rogers, C. (2011, August). Policing public protests and corporate social responsibility. *International Journal of Law, Crime and Justice*, vol. 39, issue 2, 111-120.
- Harwood, I. & Humby, S. (2008). Embedding corporate responsibility into supply: A snapshot of progress. *European Management Journal*, vol. 26, issue 3, 166-174.
- Harwood, I., Humby, S. & Harwood, S. (2011). On the resilience of Corporate Social Responsibility. *European Management Journal*, vol. 29, issue 4, 283-290.
- Hediger, W. (2010). Welfare and capital-theoretic foundations of corporate social responsibility and corporate sustainability. *Journal of Socio-Economics*, vol. 39, issue 4, 518-526.
- Ho, K., Lee, S. & Huh, C. (2010, March). Impacts of positive and negative corporate social responsibility activities on company performance in the hospitality industry. *International Journal of Hospitality Management*, vol. 29, issue 1, 72-82.

- Huimin, G. & Ryan, C. (2011, December). Ethics and corporate social responsibility – An analysis of the views of Chinese hotel managers. *International Journal of Hospitality Management*, vol. 30, issue 4, 875-885.
- Kabir, H. (2011). Corporate social responsibility by Swaziland hotel industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 25, 73-79.
- Kemp, D., Owen, J. & Van de Graaff, J. (2012, March). Corporate social responsibility, mining and "audit culture". *Journal of Cleaner Production*, vol. 24, 1-10.
- Kohonen, T. (2001). *Self-organizing maps*. Germany: Springer.
- Lambooy, T. (2011). Corporate social responsibility: sustainable water use. *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, issue 8, 852-866.
- Lanis, R. & Richardson, G. (2012, January-February). Corporate social responsibility and tax aggressiveness: An empirical analysis. *Journal of Accounting and Public Policy*, vol. 31, issue 1, 86-108.
- Lee, S. & Park, S. (2011, March). Do socially responsible activities help hotels and casinos achieve their financial goals? *International Journal of Hospitality Management*, vol. 28, issue 1, 105-112.
- Li, W. (2012). Study on the Relationships between Corporate Social Responsibility and Corporate International Competitiveness. *Energy Procedia*, vol. 17, part A, 567-572.
- Linthicum, C., Reitenga, A. & Sánchez, J. (2010, March-April). Social responsibility and corporate reputation: The case of the Arthur Andersen Enron audit failure. *Journal of Accounting and Public Policy*, vol. 29, issue 2, 160-176.
- Luning, S. (2012, June). Corporate Social Responsibility (CSR) for exploration: Consultants, companies and communities in processes of engagements. *Resources Policy*, vol. 37, issue 2, 205-211.
- Ma, J. (2012). A Study on the Models for Corporate Social Responsibility of Small and Medium Enterprises. *Physics Procedia*, vol. 25, 435-442.
- Málovics, G., Nagypál, N. & Kraus, S. (2008, June). The role of corporate social responsibility in strong sustainability. *Journal of Socio-Economics*, vol. 37, issue 3, 907-918.
- Mellat, M. & Adams, S. (2012, October). Corporate social responsibility, benchmarking, and organizational performance in the petroleum industry: A quality management perspective. *International Journal of Production Economics*, vol. 139, issue 2, 447-458.
- Metzner, R. & Fischer, M. (2010, May). Fatigue and workability in Brazilian textile companies in different corporate social responsibility score groups. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 40, issue 3, 289-294.
- Mikkilä, M. & Toppinen, A. (2008, October). Corporate responsibility reporting by large pulp and paper companies. *Forest Policy and Economics*, vol. 10, issues 7-8, 500-506.
- Mukherjee, A. & Reed, D. (2010, September). Business and development. *IIMB Management Review*, vol. 22, issue 3, 111-127.
- Mutti, D. et ál. (2012, June). Corporate social responsibility in the mining industry: Perspectives from stakeholder groups in Argentina. *Resources Policy*, vol. 37, issue 2, 212-222.
- Ni, D. & Li, K. (2012, June). A game-theoretic analysis of social responsibility conduct in two-echelon supply chains. *International Journal of Production Economics*, vol. 138, issue 2, 303-313.
- Nicolau, J. (2008, October). Corporate Social Responsibility: Worth-Creating Activities. *Annals of Tourism Research*, vol. 35, issue 4, 990-1006.
- Pomeroy, A. & Johnson, L. (2009, July). Constructing a corporate social responsibility reputation using corporate image advertising. *Australasian Marketing Journal (AMJ)*, vol. 17, issue 2, 106-114.
- Pop, O., Dina, G. & Martin, C. (2011). Promoting the corporate social responsibility for a green economy and innovative jobs. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 15, 1020-1023.
- Rahman, A. & Cooper, S. (2008). The absence of corporate social responsibility reporting in Bangladesh. *Critical Perspectives on Accounting*, vol. 22, issue 7, 654-667.
- Rundle-Thiele, S. (2009, November). Social gain: Is corporate social responsibility enough? *Australasian Marketing Journal (AMJ)*, vol. 17, issue 4, 204-210.
- Sadler, D. & Lloyd, S. (2009, July). *Neo-liberalising corporate social responsibility: A political economy of corporate citizenship*. *Geoforum*, vol. 40, issue 4, 613-622.
- Sepúlveda, J. et ál. (2010). Metodología para la evaluación del potencial competitivo en pequeñas y medianas empresas basado en el esquema de capacidades internas. *Revista Internacional de Administración y Finanzas*. Costa Rica: RIAF.
- Sikka, P. (2010, September-December). Smoke and mirrors: Corporate social responsibility and tax avoidance. *Accounting Forum*, vol. 34, issues 3-4, 53-168.
- Sikka, P. (2011, November). Accounting for human rights: The challenge of globalization and foreign investment agreements. *Critical Perspectives on Accounting*, vol. 22, issue 8, 811-827.
- Spangler, I. & Pompper, D. (2011, September). Corporate social responsibility and the oil industry: Theory and perspective fuel a longitudinal view. *Public Relations Review*, vol. 37, issue 3, 217-225.
- Williams, S. (2011, July-August). Engaging values in international business practice. *Business Horizons*, vol. 54, issue 4, 315-324.

Breve historia de la ingeniería vial en Bogotá (a propósito de algunos hechos recientes)

Brief history of roadway engineering in Bogota (concerning to recent events)

FERNANDO SÁNCHEZ SABOGAL

Ingeniero civil. Consultor independiente.

elexdos@gmail.com

Recibido: 15/09/2012 Aceptado: 10/10/2012

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

Resumen

Desde la época del virrey Ezpeleta (cuando se inauguró el puente del Común en el alfoz de la ciudad) hasta la del alcalde Gustavo Petro (cuando se cumplen doce años de reconstrucción ininterrumpida de las losas de concreto de la autopista norte y la avenida Caracas), las obras de infraestructura vial han sido decisivas en el crecimiento de la capital y en su consolidación como el principal centro económico y político del país, a pesar de su mediterraneidad. Sin embargo, la provisión vial de la ciudad es paupérrima comparada con la de ciudades de similares niveles de desarrollo, extensión y población. La finalidad de este artículo es brindar una visión muy somera de la evolución de las obras viales en la capital de la república durante los últimos 200 años, resaltando tanto los éxitos como los fracasos. Así, mientras algunas construcciones se han constituido en verdaderos hitos, otras, muy frescas en la memoria de los bogotanos, se han convertido en auténticos chascos.

Combinando múltiples conceptos autorizados con algunas opiniones personales, el autor intenta encontrar una causa de fondo a los colapsos recientes y llega a la conclusión de que se requiere que las decisiones relacionadas con los asuntos de la ingeniería vial en la administración pública sean asumidas por ingenieros altamente calificados y comprometidos con la comunidad y no con intereses personales o partidistas.

Palabras claves: ingeniería vial, malla vial, pavimento, puente curvo, sistema de transporte público masivo, relleno fluido, cabildero, carrusel de la contratación.

Abstract

From the times of viceroy Ezpeleta (when the “Puente del Común” was first inaugurated on the outskirts of the city) until the times of Mayor Gustavo Petro (during the 12th year anniversary of the uninterrupted reconstruction of the concrete slabs of the “Autopista Norte” and “Avenida Caracas”), the highway infrastructure works have played a major role in the capital city’s growth, as well as its consolidation as the main economic and politic center of the country, despite of being inland. Nevertheless, the city’s roadway infrastructure is significantly poor in comparison with other cities with similar economical development, size and population.

The purpose of this article is to provide a marginal vision of the evolution of the road works in the capital during the past two hundred years, highlighting both, its successes and failures. Therefore, just as some structures have become true landmarks for the people of Bogota, others are still fresh in their memories, and it has turned into real disappointments.

By combining multiple authorized concepts along with some personal opinions, the author attempts to find a deep cause to the recent collapse and concludes that it is imperative that all decisions related to the highway engineering and public administration must be handled by highly qualified engineers, whom are truly committed to the community and not in pursuit of personal agendas.

Keywords: highway engineering, highway network, pavement, curved bridge, mass transportation system, flowable fill, lobbying, contracting carousel.

“El culpable es ese viejo bruto de Gonzalo Jiménez de Quesada. ¿Cómo se le ocurrió fundar una ciudad en 1538 en terrenos no aptos para rellenos fluidos de 30 centímetros en el año 2004?

¿Y qué tal la responsabilidad de San Pedro? ¿Cómo deja llover tanto sobre el norte de Bogotá para que se filtre el agua y se tire las losas, que son costosas y vidriosas?

¿Y cómo Dios mismo hizo tan mal los suelos?”.

Luis Noé Ochoa
Un país de salados
EL ARCA DE NOÉ
El Tiempo
20 de marzo de 2004 (p. 1-20)

“En el IDU, que es también el directo responsable de escoger a los contratistas mejor preparados, tienen mucho por explicar. No basta con que se diga que hubo un incumplimiento si no se explica por qué se le dio tan jugoso contrato a un grupo insolvente”.

Federico Arellano Mendoza
El Colombiano
11 de febrero de 2011

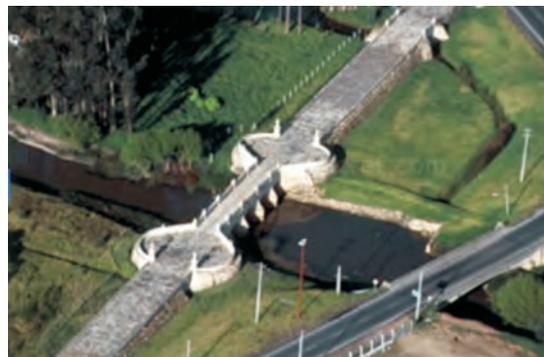
ANTECEDENTES

Los aborígenes del territorio que hoy ocupa Colombia carecieron de la capacidad magnificante para las obras públicas que tuvieron otras tribus de la América india. Salvo el honroso detalle de Ciudad Perdida y una que otra piedra tallada en la zona de San Agustín, no hay en nuestro suelo ni pirámides como las de los mayas ni ciudades majestuosas o caminos como los de los incas. Así, las obras más antiguas son herencia del periodo colonial; a pesar de ello, la construcción civil en tal época tampoco fue lo suficientemente importante como para establecer un estilo o unos rasgos arquitectónicos definibles. Los caminos reales y algunos puentes constituyen las páginas más antiguas de los anales de nuestra ingeniería vial.

La arquitectura militar de España, muy acorde con el énfasis imperial, dio lugar a profesionales expertos que se desempeñaron en la construcción de obras civiles en las colonias del Nuevo Mundo. El más notable que actuó en la capital del Nuevo Reino de Granada fue el teniente coronel Domingo de Esquiaqui, considerado el

primer urbanista de Santafé, ingeniero militar con una visión integral de la ciudad, de sus funciones y de su distribución espacial. Esquiaqui intervino en casi todas las obras importantes de fines del siglo XVIII en la ciudad. Cuentan que se lo podía observar diseñando un cementerio, conduciendo las labores de reconstrucción después del terremoto de 1785 o construyendo con mucho sentido arquitectónico el templo de San Francisco. En 1791 hizo el plano de la ciudad que, junto con los de Cabrer y Talledo, son los más detallados y constituyen la única versión confiable que nos permite reconstruir la traza de la capital en el siglo XVIII.

También son suyos el diseño y la construcción del puente del Común, quizás el vestigio más antiguo y representativo de la infraestructura vial de la capital y su alfoz. Este bello puente, terminado durante la administración del virrey Ezpeleta, prestaría servicio ininterrumpido casi hasta finales del siglo XX cuando lo declararon monumento nacional (Decreto 1584 del 11 de agosto de 1975). Para remplazarlo, se construyó una estructura en hormigón de dos carriles que, en 30 años, ha requerido más reparaciones que aquella en dos siglos de existencia.



Puente del Común.

LAS VÍAS LOCALES DURANTE EL PRIMER SIGLO DE VIDA REPUBLICANA

El saldo vial que heredó la Gran Colombia independiente no recibió mayores contribuciones durante el resto del siglo XIX. En el área de Bogotá, además de las calles que fueron apareciendo a causa del avance en la urbanización, quizás la contribución más importante ocurrió en 1849 cuando, gracias a la tenacidad de Victoriano Paredes, ministro de Mejoras Internas, se

construyó una vía del tipo macadam entre la capital y el término de la explanada hacia el occidente, en una extensión de nueve leguas. Podría decirse que ésta fue la primera carretera de la república. Con su construcción, los coches se multiplicaron y los pueblos situados a lo largo de la vía experimentaron una transformación notable, especialmente Serrezuela (hoy Madrid) y Facatativá.

El camino se contrató a \$4 la vara, de suerte que sus nueve leguas ocasionaron un desembolso de cerca de \$300.000, gasto censurado en su momento por los escritores de la oposición como un derroche imperdonable. ¡El favor que le habría hecho en ese momento al señor Paredes un modelo como el HDM-IV para defenderse y justificar su inversión!

Sobre las calles bogotanas no existen mayores referencias, pero no deberían encontrarse en muy buen estado a finales del siglo XIX, si nos atenemos a un relato de autoría del ingeniero Alfredo Ortega, publicado en los *Anales de Ingeniería*, sobre las peripecias del primer vehículo automotor que circuló por las que él llamó “las mal empedradas calles de la ciudad”, así como al muy escaso éxito que se tuvo en la pavimentación de algunas vías del centro, empleando asfaltos naturales provenientes de Boyacá.

PRIMERA MITAD DEL SIGLO XX

Con la llegada del automóvil, las antiguas y escasas calles de la ciudad fueron resultando inconvenientes y las calzadas de tierra, de macadam y de piedra, comenzaron a volverse incómodas y peligrosas. A partir de 1905, cuando se creó el Ministerio de Obras Públicas, la idea de pavimentar las calles capitalinas volvió a ser motivo de agitación.

Un ilustre ingeniero de la época, don Ruperto Ferreira, quien había sido testigo de los fracasos ocurridos a fines del siglo anterior, se opuso a la idea de la pavimentación, por considerar que “nuestros asfaltos no eran de la calidad de los usados con buenos resultados en muchas ciudades europeas”. ¡Parece que la validez de este paradigma hubiera perdurado durante un siglo! Aunque los defensores de la idea de pavimentar se impusieron finalmente, el pésimo comportamiento de las obras ejecutadas le daría muy pronto la razón al ingeniero Ferreira. Recordando el caso unos años más tarde, el geólogo Emile Grosse mencionaba que “el empleo del asfalto nativo en Bogotá no ha dado resultados

satisfactorios y se ha considerado que no es adoptable para la construcción de pavimentos”.

Dejando de lado las pruebas iniciales, parece que las primeras pavimentaciones de alguna envergadura en la capital de la República fueron las realizadas en las principales vías del centro, en cumplimiento de la Ley 8 de 1913, por la cual se dispuso la celebración del primer centenario de la batalla de Boyacá. La primera de todas sería la avenida Boyacá (hoy carrera 13) entre las calles 16 y 26, obra comenzada el 6 de mayo de 1916 y culminada a mediados del año siguiente.

El Ministerio de Obras Públicas incluyó también dentro de estos primeros proyectos de pavimentación la avenida de la República (carrera séptima actual) desde la calle 16 hasta la Escuela Militar, ubicada donde hoy queda el Hotel Tequendama. La ejecución de estas diez cuadras duró nada menos que cuatro años, a causa de la falta de coordinación con la Empresa del Tranvía, encargada esta última de las obras en la mitad de la calzada ocupada por ella.

Todo indica que el comportamiento de estos pavimentos tampoco fue mejor que el de los construidos una década antes, por cuanto las vías requirieron un mantenimiento frecuente y costoso. Debido a ello, el ministerio optó por reconstruir el asfaltado de la avenida de la República entre 1927 y 1928, en el que pudiera considerarse el primer plan de rehabilitación de vías pavimentadas en el territorio nacional.

Tal parece que el primer éxito real en la pavimentación vial en Bogotá ocurrió en el año 1929, cuando el mismo Ministerio de Obras Públicas pavimentó con una mezcla asfáltica cinco kilómetros de la carrera séptima entre San Diego y la avenida Santiago de Chile. En los años siguientes, la zona de carreteras de Bogotá, dependiente del ministerio, logró construir dos kilómetros de macadam de penetración en la carretera Central del Norte a partir de la avenida Chile y otros dos en la avenida Colón (calle 13) entre Paiba y Puente Aranda, todo ello merced a los esfuerzos de un ingeniero notable: don Silvano Uribe.

Entre 1940 y 1942, mediante contrato por administración delegada con la Gobernación de Cundinamarca, se pavimentaron las carreteras Usaquén - La Caro (14 kilómetros) mediante la técnica de penetración asfáltica y Muzú - Chusacá (16 kilómetros) a través del sistema de gradación abierta. Para esa época se disponía ya de especificaciones para pavimentos de carreteras: las

publicadas en abril de 1940 por el Consejo Nacional de Vías de Comunicación del Ministerio de Obras Públicas.



Carrera séptima de Bogotá (1929).



Pavimento de la carretera Usaquén - La Caro en 1941 (vista de la carrera séptima con calle 134 de hoy).

FUNICULAR DE MONSERRATE

Más o menos por la misma época de las primeras pavimentaciones exitosas se construyó una de las obras emblemáticas de la ciudad, que muy pocos recordamos en el momento de hacer estos inventarios: la infraestructura para el funicular de acceso al santuario de Monserrate, que durante más de 80 años ha prestado servicio a cerca de 25 millones de peregrinos y turistas. El funicular inició sus operaciones en 1928, pero sólo lo inauguró oficialmente monseñor Ismael Perdomo el 18 de agosto del año siguiente. La carrilera y el túnel, cuyo diseño estuvo a cargo de varios profesionales suizos y uno colombiano, constituyeron, en ese entonces, motivo de especial orgullo para la ciudad.



Funicular de Monserrate (1929).

LOS AÑOS CINCUENTA

A mediados del siglo XX, durante la administración de don Fernando Mazuera, se construyó un paso deprimido en la calle 26, entre los cerros tutelares de la ciudad y el cementerio Central, obra conocida por los bogotanos como “los puentes de la 26”. La obra, dicen quienes vivieron el momento, fue objeto de enormes críticas por suntuosa e innecesaria. Esa oposición destructiva, que gracias a Dios no prosperó, sería la misma que cuatro lustros más tarde impediría a la ciudad construir la avenida Circunvalar de los Cerros con estándares apropiados de ingeniería, o disponer de un sistema de transporte masivo que, paradójicamente, sí resultó posible financiar quince años después entre todos los colombianos para la ciudad de Medellín.



Buenos Aires. Avenida de Mayo a comienzos del siglo XX.

El autor de estas líneas recuerda, como alumno de un curso de Vialidad Urbana en la Universidad de Buenos Aires, el elogio que el docente hacía de sus predecesores al describir su visión sobre el desarrollo de la ciudad y la obligación de ir adaptando su malla vial a las necesidades de movilidad de los habitantes de la urbe durante las generaciones futuras. Contaba, por ejemplo, que hacia 1880 se construyó una avenida en el centro de la ciudad con un ancho útil de 32 metros y espaciosos andenes y edificios monumentales exquisitamente trabajados. Es la avenida de Mayo de hoy que, en algo más de un kilómetro, se extiende entre las plazas de Mayo y del Congreso, uniendo las sedes de los poderes ejecutivo y legislativo de la nación argentina.

Contaba igualmente el docente que el 1.º de diciembre de 1913, cuando Buenos Aires tenía apenas un millón y medio de habitantes, se inauguró el sistema metropolitano de transporte masivo de la ciudad—Subte, como allí se le conoce—, el primero de Iberoamérica y el decimocuarto en el mundo en ser construido. Y contaba también que hacia 1925 se construyó la avenida General Paz, circunvalar actual de la ciudad, con un proyecto inimaginable en ese entonces y aún hoy día para la ingeniería vial colombiana: calzada doble con jardín separador y control total de accesos.



Subte de Buenos Aires (1913).

Sólo trece ciudades del mundo disfrutaron del subterráneo antes que Buenos Aires: Londres (1863), Nueva York (1868), Atenas (1869), Estambul (1875), Chicago (1892), Budapest (1896), Glasgow (1896), Boston (1897), Viena (1898), París (1900), Berlín (1902), Filadelfia (1907) y Hamburgo (1912).

Grandes obras para Bogotá

Contratación del metro para Bogotá, comienzo de las excavaciones para su montaje, construcción de pasos elevados y centrales de transporte, y eficiente semaforización electrónica anunció el secretario de Obras, Javier García Bejarano, para antes de que concluya la actual administración del alcalde Hernando Durán Dussán.

Dijo que este gobierno “deberá contratar el metro y dejar posiblemente las primeras excavaciones. Vamos a ejecutar obras majestuosas y seguramente vamos a estar permanentemente criticados, pero hay que darle solución al transporte masivo de Bogotá”.

El Tiempo

2 de octubre de 1978

Nuestra calle 26 constituye, guardadas las proporciones, un ejemplo similar a los tres que se acaban de citar. No hay bogotano que no reconozca su utilidad, hasta el punto de que su infraestructura se mantuvo casi sin modificar medio siglo después, con motivo de la adecuación de la vía al sistema Transmilenio.



Puentes de la 26 en la época de su puesta en servicio.

“Los alcaldes se recuerdan por sus obras. Generalmente por una sola. (...) Durán Dussán fue de los puentes. Ramírez Ocampo encarna la ciclovía. (...) A Mazuera Villegas, de tiempos de Lleras Camargo, se le recordó durante años — hoy yace olvidado— por los llamados ‘huecos de la veintiséis’, primeros y prodigiosos puentes que desembotellaron a Bogotá. No le importó su demorada construcción y no recabó de ellos inmediatos beneficios políticos”.

Lorenzo Madrigal

El Espectador

Se desenloza Peñalosa

2 de marzo de 2003

Pero los puentes no fueron las únicas obras viales importantes de mediados del siglo pasado. También merecen mención el aeropuerto El Dorado y su avenida de acceso desde la Ciudad Universitaria, así como la autopista Norte, construida a partir de septiembre de 1951 entre los Héroes y La Caro en doble calzada y con la increíble previsión de su ampliación a calzada cuádruple, cuando las exigencias del tránsito así lo ameritasen. Para ello no sólo se apropiaron desde entonces los terrenos necesarios sino que, además, se dejaron construidas las estructuras transversales de drenaje que hoy aparecen como ruinas dentro de la maleza, gracias a la insólita decisión de un ministro de Obras Públicas y Transporte, quien cedió estos terrenos a la Cámara de Comercio, en un contrato de comodato, poco menos que a perpetuidad.



Autopista Norte (1955).



Autopista Norte (2004). Obras transversales de drenaje inutilizadas.



Terminal del aeropuerto El Dorado (1962).

ENTRE 1960 Y 1990

En los 30 años siguientes, las administraciones locales construyeron muchas obras viales que fomentaron la expansión de la ciudad y mejoraron notablemente la calidad de vida de sus habitantes. La carrera 68, construida con motivo de la visita del pontífice Pablo VI en 1968, fue una de ellas. La avenida Boyacá fue otra, a pesar del impacto que produjo sobre el humedal de Santa María del Lago. Y como ellas, son también dignas de mención las obras de ampliación de las carreras séptima (que en 1980 apenas llegaba hasta la calle 109) y treinta y de las vías de acceso a la capital por Fontibón y Soacha, así como las calzadas centrales de la avenida El Dorado, obras estas últimas construidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

Además, fue a principios de los años ochenta que la ciudad comenzó a adquirir un leve aire de modernidad vial, gracias a la construcción de las primeras intersecciones a desnivel en algunos de los cruces viales más importantes de la ciudad, durante la administración del alcalde Durán Dussán, a pesar de que ellas darían origen a un auténtico desaguado tercermundista del diseño geométrico de vías, bautizado con el remoquete de “oreja manzana”, cuyo único propósito fue evitar la compra de predios para la construcción de orejas como lo mandan los cánones del diseño vial.

LOS ÚLTIMOS AÑOS. UNAS DE CAL Y OTRAS DE ARENA

Muestras de alta capacidad en la concepción y ejecución vial se han visto también durante los últimos años en la capital del país, especialmente en el campo de las intersecciones a desnivel y de las vías arterias; tal el caso de las avenidas La Esperanza, Ciudad de Cali y Ciudad de Villavicencio, así como las ampliaciones de la calle 80 hacia el occidente, de la avenida Boyacá hacia el norte y de la avenida novena hasta la calle 170, así como la mayoría de las adecuaciones de la malla principal al sistema de transporte masivo de pasajeros de la ciudad. Tampoco puede dejarse de lado la construcción de la segunda pista del aeropuerto internacional.

Sin embargo, de un tiempo para acá y debido a la masificación de la información, la opinión pública local recuerda más los fracasos que los éxitos. La geotecnia vial, los pavimentos y las demás estructuras viales han ocupado durante los últimos 20 años, con más frecuencia de la deseada, los editoriales, los foros de

lectores, las páginas judiciales y hasta las caricaturas de los diarios locales, así como amplios espacios en los noticieros de la televisión. Tanta mención, por desgracia, ha sido más para la crítica que para el elogio. Pero lo que resulta verdaderamente preocupante es que no se trata de críticas gratuitas ni mucho menos de ataques políticos alevosos, como algunos ilustres damnificados pretenden hacerlo creer a la comunidad con el mayor de los cinismos. Son problemas evidentes, de muy elevado costo y socialmente impactantes, que los habitantes de Bogotá hemos venido asumiendo con la más infinita de las paciencias. Para la muestra, cinco casos.

Caso 1

Los afanes de inauguración de la administración distrital saliente en 1990 dieron lugar a uno de los episodios más lamentables que recuerde la ingeniería vial bogotana. Se trata de un puente curvo en la intersección de la calle 92 con la autopista Norte (puente Tom Quinn, como lo bautizó Lorenzo Madrigal en homenaje a la más conocida de sus víctimas), diseñado y construido con ausencia absoluta de peraltes, en el más desquiciante reto a la fuerza centrífuga que recuerden los conductores bogotanos. Decenas de víctimas mortales dejó el desafortunado diseño geométrico de la estructura, antes de que la administración local se apiadara de la ciudadanía y acometiera su reconstrucción con el eufemístico título de “mantenimiento”, ocultando bajo este nombre el verdadero objeto de la intervención, probablemente con la finalidad única de no causar mengua en el prestigio político de quien diez años antes había promovido e inaugurado pomposamente el esperpento y, en el momento de la reconstrucción, oficiaba nada menos que como presidente de la república.

“Hace diez años mis padres, Thomas y Zulma, murieron de manera absurda cuando su automóvil cayó del puente de la calle 92 con la autopista Norte. Ese mismo que después el Distrito tumbó y volvió a construir, al encontrar que tenía fallas estructurales que habían provocado la muerte de muchas otras personas”.

D'Arcy Quinn
El Tiempo
 Sección Cultura y entretenimiento
 21 de octubre de 2006

Caso 2

El 22 de septiembre de 1997, la Secretaría de Obras Públicas de la ciudad suscribió el contrato 462 con la firma Ingenieros Civiles Asociados Sociedad Anónima de Capital Variable (ICA de México, como se le conoce), por un término de 42 meses, para la recuperación y el mantenimiento de diez millones de metros cuadrados de los corredores principales, de las vías secundarias y de las vías colectoras de la malla vial de Bogotá, con una modalidad que trasladaba al contratista la responsabilidad por los diseños definitivos y los riesgos técnicos y económicos que de ellos se derivaran, pero con una insólita y salvadora cláusula contractual que liberaba al contratista de infinidad de situaciones posibles y pre-visibles, que generaron la milagrosa aparición de unas “intervenciones especiales”, las cuales modificarían sustancialmente el desarrollo del contrato, convirtiéndose en el tiempo más en la regla que en la excepción. Así, como resultado de semejante galimatías, empezaron a generarse atrasos en la ejecución de las obras, los cuales derivaron en multas, objeciones a ellas por parte del contratista, procesos arbitrales, modificaciones al contrato y demandas penales, hasta llegar a la paralización total de las obras el día 9 de febrero del año 2000.

El hecho cierto, concreto y definitivo de este caso fue que de diez millones de metros cuadrados de pavimento previstos por el contrato original para intervención, sólo se trabajó en el 40 %; que dicho 40 % costó casi el 60 % del valor del contrato; que los laudos arbitrales le significaron posteriormente al contribuyente bogotano más de \$25.000 millones adicionales, y que, por supuesto, la calidad de las obras ejecutadas y el mantenimiento rutinario de éstas dejó mucho que desear.

Caso 3

Quienes circulen hoy día por la avenida Circunvalar de sur a norte se encontrarán, a la altura de la calle 63, con una maraña de vías que atraviesan en todas direcciones las deforestadas riberas de la quebrada Las Delicias y que prácticamente ningún vehículo toma luego de diez años de construidas, probablemente porque los conductores bogotanos desconocemos hacia dónde conducen. Tal parece que la obra es el punto de partida de la avenida José Celestino Mutis, cuyo propósito es atravesar la ciudad desde dicho punto en el oriente hasta el río Bogotá en su límite occidental. Sin embargo, el

proyecto nació totalmente cojo desde el punto de vista funcional, no sólo porque intereses particulares no han permitido la ejecución de la vía hasta la carrera séptima, sino porque el mismo Instituto de Desarrollo Urbano, invocando decisiones de la comunidad, tampoco contempló la construcción de algunos giros necesarios para el correcto funcionamiento del intercambiador. Esta preocupación, que hoy es manifiesta, ha sido motivo de noticia desde hace mucho tiempo. Un periodista del entonces semanario *El Espectador* se refería así a la obra del intercambiador¹:

“Tan costosa, que el IDU debió cobrar dos veces la valorización de los predios afectados porque los constructores no cumplieron con los términos originales del contrato. Pues bien, esa obra –un clásico elefante blanco– es, además, inútil. Nadie la usa porque, a pesar de ser un ‘eje intercambiador’, nada intercambia. (...) Algunos apologistas de las excentricidades de Mockus se devanan los sesos tratando de encontrarle sentido pedagógico al elefante. (...) Sea lo que fuere, la realidad, monda y lironda, es que el tal intercomunicador no comunica ni por arriba ni por abajo. (...) El caso muestra, una vez más, que en el país continúan primando los intereses de unos pocos comerciantes y militares sobre el interés de la comunidad: nítida imagen de un establecimiento político que desata la guerra en defensa de un orden jurídico que, no obstante, se pasa por la faja cada vez que éste contraría su bolsillo”.



Intercambiador calle 63 con avenida Circunvalar.

Un año antes que el señor Molano, en 2002, tres periodistas del mismo medio de comunicación se referían a otros aspectos de la obra²:

“Hacer la oreja de la avenida Circunvalar con calle 63 es todo un reto. Quienes hoy transitan por este anillo vial reclaman con urgencia un mapa que los oriente para tomar los cruces sin extraviarse, y aquellos que pagaron por esta obra de valorización exigen del Distrito una explicación por los sobrecostos y los 32 meses que duró su ejecución.

La controversia en torno a este intercambiador vial, que fue planeado con el único propósito de darles a los bogotanos una vía que, como la calle 26, conectara el oriente con el occidente, arrancó con la tala de una extensa zona de bosque en los cerros orientales donde se construyó. Ambientalistas y habitantes de este sector no sólo alegaron hasta el cansancio que la intersección no se necesitaba, sino que iba a generar un daño ecológico irreparable a la quebrada Las Delicias y a su ronda. A pesar de las protestas, la tala empezó en junio de 1999, acompañada por la promesa de que el intercambiador estaría listo antes de un año y que no les costaría a los bogotanos más de \$9.000 millones.

Sin embargo, los trabajos terminaron hace apenas un mes y medio, con dos agravantes: la obra no sólo acabó costando \$29.590 millones, sino que hace tres semanas la propia directora del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), María Isabel Patiño, reconoció que el Distrito tiene que invertir otros \$200 millones para corregir una falla geológica que amenaza con provocar el desplome de un pedazo del cerro sobre la obra”.

Los estudios (incluida su interventoría) costaron \$1.450 millones y fueron cuestionados posteriormente por la interventoría de las obras y por el IDU, pues no contemplaron el estudio de algunos problemas de inestabilidad, hasta el punto de que el Instituto de Desarrollo Urbano presentó una demanda en contra de las firmas consultora e interventora de los estudios, la cual fue rechazada por extemporaneidad. Las obras, previstas para nueve meses, duraron 33 y medio, debido a múltiples imponderables. Su costo, estimado en algo menos de \$10.000 millones, también se triplicó y el

1. Alfredo Molano Bravo (2003). Elefante blanco pisando margaritas. *El Espectador*, 17 de agosto.

2. Eliana Castellanos, Sonia Perilla & Carlos Espejo (2022). El laberinto de la 63. *El Espectador*, 7 de julio.

intercambiador quedó, de todos modos, con enormes problemas de funcionalidad, razón por la cual su utilización ha sido, hasta ahora, insignificante. A pesar de que el beneficio real de la obra sólo podrá verse, si se llega a ver, en unos cuantos años y que, consecuentemente, su rentabilidad está en entredicho por completo, la polémica directora del IDU de los años 2000, haciendo uso de sus dotes de arúspice y de su mal disimulada egolatría, afirmó a un medio de comunicación que la ciudad “agradecerá que alguien tuvo la aguerridez (sic) de medirse a una obra de esa envergadura”³. El tiempo dirá si tuvo la razón y, por supuesto, si no la tuvo nadie se acordará. De hecho, hoy, cuando sólo han pasado dos lustros, nadie la recuerda.

Caso 4

La administración del alcalde Enrique Peñalosa (1998 - 2000) ha sido sin duda, una de las más revolucionarias y polémicas de los últimos tiempos. La que al mismo tiempo ha tenido más críticos y más aduladores. Su proyecto de ciudad ha sido considerado, incluso, paradigma para el continente. Como dijo un periodista extranjero⁴, “la transformación urbana de Bogotá podría ser fácilmente el primer milagro de este siglo”, pero no es que el periodista se haya derramado gratuitamente en elogios, pues también afirmaba, a renglón seguido, que “Todo podría ser parte de un proyecto de prestigio apantallador, obras que buscan popularidad, incluso una plataforma política para lanzar a los artífices a la presidencia de este país”.

Peñalosa, se debe reconocer, le devolvió el espacio público a la gente. Sacó los automóviles de las aceras, creó estacionamientos y reubicó a miles de vendedores ambulantes que obstaculizaban el libre andar de los peatones. Pero también creó unos 240 km de calzadas exclusivas para ciclistas, conocidas como ciclorrutas, ubicadas por lo general en medio de los andenes, a veces simplemente pintadas sobre éstos, sin conexiones ni señalización debidas, las cuales constituyen todo un riesgo tanto para los mismos ciclistas como para los normalmente desprevenidos peatones que compiten

3. Carlos Eduardo Huertas Gómez (2001). Desconexión en la calle 63. Caracol Radio.
4. Tom Dieusaert. Proyecto Bogotá. Bogotá, paradigma para el continente.

con ellos por el legítimo uso de su espacio público y, en grado superlativo, para los conductores de los vehículos que las atraviesan, por la insólita presunción de culpa que en Colombia se les atribuye siempre que se ven involucrados en accidentes contra algún vehículo de dos ruedas.

“El magnífico y magnificado alcalde tiene afición extrema por las bicicletas, así como odio acérrimo a los automóviles, pese a que las burbujas del Distrito lo pusieron a salvo de la asonada del Eduardo Santos. Él cree que en cicla se puede movilizar el inmenso público de una metrópoli, sin que el transporte masivo acabe de solucionarse. Y, aun solucionado, ninguna gran urbe se concibe sin automóviles, ni ningún ejecutivo puede llegar embarrado a su oficina”.

Lorenzo Madrigal
El Espectador
 Se desenloza Peñalosa
 2 de marzo de 2003



Ciclorruta.

Enemigo acérrimo de los sistemas de transporte familiar (exceptuando los vehículos blindados de los de su entorno) y de la desconcentración urbana, el exalcalde Peñalosa no se cansa de ufanarse de la creación de un transporte masivo que sólo hace uso de buses, sistema del cual se declara el inventor universal. Sin entrar a discutir la dudosa veracidad de esta última afirmación, lo cierto es que su implantación generó, en su momento, una bonanza a las empresas de suministro de materiales de construcción y a algunas de ingeniería de consulta y construcción vial, bonanza que en los últimos años se trasladó a los bufetes de los abogados que las defienden ante los estrados de la ley. El sistema, hay que

reconocerlo, modificó el paisaje de la ciudad y mejoró la calidad de vida a muchos de los usuarios cotidianos del sistema. La sociedad Transmilenio, constituida por escritura pública 1528 de la notaría 27 de Bogotá, el 13 de octubre de 1999, comenzó a operar por las vías de la ciudad en pleno ocaso de la administración de Peñalosa, el 18 de diciembre de 2000.

El súbito auge que tuvo durante el gobierno de Peñalosa el empleo del cemento en la construcción vial hizo que, por motivos que nunca se descubrieron pero que fueron motivo de amplio debate y de investigación, una de sus aplicaciones de menor calidad se emplease de manera masiva en la construcción de los pavimentos rígidos en algunos de los tramos viales que se adecuaron al nuevo y sobrecargado sistema de transporte público. El relleno fluido, como se denomina el producto, no sólo es particularmente costoso, sino que, al parecer, carece de las dos propiedades básicas que requiere el soporte de un pavimento rígido, como lo reconocen los mismos organismos que promueven su utilización: “Debe tomarse en cuenta que este material no está diseñado para resistir la acción de esfuerzos erosivos o abrasivos”⁵.

Los efectos de dicha decisión no se hicieron esperar. En marzo de 2001, cuando ni siquiera se habían terminado las obras de la autopista Norte, aparecieron los primeros síntomas superficiales de los graves problemas de comportamiento de la subbase. Especialistas de diversa procedencia, motivados por diferentes intereses, no se pusieron de acuerdo sobre las causas de las fallas, razón por la cual el IDU contrató como experto para analizar el problema al señor Jamshid Armaghani, funcionario de Florida Concrete & Products Association (FCPA). A pesar de pertenecer al gremio cementero, en su informe el señor Armaghani no pudo menos que reconocer que el citado producto carece de resistencia a la erosión hídrica⁶: “The relleno fluido (flowable fill) is a very low strength and highly impermeable material susceptible to erosion under the force of moving water”.



Todos los pavimentos están sometidos a la intemperie y, por lo tanto, expuestos a la acción de los agentes climáticos, entre ellos el agua lluvia. No hay antecedentes en Bogotá de fallas tan manifiestas y prematuras en los pavimentos rígidos construidos durante los últimos 50 años, incluso sin subdrenes laterales y sin los materiales y procedimientos para sellar juntas que existen hoy en día, como para que se pueda afirmar sin desdoro que “este material es igual de vulnerable a cualquier otro, frente al problema de la filtración de agua”⁷ y que fueron “las filtraciones de agua, y no las capas sobre las que reposan las losas de la autopista Norte, la causa principal para que hoy la troncal luzca como un campo de batalla”⁸. De hecho, quienes esto afirman deberían recordar que el pavimento original de la autopista Norte fue rígido y prestó buen servicio durante más de 30 años.



Deterioro típico del pavimento rígido de Transmilenio.

5. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2000). El relleno fluido, un material para obras de infraestructura, www.imcyc.com/revista/2000/abril2000/rellenofluido.htm.
6. Jamshid Armaghani (2002). “Investigation of premature distress on autopista Norte. June 3.

7. *El Tiempo* (2004). La culpa es del agua: Asocreto, 12 de marzo, p. 1-14.

8. *Ibíd.*



Transmilenio. Reconstrucción permanente del pavimento rígido.

“Es dramático. Las planchas por donde corren esos buses se están partiendo como se parten las galletas de soda cuando las untan de mermelada”.

Poncho Rentería
El Conejo Cementero
El Tiempo

17 de marzo de 2004 (p. 1-16)

Infinidad de conceptos independientes han descalificado el material empleado en el soporte⁹ y la ingeniería vial bogotana, específicamente la de pavimentos, ha pasado por uno de sus momentos más vergonzosos. Alguien calificó lo acontecido con la autopista Norte y con la avenida Caracas como “un desastre de ingeniería”¹⁰ y razón no le faltó. El presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros y el ministro de Transporte de la época así lo reconocieron.

“Toda esta problemática ha afectado el ejercicio profesional en el sector público y el privado. La ingeniería queda mal. Hay que reconocerlo. Pero todas estas cosas requieren experimentación. Y aquí se experimentó con una zona muy vulnerable”.

Alfonso Orduz
El Tiempo
21 de marzo de 2004 (p. 2-2)

La obra de la autopista Norte costó \$67.000 millones, casi el doble del valor por el cual se firmó el contrato sólo dos años antes. El valor de los arreglos aún está por determinar. Y el de los sobrecostos en la operación vehicular por concepto de los aumentos derivados en los mayores tiempos de movilización a causa de los atascos que generan los trabajos de reparación tiende exponencialmente hacia el infinito y jamás será calculado y, como siempre, deberán asumirlo los usuarios.

Y como enfermedad incurable que se respete, la “rellenofluiditis” hizo metástasis. El tramo de la avenida Caracas de los Héroes hacia el sur fue afectado al cabo de los meses por el mismo tipo de dolencia, incluso con más intensidad, y sigue siendo sometido a los mismos cuidados intensivos.



Caso 5

Por ignorancia o por estulticia, las administraciones distritales de los primeros años del tercer milenio creyeron la fábula montada por su antecesor, en el sentido de que al privilegiar en las pocas vías arterias de la capital la circulación de dos fragmentos de bus unidos por un fuelle de caucho, se había encontrado la panacea maravillosa



9. *El Tiempo* (2004). El debate del yo no fui, 21 de marzo, p. 2-1.

10. bluohelmet.blogspot.com/.

para el transporte masivo en una urbe que ya rondaba los siete millones de habitantes. Así, en los últimos quince años la provisión de nuevas vías de carriles múltiples ha sido prácticamente nula en la ciudad, mientras que las pocas existentes han sido objeto de demoliciones y reconstrucciones para habilitarlas al engendro de sistema de transporte masivo del señor Peñalosa.

La avenida que comunica el centro de la ciudad con el aeropuerto Eldorado, quizás la más bella que tenía la ciudad, cayó en esta redada y fue objeto de contratos de adecuación, suscritos cuando el sol se encontraba ya un poco más abajo de las espaldas del alcalde Luis Eduardo Garzón. Entonces, cuando la ciudad aún no se reponía de la catástrofe del relleno fluido, la mala fortuna quiso que el 70 % del tramo, pactado en su momento por más de \$300.000 millones, quedara en manos de unos pintorescos personajes de la élite del Caribe colombiano que habían logrado formar en menos de quince años un emporio, gracias a una suerte descomunal en el negocio de la contratación pública y a quienes, incluso, algunos medios de comunicación llegaron a calificar como los “nuevos cacaos” del país.

No habían pasado seis meses del inicio de las obras cuando un atraso del 50 % en los trabajos de su contrato no sólo puso de manifiesto el castillo de naipes que se escondía detrás de la fachada dorada del emporio sino que, además, destapó una conspiración de enormes proporciones a la que la sabiduría popular le dio el nombre de “carrusel de la contratación”, que develó “el escandaloso e impudoroso proceder de la administración del Distrito Capital en los procesos de contratación en materia de infraestructura vial”¹¹. Como este apasionante tema no es el objeto de esta breve crónica, baste decir que el contrato fue cedido a otra firma que, curiosamente, logró cambiar la modalidad bajo la cual se había firmado el contrato cedido, lo que hizo que los \$305.000 millones iniciales se convirtieran en más de \$420.000 millones constantes y que la obra, en lugar de ser ejecutada en 27 meses, lo fuera en 43. Y en esta oportunidad, como en todos los fracasos que ha tenido la contratación distrital, los perjuicios económicos causados a la ciudad por los sobrecostos y los atrasos

han sido asumidos sumisa y silenciosamente por los contribuyentes, mientras en los paraísos fiscales algunas pingües cuentas cifradas esperan que sus afortunados propietarios salden las irrisorias cuentas que están negociando con la justicia colombiana.



“Apartamento en Dubái en el exclusivo condominio Yasmin, ubicado en Ras al-Khaimah, cerca de Dubái, Miguel Nule (foto) y su exesposa compraron una propiedad para destinarla a la renta. Esta región, según *The Financial Times*, es la más rentable en el golfo Pérsico. Hicieron esto a finales de 2009 y comienzos de 2010, cuando en Colombia las obras del Grupo Nule colapsaban por falta de liquidez.

A finales de 2009, las obras de la calle 26, a cargo del Grupo Nule, tenían un retraso de más del 50 %, entre otras razones por falta de liquidez, y el IDU les hacía adiciones por más de \$3.000 millones en nuevos trabajos. Justo en ese momento, las preocupaciones del empresario Miguel Nule se repartían entre dos temas: cómo capotear a sus acreedores y cómo salvaguardar las cuantiosas inversiones de su núcleo familiar”.

De compras
Revista Semana
11 de febrero de 2011

REFLEXIONES FINALES

A lo largo de la historia de nuestra ciudad, las obras de infraestructura vial han sido decisivas en su crecimiento y en su consolidación como el principal centro económico y político del país, a pesar de su mediterraneidad. Sin embargo, la provisión vial de la ciudad es paupérrima comparada con la de ciudades de similares niveles de desarrollo, extensión y población. O sea que, desde el punto de vista práctico, aún falta mucho por hacer. Para empezar, la construcción de un metro de verdad resulta más que apremiante. Ya va siendo hora de que la ciudadanía proceda a inhumar los conceptos de quienes, con gran estrechez mental, han llevado a nuestra ciudad a tener el dudoso honor de ser, junto

11. Federico Arellano Mendoza (2001). *El Colombiano*, 19 de febrero.

con Lagos en Nigeria y Dhaka, la capital de Bangladesh, las únicas urbes de más de siete millones de habitantes en el mundo que no poseen un sistema metro para la movilización de sus habitantes. Hasta donde se sabe, la historia no ha mencionado nunca que algún país haya llegado a la quiebra por construir un metro para su capital, contrariamente a lo que se nos quiere hacer creer. ¿Acaso entre todos los colombianos no pagamos la construcción del de Medellín?

En cuanto a vías de superficie, la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO) parece indispensable, al igual que el mejoramiento de la Circunvalar y su prolongación hasta la salida hacia Villavicencio. Pero también se requieren muchas vías amplias que permitan la circulación rápida dentro del entorno urbano, en particular en el sentido transversal de oriente hacia poniente, entre ellas la que dé continuidad al famoso intercambiador de la calle 63 con Circunvalar. Sin pecar de pesimista es posible que, como pintan las cosas, el autor de este artículo y muchos de los lectores no llegemos a ver la materialización de ninguna de ellas.

El autor pertenece a la enorme mayoría silenciosa que está en favor del automóvil, sin que ello quiera decir que esté en contra del bus, del triciclo, del ferrocarril o del medio ambiente. Por tal razón, está en desacuerdo con el respetable criterio de limitar la expansión vial y el uso del automóvil con el argumento sofista de que éste sólo beneficia al 15 % de la población. Esta posición no sólo ignora los enormes recursos que brinda el tránsito liviano al fisco para satisfacer múltiples necesidades sociales, sino que también desconoce que la posibilidad —o más bien el derecho— de acceder a un vehículo propio es uno de los requisitos más importantes de igualdad práctica en los asuntos materiales de la vida y constituye una de las promesas más atractivas de una sociedad democrática. Coartar el uso del automóvil va, además, en contra de la libertad. Donde no se tiene la posibilidad de desplazarse en un automóvil propio, no existe la libertad propiamente dicha. O si no, que lo digan nuestros colegas de Cuba, de Somalia o de Afganistán.

Por el carácter cosmopolita de la ciudad, la construcción de sus obras viales ha estado abierta a infinidad de firmas de ingeniería, no sólo de la ciudad y del país, sino también del exterior. Los resultados han sido muy diversos, independientemente de la procedencia de los contratistas. Aunque en la mayoría de los casos han sido exitosos, algunos resultados adversos han sido demasia-

do notorios, escandalosos y onerosos, como para que se puedan pasar por alto o considerar dentro del margen de error que brinda el juego de las probabilidades en el diseño y la construcción de las obras viales. Y como quien no aprende la historia está condenado a repetirla, es necesario sacar algunas lecciones de estos errores.

En este orden de ideas, lo primero que se debe evitar es la contumacia. Por tal motivo, parece reprehensible la actitud de quienes continúan describiendo como acierto el uso de un producto que se deshace con el agua en una ciudad donde sólo llueve mil milímetros por año. Un ilustre especialista no dudó en elogiar “la capacidad que se tuvo para recurrir a materiales poco utilizados en el mundo en la construcción de pavimentos, como fue el relleno fluido, que permitió solucionar limitaciones de tiempo y de construcción que, para el caso de los suelos de Bogotá, eran prácticamente insalvables con los materiales locales”¹².

En el plano político, algunos exmandatarios locales han decidido asumir la denominada “responsabilidad política” ante los fracasos de obras viales concebidas o construidas durante sus gobiernos. Como lo dice un destacado columnista, esta responsabilidad en el sentido práctico sólo tiene una dimensión simbólica¹³: “invocar la responsabilidad política sin controles ni sanciones puede degradar más la institucionalidad política del país”, y agrega: “desde los tiempos del expresidente Betancur, en los ciudadanos prevalece un imaginario: asumir la responsabilidad política es la mejor manera para tramitar sin costo político o judicial los problemas producidos por malas decisiones o por el incumplimiento de las obligaciones en el ejercicio del gobierno”. Tan cierto resulta esto, que quienes han asumido dicha responsabilidad se han visto favorecidos con el apoyo ciudadano en citas electorales posteriores. Mientras “la historia se teje con la memoria, la política se alimenta de amnesia”, sentenciaba Enrique Caballero hace más de 40 años¹⁴. El alcalde del siniestro puente curvo de

12. Cipriano A. Londoño N. (2003). Lecciones aprendidas en la rehabilitación de la autopista Norte de Bogotá. Popayán: Memorias del XIV Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos.

13. Pedro Medellín Torres (2004). La responsabilidad y sus costos. La institucionalización de la confianza. *El Tiempo*, 30 de marzo.

14. Enrique Caballero (1972). *El mesías de Handel*. Bogotá: Tipografía Hispana.

la calle 92 fue presidente ocho años más tarde, el del mantenimiento global de la malla vial repitió alcaldía periodo de por medio, sin tener siquiera la necesidad de exhibir nuevamente sus néveas posaderas y sólo el de los rellenos fluidos ha sufrido repetidas palizas en las urnas.

“En Colombia no hay sanción política. Y sin ella, nadie responde por las instituciones. Como argumenta Jean Coicaud, ‘sin la amenaza de ser condenado por sus decisiones y acciones nefastas, para el gobernante la idea de la responsabilidad política es inexistente’. Y agrega que ‘cuando la inmunidad se convierte en regla, las instituciones pierden credibilidad y los regímenes políticos se hacen cada vez más frágiles’ ”.

Pedro Medellín Torres
La responsabilidad y sus costos.
La institucionalización de la confianza
El Tiempo
30 de marzo de 2004

Un debate hecho en el Senado de la República el 30 de marzo de 2004 sobre las deficiencias del sistema Transmilenio, al igual que muchos hechos recientes de total dominio público, tanto en el ámbito urbano como en el nacional, han demostrado que la administración pública presenta una gran debilidad frente a los particulares en los asuntos referentes a la contratación y a los conflictos derivados de ella, tanto mayor cuanto más grande es la magnitud de los contratos. Así mismo, se ha comprobado que las entidades públicas suelen presentar frente al cabildeo una permeabilidad que el mismo relleno fluido envidiaría. Es más, en ocasiones parece que el cabildeo estuviera dirigido desde adentro. Se advierte, además, que los problemas en la administración de las vías públicas se han multiplicado desde que las decisiones importantes de la ingeniería vial en los organismos oficiales fueron pasando a manos de profesionales de otras disciplinas, quienes, nombrados no por méritos sino por vínculos de amistad o por compromisos electorales, han venido amparándose en su ignorancia de la ingeniería para soslayar responsabilidades específicas de sus cargos y endosárselas a sus subalternos. Todos estos problemas, aunque graves, serían remediabiles con voluntad política y simples leyes y decretos.

“La sola circunstancia de que alguien como funcionario público contrate a un particular, o acepte asesoría privada ‘gratuita’ mediante lesivos convenios para el Estado, es motivo suficiente para que, a su retiro, se abstenga de convertirse en empleado o consejero de esos mismos particulares. No es una buena señal para la transparencia de la función pública que sus agentes se cambien de camiseta con la misma facilidad que lo hacen los futbolistas”.

Ramiro Bejarano
Alicia Adorada
El Espectador
4 de abril 4 de 2004

Conviene recordar, para terminar, que la capital colombiana tiene hoy en día un récord Guinness difícil de igualar y cuya posesión ignora: es la ciudad del mundo con más facultades de ingeniería civil. La carrera se puede cursar en 16 establecimientos universitarios que, diseminados a lo largo y ancho del perímetro urbano, despachan cada año al mercado laboral, cuando menos, un millar de profesionales del ramo. Además, en el campo específico de la ingeniería vial, se ofrecen en la actualidad más de media docena de programas de posgrado. Cabría pensar, entonces, que la capacidad para administrar, diseñar, construir y mantener buenas obras viales en la ciudad es casi ilimitada.

Por este motivo, resulta paradójico que la gravedad y la complejidad de los problemas técnicos, financieros y administrativos de nuestras vías hayan aumentado con el incremento de la oferta en este campo del conocimiento. En este sentido, y teniendo en cuenta que el exceso de oferta no significa necesariamente equilibrio en la excelencia, se debe reconocer que el gobierno nacional ha definido unas condiciones mínimas de calidad para el desarrollo de programas académicos de educación superior, a las cuales se deben ajustar las instituciones que deseen obtener la acreditación de sus programas¹⁵.

En la actualidad ofrecen programas de ingeniería civil en la ciudad de Bogotá, las siguientes universidades: Nacional, Andes, Javeriana, Escuela Colombiana de Ingeniería, Santo Tomás, Nueva Granada, Distrital, Católica, La Gran Colombia, La Salle, Piloto, Agraria, Antonio Nariño, Escuela Militar de Cadetes, Escuela de Ingenieros Militares y Minuto de Dios.

15. Decreto 2556 del 10 de septiembre de 2003.

Pero, independientemente de esta medida necesaria, justo es reconocer que hay ingenieros civiles brillantes, egresados de todas las facultades bogotanas, la mayoría de ellos sin el reconocimiento ni las oportunidades que merecen, principalmente por la falta de padrinazgo. Parece necesario, por lo tanto, que las asociaciones que representan a estos profesionales y a sus profesiones, como la Acofi y de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, luchen porque las decisiones públicas en

los asuntos referentes a la ingeniería en Bogotá y en el resto de Colombia dejen de estar en manos de abogados, administradores de empresas, economistas, arquitectos, químicos farmacéuticos, comerciantes en cueros y hasta biólogos marinos, y vuelvan a ser competencia de ingenieros escogidos, eso sí, de acuerdo con un criterio que tanto mencionan y manosean como herramienta electoral, pero que poco o nada aplican a la hora de la verdad los altos mandos del Estado: la “meritocracia”.

Noticias

Dos graduadas de la Escuela nombradas en importantes cargos, como reconocimiento a su trayectoria profesional.



Presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros

La ingeniera civil y especialista en Saneamiento Ambiental de la Escuela, Diana María Espinosa Bula, fue elegida presidente de la junta directiva de la Sociedad Colombiana de Ingenieros. La profesional es magíster en Derecho de los Recursos Naturales de la Universidad Externado de Colombia y ha ocupado varios cargos públicos, como los de asesora de la Dirección General del Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (INAT) y subgerente general de infraestructura del Instituto Nacional de Desarrollo Rural (Incoder).

Directora de proyectos y asesora de organismos y entidades nacionales e internacionales en los ámbitos público y privado, en 2008 recibió de la SCI la Orden al Mérito Julio Garavito, en el grado Cruz El Comendador.

En el sector privado, se ha desempeñado en IC Ingenieros Consultores, Inargos Ltda. e Hidropurificaciones. Actualmente es gerente general y socia de Ambiotec Ltda.

Gerente de la Empresa de Energía de Bogotá

La junta directiva de la Empresa de Energía de Bogotá nombró a Sandra Stella Fonseca Arenas, ingeniera electricista de la Escuela, gerente de la entidad. La funcionaria es magíster en Energy Studies de University of Sheffield y MBA in Industrial Management de Sheffield Hallam University, del Reino Unido.

La ingeniera Fonseca posee amplia experiencia en gestión de empresas, regulación económica enfocada a servicios públicos y energía, análisis en temas económicos y de estrategia empresarial, dirección empresarial y gestión de proyectos en infraestructura.

Su mayor fortaleza se encuentra en las áreas de regulación de tarifas, mercados y competencia, integración regional energética, comercialización y tarifas, en los sectores de electricidad, gas, combustibles, agua y alcantarillado.

Fue gerente de Sanig Servicios, consultores en energía y regulación, y ha participado en estudios liderados por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) y el Ministerio de Minas y Energía.



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, 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 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