

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE **INGENIERIA**

Año 15 N° 57

Enero - Marzo de 2005

TARIFA POSTAL REDUCIDA N° 1419 DE ADPOSTAL • VENCE DICIEMBRE DE 2006

Publicación
admitida por
Colciencias en el Índice
Nacional de Publicaciones y
Series, Científicas y
Tecnológicas colombianas
-Publindex- Clasificación tipo C

Articulación IDU - Empresas de Ingeniería III



La lucha contra la pobreza

Eduardo Sarmiento Palacio

El tema de la pobreza está en vitrina. Los países ricos advirtieron que dentro de los niveles mundiales de opulencia no hay razón para que un número tan apreciable de habitantes se encuentre en estado de miseria extrema. Bastaría que destinaran una pequeña fracción de sus ingresos para erradicar este flagelo.

Los líderes de América Latina han encontrado que los países no son viables mientras persistan los elevados índices de pobreza y desigualdad. Por fin están entendiendo que la exclusión constituye un severo obstáculo a la gobernabilidad, la estabilidad política y la convivencia. Para completar, la opinión pública está pidiendo a lo largo y ancho de la región una solución coherente a las tendencias crecientes de la pobreza, y rechaza las aperturas, las privatizaciones, las tributaciones indirectas y los ajustes del FMI. Así las cosas, la reducción de la pobreza, por lo menos en cuanto a discurso se refiere, está adquiriendo una prioridad tan importante como la que recibieron los derechos de propiedad en la mitad del siglo y el crecimiento económico en las últimas dos décadas.

La opinión pública está pidiendo a lo largo y ancho de la región una solución coherente a las tendencias crecientes de la pobreza, y rechaza las aperturas, las privatizaciones, las tributaciones indirectas y los ajustes del FMI.

más, la brecha de ingresos entre países no tiene un curso definido. Algunas naciones tienden a alcanzar a los países desarrollados y otras, a alejarse. Cuando la convergencia se produce entre países desarrollados, la dispersión aumenta. Ahora, si la convergencia se presenta con los países pobres, como está ocurriendo con China e India, la dispersión se acorta. Los elevados crecimientos de estas economías redujeron la economía entre países y, a causa de sus enormes poblaciones, disminuyeron también la pobreza adecuadamente ponderada entre países.

Esta realidad no se ha asimilado aún. Las soluciones se buscan dentro de los países. Los planteamientos están encaminados a ampliar los programas asistencialistas. Si bien estos programas se justifican por razones humanitarias, de ninguna manera constituyen una solución estructural. La única forma de superar la pobreza mundial es acelerando el crecimiento económico de los países pobres.

La pobreza está expuesta a dos fuerzas en dirección contraria. Tal como se vio anteriormente, el número de pobres disminuye con el crecimiento económico. A su vez, la participación del quintil más pobre ha venido disminuyendo en forma sistemática, revelando una tendencia creciente de la concentración. Como el

pliar los programas asistencialistas. Si bien estos programas se justifican por razones humanitarias, de ninguna manera constituyen una solución estructural. La única forma de superar la pobreza mundial es acelerando el crecimiento económico de los países pobres.

La pobreza está expuesta a dos fuerzas en dirección contraria. Tal como se vio anteriormente, el número de pobres disminuye con el crecimiento económico. A su vez, la participación del quintil más pobre ha venido disminuyendo en forma sistemática, revelando una tendencia creciente de la concentración. Como el

Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia; Ph. D. en economía de la Universidad de Minnesota. Ha sido decano de economía en la Universidad de los Andes; asesor de la Junta Monetaria; subjefe de Planeación Nacional. Columnista del diario *El Espectador*, autor de varios libros y de múltiples ensayos y artículos. En la actualidad se desempeña como director del Centro de Estudios Económicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería.
esarmien@escuelaing.edu.co

ASPECTOS TEÓRICOS

Basta una mirada retrospectiva para advertir una relación inversa entre el crecimiento económico y la pobreza. Los mayores ingresos promedio de los países, mediante la filtración o las transferencias impositivas de ingresos, redundan en mayores remuneraciones de los sectores pobres, o si se quiere, en menor número de personas por debajo de la línea de pobreza. Por lo de-

primer efecto predomina sobre el segundo, la constante mundial es la reducción de los pobres. Este comportamiento se observa en la información comparada de los países. Dollar y Krey (2000) encuentran una fuerte correlación entre el ingreso de los países y el ingreso de los sectores pobres, tanto en términos de niveles como de variaciones.

No se trata, sin embargo, de una relación universal. En Colombia se observa un comportamiento muy distinto. La concentración aumentó más rápidamente que el crecimiento económico. La participación del quintil más pobre bajó a la mitad y la del decil más alto subió diez puntos. En el período 1990-1997 la pobreza aumentó por el agravamiento de la concentración ocasionado por la liberación de la economía y en el período 1997-2002 se disparó, pasando del 56 al 65%, por el desplome de la actividad productiva. De esta manera, en el cuadro 1 se muestra que el incremento de la pobreza ha evolucionado paralelamente al deterioro de la distribución del ingreso y, más aún, en el período de los doce años coincidió con el modesto crecimiento del ingreso per cápita de 0,8%. Por lo demás, la movilización de las transferencias a los sectores pobres ha resultado ineficaz. No logró compensar el impacto de la concentración y del bajo crecimiento.

Cuadro 1
Índice de Gini de la distribución del Ingreso
y porcentaje de la pobreza¹

| Año | Gini | Pobreza |
|------|------|---------|
| 1990 | 0,45 | 0,52 |
| 1997 | 0,56 | 0,57 |
| 2002 | 0,60 | 0,66 |

Fuente: Dane, encuestas de hogares y de calidad de vida.

1. Las cifras del período 1990-1997 corresponden a las series publicadas por el Dane con base en la encuesta de hogares. Por su parte, las del período 1997-2002 provienen de la encuesta de calidad de vida del mismo organismo. Para empatar las dos series, se introdujeron ajustes menores que no cambian las tendencias.

Las causas de la pobreza están claramente tipificadas en la concentración, el crecimiento y las transferencias de ingresos a los sectores pobres. En general, se puede esperar que en una economía en donde mejora la distribución del ingreso, crece el producto y se transfieren los recursos a los estratos más necesitados, se reduce la pobreza. No se puede decir lo mismo en forma separada. La presencia de una sola de ellas no garantiza el resultado. La mejora de la distribución del ingreso en un marco de estancamiento puede resultar en un incremento de la pobreza. El crecimiento puede resultar en un deterioro de la pobreza si la concen-

tración aumenta y los excedentes no se focalizan adecuadamente a favor de los pobres. Las políticas asistencialistas pueden coincidir con un incremento de la pobreza si se acentúa la concentración y el sistema no crece. Así las cosas, las políticas directas para reducir la pobreza deben conciliarse con la desconcentración y el crecimiento económico. El intento de remediar una de las causas a cambio de las otras puede resultar al revés.

SOLUCIONES

En la actualidad, dos comisiones de alto nivel están preparando reportes para sustentar un gran programa mundial contra la pobreza. Una es dirigida por Jeffrey Sachs para las Naciones Unidas y la otra por Tony Blair para la comisión de África. En ambos casos predomina el voluntarismo. Como los estudios no parten de formular una teoría sobre las causas de la pobreza y de un modelo coherente para remediarlas, las soluciones se buscan en las manifestaciones. Tan cierto es esto que la principal propuesta que se vislumbra en los trabajos es un programa masivo de asistencialismo para limitar la expansión del sida, combatir la malaria y reducir la malnutrición. Adicionalmente, se plantea una nueva ronda de apertura comercial. Basta una mirada retrospectiva para advertir que ambas terapias se han aplicado con resultados precarios. Los programas asistenciales alivian la pobreza pero no la resuelven. La liberación comercial ha tenido un efecto totalmente opuesto, porque bajó los precios de los bienes intensivos en la mano de obra no calificada y deprimió el salario de la misma.

Algo similar ocurre en el ámbito doméstico. Las propuestas están orientadas a curar la dolencia en las manifestaciones. La solución de moda consiste en reorientar la totalidad del presupuesto nacional hacia actividades que elevan directamente los ingresos de los estratos más necesitados. Entre las partidas que no cumplen con esta condición se destacan las erogaciones por pensiones, las transferencias regionales, en especial las universidades públicas, las apro-



Las causas de la pobreza están claramente tipificadas en la concentración, el crecimiento y las transferencias de ingresos a los sectores pobres.

piaciones en infraestructura física, los aportes a la vivienda social, el bienestar familiar y el Sena, etc. Su eliminación liberaría \$20 billones y, por simple aritmética, los ingresos de los estratos 1, 2 y 3 más que se triplicarían, por lo que la pobreza quedaría en la historia.

La definición está inspirada en el dogma neoliberal según el cual la única acción efectiva del Estado es el asistencialismo. Todo lo demás es desperdicio o lo puede realizar en forma más adecuada el sector privado. Se da por sentado que la eficiencia y la equidad son separables. La pobreza puede erradicarse sin tocar ni manchar el crecimiento económico.

En cierta forma se ignoran los principios fundamentales de la teoría de la economía pública. El papel del Estado no puede limitarse a actividades asistencialistas. Su presencia es indispensable en la provisión de bienes públicos, la corrección de fallas de mercado, como los subsidios a la educación, la tecnología, la formación de la mano de obra, e incluso la inversión; la compensación de los sectores que están en desventaja, como las pequeñas empresas, los estudiantes medios y pobres y los bienes intensivos en mano de obra no calificada; la realización de actividades que están en condiciones de hacer en mejor forma que el sector privado, como la propiedad de las empresas de servicios públicos y la administración de las necesidades básicas. En términos simples, el Estado, además de propiciar las transferencias a favor de los sectores pobres, tiene una clara función en la mejora de la distribución del ingreso en todos los niveles y en la promoción del crecimiento económico, y no puede renunciar a conciliarlas. Así, el intento de desmontar las funciones centrales del Estado succionándoles \$20 billones para resolver la pobreza, provocaría una caída del producto nacional y un agravamiento de la concentración que neutralizarían el efecto inicial.

El gran error de la concepción neoliberal de la pobreza reside en que considera que los daños sobre la distribución

El papel del Estado no puede limitarse a actividades asistencialistas. Su presencia es indispensable en la provisión de bienes públicos, la corrección de fallas de mercado, como los subsidios a la educación, la tecnología, la formación de la mano de obra, e incluso la inversión.



del ingreso se pueden corregir en las manifestaciones. Las políticas asistencialistas hacen las veces de una ambulancia para recoger a los damnificados del modelo neoliberal. En lugar de construir un modelo que corrija las tendencias de la mala distribución del ingreso y la pobreza en sus causas, se le da rienda suelta al lucro individual y luego se pretende corregir sus destrozos con transferencias de ingresos a los sectores pobres. Así, los estragos de la apertura sobre la brecha salarial y el empleo se tratan de remediar con subsidios al desempleo y la miseria. Como lo señalan la ciencia económica bien entendida y el sentido común, la solución de los problemas en las manifestaciones a la postre resulta ineficiente y, lo peor, inviable.

La alternativa no es otra que avanzar en una teoría sobre la pobreza. Existe una amplia evidencia de que las causas de la pobreza se encuentran en la concentración, la brecha salarial

ocasionada por la apertura comercial, el bajo crecimiento, y el incumplimiento de los derechos fundamentales de salud, educación, vivienda digna y trabajo. Si adicionalmente se tiene en cuenta que la eficiencia y la equidad no son separables, la solución de fondo se puede lograr sólo dentro de una concepción que concilie las transferencias de ingresos a los sectores pobres con la distribución del ingreso y el crecimiento. De hecho, se plantea un marco institucional que corrija las tendencias de la concentración mediante impuestos y re-

gulación de los mercados, proteja los bienes intensivos en mano de obra no calificada, propicie un perfil de crecimiento liderado por la industria y asegure el cumplimiento de los derechos fundamentales de la salud, educación, vivienda digna y empleo.

BIBLIOGRAFÍA

- Dollar, D. and Kraay, A. (2000), "Growth is Good for The Poor", Development Research Group, The World Bank. Artículo mimeografiado.
Sarmiento, E. (2002), *El modelo propio*, Bogotá, Norma-Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería

El módulo de finura de la arena y el comportamiento del concreto fresco

Pedro Nel Quiroga Saavedra

El módulo de finura se ha utilizado para controlar la uniformidad de la granulometría de agregados, especialmente de agregados finos, y para considerar así mismo la granulometría del agregado fino en el proceso de diseño de mezclas de concreto. Sin embargo, agregados con el mismo valor del módulo de finura pueden tener granulometrías muy diferentes y, por tanto, dar lugar a concretos con comportamientos muy diferentes también.

En este artículo se presentan los resultados de dos series de mezclas de concreto hechas con agregados finos con granulometrías distintas pero con el mismo módulo de finura, para mostrar la importancia de la granulometría de los agregados y que el análisis de la granulometría no se debe limitar a calcular el módulo de finura.

INTRODUCCIÓN

En el método ACI 211 para diseño de mezclas de concreto se utiliza el módulo de finura del agregado fino como una medida de su granulometría (distribución de tamaño). Este módulo se define como la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar dividida por 100 (Mindess, 1981), donde los tamices estándar son los Nos. 4, 8, 16, 30, 50 y 100. Aunque el módulo de finura es una manera rápida y simple de evaluar la granulometría de agregados y verificar fácilmente su uniformidad, agregados con el mismo módulo de finura pueden tener distribuciones de tamaño muy distintas, las cuales pueden resultar en concreto con características bastante diferentes.

Implícitamente, la metodología usada por el ACI 211 busca que la densidad (grado de empaquetamiento) de los agregados sea cercana a la máxima, con el fin de minimizar la cantidad de pasta necesaria para llenar los vacíos entre las partículas del agregado. Sin embargo, la optimización de agregados debe ir más allá de obtener el empaquetamiento máximo o el asentamiento máximo, y para ello requiere la granulometría, así como la forma y textura de los granos de agregado.

Para estudiar el efecto de granulometrías diferentes con el mismo módulo de finura se hicieron, como parte de un proyecto de investigación en la Universidad de Texas, en Austin (Quiroga, 2003), un par de series de

mezclas de concreto, las cuales se describen posteriormente, al igual que los resultados obtenidos. Para cada serie la cantidad de agregado grueso se determinó siguiendo el método ACI 211. Se midió el asentamiento (figura 1) y se utilizó como criterio básico de comparación. También se hicieron observaciones cualitativas sobre la manejabilidad y cohesión de las mezclas.



Figura 1. Ensayo de asentamiento (Cement Association of Canada).

SERIE 1. AGREGADO DENTRO DE LOS LÍMITES DE LA NORMA ASTM C 33

Para esta serie se utilizó arena de río (granos lisos y redondeados), que se tamizó y se recombino para obtener cuatro muestras que tenían el mismo módulo de finura de 2.9 pero gradaciones diferentes que cumplían con los límites de las normas ASTM C 33 y NTC 174 (figura 2). El agregado grueso, grava de río de la misma fuente que

Ph.D. Director del Centro de Estudios de Estructuras, Materiales y Construcción de la Escuela Colombiana de Ingeniería
pquiroga@escuelaing.edu.co

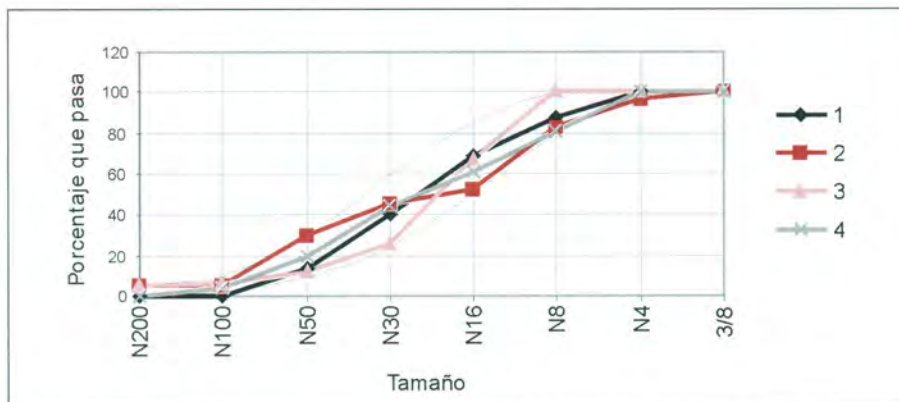


Figura 2. Granulometría de las cuatro muestras de arena con módulo de finura de 2.9.

la arena, también se tamizó y recombino de tal modo que las cuatro mezclas tuvieran agregado grueso con la misma granulometría. Por lo demás, todas las muestras tenían la misma cantidad de pasta para que la única variable fuera la granulometría del agregado fino.

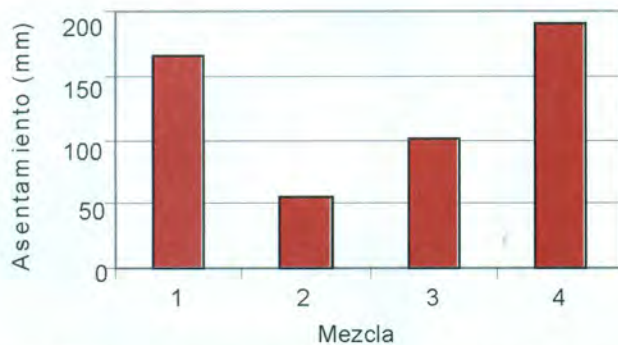


Figura 3. Asentamiento de las cuatro mezclas de concreto hechas con arena de módulo de finura 2.9.

En la figura 3 se muestran los resultados de asentamiento para las cuatro mezclas, en donde se puede ver que hay diferencias significativas entre ellas, especialmente entre la 2 y la 4, las cuales no se circunscriben al valor del asentamiento, ya que también se observaron diferencias significativas en manejabilidad y cohesión.

SERIE 2. AGREGADO FUERA DE LOS LÍMITES DE LA NORMA ASTM C 33

Para esta serie se utilizó agregado fino triturado con alto contenido de microfinos. El material tamizado se recombino para obtener cinco mezclas que tenían el mismo módulo de finura de 2.5, pero gradaciones diferentes que no cumplían necesariamente los límites de las normas ASTM C 33 y NTC 174, algunas de ellas con alto contenido de microfinos (figura 4). La justificación para usar granulometría fuera de las normas es que dichas normas lo permiten, siempre y cuando se demuestre que la calidad del concreto es igual o mejor que la especificada.

En la figura 5 se presentan los resultados de asentamiento para las cinco mezclas, en donde se puede ver que hay diferencias significativas entre ellas, especialmente entre la 3 y la 4. Al igual que en la otra serie, éstas no se circunscriben al valor del asentamiento sino que también hay diferencias en manejabilidad y cohesión. Aunque las diferencias en asentamiento son del mismo orden de magnitud para las dos series, las diferencias en manejabilidad y cohesión fueron mayores entre mezclas de la segunda serie.

En la figura 5 se presentan los resultados de asentamiento para las cinco mezclas, en donde se puede ver que hay diferencias significativas entre ellas, especialmente entre la 3 y la 4. Al igual que en la otra serie, éstas no se circunscriben al valor del asentamiento sino que también hay diferencias en manejabilidad y cohesión. Aunque las diferencias en asentamiento son del mismo orden de magnitud para las dos series, las diferencias en manejabilidad y cohesión fueron mayores entre mezclas de la segunda serie.

CONCLUSIONES

Aunque el módulo de finura es una forma simple y rápida de considerar la granulometría del agregado fino, tiene limitaciones que se deben tener en cuenta. Agregados con el

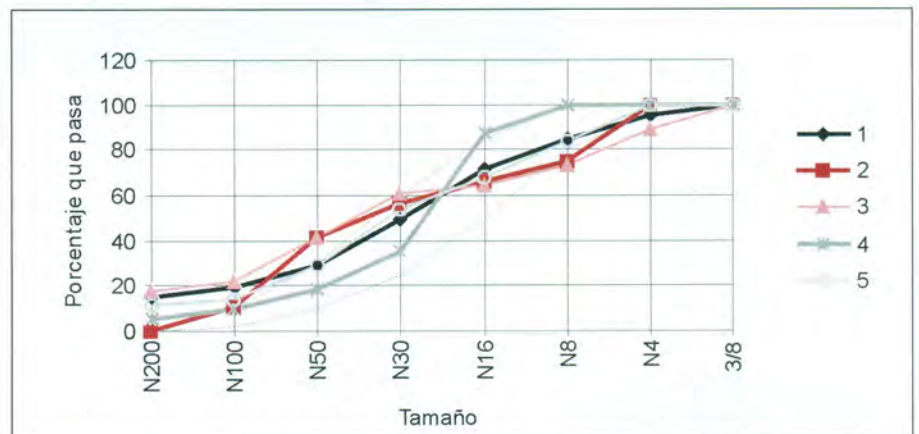


Figura 4. Granulometría de arenas trituradas con módulo de finura de 2.5.

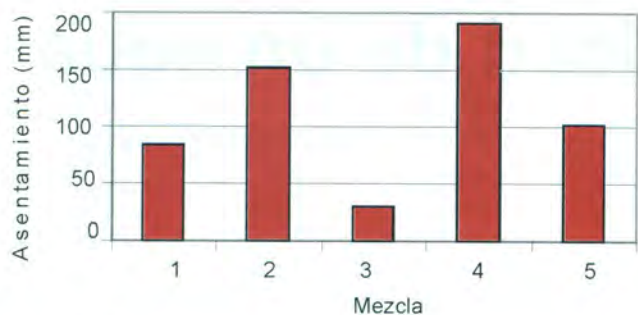


Figura 5. Asentamiento de las cinco mezclas de concreto hechas con arena de módulo de finura 2.5.

mismo módulo de finura pueden tener granulometrías significativamente diferentes y, por tanto, dar lugar a mezclas de concreto con comportamientos muy diferentes.

Aunque en este artículo no se están proponiendo cambios al método de diseño de mezclas de concreto ACI 211, que utiliza el módulo de finura del agregado fino dentro del proceso, sí se recomienda no limitar el análisis de la granulometría del agregado al cálculo del módulo de finura ni al cumplimiento de los límites de las normas ASTM y NTC, pues el efecto de la granulometría en el comportamiento del concreto fresco es muy importante.

REFERENCIAS

Mindess, S. and Young, J.F., *Concrete*, Nueva Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1981.

Quiroga, P., "The Effect of the Aggregate Characteristics on the Performance of Portland Cement Concrete". Disertación, Universidad de Texas, Austin, diciembre de 2003.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO

ESPECIALIZACIÓN

RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

Registro ICFES: 28115333091100111100

Inscripciones: 2 de junio a 13 de julio • Título: Especialista

DIPLOMADOS

MANEJO FINANCIERO DE NEGOCIOS - Enfoque práctico

Inscripciones hasta el 24 de junio • 132 horas

GERENCIA DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES

Inscripciones hasta el 1º de julio • 144 horas

CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES

Inscripciones hasta el 14 de julio • 195 horas

E-TRADING: INVERSIONES EN WALL STREET A TRAVÉS DE INTERNET

Inscripciones hasta el 22 de julio • 123 horas

CURSOS

GERENCIA DE PROYECTOS APLICADA

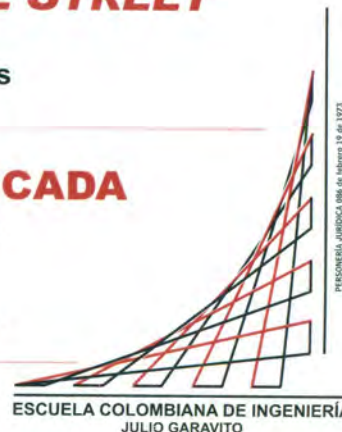
Inscripciones hasta el 6 de julio • 24 horas

AUTOCAD 2D - 3D

Inscripciones hasta el 6 de julio • 24 horas

MAYORES INFORMES: 668 36 22 • Av 13 No. 205 - 59 • Bogotá, D.C.

www.escuelaing.edu.co • posgrados@escuelaing.edu.co



Evaluación de la calidad de un agua embotellada

Rosa Margarita Camelo Suárez* y Jairo Alberto Romero Rojas**

El agua embotellada es un alimento susceptible de sufrir deterioro de su calidad durante su transporte y almacenamiento en enfriadores y dispensadores. En este artículo se resumen los resultados obtenidos durante la observación de la evolución de la calidad de un agua embotellada en envase plástico transparente y abastecida por dispensador con enfriamiento, en condiciones ambientales de luz solar, mediante determinaciones de turbiedad, color, pH, cloro residual, conductividad, temperatura, AUV_{254} , coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y conteo heterotrófico en placa⁽¹⁾.

INTRODUCCIÓN

Según un estudio del Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales (NRDC, por su sigla en inglés)⁽²⁾, el agua embotellada que se vende en Estados Unidos no es necesariamente más limpia ni más segura para beber que la mayor parte de las aguas potables. El estudio del NRDC incluyó pruebas de más de mil botellas de 103 marcas de agua embotellada. A pesar de que se encontró que muchas de las aguas examinadas eran de alta calidad, algunas marcas estaban contaminadas; cerca de la tercera parte de estas aguas contenían algún nivel de contaminación, incluyendo químicos orgánicos sintéticos, bacterias y arsénico. Por lo

menos una de las muestras excedía el límite permitido por los estándares establecidos para la industria del agua embotellada. Igualmente se indicó que las bacterias, aun en pequeñas cantidades, en muestras de agua embotellada, podrían representar un riesgo para personas con sistemas inmunológicos débiles, como es el caso de los pacientes de sida, los ancianos o la gente que recibe tratamiento de quimioterapia. El mercado mundial de agua embotellada representa un volumen anual de 89.000 millones de litros y su valor se estima en US\$22.000 millones. El 75%

del mercado mundial está aún bajo el control de actores locales. Más de la mitad (59%) del agua embotellada que se bebe en el mundo es purificada, en tanto que el 41% restante es mineral o de manantial. Mientras el agua embotellada se origina en fuentes protegidas (75% en manantiales y acuíferos subterráneos), el agua de abastecimiento proviene principalmente de ríos y lagos.

El agua embotellada es agua de cualquier origen: agua de manantial, agua mineral o agua mineralizada que no contiene materia extraña ni contaminantes químicos, físicos o microbiológicos que causen efectos nocivos a la salud y que, para su comercialización, se presenta al consumidor en envases cerrados.

El consumo mundial de agua embotellada crece constantemente a una tasa promedio del 12% anual y es considerado el sector más dinámico de la industria de la alimentación y la bebida. En la tabla 1 se observa el crecimiento porcentual del consumo de agua embotellada en el mundo entre los años de 1996 y 2001, en la figura 1 se incluyen los consumos de agua embotellada en Latinoamérica y en la tabla 2 se presentan los costos de agua embotellada en Colombia.

El agua embotellada es un alimento susceptible de sufrir deterioro de su calidad durante su transporte y almacenamiento en enfriadores y dispensadores.

* Ingeniera civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

** I.C., MEEE, profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería
jromero@escuelaing.edu.co

Tabla 1
Crecimiento porcentual del consumo de agua embotellada
Período 1996-2001⁽³⁾

| Región | Crecimiento |
|----------------|-------------|
| Norteamérica | 16 |
| Asia-Australia | 31 |
| Europa | 17 |
| Latinoamérica | 20 |
| Otros | 16 |

La calidad del agua embotellada depende de la calidad del agua empleada para su fabricación y de las condiciones sanitarias existentes durante el proceso de embotellado,

transporte y manipulación. La contaminación durante estas etapas del proceso puede ser consecuencia de condiciones higiénicas deficientes en la planta de producción, del uso de envases sucios o de manejo indebido. El agua embotellada debe cumplir los mismos requisitos de calidad bacteriológica del agua potable. Si la fuente de agua está expuesta a contaminación fecal, el procesamiento del agua debe incluir un tratamiento eficaz de filtración y desinfección para garantizar que el agua esté exenta de bacterias patógenas.

La vigilancia sistemática del agua embotellada tiene gran importancia para la salud pública, especialmente en las zonas donde se consume con frecuencia. Los microorganismos patógenos pueden pasar por contacto directo del producto con quienes lo manipulan, a través de las superficies de contacto o por el aire. Este tipo de agua de consumo humano debe analizarse, incluyendo pruebas con muestras tanto de la fuente como del producto embotellado, con una frecuencia que depende del volumen producido. Cuando los análisis demuestran que el agua no se ajusta a las normas, es necesario efectuar muestreos repetidos e inspecciones sanitarias para determinar el origen de la contaminación y las medidas que se deben adoptar para eliminar el riesgo de contaminación.

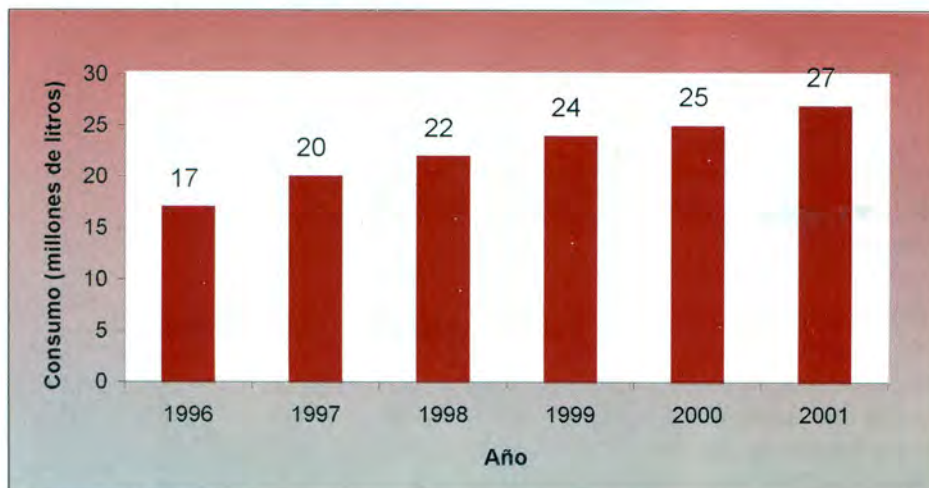


Figura 1. Consumo de agua embotellada en Latinoamérica.

Tabla 2
Costo del agua embotellada en Colombia en el año 2003⁽⁴⁾

| Cantidad (litros) | Pesos colombianos | Empresa productora |
|-------------------|-------------------|--------------------|
| 0,26 | 650 | Caribe Postobón |
| 0,26 | 500 | Bavaria |
| 0,50 | 1.000 | Manantial |
| 0,50 | 1.000 | Cristal Postobón |
| 0,50 | 1.000 | Bavaria |
| 0,50 | 900 | Panpaya |
| 5,00 | 2.800 | Indega |
| 5,00 | 2.900 | Postobón |
| 5,00 | 2.200 | Bavaria |
| 5,00 | 2.600 | Pañpaya |

En la tabla 3 se incluyen los estándares de calidad para agua embotellada establecidos por diferentes entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Asociación Internacional del Agua Embotellada (IBWA), Colombia y otras.

Para conservar las condiciones físicas, bacteriológicas y químicas del agua durante su proceso de manipulación, transporte y comercialización, se deben cumplir las condiciones establecidas por las normas que rigen el envasado y etiquetado de este producto. La Resolución 8688 de 1979, expedida por el Ministerio de Salud de Colombia, presenta las exigencias sobre el rotulado que debe tener el envase del agua. La Resolución 12186 de 1991, del Ministerio de Salud de Colombia, estipula los materiales de los envases que se deben utilizar y las condiciones de cierre de ellos. El Código de Prácticas de Higiene para los Alimentos Envasados, CAC/RCP 46 de 1999, promulgado por el Codex, establece recomendaciones para evitar la proliferación de

microorganismos patógenos, los principios para análisis de riesgos y los controles para puntos críticos (HACCP). Este código formula recomendaciones para los procesos e instalaciones de producción de alimentos, y establece los principios generales de higiene de ellos (CAC/RCP 1-1969, Rev. 3- 1997), a los cuales el agua embotellada se debe someter.

METODOLOGÍA

Se utilizaron dos conjuntos de muestras de agua marca Agua Cristal Postobón. El primer conjunto

Tabla 3
Normas de calidad del agua embotellada

| Parámetros | IBWA ⁽¹⁰⁾ | FDA ⁽¹¹⁾ | EPA ⁽¹²⁾ | Colombia ⁽¹³⁾ | México ⁽¹⁴⁾ | España ⁽¹⁵⁾ | OMS ⁽¹⁶⁾ |
|--|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| Químicos inorgánicos | | | | | | | |
| Arsénico mg/L | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,025 | 0,05 | 0,05 |
| Bario mg/L | 1 | 2 | 2 | 1 | - | - | - |
| Cloro mg/L | 0,1 | 4 | 4 | 1 | 0,9 | - | - |
| Cromo mg/L | 0,05 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | - | 0,05 | 0,05 |
| Plomo mg/L | 0,005 | 0,005 | 0,015 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,05 |
| Mercurio mg/L | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | - | 0,001 | 0,001 |
| Níquel mg/L | 0,1 | 0,1 | - | - | 0,02 | 0,05 | - |
| Nitritos mg/L - N | 1 | 1 | 1 | 0,1 | - | 0,1 | - |
| Nitratos mg/L - N | 10 | 10 | 10 | 15 | - | 50 | 10 |
| Selenio mg/L | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Plata mg/L | 0,025 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,01 | - |
| Microbiológicos | | | | | | | |
| Coliformes totales, NMP/100mL | 0UFC/100 mL | < 9,2 | NEGATIVO | < 2,0 | < 1,1 | 0 UFC/100 mL | 0 |
| Coliformes fecales, NMP/100 mL | - | - | - | < 2,0 | - | 0 UFC/100 mL | 0 |
| <i>Escherichia coli</i> , UFC/100 mL | 0 | - | - | - | - | - | - |
| Conteo total bacteriano, UFC/mL | - | - | 500 | 100 | 100 | - | - |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , NMP/mL | - | - | - | < 2,0 | - | - | - |
| Físicos | | | | | | | |
| Color (UPTCo) | 5 | 15 | 5 | 15 | 15 | 20 | 15 |
| Olor y sabor, NDO | 3 | 3 | 3 | Inobjetable | Inodoro insípido | - | Aceptables |
| Turbiedad (UTN) | 0,5 | 5 | 0,5 | 2 | 5 | 6 | 5 |
| Sólidos totales (mg/L) | - | - | - | 200 | - | - | 1.000 |
| pH | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 9,0 | - | 6,5 - 8,5 | 6,5 - 8,5 |
| Conductividad µmho/cm | - | - | - | - | - | 400 | - |

corresponde a muestras de una botella empleada como tístico para el estudio, adquirida el 19 de enero de 2004, la cual se mantiene a temperatura ambiente y no se usa para consumo. El segundo conjunto corresponde a muestras de botella para consumo normal, la que en el transcurso del estudio se reemplaza a medida que se agota y que se mantiene refrigerada por un dispensador automático expuesto al medio ambiente.

Los parámetros analizados sobre cada muestra son color, turbiedad, conductividad, temperatura, AUV₂₅₄, pH, cloro residual, coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y conteo heterotrófico en placa, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Standard Methods⁽⁶⁾. Los ensayos bacteriológicos se realizaron por la técnica de filtro membrana, utilizando para coliformes fecales el medio FC, para coliformes totales m-Endo, para *Escherichia coli* el medio ColiBlue, y para el conteo heterotrófico en placa medio TGE (caldo de glucosa y triptona). Todos los medios de cultivo para los ensayos bacteriológicos son suministrados por Millipore⁽⁶⁾. Los ensayos se realizaron durante un período de 105 días, entre el 28 de enero y el 12 de mayo de 2004. La frecuencia de ocurrencia de cada parámetro (f) se calcula como se indica en la referencia 9.

RESULTADOS

En las tablas 4 a 10 se incluyen los resultados obtenidos para los dos conjuntos de muestras.

Tabla 4
pH del agua embotellada

| Días, ensayo | f (%) | Sin uso | | Con uso | |
|---------------------|-------|---------|---------------|---------|---------------|
| | | pH | pH ascendente | pH | pH ascendente |
| 0 | 3,1 | 7,22 | 6,87 | 7,38 | 6,98 |
| 7 | 9,4 | 7,02 | 6,89 | 7,29 | 7,15 |
| 13 | 15,6 | 6,87 | 6,98 | 6,98 | 7,21 |
| 21 | 21,9 | 7,21 | 7,02 | 7,40 | 7,23 |
| 28 | 28,1 | 6,89 | 7,14 | 7,21 | 7,27 |
| 35 | 34,4 | 6,98 | 7,17 | 7,51 | 7,29 |
| 42 | 40,6 | 7,44 | 7,19 | 7,23 | 7,32 |
| 49 | 46,9 | 7,19 | 7,21 | 7,32 | 7,38 |
| 56 | 53,1 | 7,17 | 7,22 | 7,47 | 7,40 |
| 63 | 59,4 | 7,39 | 7,23 | 7,51 | 7,47 |
| 77 | 65,6 | 7,14 | 7,39 | 7,15 | 7,5 |
| 82 | 71,9 | 7,41 | 7,41 | 7,68 | 7,51 |
| 84 | 78,1 | 7,61 | 7,44 | 7,63 | 7,51 |
| 91 | 84,4 | 7,23 | 7,52 | 7,27 | 7,52 |
| 97 | 90,6 | 7,52 | 7,61 | 7,50 | 7,63 |
| 105 | 96,9 | 7,64 | 7,64 | 7,52 | 7,68 |
| Promedio aritmético | | 7,25 | | 7,38 | |
| Desviación estándar | | 0,24 | | 0,19 | |

Tabla 5
Color del agua embotellada

| Días, ensayo | f (%) | Sin uso | | Con uso | |
|---------------------|-------|----------|---------------|----------|---------------|
| | | Color UC | pH ascendente | Color UC | pH ascendente |
| 0 | 3,1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 7 | 9,4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 13 | 15,6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 21 | 21,9 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 28 | 28,1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 35 | 34,4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 42 | 40,6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 49 | 46,9 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 56 | 53,1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 63 | 59,4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 77 | 65,6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 82 | 71,9 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 84 | 78,1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 91 | 84,4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 97 | 90,6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 105 | 96,9 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Promedio aritmético | | 5 | | 5 | |
| Desviación estándar | | 0 | | 0 | |

Tabla 7
Turbiedad del agua embotellada

| Días, ensayo | f (%) | Sin uso | | Con uso | |
|---------------------|-------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| | | Turbiedad (UTN) | Turbiedad (UTN) ascendente | Turbiedad (UTN) | Turbiedad (UTN) ascendente |
| 0 | 3,1 | 0,347 | 0,104 | 0,505 | 0,118 |
| 7 | 9,4 | 0,135 | 0,108 | 0,290 | 0,120 |
| 13 | 15,6 | 0,160 | 0,109 | 0,253 | 0,132 |
| 21 | 21,9 | 0,208 | 0,135 | 0,430 | 0,141 |
| 28 | 28,1 | 0,280 | 0,142 | 0,344 | 0,145 |
| 35 | 34,4 | 0,330 | 0,160 | 0,343 | 0,167 |
| 42 | 40,6 | 0,210 | 0,171 | 0,203 | 0,195 |
| 49 | 46,9 | 0,250 | 0,187 | 0,141 | 0,203 |
| 56 | 53,1 | 0,142 | 0,208 | 0,195 | 0,234 |
| 63 | 59,4 | 0,104 | 0,210 | 0,167 | 0,253 |
| 77 | 65,6 | 0,187 | 0,212 | 0,234 | 0,272 |
| 82 | 71,9 | 0,264 | 0,250 | 0,272 | 0,290 |
| 84 | 78,1 | 0,212 | 0,264 | 0,132 | 0,343 |
| 91 | 84,4 | 0,109 | 0,280 | 0,120 | 0,344 |
| 97 | 90,6 | 0,171 | 0,330 | 0,145 | 0,430 |
| 105 | 96,9 | 0,108 | 0,347 | 0,118 | 0,505 |
| Promedio aritmético | | 0,201 | | 0,243 | |
| Desviación estándar | | 0,077 | | 0,115 | |

Tabla 6
Conductividad del agua embotellada

| Días, ensayo | f (%) | Sin uso | | Con uso | |
|---------------------|-------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | | Conductividad (μ hos/cm) | Conductividad ascendente | Conductividad (μ hos/cm) | Conductividad ascendente |
| 7 | 3,3 | 283 | 252 | 314 | 265 |
| 13 | 10,0 | 288 | 265 | 309 | 266 |
| 21 | 16,7 | 297 | 267 | 360 | 270 |
| 28 | 23,3 | 281 | 268 | 363 | 276 |
| 35 | 30,0 | 297 | 269 | 333 | 309 |
| 42 | 36,7 | 297 | 270 | 266 | 314 |
| 49 | 43,3 | 252 | 271 | 276 | 316 |
| 56 | 50,0 | 269 | 280 | 265 | 328 |
| 63 | 56,7 | 268 | 281 | 270 | 332 |
| 77 | 63,3 | 280 | 283 | 340 | 333 |
| 82 | 70,0 | 271 | 288 | 334 | 334 |
| 84 | 76,7 | 292 | 292 | 341 | 340 |
| 91 | 83,3 | 267 | 297 | 328 | 341 |
| 97 | 90,0 | 270 | 297 | 332 | 360 |
| 105 | 96,7 | 265 | 297 | 316 | 363 |
| Promedio aritmético | | 278 | | 316 | |
| Desviación estándar | | 14 | | 33 | |

Tabla 8
AUV₂₅₄ del agua embotellada

| Días, ensayo | f (%) | Sin uso | | Con uso | |
|---------------------|-------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| | | AUV _{254'} cm ⁻¹ | AUV _{254'} cm ⁻¹ ascendente | AUV _{254'} cm ⁻¹ | AUV _{254'} cm ⁻¹ ascendente |
| 0 | 3,8 | 0,0332 | 0,0045 | 0,0377 | 0,0228 |
| 7 | 11,5 | 0,0323 | 0,0174 | 0,0376 | 0,0230 |
| 13 | 19,2 | 0,0530 | 0,0247 | 0,0375 | 0,0320 |
| 21 | 26,9 | 0,0326 | 0,0257 | 0,0575 | 0,0375 |
| 28 | 34,6 | 0,0045 | 0,0320 | 0,0580 | 0,0376 |
| 35 | 42,3 | 0,0174 | 0,0323 | 0,0477 | 0,0377 |
| 42 | 50,0 | 0,0247 | 0,0326 | 0,0230 | 0,0477 |
| 49 | 57,7 | 0,0257 | 0,0332 | 0,1020 | 0,0482 |
| 56 | 65,4 | 0,0362 | 0,0343 | 0,0745 | 0,0490 |
| 63 | 73,1 | 0,0355 | 0,0352 | 0,0228 | 0,0575 |
| 77 | 80,8 | 0,0320 | 0,0355 | 0,0320 | 0,0580 |
| 97 | 88,5 | 0,0343 | 0,0362 | 0,0482 | 0,0745 |
| 105 | 96,2 | 0,0352 | 0,0530 | 0,0490 | 0,1020 |
| Promedio aritmético | | 0,0305 | | 0,0483 | |
| Desviación estándar | | 0,0113 | | 0,0217 | |

Tabla 9
Temperatura del agua embotellada

| Días, ensayo | f (%) | Sin uso | | Con uso | |
|---------------------|-------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| | | Temperatura °C | Temperatura °C ascendente | Temperatura °C | Temperatura °C ascendente |
| 0 | 3,1 | 20 | 17 | 8 | 5 |
| 7 | 9,4 | 18 | 18 | 8 | 5 |
| 13 | 15,6 | 18 | 18 | 7 | 5 |
| 21 | 21,9 | 18 | 18 | 5 | 5 |
| 28 | 28,1 | 19 | 18 | 6 | 5 |
| 35 | 34,4 | 18 | 18 | 5 | 5 |
| 42 | 40,6 | 18 | 18 | 8 | 5 |
| 49 | 46,9 | 17 | 18 | 5 | 5 |
| 56 | 53,1 | 18 | 18 | 5 | 6 |
| 63 | 59,4 | 19 | 18 | 5 | 6 |
| 77 | 65,6 | 18 | 18 | 6 | 7 |
| 82 | 71,9 | 18 | 18 | 5 | 8 |
| 84 | 78,1 | 18 | 18 | 5 | 8 |
| 91 | 84,4 | 18 | 19 | 5 | 8 |
| 97 | 90,6 | 18 | 19 | 8 | 8 |
| 105 | 96,9 | 18 | 20 | 8 | 8 |
| Promedio aritmético | | 18 | | 6 | |
| Desviación estándar | | 1 | | 1 | |

Tabla 10
Conteo heterotrófico en placa del agua embotellada

| Días, ensayo | f (%) | Sin uso | | Con uso | |
|---------------------|-------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| | | CHP (UFC/mL) | CHP (UFC/mL) ascendente | CHP (UFC/mL) | CHP (UFC/mL) ascendente |
| 21 | 5,00 | 135 | 130 | 330 | 180 |
| 35 | 15,00 | 150 | 135 | 350 | 190 |
| 42 | 25,00 | 130 | 150 | 300 | 200 |
| 63 | 35,00 | 500 | 180 | 500 | 300 |
| 77 | 45,00 | 500 | 190 | 500 | 330 |
| 82 | 55,00 | 180 | 200 | 180 | 350 |
| 84 | 65,00 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 91 | 75,00 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 97 | 85,00 | 190 | 500 | 190 | 500 |
| 105 | 95,00 | 200 | 500 | 200 | 500 |
| Promedio aritmético | | 300 | | 355 | |
| Desviación estándar | | 175 | | 137 | |

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para los 105 días de ensayo, el pH del agua sin uso osciló entre 7,64 y 7,87, con un promedio de 7,25. Para los cinco botellones de agua consumidos por uso, el pH osciló entre 6,98 y 7,68, con un promedio de 7,38. En consecuencia, no existe un cambio radical en el pH para ninguna de las dos aguas y, por tanto, tampoco en sus características de alcalinidad y acidez. Además, no hay ninguna diferencia notable entre el pH del agua sin uso y el pH del agua con uso. Por otra parte, no se observó ninguna tendencia de cambio de pH en función del tiempo, pues los valores oscilan sin proporcionalidad directa con el período de análisis. En todo este lapso el pH satisface el estándar de calidad estipulado por la norma colombiana.

El color del agua embotellada, durante los 105 días de almacenamiento, no presentó ningún cambio, manteniéndose en 5 UPtCo para los dos conjuntos de muestras.

El color del agua embotellada, durante los 105 días de almacenamiento, no presentó ningún cambio, manteniéndose en 5 UPtCo para los dos conjuntos de muestras.

Los valores de conductividad para el agua sin uso varían entre 250 y 300 $\mu\text{mho/cm}$, con un valor promedio de 278 $\mu\text{mho/cm}$, y entre 265 y 365 $\mu\text{mho/cm}$, con un promedio de 316 $\mu\text{mho/cm}$ para el agua con uso. El rango de variación y el valor promedio de la conductividad en la muestra sin uso son menores que el de la muestra con uso, debido probablemente a menores cambios de la forma o contenido de sólidos disueltos totales.

La turbiedad oscila entre 0,100 y 0,500 UTN, con un valor promedio de 0,200 UTN para agua sin uso y de 0,240 UTN para la muestra con uso. El rango indica que no hay polución por introducción de sólidos suspendidos y que el 100% del tiempo satisface la norma colombiana para agua embotellada.

Para el agua sin uso, la AUV varía entre 0,004 y 0,530 cm^{-1} , con un promedio de 0,0305 cm^{-1} . Para el agua con uso, la AUV osciló entre 0,0228 y 0,1020 cm^{-1} , con un promedio de 0,048 cm^{-1} . Los valores de AUV para el agua con uso son siempre superiores a los del agua sin uso, debido probablemente a la manipulación que se le imparte a esta muestra. La AUV₂₅₄ para aguas buenas se ha sugerido que sea menor de 0,04 cm^{-1} , valor que corresponde aproximadamente a una concentración de carbono orgánico total menor de 2 $\text{mg/L}^{(7)}$. Para la muestra sin uso, el 16% del

tiempo la AUV sobrepasa el límite sugerido de $0,04 \text{ cm}^{-1}$, y para la muestra con uso más del 50% del tiempo se supera dicho límite (figura 1).

La temperatura de la muestra sin uso varía entre 17 y 20 °C, con un valor promedio de 18 °C, valores similares a los de la temperatura ambiente. La muestra con uso presenta una temperatura promedio de 6 °C, que corresponde a la temperatura del dispensador; la diferencia de temperatura entre las muestras se debe a las condiciones en que se encuentran almacenadas.

En todos los casos, tanto la muestra sin uso como la de uso no contie-

nen cloro residual; por tanto, el agua embotellada no cumple la norma colombiana⁽⁸⁾ de mantener un cloro residual total entre $0,6$ y $1,2 \text{ mg/L-Cl}_2$ o de $0,5$ a $1,0 \text{ mg/L}$ de cloro residual libre. La carencia de cloro residual en las botellas de agua indica la necesidad de mantener condiciones asépticas estrictas de manejo del agua para garantizar su potabilidad.

Los valores del CHP oscilan entre 130 y 500 UFC/mL , con un promedio de 300 UFC/mL para el agua sin uso, y de 180 a 500 UFC/mL , con un promedio de 355 UFC/mL para el agua con uso. Se puede observar que el CHP de las dos

muestras es similar, la cuenta bacteriana no sigue una tendencia de aumento directo con el tiempo de almacenamiento, lo que indica que no hay deterioro en la calidad microbiana del agua. El agua cumple con el límite establecido para CHP por la Usepa, por la norma de Perú y por la norma de Uruguay, pero no se ajusta al estándar establecido en Colombia y en México. Al respecto vale la pena anotar que las diferencias entre dichas normas es de un factor igual a 5 ; 500 UFC/mL para las normas de la EPA, Perú y Uruguay, y de 100 UFC/mL para la norma colombiana y mexicana. Aunque el CHP no es estándar obligado de calidad bacteriológica del agua, en la mayor parte de las normas sirve para evaluar calidad microbiológica, y parece más razonable un valor de 500 UFC/mL para dicho estándar.

La muestra con uso presenta una temperatura promedio de 6 °C, que corresponde a la temperatura del dispensador; la diferencia de temperatura entre las muestras se debe a las condiciones en que se encuentran almacenadas.

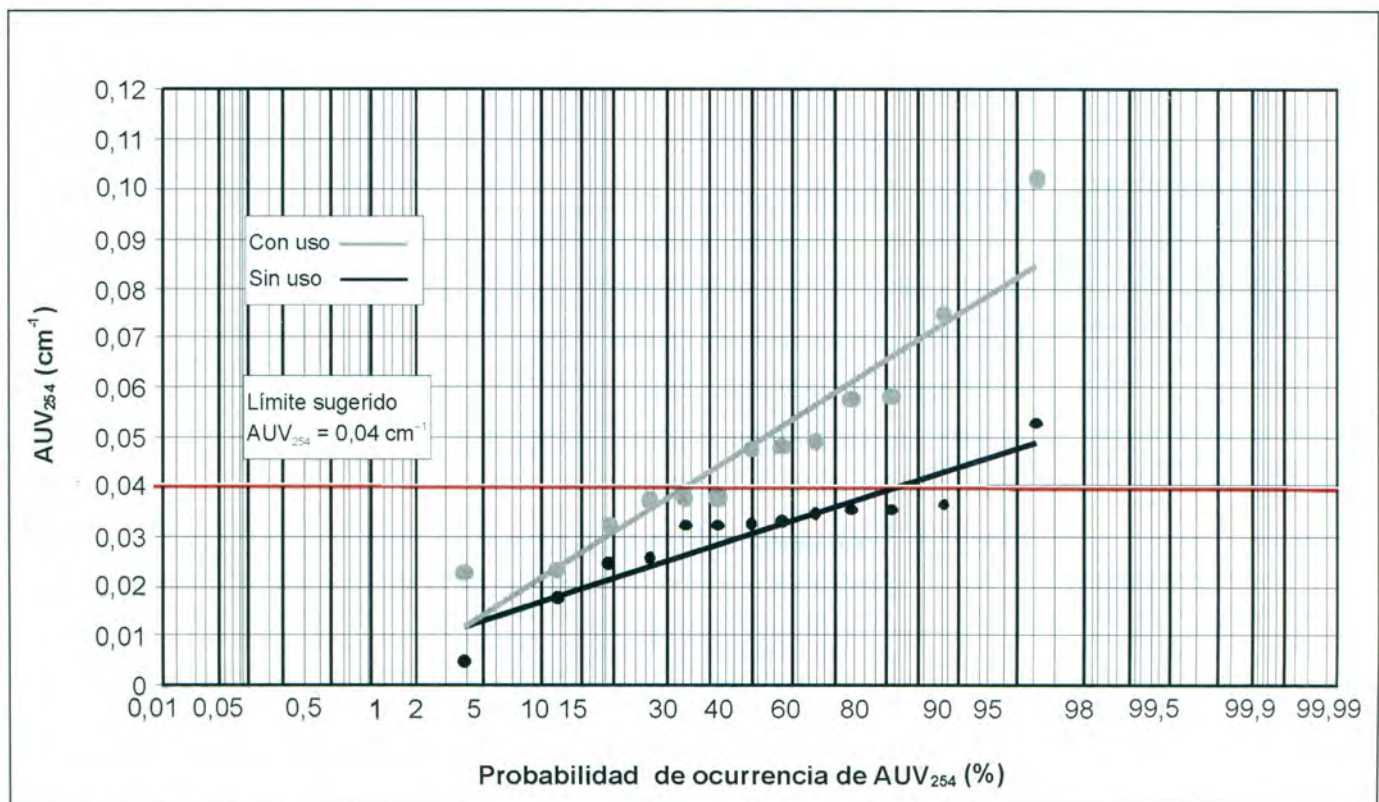


Figura 2. AUV₂₅₄ del agua embotellada.

La presencia en el agua de coliformes totales (CT) se considera un índice evidente de la ocurrencia de contaminación fecal y, por ende, de contaminación de organismos patógenos. El ensayo de coliformes totales arrojó en todos los casos resultados negativos y demuestra que no existió contaminación fecal.

La determinación de coliformes fecales (CF) pretende distinguir entre coliformes de origen humano o animal y coliformes del suelo, utilizando el medio FC. El ensayo de coliformes fecales no presentó indicadores positivos de presencia de bacterias de origen intestinal, confirmando que el agua está libre de estas bacterias y la ausencia de contaminación fecal.

La *Escherichia coli* es la bacteria indicadora por excelencia del grupo coliforme fecal, debido a su presencia permanente en la flora intestinal del hombre y de los animales de sangre caliente. Su ausencia en todas las muestras analizadas indica la ausencia de patógenos entéricos y la garantía de que el agua fue siempre segura para su consumo.

CONCLUSIONES

- La industria de la producción de agua embotellada tiene un gran potencial de desarrollo y crecimiento a causa del aumento acelerado de su consumo por razones diferentes como salud, beneficios dietéticos o por moda, y por el alto precio que los consumidores están dispuestos a pagar por este producto, como es el caso de los japoneses, que pagan hasta US\$33,50 por una botella pequeña.

- La calidad del agua embotellada analizada cumple con los estándares de calidad exigidos para pH, color, conductividad, turbiedad, CHP, CT, CF y *Escherichia coli*, durante un período de 105 días.

- El agua embotellada satisface todos los estándares de control bacteriológico, durante el período de análisis, a pesar de no contener cloro residual.

- Se debe exigir que el envase y la etiqueta de identificación del agua embotellada cuenten con fecha de vencimien-

to, la cual podría ser de un máximo de cien días, manteniendo el envase aislado de la luz solar y refrigerado.

- El agua embotellada analizada no cumple con el estándar de cloro residual, lo cual indica que en el tratamiento se debe suplir esta demanda. Además, debe tenerse en cuenta que sin esta protección el agua exige, por seguridad, condiciones asépticas de manejo.

- El ensayo de la AUV₂₅₄, por su facilidad de determinación, constituye un buen indicador de la calidad del agua embotellada. Es necesario, sin embargo, continuar con estudios de este tipo para formular concentraciones límites de AUV₂₅₄ en el agua embotellada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Camelo Suárez, Rosa Margarita, "Evaluación de la calidad de un agua embotellada", Escuela Colombiana de Ingeniería, mayo de 2004.
2. Natural Resources Defense Council (NRDC), "Agua embotellada", www.nrdc.org, marzo de 1999.
3. Anónimo, "Mercado mundial del agua embotellada", www.wateryear2003.org, junio de 2003.
4. Ventas Panpaya, www.panpaya.com.co/productores, febrero de 2004.
5. APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed., 1998.
6. Millipore, Productos para Microbiología, Purificación y Análisis de Fluidos Ltda., calle 91 No. 27 - 21, Bogotá, D.C., 2000.
7. AWWA, *Water Quality & Treatment, A Handbook of Community Water Supplies*, McGraw Hill, 1999.
8. Ministerio de Salud de Colombia, Decreto 475 de 1998, Normas de calidad de agua potable.
9. Romero Rojas, Jairo Alberto, *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*, 3^a ed., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.
10. IBWA, Consumo de agua embotellada, www.bottedwater.org, marzo de 2004.
11. FDA, Norma de calidad de agua potable, FDA, www.bottedwater.org, marzo de 2004.
12. EPA, Norma de la EPA para agua potable, www.epa.gov, marzo 2004.
13. Ministerio de Salud de Colombia, Resolución 12186 del 20 de septiembre de 1991.
14. Secretaría de Salud de México, Norma Mexicana Nom-201-SSA1-2002, Productos y Servicios. Agua y Hielo para Consumo Humano, Envasada y a Granel, Especificaciones Sanitarias, febrero de 2004.
15. Secretaría de Salud de España, Real Decreto 1138 de 1990, Reglamentación técnica sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público. <http://noticias.juridicas.com.es>, septiembre de 1990.
16. OPS, OMS, *Guías para la calidad de agua potable*, OPS, 1985

El agua embotellada analizada no cumple con el estándar de cloro residual, lo cual indica que en el tratamiento se debe suplir esta demanda. Además, debe tenerse en cuenta que sin esta protección el agua exige, por seguridad, condiciones asépticas de manejo.

Robot hexápodo bioinspirado

Alexander Pérez Ruiz

En este artículo se presentan los resultados del diseño y construcción de un robot móvil autónomo caminador de seis extremidades y ocho grados de libertad (DOF*), bioinspirado en los artrópodos. Durante todo el proceso de diseño se mantuvo como objetivo principal el desarrollo de un prototipo escalable y de fácil producción por los métodos de fabricación convencionales que se utilizan en el país.

* *Degree Of Freedom.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han venido desarrollando a lo largo y ancho del planeta soluciones robóticas móviles con diferentes finalidades, como rastreadores, luchadores de sumo o jugadores de fútbol, y sistemas totalmente autónomos de transporte de materiales, entre otros.

Entre los mecanismos utilizados para la movilización de estos sistemas sobre terreno firme se encuentran las ruedas, las orugas y, finalmente, las patas.

Por su diseño y control, las patas son el mecanismo más complejo, pero brindan una ventaja potencial en aquellas zonas donde los vehículos con ruedas no se pueden movilizar fácilmente, como por ejemplo sobre terrenos irregulares.

ANTECEDENTES

La investigación sobre extremidades articuladas como mecanismo de movilización para robots data de finales de la década de los años setenta, cuando se publican resultados sobre el análisis de la locomoción en insectos (H. Cruse, 1976), que han sido la base para establecer las propuestas de locomoción más sencillas pero a su vez las más efectivas.

Consortios de universidades estadounidenses (Stanford, U.C. Berkeley, Harvard y Johns Hopkins) han desarrollado durante la última década diseños de patas para microbots (robots móviles de tamaños reducidos) e insectoides (robots que imitan la fisiología de los insectos) basados en estudios realizados sobre la *Blaberus discoidalis*, o cucaracha. Con estos estudios

se hacen aportes para la selección de materiales que ofrezcan características similares a los de la naturaleza (Vogel, 1995), como músculos o estructura esquelética, y modernos procesos de fabricación y de desarrollo rápido de prototipos como en *Shape Deposition Manufacturing* (SDM), o fabricación por conformado de capas utilizado en su construcción (S. Bailey *et al.*, 1999, X. Xu *et al.*, 2000).

De dicho trabajo se obtuvo la *Sprawlita* (figura 1), un insectoide parecido a la cucaracha de aproximadamente 10 cm de largo, 4 cm de ancho y 5 cm de alto, que desarrolla velocidades de hasta tres veces el tamaño de su cuerpo por segundo (J. Clark *et al.*, 2001).



Figura 1. *Sprawlita*, hexápodo dinámicamente estable, resultado de las investigaciones en la locomoción de la cucaracha.

Se han desarrollado hexápodos menos complejos de naturaleza didáctica, producidos como “kit educativo” o como pasatiempo de miles de aficionados a la electrónica y la robótica alrededor del mundo.

En su construcción se utilizan diversas topologías que pueden variar el

Ingeniero mecánico de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en ingeniería electrónica y de computadores de la Universidad de los Andes. Docente de tiempo completo de la Escuela Colombiana de Ingeniería aperez@escuelaing.edu.co.

número de grados de libertad con los que cuenta el robot, entre tres (figura 2) y dieciocho.



Figura 2. StampBug, de Milford Instrument.

Un aspecto importante en la evolución de los robots caminadores ha sido el desarrollo de algoritmos de marcha y estabilización en terrenos no estructurados (con características de campo abierto; con texturas como arena, suelo, etc.), como el mostrado en la figura 3 (R. Pfeiffer), así como de evasión de obstáculos y planeación de trayectorias.



Figura 3. Tarry II desarrollado por el profesor Rolf Pfeiffer.

OBJETIVO

Diseñar y construir un robot caminador hexápodo, sencillo y económico, con capacidad de movilizarse en terrenos no estructurados, manteniendo su línea de marcha recta y evadiendo obstáculos, sin la generación de trayec-

torias particulares. Como características principales deberá diseñarse para su producción en serie y tener la capacidad de transportar una carga muerta, como por ejemplo el peso de los sistemas de detección de cargas explosivas.

SISTEMA PROPUESTO

Como acercamiento al problema de la locomoción a pie, se han estudiado pequeños animales tales como los insectos y los artrópodos. El número de extremidades de estos animales se encuentra entre cuatro y ocho, pero seis es el más común porque ofrece más posibilidades de conseguir la estabilidad estática y dinámica, lo que ayudaría a reducir la complejidad del control de marcha si se usara ese número en la construcción del robot.

De la dinámica de marcha de algunos artrópodos, en especial de la *Blaberus discoidalis* o cucaracha, se han obtenido modelos del patrón de movimiento de especial interés por su velocidad, la posibilidad de franquear, con relativa facilidad, obstáculos de hasta tres veces la altura de su centro de masa y la estabilidad de su marcha en terrenos no estructurados. Diferentes investigaciones se han concentrado en la gran estabilidad estática que brinda su postura, dejando al descubierto la importancia que tienen la característica viscoelástica de sus extremidades, la pequeña inclinación de su porción torácico-abdominal y la ubicación de su centro de masa (Full *et al.*, 1995).

A partir de estos estudios se desprenden los siguientes principios de diseño para obtener rápidos y estables robots hexápodos caminadores:

- Postura autoestabilizante.
- Funciones de empuje y estabilización de las extremidades.
- Estructura pasiva viscoelástica.
- Control en lazo abierto temporalizado.

En su posición estática y durante la marcha, el centro de masa del robot se debe encontrar siempre dentro del polígono que formarán los puntos de apoyo de por lo menos tres de sus extremidades. Ésta se convierte en una condición suficiente, que garantiza la estabilidad del robot.

El sistema tendrá sensores para medir el ángulo de inclinación del cuerpo con respecto a la horizontal en los ejes longitudinal y transversal del cuerpo, y otros que le permitan inspeccionar el espacio adyacente para indagar por la existencia de posibles obstáculos.

Para generar el movimiento de las articulaciones se utilizarán pequeños servomotores eléctricos, como los usados en aeromodelismo, y se proveerá energía eléctrica por medio de una batería que dará autonomía al robot.

Diseño mecánico

Para proponer el diseño hay que tomar en cuenta los siguientes aspectos, en orden de importancia:

- Dar la posibilidad de marcha en trayectos rectos y curvos.
- Dotar de dos grados de libertad cada extremidad.
- Sencillez en la fabricación.
- Costo reducido tanto en materiales como en procesos de fabricación.
- Estructura de poco peso.

Con estos lineamientos definidos se decidió fabricar el robot en lámina de acero CR calibres 20 y 22 para muchas de las partes móviles y algunas partes en aluminio, sobre todo las destinadas a mantener el montaje de los motores.

Dado que se quería tener la posibilidad de la producción en serie de un gran número de robots y como el material elegido es lámina metálica, se pueden realizar todos los procesos de corte y doblado requeridos para su fabricación, por la técnica de conformación por troquelado, proceso con el

cual el tiempo y el costo de producción se reducirían al mínimo. Para la fabricación del prototipo tuvieron que hacer unas modificaciones en el diseño, ya que localmente no se encuentran dobladoras manuales ni de control numérico que puedan realizar estos dobleces tan pequeños y mucho menos en láminas tan delgadas.

La máquina caminante está compuesta por dos partes, primordialmente: el chasis o cuerpo y el mecanismo de accionamiento de las patas, que son las encargadas de soportar y movilizar el robot. El mecanismo de movimiento debe cumplir con dos requerimientos: el primero es que el extremo deberá elevarse una cantidad suficiente como para franquear pequeños obstáculos, y el segundo es que debe proporcionar los dos grados de libertad de cada pata: uno para la elevación del suelo y otro para generar el arrastre horizontal.

El sistema más adecuado para generar el movimiento de elevación de las extremidades es un mecanismo de seis barras, que ofrece la posibilidad de transmitir la potencia generada por los motores usando una palanca que amplifica su torque. El sistema final se muestra a continuación (figura 4).



Figura 4. Mecanismo de seis barras de elevación de la extremidad.

Una vez obtenido el mecanismo de la extremidad izquierda, sólo basta hacer una copia totalmente simétrica para la derecha y realizar el diseño del chasis que unirá las seis extremidades. Éste es importante al analizar el patrón de marcha que va a tener el hexápodo, tanto porque define la distancia entre patas para evitar su colisión y la separación de “hombros” que debe tener para garantizar la estabilidad, como por la ubicación de los motores y todos los demás circuitos y componentes electrónicos,

Al observar el comportamiento particular de los artrópodos e insectos al caminar, se pueden distinguir claramente

dos patrones de marcha: una trípode, en la cual se apoyan tres patas a la vez, mientras las otras tres están avanzando en el aire hacia el siguiente punto de apoyo, y una configuración de cuadrúpeda, en la que se consigue una mayor velocidad pero la estabilidad en el avance se ve seriamente comprometida (figura 5) (R. Pfeiffer).

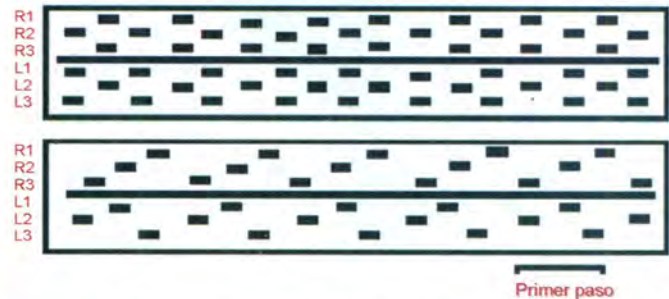


Figura 5. Patrones de marcha de los hexápodos que se encuentran en la naturaleza. El eje vertical muestra las patas derechas (R) e izquierdas (L) y el eje horizontal muestra el tiempo. Se interpreta que las marcas señalan las extremidades que están en contacto con el suelo en un mismo lapso de tiempo. Se aprecian el patrón trípode arriba y el cuadrúpeda abajo.

El patrón más común es el trípode y es más fácil de generar que el cuadrúpeda, razón por la cual se escoge como modelo de marcha del robot. Los dos conjuntos de patas que se apoyarán para conformar el trípode en cada instante de tiempo se pueden apreciar claramente en la figura 6.

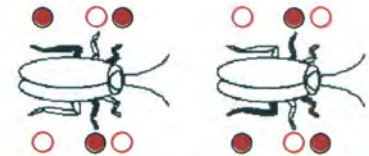


Figura 6. Patrón de marcha escogido para el robot hexápodo.

El diseño total del robot se muestra en la figura 7, donde se pueden apreciar los dos grados de libertad por cada extremidad, pero se escoge la configuración en tren (derecho e izquierdo) para generar el movimiento de avance con un solo motor por cada uno de ellos y así reducir la complejidad de la marcha.

El diseño total del robot se muestra en la figura 7, donde se pueden apreciar los dos grados de libertad por cada extremidad, pero se escoge la configuración en tren (derecho e izquierdo) para generar el movimiento de avance con un solo motor por cada uno de ellos y así reducir la complejidad de la marcha.



Figura 7. Diseño final del hexápodo.

Por medio del programa de diseño se realizaron los cálculos tanto de peso de la estructura, a través del volumen y la densidad de cada una de las piezas que la conforman, que es de 1,48 kg, como de la ubicación del centro de masa (figura 8).

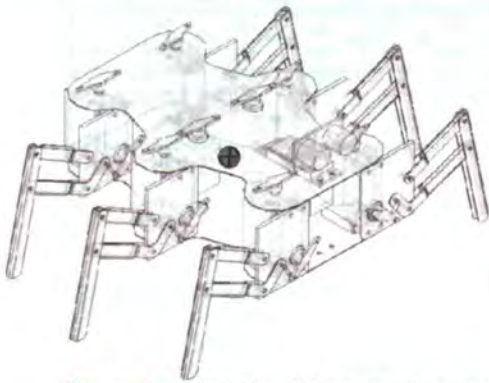


Figura 8. Ubicación del centro de masa de la estructura, sin los circuitos electrónicos y sin batería.

Teniendo el peso de la estructura y calculando el peso aproximado de los circuitos electrónicos y la batería en 0,3 kg, se pueden hacer los cálculos de los torques necesarios para conseguir el movimiento de elevación de las extremidades, el soporte de la carga y el avance del móvil. En el momento más crítico de la marcha, todo el peso del robot va a estar soportado por tres puntos de apoyo, es decir, que tendrá que ser soportado por el accionar de tres extremidades y sus correspondientes motores. De la geometría particular del robot, y dado que la mayor parte del tiempo el centro de masa se encuentra simétricamente distante de los puntos de apoyo, se tiene una distribución uniforme del peso.

En este punto se puede apreciar la ventaja que ofrece el mecanismo de seis barras en el movimiento y la transmisión de la fuerza generada por el motor, y que en el presente caso redu-

ce al 80% el torque necesario para sostener el peso (figura 9).

Se deben hacer los cálculos de la fuerza de arrastre requerida para mover el robot y que también se transmite al piso a través del punto de apoyo (figura 10).

Se desarrolló un modelo de *software* para la simulación dinámica con el fin de analizar esfuerzos, deformaciones e interferencias, soportados en la metodología de los elementos finitos.

Este modelo se validó para los mecanismos de las extremidades y para la estructura portante de forma independiente. Además, a partir de los resultados obtenidos, se realizaron los rediseños correspondientes para conseguir una estructura liviana, funcional y mecánicamente adecuada.



Figura 10. Detalle de las fuerzas ejercidas en el punto de apoyo de las extremidades con el piso.

En la figura 11 se pueden observar los esfuerzos inducidos en la extremidad por las fuerzas de soporte y arrastre.

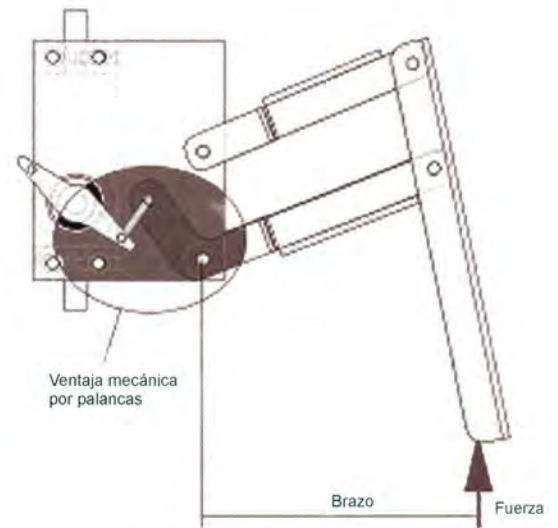


Figura 9. Detalle de la ventaja mecánica dada por el mecanismo de seis barras.

Diseño electrónico

El diseño electrónico se basó en una estructura de dos microcontroladores PIC en configuración maestro-esclavo, con claras funciones para cada miembro.

El maestro se encarga de las tareas de planeación de los movimientos de avance del robot, junto con la lectura de los sensores que proveen la información de la inclinación y la distancia al obstáculo próximo en línea recta, en la dirección de movimiento del móvil.

El esclavo se encarga de la generación de las señales que controlan los servomotores y recibe la información proveniente del maestro acerca de la posición deseada para cada uno de los ocho motores que maneja.

Los sensores proveen al sistema móvil de la información necesaria para navegar libremente, consistente en los ángulos de inclinación del chasis en sus ejes longitudinal y transversal y en la distancia al obstáculo más cercano.

Los ángulos de inclinación se adquieren de manera indirecta por un acelerómetro ADXL202 de Analog Devices®, capaz de medir aceleraciones de hasta 2 g en dos ejes, que lo pone en capacidad de servir de

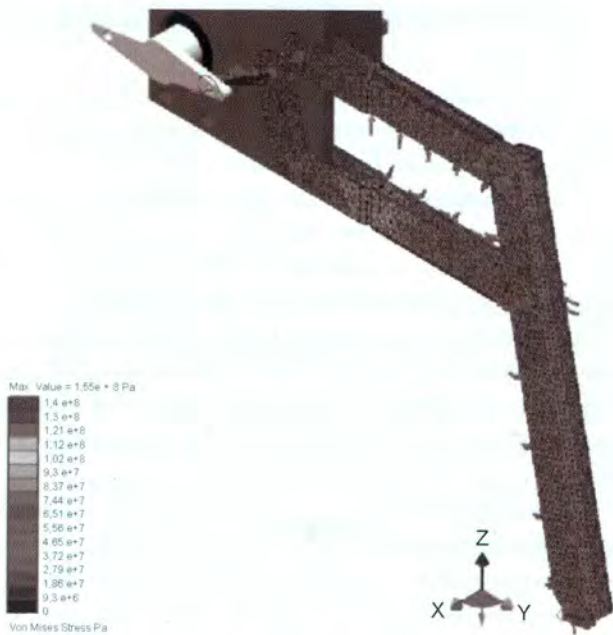


Figura 11. Resultados de los cálculos de esfuerzos en el mecanismo de elevación.

inclinómetro si la aceleración que se mide es la de la gravedad. La salida de este sensor es de tipo PWM, proporcional a la fracción de gravedad correspondiente a cada uno de los ejes, que hace sencilla su utilización con microcontroladores (figura 12).

El sensor de ultrasonido utilizado es un SRF04 de Devantech®, montado sobre un servomotor, que le da la posibilidad de explorar el espacio contiguo alrededor del móvil, con lo que se puede determinar si el espacio en la dirección de movimiento se encuentra libre o si, por el contrario, hay obstáculos.

Este montaje funciona a manera de “radar” aprovechando el cono de dispersión particular del sensor, que en este caso es de aproximadamente 20 grados, con lo que no es necesario utilizar más sensores en diversas posiciones o direcciones (figura 13).

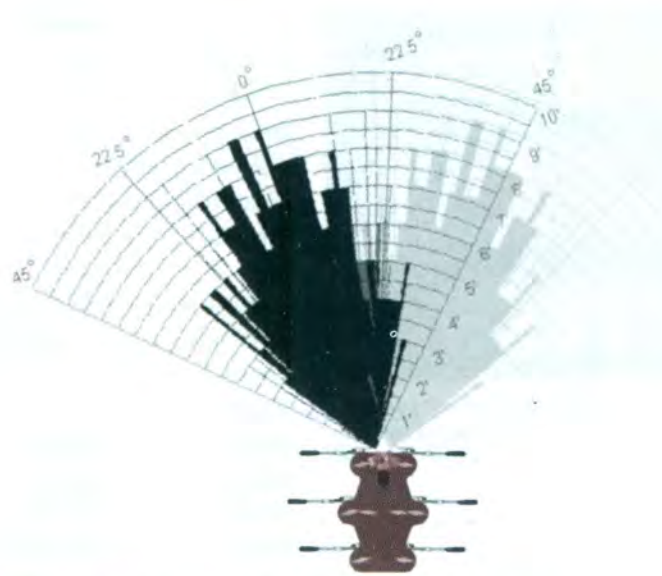


Figura 13. Ubicación del sensor de ultrasonido y forma de inspección del espacio.

Para mantener la modularidad y facilitar el montaje de los circuitos en el interior del chasis, se diseñaron circuitos impresos para cada uno de los microcontroladores y una adicional para las tareas de regulación de la energía y la recarga de la batería.

En la figura 14 se observa el resultado obtenido para el circuito maestro y en la figura 15 se ve la correspondiente al circuito esclavo.



Figura 12. Descomposición de la gravedad en los dos ejes de interés para el acelerómetro.

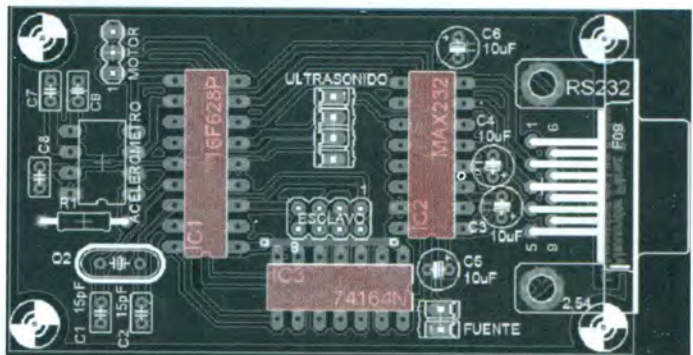


Figura 14. Circuito impreso para el microcontrolador maestro con la entrada de los sensores, la comunicación con el esclavo y la comunicación RS232.

Diseño del software

El esquema básico de control propuesto para el robot consiste en un sistema jerarquizado maestro-esclavo, donde el

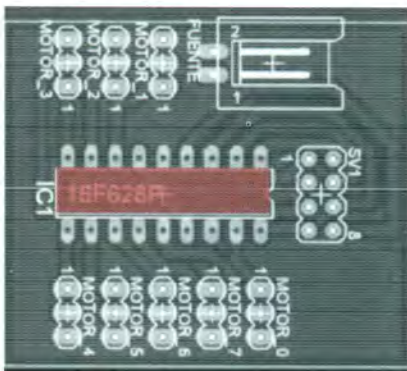


Figura 15. Diseño final del circuito esclavo con las conexiones para los motores y la comunicación con el maestro.

van a determinar tanto la magnitud de la extensión de cada una de las extremidades como la cantidad de desplazamiento horizontal que va a tener cada sección. El bloque que genera la secuencia de movimientos coordinará la forma como cada uno de los movimientos individuales hace su aporte para conseguir el movimiento uniforme y estable del robot móvil.

maestro efectúa las tareas de estabilización, avance y monitoreo de los sensores, y el esclavo está encargado de controlar los motores de las extremidades (figura 16).

El sistema de control de la navegación como tal está formada por dos bloques: uno correspondiente al control de la dirección y otro encargado del control de la inclinación. Estos bloques

sistema es evadir o franquear los obstáculos, dependiendo de su tamaño.

El controlador de inclinación, cuya función es nivelar el robot en caso de encontrar una superficie inclinada o un obstáculo que pueda franquear en su trayecto, recibe como entradas las señales provenientes del acelerómetro y obtiene la altura nominal de cada una de las seis patas, alrededor de la cual se generan los movimientos de elevación, avance y arrastre que consiguen la estabilización y el movimiento.

Al plantear el controlador de este modo se obtiene una independencia entre los movimientos horizontales, correspondientes al avance, y los verticales, que tratarán de mantener el chasis del robot perpendicular al vector de gravedad, sin importar lo accidentado del terreno.

El universo de discurso de las entradas de los sistemas de inferencia difusos FIS (*Fuzzy Inference System*) está dividido en tres conjuntos definidos por funciones de membresía trapezoidales, en tanto que el de las salidas está compuesto por cinco conjuntos de tipo *singleton*, que pueden configurarse desde un computador con un sencillo protocolo de comunicación serial.

El FIS con salidas de tipo *singleton* es un sistema difuso tipo Sugeno de orden cero, que puede verse como un caso particular del sistema de inferencia Mamdani con salidas predefuzzyficadas (J. Jang *et al.*). La ventaja del modelo Sugeno sobre el Mamdani es que el proceso de obtener una salida no difusa (*crisp*) es menos complejo y resulta más conveniente para implementarlo en un microcontrolador.

Esta configuración se escoge para simplificar los procesos inherentes de fuzzificación y defuzzificación, y aunque las reglas de cada uno de los controladores son independientes, no son susceptibles de modificación sin entrar a reprogramar el microcontrolador.

En la figura 17 se muestran las características más importantes del sistema de control de dirección.

Para lograr la robustez del controlador es necesario describir su comportamiento por medio de reglas generales simples, de tal modo que la interacción de las reglas y los conjuntos difusos ofrezca la generalización del problema y no brinde una respuesta desafinada cuando se presente una situación para la cual no se ha previsto una regla particular; por tal razón, el controlador se debe implementar con reglas del tipo:

- Si Izquierdo (Derecho) es Lejos, AvanceI (AvanceD) es GAdelante.
- Si Izquierdo es MCerca y Derecho es MCerca, AvanceI es GAtrás y AvanceD es GAtrás.

Una de las desventajas que tiene el modelo Sugeno es que la transición de la salida en dos instantes de tiempo consecutivos puede producirse por saltos bruscos. Si la plan-

ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL

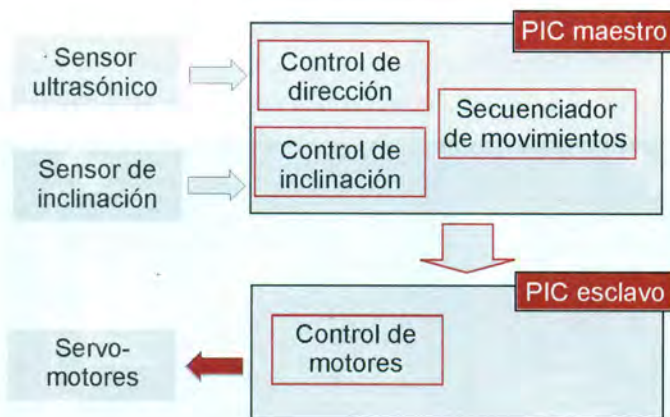


Figura 16. Esquema de control propuesto para el robot.

El controlador propuesto tanto para la dirección como para la inclinación es difuso, tipo Sugeno. El bloque de dirección recibe como entrada las distancias del obstáculo más cercano en dirección de las diagonales de avance del robot y obtiene como salida la medida de arrastre necesario en los dos trenes de patas. La finalidad última de este

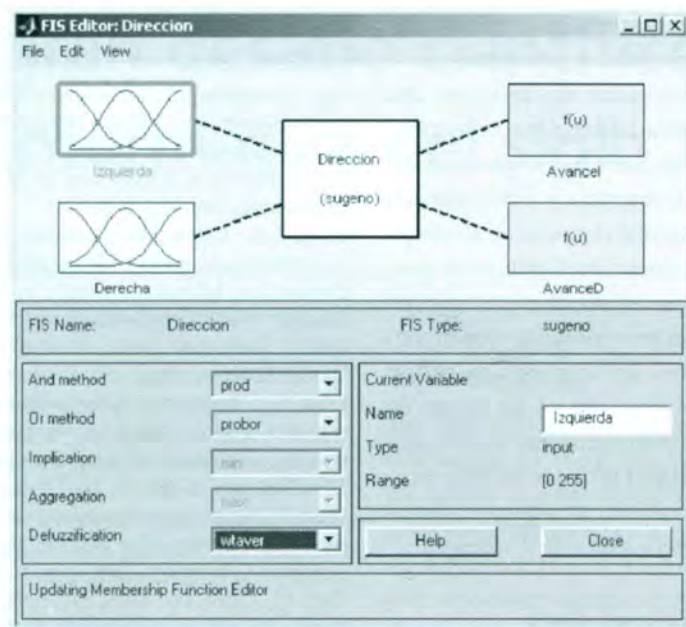


Figura 17. Características principales del FIS del controlador de dirección. Consta de dos entradas con tres conjuntos difusos cada una, dos salidas con cinco *singletons* y cinco reglas.

ta que hay que controlar fuera continua este efecto podría llegar a ser muy perjudicial para los actuadores, pero en el presente caso la propia dinámica de la marcha en un proceso por etapas, lo cual minimiza este efecto.

Navegación

El patrón de navegación del robot consiste en caminar de frente en línea recta, siempre que no encuentre obstáculos, y al momento de hacerlo puede tratar de superarlos (franquearlos) o evadirlos, dependiendo del tamaño particular de éste.

Por medio de una pequeña inclinación del sensor ultrasónico hacia el suelo (figura 18), es posible medir la distancia mínima que debe existir entre él y el obstáculo o irregularidad. De este modo es posible determinar el tamaño de los obstáculos que se deberán evadir, lo que implica una acción directa del control de dirección, y en cualquier otro caso el móvil seguirá de frente y conseguirá franquearlo.

Autonomía

El sistema está alimentado con una batería de seis voltios y 2.200 miliamperios hora, lo que le brinda una autonomía de 50 minutos en terrenos planos y 40 minutos en terrenos irregulares, dados los requerimientos de corriente de los motores. Con el ánimo de prolongar al máximo la duración de la batería, los sensores permanecen apagados hasta momentos antes de la toma de datos.



Figura 18. Estrategia para definir si un obstáculo es franqueable.

La mayor parte de la energía se utiliza en el avance y estabilización de la plataforma móvil más que en los procesos de toma de datos, procesamiento de la información y control.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos son satisfactorios, aunque se presentaron problemas en la construcción del prototipo ya que localmente no se dispone de maquinaria capaz de realizar dobleces tan unidos en láminas tan pequeñas. Aunque el proceso propuesto para la fabricación de las piezas de lámina doblada es el troquelado, éste se realizó de manera artesanal puesto que los costos de producir un molde de troquelaría resultan muy elevados.

El desempeño del robot en ambiente controlado, como en un laboratorio, con terrenos planos resulta más que satisfactorio, y en terrenos irregulares mantiene su movilidad y estabilidad, aun cuando su velocidad de desplazamiento se ve disminuida. En líneas generales, el comportamiento y el desempeño del robot caminador hexápodo son los esperados.

CONCLUSIONES

- El proceso de diseño, llevado a cabo a través de *software* de modelamiento mecánico especializado, ofrece gran-

des ventajas sobre los sistemas clásicos, ya que permite verificar problemas frecuentes en los ensambles, como las interferencias y los ajustes necesarios para un correcto funcionamiento de la máquina. Las herramientas computacionales existentes para la simulación de esfuerzos, deformaciones y movimientos de los sistemas mecánicos agilizan el proceso de producción de prototipos, pues se pueden visualizar y analizar variables de diseño dentro de un entorno de realidad virtual que asemeja con gran fidelidad los resultados que se obtendrían en el mundo real. Es fundamental para el ingeniero del siglo XXI llevar a cabo sus proyectos con el enfoque del CAE (ingeniería asistida por computador, por su sigla en inglés) en cualquiera de sus disciplinas, ya que el aprovechamiento del computador revoluciona totalmente los tiempos necesarios para la generación y análisis de propuestas, y las simulaciones reducen ostensiblemente los costos de producción de prototipos.

- Cuando se piensa en robótica móvil, no se hace alusión a grandes cantidades de producción, sino que por el contrario siempre se desarrollan los proyectos a manera de prototipos, pero cuando se piensa en producción en serie se involucran otras variables como la estandarización de piezas, la factibilidad y costos de fabricación y los materiales. La elección del proceso de troquelado, de la lámina de acero CR como material y el diseño particular de las piezas, hace posible la elaboración de grandes cantidades de estos robots, disminuyendo visiblemente los costos y tiempos de producirlos.

- La utilización de los controladores difusos facilita notablemente la tarea de diseño e implementación de un control particular para una planta. La base de conocimiento de la dinámica de la planta se dividió en dos grandes bloques que simplificaron notablemente el manejo del robot y que permitieron imple-

mentar todo el sistema en un microcontrolador de propósito general.

- El controlador se creó con una mínima cantidad de reglas y conjuntos difusos para reducir la complejidad del sistema de inferencia y observar los comportamientos de toma de decisión frente a las situaciones que se le presenten durante la marcha.

- Es necesario continuar con trabajos en el área de la robótica móvil articulada, puesto que es un frente de investigación interesante, que brinda muchas posibilidades en la solución de problemas de transporte de equipo especializado en terrenos de difícil acceso.

TRABAJOS POSTERIORES

Diversos investigadores están trabajando en la aplicación de algoritmos de control neurodifusos (Anfis, principalmente) y de coordinación de movimientos para cada una de las extremidades en forma independiente. El trabajo consistirá en:

- Diseñar un robot con mayor número de grados de libertad (doce o más) e implementar estrategias de control de este tipo que ofrezcan mayores prestaciones tanto de versatilidad como de velocidad en el movimiento.

- Implementar un sistema de visión artificial con el cual pueda identificar objetos de interés y navegar utilizando técnicas convencionales de reconocimiento de imágenes.

- Implementar un sistema de guía basado en un GPS, para que el robot pueda ubicarse de manera global en el espacio de trabajo, y a través del cual se le puedan programar tareas de recorridos específicos, o pueda ubicar objetos con base en coordenadas geográficas.

- Desarrollar patrones de conducta social y trabajo en equipo con individuos de su mismo género, para utilizar varios robots en la solución de problemas de búsqueda o de transporte de objetos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bailey, S.A., Cham, J.G., Cutkosky, M.R., Full, R.J., "Comparing the Locomotion Dynamics of the Cockroach and a Shape Deposition Manufactured Biomimetic Hexapod", Center for Design Research. Department of Mechanical Engineering, Stanford University.
- Bailey, S.A., Cham, J.G., Cutkosky, M.R., Full, R.J., "Biomimetic Robotic Mechanisms via Shape Deposition Manufacturing", in *Robotics Research: the 9th Intl. Symposium*, J. Hollerbach and D. Koditschek (eds.), Londres, Springer-Verlag, 2000, in press.
- Cruse, H., The control of the body position in the stick insect (*Carausius morosus*), when walking over uneven surfaces, *Biol.Cybern*, No. 24, 1976, pp. 25-33.
- Cruse, H., A new model describing coordination pattern of the legs of a Walking Stick Insect, *Biological Cybernetics*, 1997, pp. 107-113.
- Clark, J.E., Cham, J.G., Bailey, S.A., Froehlich, E.M., Nahata, P.K., Full, R.J., Cutkosky, M.R., "Biomimetic Design and Fabrication of a Hexapedal Running Robot", in International Conference on Robotic and Automation, IEEE 2001.
- Cham, J.G., Bailey, S.A., Cutkosky, M.R., "Robust Dynamic Locomotion through Feedforward-Preflex interaction", Center for Design Research, Department of Mechanical Engineering, Stanford University.
- Dean, J., A Model of Leg coordination in the stick insect, *Carausius morosus*: I. A geometrical consideration of contralateral and ipsilateral coordination mechanism between two adjacent legs, *Biological Cybernetics*, 1991, pp. 393-402.
- Full, R.J. and Ahn, A., Static forces and moments generated in the insect leg: Comparison of a three-dimensional musculoskeletal computer model with experimental measurements, *J. Exp Bio*, 1995, No. 198, pp. 1285-1298.
- H.J. et al., A design concept for Legger robots derived from walking stick insect Weidemann, *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1993, pp. 545-552.
- Jang, J. Sun, C. y Mizutani, E., *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, Prentice Hall Inc., 1997, pp. 47-89.
- Pfeiffer, R., Artificial and Natural Walking Machines, Neural Networks, "Cruse Control". Artificial Intelligence Seminar, Spring 2002.
- Vogel, S., Better bent than broken. Discover, May, 1995, pp. 62-67.
- Xu, X., Cheng, W., Dudek, D., Hatanaka, M., Cutkosky, M.R., and Full, R.J., "Material Modeling for Shape Deposition Manufacturing of Biomimetic Components", Admitted for publication, Asme DETC 2000 Proceedings, Baltimore, Maryland, September 10-14, 2000

El gran desafío científico para la informática del siglo XXI

Jaime Alejandro Bohórquez Villamizar

Ante el profundo desequilibrio que se presenta entre ciencia y tecnología informática, se comprenden la importancia y el papel que cumplen los estudios teóricos en el desarrollo y evolución del fenómeno informático actual. Junto con el Gran Desafío Informático planteado por Tony Hoare, se explica la íntima relación que existe entre la teoría informática y las matemáticas formales, así como la novedad radical que presenta la primera de éstas frente a la manera tradicional como se concibe y realiza el quehacer matemático.

INTRODUCCIÓN

En términos históricos, el computador digital es muy, muy reciente. La ciencia de la computación (es decir, la ciencia informática) es aún más reciente. Comparada con su hermana mayor —la matemática—, que tiene miles de años de antigüedad, a duras penas se encuentra en su estado embrional de desarrollo. No obstante, la informática ejerce ya una influencia importante sobre la manera de resolver problemas, constituyéndose en una revolución en el arte de razonar efectivamente.

A nuestro entender, la informática constituye una tercera fase de la evolución del lenguaje humano, precedida por los descubrimientos del lenguaje oral y de la escritura. Así como la

escritura, potenciada por el invento de la imprenta, constituyó una impactante novedad en la historia humana, la informática, casi inmediatamente propulsada y encarnada por máquinas electrónicas de computación digital, se nos aparece como una *novedad* profundamente *radical* de difícil comprensión y asimilación, si nos atenemos a las vertiginosas transformaciones de orden tecnológico, económico y social que ha propiciado.

De hecho, la informática hoy es extraordinariamente exitosa; las unidades de microprocesamiento (chips) se

reproducen y evolucionan mucho más rápido que los humanos; y eso sin tener en cuenta que millones de personas intercambian mensajes electrónicos, visitan sitios en la red y discuten sobre HTML, Java y módems de alta velocidad en *cafés Internet* alrededor del mundo.

Sin perjuicio de lo anterior, es a la vez cierto que la ciencia informática atraviesa una crisis profunda, expandiéndose, fragmentándose y especiali-

La informática constituye una tercera fase de la evolución del lenguaje humano, precedida por los descubrimientos del lenguaje oral y de la escritura.

zándose con más rapidez que cualquier otra disciplina, más rápido que lo que nadie puede entender y mucho menos predecir. Es más, ya no es posible negar que la ciencia informática se percibe cada vez más como un tema marginal respecto de sus aplicaciones, lo cual es

particularmente cierto en el caso de la informática teórica.

La información es la sangre de la sociedad moderna. En su mayor parte, se administra y distribuye por medio de sistemas de computación que controlan cajeros electrónicos, fábricas, reactores nucleares, redes de telecomunicaciones, misiles teledirigidos, así como los juegos electrónicos, los frenos de muchos autos y una casi inimaginable cantidad de bases de datos tales como registros médicos, éxitos musicales, registro de vehículos, transacciones de la bolsa y cadenas de ADN.

Ingeniero de sistemas y matemático de la Universidad de los Andes, M.A. en matemáticas de la Universidad de Rochester, Ph.D. de Cornell University. Profesor de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Colombiana de Ingeniería.
jbohorku@escuelaing.edu.co

Nadie sabe a ciencia cierta a dónde va a parar todo esto, o qué efectos va a tener en la vida de las personas; los responsables de supervisar el desarrollo e impacto de la tecnología en los diferentes gobiernos de cada país muchas veces son bastante ignorantes. La razón para que así sea no es únicamente el crecimiento sin precedentes de la tecnología de la información, sino también la naturaleza insólita de su relación con prácticamente todos los aspectos de la sociedad.

La información tiene valor sólo en la medida en que significa algo. Es decir, el tener que ver con algo, ya sea dinero, espacio para frenar, los costos de una transacción, o la genética. De otra manera, sólo son *datos*, patrones de *bits*, cadenas de caracteres, etc. Los datos sólo llegan a ser *información* cuando a la gente le importa por alguna razón y, además, tiene la capacidad de interpretarlos. Esto significa que la tecnología de la información, y en consecuencia la informática, está íntimamente relacionada con lo social en un nivel muy básico que tiene que ver con la naturaleza misma de la información [Gog98].

Esta *gran brecha* que separa la teoría de la práctica, de algún modo reflejo de la a su vez “*gran escisión* entre ciencia y humanidades” descrita por C.P. Snow [Sno93] y muy referenciada por los estudios de CTS (ciencia, tecnología y sociedad), ha llegado a influir incluso las universidades y centros académicos.

Sin pretender desconocer la importancia de esta problemática y reconociendo que en la mayoría de los estu-

dios teóricos se ignora esta complejidad, el autor del presente artículo se propone contribuir en alguna medida con el restablecimiento del equilibrio perdido entre ciencia y tecnología informáticas, explicando la importancia y el papel que desempeñan los estudios teóricos en el desarrollo y evolución del fenómeno informático actual.

LA LABOR DE PROGRAMACIÓN

Un desarrollo tan importante como la evolución de la *tecnología* informática actual ha pasado prácticamente inadvertido en estos últimos 30 años. Tiene que ver con las contribuciones y la influencia que la ciencia informática ha estado

Un desarrollo tan importante como la evolución de la *tecnología* informática actual ha pasado prácticamente inadvertido en estos últimos 30 años.



ofreciendo y ejerciendo sobre la manera de hacer, aplicar y enseñar las matemáticas [Boh03].

La computación está relacionada con la solución de problemas *per se*. Pero es más que simplemente eso. Atacar un problema en la ciencia informática significa no sólo hallar una solución, sino también explicar *cómo* se soluciona el problema y *por qué* la solución es correcta. Únicamente entonces puede formularse como un programa *confiable* de computador, que puede usarse para resolver una multitud de casos particulares de un problema dado.

A causa de los retos que plantea la programación, y de la *escala* sin prece-

dentos de los problemas de programación, los científicos de la informática han tenido que afinar al máximo sus habilidades para resolver problemas.

La razón por la que el desafío matemático que plantea la *programación* (proceso de dar instrucciones a una máquina *bruta* para que solucione cada caso particular de un problema) se presenta tan radicalmente novedoso [Dij89], se sustenta en las siguientes circunstancias:

- La programación es un área de investigación sin un “soporte intuitivo” efectivo. Con lo anterior nos referimos a lo que para el geómetra constituye la “gráfica”; para el programador el “soporte intuitivo” sería la clase de todas las posibles secuencias de ejecución que corresponden a un programa.

Sin embargo, la experiencia ha mostrado que esta clase derrota a la imaginación: la misma *exploración* combinatoria de los argumentos operacionales, los torna inefectivos y, por

consecuente, se tiene que recurrir a argumentos no operacionales. En consecuencia, es un área en la que el “soporte intuitivo” resulta muy pobre. A pesar de esta pobreza, resulta irónico que el desarrollo de la práctica típica de la programación haya retardado el amplio reconocimiento de la programación como una actividad matemática. Esto se debe a que, en dicha práctica, los programadores sin inclinación por las matemáticas resultan totalmente absorbidos por lo intrincado de sus instrumentos y la naturaleza difusa de sus tareas.

- En las matemáticas, la ausencia de “soporte intuitivo” siempre se ha enfrentado con la aplicación de técni-

cas formales provenientes de sistemas de cálculo. En vista del hecho de que, por virtud de su interpretabilidad mecánica, cada notación (lenguaje) de programación incorpora por su misma naturaleza un sistema formal de alguna índole, una aplicación sistemática de sistemas de cálculo (lógicos o de otro tipo) parece, de hecho, lo indicado.

En principio, esto coloca a la programación en terreno matemático conocido: la especificación y el texto de los programas se tratan como fórmulas y entonces se aplica un cálculo para demostrar que éste satisface aquélla. El *quid* del asunto es, sin embargo, la advertencia “en principio”: vista como una fórmula, el texto de un programa es de un *orden de magnitud* varias veces mayor que las fórmulas con que los matemáticos están dispuestos a trabajar, y esto tiene profundas repercusiones [Dij81].

EL GRAN DESAFÍO

Con la misma visión y sentido histórico con que David Hilbert –quizás el más respetado matemático de su tiempo– trazó en 1900 la ruta que habría de seguir el mundo de las matemáticas del siglo XX presentando sus famosos problemas que constituyeron la carta de navegación fundamental para la investigación matemática en esa centuria; así mismo sir Anthony Hoare, uno de los padres fundadores de la informática y muy destacado y respetado investigador de esta ciencia, propone en 2003 revivir, en sus palabras, un *Gran Desafío* [Hoa03a] para la investigación en informática: la construcción y aplicación de un *verificador automático* que garantice la corrección de un programa con antelación a su ejecución.

La importancia de enfrentar este reto es evidente: todos los usuarios de computadores han sido incomodados, por decir lo menos, por fallas y errores de la mayor parte de los sistemas de *software* que existen en el mercado y, en consecuencia, aplaudirían su reducción o eliminación. La prensa ha reportado ampliamente sobre virus computacionales muy dañinos que ocasionan costos estimados en miles de millones de dólares. La ansiedad actual por el terrorismo, particularizado en el ciberterrorismo, es ya de proporciones globales. Los virus ingresan y sacan provecho de errores como el “desbordamiento numérico” (*buffer overflow*), que podrían detectarse fácilmente por medio de un verificador automático.

Un verificador automático debería usar razonamientos lógicos y matemáticos para comprobar la *corrección* de los programas que analice. Su valor práctico sería innegable, pues hasta el presente la manera más ampliamente aceptada de proporcionar niveles de confiabilidad para el *software* es mediante la aplicación de comprobaciones (*testing*) masivas y costosas. El *criterio de corrección* se especificaría en tér-

minos de tipos (abstracciones de los datos), *aserciones* y otras anotaciones redundantes asociadas con el texto del programa. La *corrección de programas* de computador es la preocupación fundamental de la teoría de programación y de su aplicación a la *ingeniería de software* de gran escala.

Una *aserción* es una fórmula *booleana* (lógica) escrita en el texto de un programa, en un lugar donde su evaluación será siempre verdadera; al menos, esa es la intención del programador. En ausencia de saltos, especifica la interfaz interna entre la parte del programa que viene antes de ella y la parte que viene después. La interfaz entre la declaración de un procedimiento (subrutina) y su invocación se define por aserciones conocidas como precondiciones y poscondiciones. Si las aserciones son suficientemente específicas, éstas expresan todo lo que un programador, en cualquiera de los dos lados de la interfaz, necesita saber sobre el programa en el lado opuesto, aun antes de que se haya escrito algún código. De hecho, tales aserciones específicas constituyen la base de una prueba formal de un programa completo.

En compañías como Microsoft, las aserciones se usan principalmente como oráculos de comprobación que definen las circunstancias en las cuales se considera que falla un programa en observación. Una colección de aserciones adecuadamente puestas es lo que permite ejecutar toda una serie masiva de casos de comprobación durante la noche, en ausencia de intervención humana. Una falla provocada por una aserción desencadena un “vaciado” del estado del programa para analizarlo la mañana siguiente. Aparte de indicar simplemente la falla, el punto donde la primera aserción falla es muy posible que dé una buena indicación de dónde y por qué el programa funciona mal. Y esta indicación se da con antelación a cualquier falla real del sistema, evitando de esta manera el riesgo de que la información necesaria para el diagnóstico sea destruida por sobreescritura. Es así como las aserciones han encontrado ya su principal aplicación, no para demostrar la corrección de un programa sino para diagnosticar sus errores.



La disponibilidad de un verificador automático motivaría a los programadores a formular aserciones como especificaciones previas al código, muchas de las cuales podrían verificarse mediante técnicas matemáticas automáticas o semiautomáticas. La experiencia existente en el desarrollo verificado de “código de seguridad crítica” (*safety-critical code*)



se transferiría al *software* comercial para beneficio de los mercados de masas. Su utilidad sería grandísima, ya que los costos por baja confiabilidad del *software* se estimaban hasta hace dos años en US\$60 mil millones, según un reporte de planeación para el Ministerio de Hacienda (Department of Commerce) de Estados Unidos (Planning Report 02-3, “The Economic Impacts of Inadequate Infrastructure for Software Testing”, mayo de 2002). Un verificador constituiría un componente valioso de una infraestructura para la verificación de *software*.

LA TEORÍA INFORMÁTICA Y LAS MATEMÁTICAS FORMALES

Apoyándose en un bosquejo de la biografía científica de Tony Hoare [Hoa03b], en esta sección se pretende ilustrar la manera radicalmente novedosa y diferente como la informática hace uso de las matemáticas, en contraste con la bien conocida relación que existe entre éstas y las ciencias naturales

La teoría informática, desde sus inicios, ha tenido que vérselas con el problema del error en programación. Algol 60 fue el primer lenguaje de programación de alto nivel desarrollado con métodos formales (usando notación y rigor matemáticos). La notación *independiente del contexto* (debida originalmente al gran lingüista, sicólogo y filósofo Noam Chomsky), empleada para definir la sintaxis del lenguaje, ayudó en gran medida a

contener la comisión de errores tanto por parte de los implantadores del lenguaje como por parte de sus usuarios. Por esa época, Hoare sugirió un método axiomático [Hoa69] para especificar las intenciones generales del diseñador del lenguaje de programación, dejando libre a la vez al implantador para precisar los detalles intrincados, mediante la elección de la solución más eficiente para beneficio de los usuarios de una máquina en particular.

Hoare nunca consideró que el principio empírico de que “un programa es lo que hace” (la semántica operacional) era una buena base para la exploración del concepto de corrección de un programa. De hecho, estaba convencido de que “el atributo más importante de una definición formal de semántica (significado) de un lenguaje de programación debería dejar ciertos aspectos de éste cuidadosamente indefinidos”. La inspiración para esta declaración de Hoare era producto de su interés por los axiomas y las demostraciones formales (proveniente de algunas lecturas en grupo del texto de *Lógica matemática* de Quine y de un posterior curso de filosofía de las matemáticas como estudiante de pregrado) como “una explicación para el irrazonable grado de certeza que acompaña la contemplación de la verdad matemática”. La analogía se basaba en las diversas ramas de la matemática, como la geometría proyectiva o la teoría de grupos; en efecto, cada una de estas ramas se define mediante un conjunto de axiomas que se usan sin justificación adicional alguna en todas las demostraciones de los teoremas de esa rama. Los axiomas se escriben con las notaciones comunes a las matemáticas, pero contienen también un número de términos indefinidos como las rectas y los puntos en la geometría, o los módulos y productos en la teoría de grupos. Éstos constituyen el marco conceptual de cada rama. Estaba convencido de que la presentación axiomática de los conceptos básicos de programación sería mucho más simple que cualquier compilador (traductor) de cualquier lenguaje para cualquier computador, sin importar cuán abstracto fuere.

La teoría informática, desde sus inicios, ha tenido que vérselas con el problema del error en programación.

El matemático puro no da, deliberadamente, ningún significado explícito a los términos indefinidos que aparecen en los axiomas, teoremas y pruebas. Es responsabilidad del matemático aplicado y del científico experimental encontrar en el mundo físico un posible significado para los términos y comprobar, mediante experimentos cuidadosamente diseñados, que el significado asignado satisface

El matemático puro no da, deliberadamente, ningún significado explícito a los términos indefinidos que aparecen en los axiomas, teoremas y pruebas. Es responsabilidad del matemático aplicado y del científico experimental encontrar en el mundo físico un posible significado para los términos y comprobar, mediante experimentos cuidadosamente diseñados, que el significado asignado satisface

los axiomas. Al ingeniero le es posible aun tomar los axiomas como una especificación que debe cumplir el diseño de un producto, como por ejemplo el compilador¹ para el diseño de un lenguaje de programación. Por analogía, podría haber muchas implantaciones diferentes del conjunto de axiomas que define un lenguaje de programación estándar. Esa era, en efecto, la libertad cuidadosamente circunscrita que se deseaba para el autor de un compilador, quien tendría que asumir la responsabilidad —normal para un ingeniero— de que su implantación satisficiera los axiomas, así como la ejecución eficiente de los programas de los usuarios.

En 1967, Robert Floyd [Flo67] propuso que el significado de un lenguaje de programación se definiera por las reglas (de inferencia) usadas para razonar en el lenguaje, presentando un método efectivo para probar la corrección total de un programa. Logro que constituía el objetivo último de una buena semántica formal para un buen lenguaje de programación; en otras palabras, la completa prevención del error en programación. Ese mismo año E.W. Dijkstra, otro de los padres fundadores de la informática, entra en escena al recomendar su enfoque constructivo para la labor de programación [Dij68]: el compromiso por la corrección última debe constituir la fuerza directriz para diseñar programas que sean correctos por construcción. Esta filosofía se ha ilustrado bellamente en el propio libro de Dijkstra [Dij76], *A Discipline of Programming* y muchos otros textos subsiguientes ([Gri81], [Kal90], [Coh90], [Bac03], [Boh05]) sobre enfoques formales hacia *la ingeniería de software*.

Por analogía, podría haber muchas implantaciones diferentes del conjunto de axiomas que define un lenguaje de programación estándar.

Fundamental para la filosofía de desarrollo “descendente” (de lo global a lo particular) de programas a partir de sus especificaciones es, en primer lugar, la habilidad de los programadores para escribirlas. Obviamente, estas especificaciones tiene que ser más simples en al menos un orden de magnitud y más claras y correctas de lo que va a ser eventualmente el programa. En la década de los años ochenta, era sabiduría

aceptada que el lenguaje para escribir especificaciones debería ser ejecutable, convirtiéndolo en efecto en otro lenguaje de programación de mucho más alto nivel. Sin embargo, un lenguaje como el de la teoría de conjuntos, libre de complicaciones y consideraciones de ejecución (o de eficiencia), podía expresar muchos conceptos abstractos importantes más concisamente que cualquier lenguaje ejecutable. No hay manera concebible de demostrar la corrección de una especificación (¿contra qué especificación se realizaría? Tal especificación sería preferible a la original). Así que la única esperanza era escribir la especificación tan clara y fácilmente comprensible que describiera en forma obvia lo que se quería, y no cualquier otra cosa.

Los matemáticos, a través de los siglos, han desarrollado una gran cantidad de notaciones, y cada rama del área usa la misma notación para propósitos

diferentes e, infortunadamente, notaciones diferentes para el mismo propósito. Lo que se necesita para propósitos de programación es un esquema notacional uniforme con el que se pueda afrontar la generalidad de un lenguaje de programación de propósito universal suficientemente poderoso, para definir *todos* los conceptos de cualquier rama particular de las matemáticas que pudiera ser relevante a cualquier aplicación futura. Por fortuna, la teoría abstracta de conjuntos, desarrollada como fundamento de las matemáticas por los lógicos a principios del último siglo, satisface esta necesidad. La teoría de conjuntos proporciona ya una serie de conceptos reconocidos como relevantes en informática: productos cartesianos, sumas directas, árboles, secuencias, bolsas, conjuntos, funciones y relaciones.

Estas ideas inspiraron a Jean-Raymond Abrial, un exitoso *ingeniero de software* francés, que desarrolló la notación Z para *especificación formal de software*. Su principal rasgo característico

eran los *esquemas*, que consistían en un par constituido por una *declaración* de los nombres de ciertas variables libres y sus respectivos tipos, y un *predicado* lógico que expresaba una relación invariante deseada entre los valores iniciales y finales de dichas variables. Su utilidad práctica en un proyecto de *software* de envergadura se demostró en el proyecto CICS (*Customer Information and Control Systems*) de la IBM, de Ib Sorensen y Ian Hayes. Involucró más trabajo en las etapas



iniciales, pero proporcionó confianza en la solidez del diseño, y la temprana formalización rigurosa previno muchos errores que pudieron haber sido muy problemáticos en etapas posteriores del proyecto. Al fin de cuentas, los costos de desarrollo, aun con un uso inicial de Z, fueron menores que los de los componentes desarrollados con métodos tradicionales, y la calidad percibida por los clientes fue mayor.

Rick Hehner, de visita en Oxford en 1983, convence a Hoare de que incluso era posible un enfoque más simple que el de la notación Z, basada en teoría de conjuntos [Heh84]. Simplemente, bastaba definir la semántica del lenguaje de programación en términos del cálculo de predicados (al modo de los *esquemas* en Z). Cada programa se interpreta como el predicado más fuerte (restrictivo), que describe su comportamiento observable en todas sus posibles ejecuciones. Como resultado de esto, el concepto de *satisfacción de una especificación* se puede identificar con el concepto más ubicuo, en todo razonamiento matemático: el de *implicación* lógica. Más aún, no hay necesidad ya de una semántica axiomática, porque todas las reglas de prueba útiles se pueden demostrar como teoremas. Además de la solución al renuente problema de la especificación y corrección de los *Procesos Secuenciales que se Comunican* (CSP) [Hoa78], esta revelación inspiró investigaciones subsecuentes por parte de Hoare mismo, que con la colaboración de He Ji-Feng desarrolló semánticas orientadas por especificaciones para muchos otros paradigmas de programación, entre los que se cuentan paradigmas de *hardware* y de *software*, declarativos y procedimentales, secuenciales y paralelos. Resulta, entonces, que hay mucho en común entre

las propiedades matemáticas de todos los paradigmas, lo que los condujo a describir su actividad como la unificación de las teorías de programación de manera análoga a como se espera una teoría de campo unificado en la física [Hoa98].

LA IMPORTANCIA DE LA SIMBOLOGÍA MATEMÁTICA Y SU MANIPULACIÓN ALGEBRAICA

El propósito de la sección anterior era describir cómo el desarrollo de la teoría informática ha generado una “apli-



La manera analítica de solucionar problemas constituye una especie de andamio desde el cual se puede construir la arquitectura perfeccionada de la prueba.

cación” más bien “teórica” de las matemáticas. De hecho, este tipo de investigación en informática dio lugar a unas matemáticas de un estilo radicalmente nuevo, muy diferente del tradicional.

Históricamente, las técnicas de manipulación simbólica que generan una cantidad de trabajo formal que crece cuadrática o aun exponencialmente con la longitud de la fórmula son bastante aceptables en el ámbito usual del trabajo matemático, ya que las fórmulas con que se trabaja son, en general, breves; en cambio, en el ám-

bito informático simplemente no sirven. En consecuencia, la efectividad de las *técnicas de manipulación de símbolos* aparece, de repente, como un fenómeno radicalmente nuevo e importante.

La notación matemática moderna depende de las innovaciones de un jurista francés, consejero del rey Francisco I y descifrador de códigos del siglo XXVII, François Viète, quien fusionó códigos cifrados, así como abstracciones legales y matemáticas para concebir el simbolismo algebraico que se usa hasta el día de hoy.

Viète se consideraba un redescubridor de un arte perdido y antiguo, porque no concebía cómo los matemáticos de la antigüedad habían logrado lo que hicieron sin contar con metodologías especiales de cálculo que no se evidenciaban en la presentación de las formidables pruebas geométricas que aparecen en los *Elementos* de Euclides [Pes04]. Este estilo de presentación, en el que se comienza con ciertos axiomas y se muestra cómo sintetizarlos para producir los teoremas que se van a demostrar, es lo que Pappus llamaba matemática “sintética”. Pero Pappus también aludía a los métodos de la matemática “analítica”, en la que se trabaja “hacia atrás” a partir del resultado deseado, encontrando en el camino lo necesario para llegar al resultado en cuestión. Viète concluyó que este arte analítico era probablemente la forma como los antiguos se habían ingeniado sus milagrosas demostraciones. Por consiguiente, la manera analítica de solucionar problemas constituye una especie de andamio desde el cual se puede construir la arquitectura perfeccionada de la prueba. Al final, Viète infería que los maestros antiguos removían el andamio de modo que el lector pudiera admirar la belleza de la prueba, que

no fue obstruida por los instrumentos con que se construyó. Sin embargo, no hay evidencia de que los antiguos conocieran el arte que Viète reconstruyó.

Viète mismo fue guiado por su actividad de criptoanalista, de tal manera que el proceso de solucionar un problema algebraico por medio de manipulaciones simbólicas resultaba, para él, estrechamente ligado a los métodos para descifrar códigos. Viète se dio cuenta de que los símbolos podían manipularse como si fueran números en lugar de simples letras del alfabeto. He aquí el momento histórico en que, por primera vez, el simbolismo matemático traspasa los límites del lenguaje humano ordinario y de la semántica. No se trata solamente de un asunto de concisión, sino que la simbología matemática va mucho más allá: es posible combinar dos ecuaciones (o manipularlas en cualquier otra forma) de modo imposible con dos oraciones gramaticales, superando las posibilidades del lenguaje humano ordinario. Más aún, las ambigüedades de las lenguas quedan eliminadas del formalismo matemático, que es de naturaleza inequívoca. Donde el lenguaje ordinario requiere juicios e intuiciones, el formalismo requiere solamente manipulaciones simbólicas, de acuerdo con reglas fijas preestablecidas. Se podría decir que los símbolos realizan el trabajo intelectual porque poseen potencia lógica y matemática incorporadas, sin que el usuario tenga necesidad de reinventarlas cada vez, o aun de entenderlas más allá de obedecer las reglas de manipulación.

LA POTENCIA INEXPLORADA DEL CÁLCULO LÓGICO

De la misma manera en que paulatinamente se descubrió, hacia el final de la edad media, que la manipulación no interpretada de ecuaciones algebraicas era un instrumento útil y poderoso, la lógica formal (o matemática) —el sistema de manipulación simbólica por excelencia— evolucionó finalmente en un método de cálculo con esas mismas propiedades, para demostrar teoremas y derivar formalmente en soluciones a problemas algorítmicos.

Como consecuencia agradable, pero no totalmente inesperada (al menos para los practicantes de este método),

La efectividad de las técnicas de manipulación de símbolos aparece, de repente, como un fenómeno radicalmente nuevo e importante.

la efectividad de las pruebas formales se está convirtiendo en un modo efectivo de enseñar las matemáticas: aprendiendo a pensar ordenada y rigurosamente. Desde este punto de vista, el descubrimiento del hecho de que la lógica simbólica puede usarse para descubrir verdades constituye un hito en la evolución de la informática como un área científica independiente y madura, que refleja un aspecto más en el que paga su deuda con las matemáticas, enriqueciendo los métodos de su práctica y enseñanza.

Tradicionalmente, la lógica matemática ha sido considerada, en esencia, como un objeto de estudio bastante apreciado por proporcionar un lenguaje para describir o expresar de manera precisa nuestra comprensión. Sorprendentemente, lo que esperaría cualquiera que se iniciara en su estudio, a saber, usar los conocimientos aprendidos acerca de la lógica para realizar deducciones, es decir, el estudio de la relación de un teorema con la estructura de su prueba, lo han ignorado casi por completo las personas dedicadas a esta ciencia. Sin embargo, fue precisamente la necesidad de un aparato de razonamiento práctico y eficaz lo que ocasionó el surgimiento de un método de cálculo lógico utilizado como medio de expresión y razonamiento en la derivación formal de programas, llamado cálculo ecuacional.

Y es precisamente a Edsger Dijkstra (y a sus colegas del “Club de los Martes en la tarde” en Eindhoven, en particular C.S. Scholten y W.H.J. Feijen) a quien debemos el desarrollo de este cálculo y de esta forma de aproximarse a la labor matemática [EWD]. Su trabajo ha tenido impacto en la manera de presentar demostraciones de teoremas en la investigación informática, y aun en la educación matemática de pregrado en informática con la influencia del texto de Gries y Schneider [Gri93]. Tales ideas pueden entenderse



también como un interesante descubrimiento dentro del área de la lógica, aunque este hecho ha permanecido hasta ahora ampliamente ignorado.

RECOGIENDO EL GUANTE EN LA ESCUELA: IMPACTO INNOVATIVO EN LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS

Tradicionalmente, en los cursos básicos de matemáticas en las universidades se evitan las notaciones formales propias de esta ciencia, tanto en las definiciones como en las demostraciones de teoremas. Semestres más tarde, una vez que los estudiantes adquieren alguna familiaridad (no sería apropiado decir “dominio”) con el uso y aplicación de definiciones y prueba de teoremas descritos básicamente en lengua nativa, con un estilo argumentativo que recuerda el de los abogados y juristas, se les muestra que los razonamientos informales pueden formalizarse, pero les queda la impresión de que este esfuerzo no vale la pena. El diseño de una demostración no se enseña en lo absoluto, ni siquiera a los futuros matemáticos.

Sin embargo, análogamente a como el “álgebra medieval” se enseña rutinariamente en el bachillerato, en los cursos de matemáticas discretas que se dictan hoy en la Escuela Colombiana de Ingeniería, enseñamos matemáticas y razonamiento riguroso de manera efectiva, mediante el *diseño* de demostraciones matemáticas, usando la lógica formal por medio de un *cálculo lógico* basado en la equivalencia (igualdad lógica) y en la sustitución de “iguales por iguales” debida a Leibniz.



La razón para esto radica en que la *lógica ecuacional* posee las siguientes características [Gri95a, 95b, 91]:

- Es fácil de enseñar, porque sigue el estilo del álgebra del bachillerato.
- Constituye una alternativa al razonamiento en lenguaje natural. Rara vez las pruebas en la lógica ecuacional remedan argumentos informales en castellano. Por el contrario, las demostraciones son *calculativas* en el sentido de que se calcula, usando las reglas de la lógica, de modo muy similar a como se calcula para resolver un problema de álgebra del bachillerato. Más aún, se pueden poner en práctica principios y estrategias útiles para ayudar a descubrir teoremas y demostraciones.
- Su uso riguroso no conduce necesariamente a complejidades abrumadoras (como es el caso de algunos sistemas lógicos). Por el contrario, su tendencia es hacia la simplificación. En general, las pruebas *calculativas* son más cortas, simples y fáciles de recordar que las pruebas informales expresadas en lenguaje natural.

Es muy versátil –se puede extender a una amplia variedad de dominios matemáticos.

Fue un matemático, Morris Kline, quien dijo: “Más que cualquier otra cosa, la matemática es método”. A pesar de esto, muy pocos cursos de matemáticas enseñan método y muchos matemáticos ni siquiera piensan que se

pueda enseñar. Por el contrario, consideran que el método es algo que se aprende de manera inconsciente con los años.

Sin embargo, nuestra experiencia nos muestra que es posible dotar al estudiante, al principio de sus estudios básicos, con alguna noción de método que con seguridad le ayudará a comprender y apreciar las matemáticas y sus aplicaciones. Además de los obvios beneficios logrados con la inclusión de formalismos matemáticos útiles en los planes de estudio de la ingeniería, se tiene una ventaja adicional al trabajar con un concepto de *diseño basado en principios teóricos*, ya que esta actividad distingue a la ingeniería de otras disciplinas, y precisamente es connatural a nuestra forma de enseñar las matemáticas.

APROXIMACIONES AL USO DE ÚTILES COMPUTACIONALES QUE APOYEN EL APRENDIZAJE

El *enfoque calculativo* de aproximación a las matemáticas (en particular, a la programación de computadores) que hemos descrito en párrafos anteriores es, por su alta concreción simbólica, susceptible de representación y manipulación computacional.

Concretamente, podemos mencionar dos iniciativas en este sentido:

- *Procesador de demostraciones matemáticas*. Al igual que un “procesador de palabras” es un instrumento útil para la elaboración de documentos de texto, un “procesador de pruebas” podría convertirse en una herramienta útil para la elaboración de demostraciones matemáticas

- *Ayudas computacionales para la manipulación de estructuras matemáticas*. La precisión de las notaciones y las manipulaciones proporcionadas por el *enfoque calculativo*, así como la posibilidad de dar “concreción virtual” a las diferentes estructuras y operaciones ma-

temáticas, permiten suponer que constituirían un complemento de “experimentación y práctica” en la enseñanza de las matemáticas.

En cuanto a la primera iniciativa, con el proyecto “Diseñador de pruebas de la lógica ecuacional”, financiado por la Escuela, que acaba de concluir, se demostró la viabilidad de este instrumento mediante su implantación preliminar. Su perfeccionamiento como producto de *software* con aplicaciones a la enseñanza comienza a realizarse mediante proyectos dirigidos de pregrado.

El trabajo de Ed Dubinsky [Dub01, 96], sobre la extensión de las teorías piagetianas y otras relacionadas con el aprendizaje para la adquisición de conceptos abstractos en matemáticas, resulta particularmente inspirador y apropiado para orientar la segunda iniciativa que, en principio, se propondrá este año como un proyecto en colaboración con profesores de la Dirección de Ciencias Básicas, orientado a investigar cómo apoyar computacionalmente el aprendizaje del álgebra lineal.



Las cualidades de la matemática absolutamente indispensables para el desarrollo de la informática son su *generalidad*, *precisión* y *confiabilidad*.

A MANERA DE SÍNTESIS

Las cualidades de la matemática absolutamente indispensables para el desarrollo de la informática son su *generalidad*, *precisión* y *confiabilidad*. La generalidad resulta indispensable en los desarrollos informáticos, en el sentido de que deben poderse aplicar a un número muy grande de casos –y con frecuencia ilimitado–, que se obtiene por medio de la *abstracción*. De hecho, en el desarrollo de nuestra comprensión de los fenómenos complejos la herramienta más potente de que dispone el intelecto humano es la abstracción. Ésta surge del reconocimiento de las similitudes que existen entre ciertos objetos, situaciones o procesos del mundo real, de la decisión de concentrarse en esas similitudes y de ignorar momentáneamente sus diferencias. En el campo de la informática, uno de los avances científicos más significativos ha sido el considerar el texto del programa una abstracción de su correspondiente ejecución por parte de la máquina.

La precisión y confiabilidad que deben tener los productos de la informática son fruto de la *naturaleza formal* o

simbólica de los programas mismos. La virtud de los textos formales radica en que, para ser legítimos, precisan satisfacer solamente unas pocas reglas; constituyen, cuando uno lo considera un poco, un instrumento asombrosamente efectivo para eliminar todo tipo de absurdos, que con el uso de las lenguas nativas son casi imposibles de evitar.

Sin embargo, la informática plantea retos formidables que nunca han enfrentado los métodos tradicionales de trabajo con las matemáticas.

Tenemos problemas monumentales de *complejidad* y *escala* que dan lugar a muy exigentes requerimientos en la *notación* y el *estilo* para lograr precisión, sencillez, comprensibilidad, claridad y eficiencia en las estructuras lingüísticas para la expresión de programas y objetos computacionales.

Algunos de los problemas que enfrentan los programadores, en donde los métodos tradicionales de las matemáticas ayudan muy

poco y que hacen que la informática como ciencia se constituya en una novedad radical todavía muy poco dilucidada, son los siguientes:

- *Lidiar con la complejidad.* Como se ha reiterado, los sistemas informáticos constituyen empresas intelectuales ambiciosas, al tiempo que la complejidad computacional amenaza con abrumar a sus constructores a cada paso. Los expertos deben reconocer la *sencillez* esencial detrás de un caos aparente. Lo que se pide construir es cada día más complejo y de mayor tamaño; por esto mismo, la presión se centra cada vez más en desarrollar métodos e instrumentos de todo estilo que nos permitan lidiar adecuadamente con la complejidad.

- *Ser consciente de la escala.* La complejidad es un problema de escala. Algunos sistemas informáticos que se producen no son solamente complejos, su mero tamaño puede resultar asombroso. El código fuente de Windows XP tiene alrededor de 35 millones de líneas de código de programación y algunos sistemas de defensa o telecomunicaciones están en el mismo rango. Unos cuantos millones de líneas son hoy en día muy comunes. Muchos problemas de la in-

geniería informática aparecen cuando el tamaño crece; la cantidad afecta la calidad. Parte de las habilidades de un buen profesional es saber cuáles técnicas son escalables y cuáles no.

• *Concebir diseños evolutivos para el cambio constante.* Los sistemas informáticos cambian más que cualquier artefacto de ingeniería de otro tipo. A menos que los desarrolladores apliquen minuciosamente principios arquitectónicos estrictos, el proceso de cambio puede ser penoso, en especial cuando se trata de sistemas grandes. Gran parte de la justificación para los métodos modernos, lenguajes e instrumentos es la expectativa de que facilitarán estos procesos.

Los retos científicos que aún debe enfrentar la informática en este siglo que se inicia requieren una nueva y vigorosa matemática, que están llamados a desarrollar quienes nos dedicamos a trabajar en esta apasionante área de investigación.



BIBLIOGRAFÍA

[Abr84] Abrial, J.R., Assigning programs to meanings, in *Mathematical Logic and Programming Languages*, Philosophical Transactions of the Royal Society, Series A, vol. 31, 1984.

[Bac03] Backhouse, Roland, *Program Construction: Calculating Implementations from Specifications*, Wiley, 2003.

[Boh04] Bohórquez V., Jaime A., "Aportes de la teoría informática a la enseñanza y la práctica de la ingeniería de software", *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, noviembre de 2004.

[Boh05] Bohórquez V., Jaime A., *Diseño de programas correctos y eficientes*, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería (edición preliminar, agosto de 2004, edición definitiva por aparecer en 2005).

[Coh90] Cohen, E., *Programming in the 1990s: An Introduction to the Calculation of Programs*, Springer Verlag, 1990.

[EWD] Dijkstra, Edsger, "In Pursuit of Simplicity: The Manuscripts of Edsger W. Dijkstra", <http://www.cs.utexas.edu/users/EWD/>.

[Dij89b] Dijkstra, E.W., On the Cruelty of Really Teaching Computer Science, *Communications of the ACM*, vol. 32, No. 12, 1989.

[Dij81] Dijkstra, E.W., Why Correctness Must Be a Mathematical Concern, in *The Correctness Problem in Computer Science*, Londres, Academic Press, 1981.

[Dij76] Dijkstra, E.W., *A Discipline of Programming*, Prentice Hall, series in Automatic Computation, Prentice Hall, 1976.

[Dij68] Dijkstra, E.W., A Constructive Approach to the Problem of Program Correctness, *BIT* 8, 1968, pp. 174-186.

[Dub01] Dubinsky, Ed, McDonald, M., APOS: A Constructivist Theory of Learning in Undergrad Mathematics Education Research, 2001, in D.

Holton et al. (eds.), *The Teaching and Learning of Mathematics at University Level: An ICMI Study*, Kluwer Academic Publishers, pp. 273-280.

[Dub96] Una aplicación de la perspectiva piagetiana a la educación matemática postsecundaria, *Educación Matemática*, vol. 3, AF8, 1996.

[Flo67] Floyd, R.W., Assigning Meanings to Programs, *Proc. Am. Soc. Symp. Appl. Math.*, vol. 19, 1967, pp. 19-31.

[Gog98] Goguen, Joseph, *Tossing Flowers down the Great Divide. People and Ideas in Theoretical Computer Science*, Cristopher Calude (ed.), Springer Verlag, 1998, pp. 93-129.

[Gri95a] Gries, David and Schneider, Fred, Teaching Math more Effectively through Computational Proofs, *The Mathematical Monthly*, October 1995, pp. 691-697.

[Gri95b] Gries, David and Schneider, Fred, A New Approach to Teaching Mathematics, *Primus* V, 2, June 1995, pp. 114-115.

[Gri93] Gries, David and Schneider, Fred, *A Logical Approach to Discrete Math*, Springer Verlag, 1993.

[Gri91] Gries, David, Teaching Calculation and Discrimination: A More Effective Curriculum. *Comm. ACM* 34, 3, March 1991, pp. 44-55.

[Gri81] Gries, David, *The Science of Computer Programming*, Springer Verlag, 1981.

[Heh84] Hehner, E.C.R., *The Logic of Programming*, Prentice Hall International (ed.), 1984.

[Hoa03a] The Verifying Compiler: A Grand Challenge for Computing Research, *JACM*, vol. 50, No. 1, January, 2003, pp. 63-69.

[Hoa03b] Assertions: a Personal Perspective. *IEEE Annals of the History of Computing*, 2003, pp. 14-25.

[Hoa98] Hoare, C.A.R. and Ji-Feng He, *Unifying Theories of Programming*, Prentice Hall International Series in Computer Science, 1998.

[Hoa85] Hoare, C.A.R., *Communicating Sequential Processes*, Prentice Hall, 1985.

[Hoa78] Communicating Sequential Processes, *Comm. ACM*, 21(8), 1978, pp. 666-777.

[Hoa69] Hoare, C.A.R., An Axiomatic Basis for Computer Programming, *Comm. ACM*, 12(10), 1969, pp. 576-580, 583.

[Kal90] Kaldewaij, A., *Programming: The Derivation of Algorithms*, Prentice Hall, 1990.

[Pes04] Pesic, Robert, *Abel's Proof: An Essay on the Sources and Meaning of Mathematical Unsolvability*, MIT Press, April 1, 2004.

[Qui79] Quine, Willard, *Mathematical Logic*, Harvard University Press (revised edition March 1, 1979).

[Sno93] Snow, C.P., *The Two Cultures*, Cambridge University Press (reissue edition July 30, 1993).

[Wir76] Wirth, N., Program Development by Stepwise Refinement, *Comm. ACM* (14), 4, 1976, pp. 221-227.

REFERENCIAS

1. Término de tradición histórica pero conceptualmente incorrecto para denotar un programa *traductor* de un lenguaje de programación (usualmente de alto nivel) al lenguaje de la máquina

Análisis del sector generador de energía eléctrica en Colombia

Rafael Guillermo García Cáceres*, Ingrid Marcela Monroy Licht** y Óscar Fernando Guío Tamayo***

En este artículo se explora la eficiencia relativa de los agentes generadores de energía eléctrica en Colombia en el año 2001, a través de la técnica de Análisis Envolvente de Datos (DEA, por su sigla en inglés), que compara los índices de eficiencia de cada unidad frente a los referentes eficientes que operan en condiciones similares. Se emplean varias posibilidades de DEA. Específicamente se determinan la escala de funcionamiento del sector, las unidades (DMU)¹ que operan a la escala de tamaño más productivo (MPSS), las medidas de eficiencia asociadas (con orientaciones a las entradas y salidas), la descomposición de su ineficiencia, la evolución tanto de cada DMU como del sector en el tiempo y las posibles diferencias entre los subsectores homogéneos que la componen. En el estudio se determinó que el sector tiene potencial de operación a retornos constantes a escala, así como también que no existen diferencias significativas en el desempeño de los subsectores, discriminados por tipo de generación y tipo de capital. Finalmente la evolución del sector durante el año presentó estacionalidad, con incrementos en el desempeño a mediados y finales del mismo. A nivel de unidades se logró un completo análisis de las razones de su ineficiencia y de sus posibilidades relativas de mejoramiento.

* Profesor asistente y director del grupo de investigación Logísticos del Departamento de Procesos Productivos de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. rafael.garcia@javeriana.edu.co.
 ** Ingeniera industrial ingrid.monroy@javeriana.edu.co.
 *** Ingeniero industrial oscar.guio@javeriana.edu.co.

INTRODUCCIÓN

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una técnica no paramétrica alternativa en la evaluación del desempeño de organizaciones o firmas que evita la escogencia de ponderaciones *a priori* de las variables tenidas en cuenta para la decisión, al igual que comparaciones hipotéticas con referencias ideales.

El DEA no requiere especificaciones de relaciones entre entradas y salidas, incluso no precisa que éstas sean las mismas para cada entidad; elimina los supuestos y, por tanto, las limitaciones de los métodos tradicionales para evaluar la eficiencia.

La técnica se caracteriza por determinar la frontera eficiente de producción a partir de los datos empíricos de las firmas que comprende, y evalúa el indicador de productividad parcial (*output / input*) de cada DMU con respecto al de aquellas encontradas como eficientes. Se ha utilizado en múltiples ambientes, para medir la eficiencia relativa de sus unidades productivas.

Con el DEA se ha analizado el sector eléctrico en sus diferentes actividades competitivas (Chitkara, 1999), (Domah and Pollit, 2001), (Lo, Chien, Lin, 2001), (Sueyoshi, Tariff, 1999), (Whiteman, 2000). En Colombia, se presenta el antecedente de (Pérez-

García, 2002), aplicado a la industria generadora de energía eléctrica, del cual se muestran los resultados más recientes en este artículo.

La industria eléctrica en Colombia ha experimentado cambios significativos en los últimos años que pudieron influir en su escala de funcionamiento y en la eficiencia de operación de sus agentes. Las modificaciones han sido motivadas por el gobierno nacional, en su intento por asegurar una cobertura eficiente a la demanda creciente, promoviendo a su vez políticas de contingencia, entre las que se cuentan los procesos de privatización y desplazamiento tecnológico.

La industria eléctrica en Colombia ha experimentado cambios significativos en los últimos años que pudieron influir en su escala de funcionamiento y en la eficiencia de operación de sus agentes.

En el período 1999-2000, el sector generador de energía experimentó un proceso de aparente estabilidad, con un mayoritario número de generadoras con operación a retornos decrecientes a escala.

Esto hace suponer posibles cambios tecnológicos en los siguientes años, dadas las condiciones de competitividad en la tarifa regulada por la bolsa de energía e indirectamente por el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Así mismo, se percibía una etapa inicial de transición en la naturaleza del capital de las empresas generadoras y el tipo de generación, hacia agentes privados y plantas térmicas. Sin em-

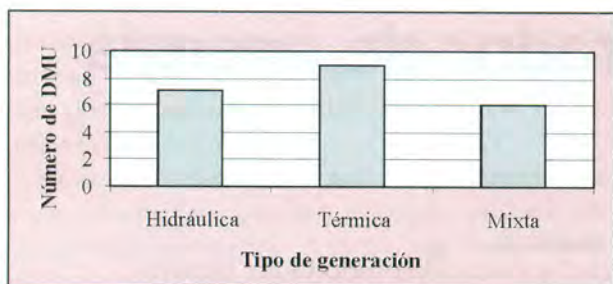


Figura 1. Distribución de las DMU de acuerdo con el tipo de generación de energía eléctrica en el año 2001.

bargo, a pesar de las condiciones favorables del gobierno para promover dicha transición, ésta aún no era manifiesta.

El estudio contribuye a la determinación más actualizada de las condiciones del sector, proporcionando una referencia para que éste y las entidades gubernamentales responsables adopten medidas en pro del aumento de la eficiencia de los agentes generadores.

METODOLOGÍA

El desarrollo del análisis se divide en dos etapas: en la primera se describen los aspectos relevantes del sector de generación de energía eléctrica en Colombia, y en la segunda se realizó su análisis a través de DEA y técnicas estadísticas no paramétricas. La metodología se describe a continuación:

Se seleccionaron las variables correspondientes a los productos e insumos, donde se escogieron cuatro variables de entrada: capacidad instalada por agente generador (MW), número

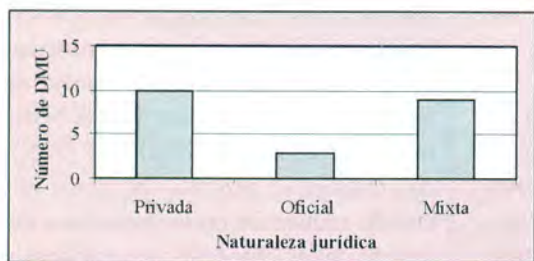


Figura 2. Distribución de las DMU de acuerdo con su naturaleza jurídica año 2001.

de trabajadores, costo de combustible (\$/ megacaloría) y antigüedad de la firma (número de meses), y dos variables de salida: generación de energía eléctrica (Gwh) y factor de utilización (%), sobre las cuales se aplicó un juzgamiento preliminar de disponi-

bilidad, conveniencia y suficiencia de datos, y un análisis de correlación entre parejas de factores.

Los modelos DEA permiten diferenciar entre las variables discrecionales (controlables) y no discrecionales (no controlables), a través de la no penalización de estas últimas. Para el caso, las variables de entrada—costo de combustible y antigüedad de la firma—se identificaron como no discrecionales.

Se construyeron series mensuales de datos para las variables seleccionadas para el año 2001.

A continuación se determinó la muestra de análisis de los agentes generadores y se procedió a categorizarla. Como resultado se obtuvo información de 22 agentes generadores de energía eléctrica, reportados en el mercado de energía mayorista de Colombia, los cuales representaban en el 2001 el 95% de la generación entregada por las empresas pertenecientes al SIN. Finalmente, las diferentes plantas o unidades pertenecientes a un solo agente generador se reunieron como una DMU.

En la figura 1 se muestra la distribución de las DMU de acuerdo con el tipo de generación. Se observan pro-

porciones semejantes en el número de generadoras hidráulicas, térmicas y de generación mixta.

En relación con la naturaleza jurídica de las DMU (figura 2), el menor número lo constituye el sector oficial, mientras que los sectores privado y mixto son considerablemente mayores, encontrándose en proporciones similares.

En lo que respecta a la actividad económica, las DMU seleccionadas presentaron proporciones semejantes entre los generadores y comercializadores de energía eléctrica y los agentes integrados verticalmente; estos últimos comprenden las actividades de



Figura 3. Distribución de las DMU de acuerdo con su actividad económica.

generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica (figura 3).

Los modelos DEA utilizados (ver anexo) son versiones que permiten incluir las variables no controlables y se presentan en sus dos orientaciones: formulaciones CCR (Charnes, Cooper y Rhodes), que miden la eficiencia técnica (ET), al igual que modelos que permiten medir la eficiencia basada en holguras (SBM) (Cooper, Seiford, Tone, 2000). A continuación se presentarán unas breves descripciones del concepto de eficiencia en DEA.

La Eficiencia Técnica (ET) mide la eficiencia fuerte de Pareto - Koopmans, e incluye el supuesto de retornos constantes a escala.

La Eficiencia de Escala (EE) puede definirse como el cociente entre la Eficiencia Técnica (ET) y la Eficiencia Técnica Pura (ETP); esta última difiere de la ET en la frontera eficiente que asume retornos variables a escala.

$$EE = \frac{ET}{ETP}$$

La Eficiencia de Mezcla (EM) expresa la eficiencia en la proporción de utilización de los recursos o en la obtención de los productos, y se calcula utilizando la medida de Eficiencia Basada en Holguras (SBM), que es una medida no radial y que determina, como su nombre lo indica, las holguras de las entradas o los faltantes de las salidas necesarias para alcanzar la frontera eficiente, cuando los movimientos simultáneos radiales de las entradas o salidas (dependiendo de la orientación) no han permitido alcanzar la frontera eficiente a una DMU evaluada en particular. La EM se enuncia como el cociente entre la SBM y la ET.

$$EM = \frac{SBM}{ET}$$

Así mismo:

$$SBM = EM \times ETP \times EE$$

Esta relación permite explicar la ineficiencia no radial de una DMU, expresada mediante sus componentes de Eficiencia de Mezcla, Eficiencia Técnica Pura y Eficiencia de Escala.

Además de la descomposición de la eficiencia, se tuvieron en cuenta el análisis de la escala de funcionamiento, las proyecciones a la frontera eficiente de las DMU, su *benchmarking*, el cálculo de las coordenadas MPSS y las pruebas estadísticas para analizar diferencias en las medias de eficiencia entre subsectores; para el último caso se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Finalmente, se analizó la evolución de las DMU y la industria mediante el Windows Analysis.

El estudio finaliza con una discusión de resultados y conclusiones.

DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los modelos se ejecutaron para las 22 DMU, en cada uno de los doce períodos mensuales de datos.

EMS® y Lindo© fueron los *software* empleados para ejecutar los modelos planteados orientados a las entradas -io- y orientados a las salidas -oo- (tablas 1 y 2).

Tabla 1

Número de modelos ejecutados para el año 2001 con EMS

| Modelos ejecutados | CCRio | CCRoo | ADDio | ADDoo |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| No. de DMU | 22 | 22 | 22 | 22 |
| No. de meses considerados | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Total de modelos ejecutados | 276 | 12 | 12 | 12 |

Tabla 2

Número de modelos ejecutados para el año 2001 con Lindo

| Modelos Ejecutados | Máx. β / α (MPSS) | S+ S- (MPSS) |
|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| No. de DMU | 22 | 22 |
| No. de meses considerados | 12 | 12 |
| Total de modelos ejecutados | 264 | 264 |

Verificación de escala

La verificación de la escala de operación de los agentes generadores de energía eléctrica en Colombia permite identificar la manera como debe evaluarse la eficiencia de cada DMU, estableciendo la frontera eficiente de referencia. Para esto se determina la evolución de la escala de funcionamiento de cada unidad en el período analizado, utilizando el modelo presentado en el anexo, el cual corresponde a una modificación del BCC orientado a las entradas.

En el resumen del análisis de escala se aprecia que los agentes funcionan indistintamente a diferentes escalas de operación; así mismo, se presenta un funcionamiento a retornos constantes a escala durante un lapso importante del año (tabla 3).

Este resultado permite concluir que la eficiencia y la escala de funcionamiento de los agentes dependen de su desempeño y no de razones tecnológicas o comerciales diferenciales; de esta manera se deduce que la frontera adecuada de comparación y medición de la eficiencia es el cono convexo concebido en el modelo CCR.

DMU eficientes y descomposición de la eficiencia

Se resumen los resultados de eficiencia técnica y de mezcla en sus dos orientaciones en la tabla 4. Técnicamente las DMU que resultaron eficientes durante todo el 2001 fueron la 6, 9, 10 y 19. Por otra parte, el número de DMU eficientes por mes fue de 8,33, en promedio.

La descomposición de la Eficiencia Relativa, en sus componentes radial y no radial, contribuye a la interpretación de las causas por las cuales una DMU es ineficiente respecto al sector.

Tabla 3
Frecuencia de retornos a escala (año 2001)

| DMU | Retornos constantes a escala | Retornos crecientes a escala | Retornos decrecientes a escala | DMU | Retornos constantes a escala | Retornos crecientes a escala | Retornos decrecientes a escala |
|-----|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 0,667 | 0,167 | 0,167 | 13 | 0,833 | 0,083 | 0,083 |
| 2 | 0,667 | 0,250 | 0,083 | 14 | 0,833 | 0,167 | 0,000 |
| 4 | 0,500 | 0,333 | 0,167 | 15 | 0,833 | 0,167 | 0,000 |
| 5 | 0,917 | 0,083 | 0,000 | 16 | 0,917 | 0,083 | 0,000 |
| 6 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 17 | 0,917 | 0,083 | 0,000 |
| 7 | 0,583 | 0,250 | 0,167 | 18 | 0,333 | 0,667 | 0,000 |
| 8 | 0,750 | 0,083 | 0,167 | 19 | 1,000 | 0,000 | 0,000 |
| 9 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 20 | 0,833 | 0,167 | 0,000 |
| 10 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 21 | 0,667 | 0,333 | 0,000 |
| 11 | 0,667 | 0,167 | 0,167 | 22 | 0,667 | 0,250 | 0,083 |
| 12 | 0,333 | 0,583 | 0,083 | | | | |

Tabla 4
DMU eficientes técnicamente y de mezcla io y oo (año 2001)

| Mes | ETIO | ETOO | EMIO | EMOO | Mes | ETIO | ETOO | EMIO | EMOO |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Enero | 6,9,10,11,13,15,16,19,20 | 6,9,10,11,13,15,16,19,20 | 6,9,10,11,13,15,16,19,20 | 6,9,10,11,13,15,16,19,20 | Julio | 1,3,6,9,10,13,15,16,19,20 | 1,3,6,9,10,13,15,16,19,20 | 1,3,6,9,10,13,15,16,19,20 | 1,3,6,9,10,13,15,16,19,20 |
| Febrero | 6,9,10,14,15,19,20 | 6,9,10,14,15,19,20 | 6,9,10,14,15,19,20 | 6,9,10,14,15,19,20 | Agosto | 3,5,6,9,10,15,16,17,19 | 3,5,6,9,10,15,16,17,19 | 3,5,6,9,10,15,16,17,19 | 3,5,6,9,10,15,16,17,19 |
| Marzo | 6,8,9,10,11,12,13,15,16,19,20 | 6,8,9,10,11,12,13,15,16,19,20 | 6,8,9,10,11,12,13,15,16,19,20 | 6,8,9,10,11,12,13,15,16,19,20 | Septiembre | 5,6,9,10,15,16,19 | 5,6,9,10,15,16,19 | 5,6,9,10,15,16,19 | 5,6,9,10,15,16,19 |
| Abril | 6,8,9,10,11,16,19,20 | 6,8,9,10,11,16,19,20 | 6,8,9,10,11,16,19,20 | 6,8,9,10,11,16,19,20 | Octubre | 5,6,8,9,10,13,15,16,19 | 5,6,8,9,10,13,15,16,19 | 5,6,8,9,10,13,15,16,19 | 5,6,8,9,10,13,15,16,19 |
| Mayo | 6,9,10,16,19,20 | 6,9,10,16,19,20 | 6,9,10,16,19,20 | 6,9,10,16,19,20 | Noviembre | 6,9,10,13,15,16,17,19 | 6,9,10,13,15,16,17,19 | 6,9,10,13,15,16,17,19 | 6,9,10,13,15,16,17,19 |
| Junio | 6,9,10,15,16,19,20 | 6,9,10,15,16,19,20 | 6,9,10,15,16,19,20 | 6,9,10,15,16,19,20 | Diciembre | 5,6,9,10,13,15,16,17,19 | 5,6,9,10,13,15,16,17,19 | 5,6,9,10,13,15,16,17,19 | 5,6,9,10,13,15,16,17,19 |

Tabla 5
Descomposición del promedio de eficiencia -oo- (año 2001)

En la tabla 5 se presenta el promedio mensual de las eficiencias con orientación a las salidas, para cada una de las 22 DMU seleccionadas. Los resultados muestran ineficiencias en la operación y problemas de capacidad en la obtención de los productos para 18 de ellas, respecto a unidades eficientes que utilizan insumos similares.

| DMU | EBH | ET | EM | DMU | EBH | ET | EM |
|-----|--------|--------|--------|-----|---------|--------|--------|
| 1 | 1,2481 | 1,2271 | 1,0171 | 12 | 1,1665 | 1,1466 | 1,0173 |
| 2 | 1,4625 | 1,2078 | 1,2109 | 13 | 1,0145 | 1,0082 | 1,0062 |
| 3 | 1,3652 | 1,1899 | 1,1473 | 14 | 1,0480 | 1,0386 | 1,0090 |
| 4 | 1,5195 | 1,2714 | 1,1951 | 15 | 1,0098 | 1,0032 | 1,0065 |
| 5 | 1,4063 | 1,0034 | 1,4015 | 16 | 1,0126 | 1,0099 | 1,0026 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 17 | 1,2165 | 1,1075 | 1,0984 |
| 7 | 2,7401 | 2,1247 | 1,2896 | 18 | 49,1824 | 42,78 | 1,1496 |
| 8 | 3,0702 | 2,5702 | 1,1945 | 19 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 20 | 1,0295 | 1,0123 | 1,0170 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 21 | 1,4973 | 1,4247 | 1,0509 |
| 11 | 1,0512 | 1,0381 | 1,0126 | 22 | 1,8039 | 1,6939 | 1,0649 |

Tabla 6

Proyección en la frontera eficiente para las DMU con el modelo CCR io (año 2001)

| DMU | Función objetivo ϕ^* | Salidas | | | Entradas | | Conjunto de referencia | DMU | Función objetivo ϕ^* | Salidas | | | Entradas | | Conjunto de referencia |
|-----|---------------------------|-----------------------|------------|---------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|--------|---------------------------|------------|---------------------|------------------------|----------------|--|------------------------|
| | | Factor de utilización | Generación | Capacidad instalada | Número de trabajadores | Factor de utilización | | | | Generación | Capacidad instalada | Número de trabajadores | | | |
| 1 | 0,4768 | 0,695 | 119,457 | 259,57 | 17,16 | E6-E19 | 12 | 0,3561 | 0,259 | 172,481 | 359,45 | 35,85 | E6-E11-E19 | | |
| 2 | 0,4631 | 0,524 | 76,357 | 120,50 | 88,95 | E10-E11 | 13 | 0,3870 | 0,361 | 56,534 | 131,58 | 6,97 | E6-E16-E19 | | |
| 3 | 0,8076 | 0,486 | 12,534 | 22,86 | 33,11 | E8-E10 | 14 | 0,0186 | 0,031 | 1,828 | 4,33 | 0,09 | E16-E19 | | |
| 4 | 0,3274 | 0,488 | 12,551 | 22,47 | 33,64 | E3-E10-E19 | 15 | 0,9720 | 0,608 | 615,836 | 1251,27 | 170,08 | E6-E11 | | |
| 5 | 0,4201 | 0,221 | 154,487 | 315,08 | 42,01 | E6-E11-E19 | 16 | 0,9815 | 0,357 | 111,295 | 399,00 | 2,00 | E19 | | |
| 6 | 1,0000 | 0,393 | 566,217 | 1181,00 | 109,00 | E6 | 17 | 0,5837 | 0,205 | 398,080 | 1012,14 | 119,53 | E6-E9 | | |
| 7 | 0,0709 | 0,084 | 7,274 | 11,93 | 9,50 | E10-E11-E19 | 18 | 0,6728 | 0,308 | 50,474 | 154 | 15,09 | E8-E10 | | |
| 8 | 0,5896 | 0,602 | 18,029 | 52,80 | 24,00 | E10,E19 | 19 | 1,0000 | 0,594 | 38,520 | 90,00 | 2,00 | E19 | | |
| 9 | 1,0000 | 0,190 | 770,700 | 2496,00 | 358,00 | E9 | 20 | 0,8576 | 0,357 | 77,108 | 300,00 | 8,00 | E9-E10-E16-E19 | | |
| 10 | 1,0000 | 0,793 | 20,172 | 34,50 | 56,00 | E10 | 21 | 0,7816 | 0,025 | 2,995 | 5,00 | 3,12 | E10-E11-E19 | | |
| 11 | 0,6512 | 0,717 | 200,658 | 314,00 | 201,00 | E6-E10-E19 | 22 | 0,0284 | 0,605 | 67,550 | 121,15 | 56,04 | E10-E11-E19 | | |

Proyección a la frontera eficiente

Se realiza un mapeo sobre la frontera de referencia para calcular los valores de las variables en los cuales las DMU alcanzarían la condición de eficiencia técnica.

Los nuevos valores de las variables se determinan de acuerdo con la orientación de los modelos así: para un modelo orientado a la entrada se reducen sus recursos en una proporción de $|1 - \theta_{io}^*|$, a cuyo resultado se restan las holguras de las entradas y se suman los faltantes de las salidas.

Para un modelo orientado a la salida se incrementan sus productos en la

proporción de $|1 - \theta_{oo}^*|$, a cuyo resultado se restan las holguras de las entradas y se suman los faltantes de las salidas.

Adicionalmente, el análisis indica los grupos de referencia asociados para cada unidad, que son compuestos por las DMU eficientes que operan en condiciones similares.

En la tabla 6 se presentan los resultados de proyección en la frontera eficiente para las DMU en el año 2001, con el modelo CCRio.

Proyección de las DMU al tamaño de escala más productivo (MPSS)

El análisis se emplea para estudiar las diferencias en el desempeño promedio de las distintas DMU que componen la industria. Todas aquellas DMU encontradas técnicamente ineficientes se proyectaron a la región definida como MPSS. En la tabla 7 se muestra la proyección a las coordenadas MPSS para las DMU en el año de estudio.

Las DMU 6, 9, 10 y 19 son MPSS durante todo el año 2001, mientras que las DMU 2, 4, 7, 18, 21 y 22, no alcanzaron estos niveles de desempeño en ningún período.

Tabla 7

Proyección a las coordenadas MPSS para las DMU con el modelo CCR oo (año 2001)

| DMU | Salidas | | Entradas | | Frecuencia* | DMU | Salidas | | Entradas | | Frecuencia* |
|-----|-----------------------|------------|---------------------|------------------------|-------------|-----|-----------------------|------------|---------------------|------------------------|-------------|
| | Factor de utilización | Generación | Capacidad instalada | Número de trabajadores | | | Factor de utilización | Generación | Capacidad instalada | Número de trabajadores | |
| 1 | 0,539 | 170,358 | 380,14 | 25,14 | 1 | 12 | 0,721 | 293,04 | 199,99 | 51 | 1 |
| 2 | 0,811 | 98,778 | 97,75 | -39,23 | 0 | 13 | 0,572 | 123,163 | 229,12 | 4,42 | 6 |
| 3 | 0,930 | 18,930 | 36,98 | 53,58 | 2 | 14 | 1,128 | 36,605 | 5,66 | 0,19 | 1 |
| 4 | 0,935 | 21,338 | 36,26 | 44,40 | 0 | 15 | 0,400 | 768,085 | 2596,00 | 677,00 | 10 |
| 5 | 0,606 | 229,108 | 249,22 | 48 | 4 | 16 | 0,176 | 53,633 | 399,00 | 2,00 | 11 |
| 6 | 0,291 | 496,744 | 1181 | 109 | 12 | 17 | 0,512 | 450,150 | 574,23 | 41,37 | 4 |
| 7 | 1,275 | 99,102 | 70,83 | -13,27 | 0 | 18 | 0,738 | 81,880 | 216,68 | 39,40 | 0 |
| 8 | 0,748 | 11,937 | 62,74 | 28,52 | 3 | 19 | 0,556 | 36,032 | 90 | 2 | 12 |
| 9 | 0,169 | 672,633 | 2496 | 358 | 12 | 20 | 0,637 | 137,698 | 300 | 8 | 7 |
| 10 | 0,947 | 23,264 | 34,5 | 56 | 12 | 21 | 1,076 | 50,487 | 222,28 | 43,53 | 0 |
| 11 | 0,725 | 112,015 | 26,48 | 109 | 3 | 22 | 0,640 | 67,432 | 136,97 | -7,16 | 0 |

* Número de meses en el año que fueron MPSS.

Tabla 8

Prueba de Kruskal-Wallis para tipo de generación. Orientada a la entrada

| Eficiencia técnica | | | Eficiencia de mezcla | | |
|--------------------|-----|--------|----------------------|-----|--------|
| Chi-cuadrado | gl. | pvalue | Chi-cuadrado | gl. | Pvalue |
| 1,009 | 2 | 0,604 | 2,259 | 2 | 0,323 |

Tabla 9

Prueba de Kruskal-Wallis para tipo de generación. Orientada a la salida

| Eficiencia técnica | | | Eficiencia de mezcla | | |
|--------------------|-----|--------|----------------------|-----|--------|
| Chi-cuadrado | gl. | pvalue | Chi-cuadrado | gl. | pvalue |
| 2,276 | 2 | 0,320 | 5,708 | 2 | 0,058 |

Los valores que aparecen como negativos en la proyección demuestran la imposibilidad de dicha DMU para alcanzar el desempeño relativo de operación MPSS.

Análisis de varianza

Para analizar la eficiencia promedio del sector, es importante determinar si existen diferencias en las medias de los subsectores que lo conforman que puedan explicar diferencias en los niveles de desempeño. Como ya se ha comentado, los sectores encontrados relevantes en el análisis corresponden al tipo de generación y la naturaleza jurídica. Para efectuar el análisis se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Los resultados del análisis no paramétrico de varianza para la eficiencia técnica y de mezcla en sus dos orientaciones, según la agrupación por tipo de generación, se muestran en las tablas 8 y 9.

En ambos casos no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de la media de eficiencias entre los tipos de generación térmicos, hidráulicos y mixtos, a un 95% de confianza.

En las tablas 10 y 11 se presentan los resultados según la naturaleza jurídica.

Al igual que en el caso del tipo de generación, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de la media de eficiencias para ambas orientaciones entre los tipos de naturaleza jurídica (públicos, privados y mixtos), a un 95% de confianza.

Los resultados verifican que no existen DMU que puedan experimentar una ventaja en su desempeño promedio, por pertenecer a un subsector específico.

Análisis de las razones de ineficiencias por unidad generadora

Para establecer medidas que contribuyan al mejoramiento del desempeño de cada DMU, se utilizó una medida por-

centual de ineficiencia en el año por cada variable en las dos orientaciones.

El análisis se presenta en las tablas 12 y 13.

En general, cuando se analizan los agentes respecto a las entradas parecen presentar ineficiencia en la generación de energía con menos frecuencia que en las demás variables, mientras que con respecto a las salidas, son las dos variables de salida las que presentan mayor ineficiencia, en una proporción considerable del tiempo.

Evolución de la eficiencia a través del tiempo (Windows Analysis)

Windows Analysis permite estudiar la evolución de las DMU y del sector en el tiempo. En la tabla 15 se presentan los resultados obtenidos con un modelo CCR orientado a las entradas, en el que se definió una longitud de ventana de seis meses para captar el supuesto estacional de la demanda que caracteriza a este tipo de industria.

Como se muestra en la figura 4, la industria mantiene constante la eficiencia técnica a mediados de año y la incrementa al final, debido al aumento del consumo de energía.

La evolución del desempeño de cada una de las empresas que componen el sector se presenta en la tabla 14 (ver anexo).

Tabla 10

Prueba de Kruskal-Wallis para naturaleza jurídica. Orientada a la entrada.

| Eficiencia técnica | | | Eficiencia de mezcla | | |
|--------------------|-----|--------|----------------------|-----|--------|
| Chi-cuadrado | gl. | pvalue | Chi-cuadrado | gl. | Pvalue |
| 0,460 | 2 | 0,795 | 2,357 | 2 | 0,308 |

Tabla 11

Prueba de Kruskal-Wallis para naturaleza jurídica. Orientada a la salida

| Eficiencia técnica | | | Eficiencia de mezcla | | |
|--------------------|-----|--------|----------------------|-----|--------|
| Chi-cuadrado | gl. | pvalue | Chi-cuadrado | gl. | pvalue |
| 0,287 | 2 | 0,866 | 0,056 | 2 | 0,972 |

Tabla 12
Porcentajes de ineficiencia en la orientación a entradas (año 2001)

| | Capacidad instalada | Número de trabajadores | Factor de utilización | Generación de energía | | Capacidad instalada | Número de trabajadores | Factor de utilización | Generación de energía |
|--------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| DMU 1 | 100,00 | 100,00 | 81,82 | 0 | DMU 12 | 100,00 | 100,00 | 36,36 | 0 |
| DMU 2 | 100,00 | 100,00 | 66,67 | 0 | DMU 13 | 100,00 | 100,00 | 83,33 | 0 |
| DMU 3 | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 100 | DMU 14 | 100,00 | 100,00 | 27,27 | 27,3 |
| DMU 4 | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 83,3 | DMU 15 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0 |
| DMU 5 | 100,00 | 87,50 | 75,00 | 0 | DMU 16 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0 |
| DMU 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | DMU 17 | 100,00 | 100,00 | 44,44 | 0 |
| DMU 7 | 100,00 | 100,00 | 66,67 | 0 | DMU 18 | 100,00 | 100,00 | 8,33 | 0 |
| DMU 8 | 100,00 | 100,00 | 0,00 | 100 | DMU 19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| DMU 9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | DMU 20 | 100,00 | 100,00 | 20,00 | 20 |
| DMU 10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | DMU 21 | 100,00 | 100,00 | 33,33 | 16,7 |
| DMU 11 | 100,00 | 100,00 | 88,89 | 0 | DMU 22 | 100,00 | 100,00 | 75,00 | 0 |

Tabla 13
Porcentajes de ineficiencia en la orientación a salidas (año 2001)

| | Capacidad instalada | Número de trabajadores | Factor de utilización | Generación de energía | | Capacidad instalada | Número de trabajadores | Factor de utilización | Generación de energía |
|--------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| DMU 1 | 54,55 | 36,36 | 100,00 | 100,00 | DMU 12 | 27,27 | 100,00 | 90,91 | 100,00 |
| DMU 2 | 33,33 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | DMU 13 | 50,00 | 0,00 | 100,00 | 100,00 |
| DMU 3 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100,00 | DMU 14 | 90,91 | 18,18 | 100,00 | 100,00 |
| DMU 4 | 0,00 | 8,33 | 100,00 | 100,00 | DMU 15 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| DMU 5 | 0,00 | 75,00 | 100,00 | 100,00 | DMU 16 | 100,00 | 0,00 | 100,00 | 100,00 |
| DMU 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | DMU 17 | 55,56 | 77,78 | 88,89 | 100,00 |
| DMU 7 | 58,33 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | DMU 18 | 41,67 | 91,67 | 100,00 | 100,00 |
| DMU 8 | 0,00 | 11,11 | 100,00 | 100,00 | DMU 19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DMU 9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | DMU 20 | 100,00 | 60,00 | 100,00 | 100,00 |
| DMU 10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | DMU 21 | 8,33 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| DMU 11 | 0,00 | 100,00 | 90,00 | 90,00 | DMU 22 | 0,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

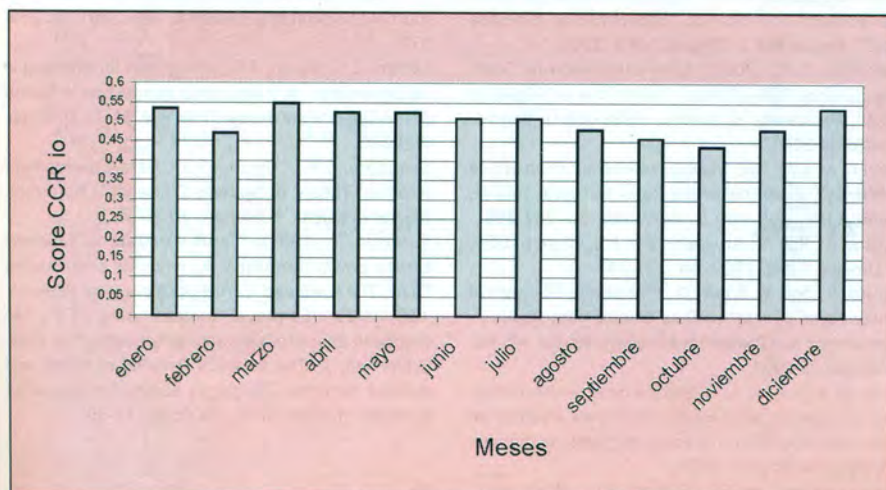


Figura 4. Promedio de eficiencia técnica de la industria (año 2001).

Sin embargo, el comportamiento particular de las DMU es marcadamente heterogéneo en el transcurso del año, sobre todo en aquellas que presentan un menor desempeño promedio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo del artículo se presenta un estudio actualizado del desempeño de los agentes generadores de energía eléctrica en Colombia. Se proporcionan herramientas a las entidades reguladoras para la toma de decisiones en pro del fortalecimiento del sector, al

igual que a cada generador, que puede establecer su condición de funcionamiento mediante indicadores que le permiten orientar acciones correctivas y por ende contribuir a su mejoramiento.

El resultado del análisis muestra similitud con el estudio previo, donde se manifiesta el funcionamiento del sector a retornos constantes a escala. Es así como la eficiencia relativa de una unidad no depende de su tipo de generación ni del tipo de capital que posea, sino de sus esfuerzos intrínsecos por alcanzar una alta productividad. En tal sentido parece correcta la actitud gubernamental de promoción de la generación térmica, al no presentarse una manifiesta inferioridad competitiva respecto al medio de generación hidráulico. Por el contrario, la condición de capital de los generadores merece un estudio más profundo al no evidenciarse el supuesto de ineficiencia oficial, que ha contribuido a la privatización del sector.

Basados en los resultados de la eficiencia de mezcla, se determinó que la mayor causa de esta ineficiencia se debe a sus excesos en la variable número de trabajadores, mientras la variable generación de energía parece exhibir ineficiencia con menos frecuencia que los demás indicadores.

Aunque se demuestra el potencial de eficiencia de cada DMU, el estudio evidenció grandes diferencias en el desempeño promedio entre algunas de sus unidades.

Se hace necesario un estudio de la capacidad del sector, en particular de cada una de las unidades, para analizar las relaciones de beneficio del sector frente a la contingencia de cobertura y el beneficio social.

BIBLIOGRAFÍA

Albaum, G., The Likert scale revisited: an alternative version, *Journal of the Marketing Research Society*, 1997, 19(2), pp. 331-348.

Alvares-Osorio, M., Figueroa, E., Córdoba, J.A., López, F.J., Análisis envolvente de datos: aplicación en la medida de la eficiencia en los servicios de medicina preventiva hospitalarios en Andalucía, en *Rev San Hig Púb*, 67(6), 1993, pp. 455-464.

Anwandter, L., Can Public Sector Reforms improve the Efficiency of Public Water Utilities? An Empirical Analysis of the Water Sector in Mexico using Data Envelopment Analysis, University of Maryland College Park, Doctoral Thesis, 2000.

Athanassopoulos, A.D., Giokas, D., The Use of Data Envelopment Analysis in Banking Institutions: Evidence from the Commercial Bank of Greece, in *Interfaces*, 30(2), 2000.

Athanassopoulos, A.D., Lambroukos, N., Seiford, L., "Data Envelopment Scenario Analysis for Setting Targets To Electricity Generating Plants", en *European Journal of Operational Research*, 1999, 115, pp. 413-428.

Banker, R.D.; Charnes, A.; Cooper, W.W.; Swarts, J.; and Thomas, D.A., "An introduction to Data Envelopment Analysis with Some of Its Models and Their Uses", in J.L. Chan and J.M. Patton (eds.), *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*, 1989.

Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., "Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software Interfaces", Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.

Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E., "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", en *European Journal of Operational Research*, 1978,2, pp. 429-444.

Chen Tser-Yieth, "An assessment of technical efficiency and cross-efficiency in Taiwan's electricity distribution sector", in *The European Journal of Operational Research*, 2002.

Chitkara, P., "A Data Envelopment Analysis Approach to Evaluation of Operational Inefficiencies in Power Generating Units: A Case Study of Indian Power Plants", in *IEEE Transactions on Power Systems*, 1999, 14(2), pp. 419-425.

Churchill, G.A., A paradigm for developing better measures of marketing constructs, *Journal of Marketing Research*, 16, 1979.

Colombia, Interconexión Eléctrica S.A. Informes Empresariales 2001. Disponible en CD-ROM.

Colombia, Interconexión Eléctrica S.A. Informes Empresariales 2002. Disponible en CD-ROM.

Colombia, SSPD (1999): Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, "Supercifras en kilovatios hora", *Revista No. 5*, Bogotá, SSPD, 2000.

Colombia, SSPD (2002), Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, "Supercifras en kilovatios hora", *Revista No. 6*, Energía (1998-2001), Bogotá, agosto de 2002.

Farrel, M.J., "The Measurement of Productive Efficiency", in *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Part 3, 1957, 120, pp. 252-290.

Golany, B.; Roll, Y., An application Procedure of DEA, in *Omega*, 17(3), 1989, pp. 237-249.

Golany, B.; Roll, Y., Rybak, D., "Measuring Efficiency of Power Plants in Israel by Data Envelopment Analysis", *Transactions on Engineering Management*, vol. 41, No. 3, agosto de 1994.

Guío, O. & Monroy, I., "Medición de la eficiencia relativa de agentes generadores de energía eléctrica en Colombia (año 2001)". Trabajo de grado de ingeniería industrial Bogotá, 2004.

Hair, J.F.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. y Black, W.C., *Multivariate Data Analysis*, 4th ed., Nueva Jersey, Prentice Hall, 1992.

Johnson, R., D. Wichern, *Applied multivariate statistical analysis*, 4th ed., Prentice Hall, 1999.

Korhonen, P., Luptacik, M., "Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis", in *European Journal of Operational Research*, 2003.

León, J.V., Eficiencia en costos en los bancos comerciales en México: una aplicación de la aproximación no paramétrica DEA, en *Proceedures of the Congress of Latin American Econometric Association (Lames)*, Cancún, México, 1999.

León, J.V., Cost Frontier Analysis of Efficiency: An applications to the Peruvian Municipal Banks. The Ohio State University, Doctoral Thesis, 1999.

Lo F. Y. Chien, Ch.F., Lin J.T., "A DEA Study to Evaluate The Relative Efficiency and Investigate the District Reorganization of The Taiwan Power Company", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 16, No. 1, febrero de 2001.

Mancebon, M.J., Mar Molinero, C., Performance in Primary Schools, in *Journal of Operational Research Society*, 2000, 51(7), pp. 843-854.

Maxwell, A.E., *Multivariate Analysis in Behavioral Research*, Londres, Chapman and Hall, 1977.

Murova, O.J., Transition Economy of Ukraine: Analysis of Agricultural Efficiency, Productivity and Supply Response. Mississippi Sate University, Doctoral Thesis, 2001.

Nunnally, J.C., *Psychometric Theory*, Nueva York, McGraw Hill, 1978.

Pareto, V., *Manuel d'economie politique*, 10 ed., Appendix, pp. 617 ff, Alfred Bonnet (ed.) (Paris, Marcel Girard, 1927).

Pérez, Y. & García, R., "Medición de la eficiencia relativa de agentes generadores de energía eléctrica en Colombia", *Energética*, 28, julio-diciembre de 2002.

Pérez, Y. & García, R., "Diseño, desarrollo e implementación de un modelo de Data Envelopment Analysis (DEA) con soporte estadístico de técnicas multivariantes de análisis de datos aplicado al mercado mayorista de energía eléctrica colombiano", Informe de Investigación, 2002.

Porto, J.V., Comparing the Efficiency and Effectiveness of Substance Abuse Treatment Programs using a Two-Stage Data Envelopment Analysis. The University of North Carolina at Chapel Hill, Doctoral Thesis, 2000.

Resti, A., Efficiency measurement for multi-product industries: A comparison of classic and recent techniques based on simulated Data, in *European Journal of Operational Research*, 121, 2001, pp. 259-578.

Sarrico, C.S., Dyson, R.G., Using DEA for planning in UK Universities: an institutional perspective, in *Journal of the Operational Research Society*, 51(7), 2000, pp. 789-800.

Sengupta, J.K., "Dynamics of Data Envelopment Analysis: Theory of Systems Efficiency", Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1995.

Sueyoshi, T. (1997), "Tariff structure of Japanese electric power companies: An empirical analysis using DEA", *The European Journal of Operational Research*, 118, 1999. "Empirical analysis using DEA", *The European Journal of Operational Research*, 118, 1999.

Whiteman, J., The Potential Benefits of Hilmer and Related Reforms: Electricity Supply, in *Australian Economic Review*, 32(1), 2000, pp. 17-30.

REFERENCIA

1. Decision Making Units 

ANEXO

Modelos CCR discretos para medir la eficiencia radial

- Con orientación a las entradas

$$\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i \in D} s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sa.

$$\theta x_{io} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^-, \quad i \in D$$

$$x_{io} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^-, \quad i \in ND$$

$$y_{ro} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+, \quad r = 1, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = \{1, \dots, n\}$$

$$s_r^+ \geq 0, \quad r = \{1, \dots, s\}$$

$$s_i^- \geq 0, \quad i = \{1, \dots, m\}$$

- Con orientación a las salidas

$$\max \phi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r \in D} s_r^+ \right)$$

Sa.

$$\phi y_{ro} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+, \quad r \in D$$

$$y_{ro} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+, \quad r \in ND$$

$$x_{io} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^-, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = \{1, \dots, n\}$$

$$s_r^+ \geq 0, \quad r = \{1, \dots, s\}$$

$$s_i^- \geq 0, \quad i = \{1, \dots, m\}$$

Modelo DEA discrecional para medir la eficiencia basada en holguras

$$\text{Min. } 1 - \frac{1}{m_D} \sum_{i \in D} S_i^- / X_{io}$$

$$X_{io} = \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + S_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$Y_{ro} = \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - S_r^+ \quad j = \{1, 2, \dots, n\}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$S_i^- \geq 0 \quad i = \{1, \dots, m\}$$

$$S_r^+ \geq 0$$

Modelo para determinar la proyección a las coordenadas MPSS

$$\text{Max } \beta / \alpha$$

sa

$$\beta Y_0 \leq \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j$$

$$\alpha X_0 \geq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j$$

$$X_0 \geq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j \quad j \notin D$$

$$1 = \sum_{j=1}^n \lambda_j$$

$$\beta, \alpha, \geq 0$$

Modelo BCC para retornos a escala con variables discretas

$$\text{Max } u_o$$

sa

$$\sum_{i \in D} v_i \hat{x}_{io} = 1$$

$$-\sum_{i \in D} v_i x_{ij} + \sum_{i \in ND} v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_o \leq 0, \dots, \forall j \neq j=0$$

$$-\sum_{i \in D} v_i \hat{x}_{io} + \sum_{i \in ND} v_i \hat{x}_{io} + \sum_{r=1}^s u_r \hat{y}_{ro} - u_o \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^s u_r \hat{y}_{ro} - u_o = 1$$

$$u_o \leq 0$$

$$v_i \geq 0, \dots, i \in D$$

$$v_i \leq 0, \dots, i \in ND$$

$$u_r \geq 0, \dots, \forall r \{1, 2, \dots, s\}$$

Tabla 14
Windows Analysis para el modelo CCRiio (año 2001)

| DMU | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | |
|-------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--|
| DMU 1 | 0,4064 | 0,2798 | 0,3688 | 0,3812 | 0,5124 | 0,6383 | | | | | | | |
| | | 0,2798 | 0,3688 | 0,3812 | 0,5124 | 0,6383 | 0,8104 | | | | | | |
| | | | 0,3688 | 0,3812 | 0,5124 | 0,6383 | 0,8074 | 0,6416 | | | | | |
| | | | | 0,3368 | 0,4709 | 0,5997 | 0,7679 | 0,6033 | 0,4422 | | | | |
| | | | | | 0,4709 | 0,5997 | 0,7679 | 0,6033 | 0,4422 | 0,3438 | | | |
| | | | | | | 0,6375 | 0,8340 | 0,6418 | 0,4585 | 0,3466 | 0,2480 | | |
| | | | | | | | 0,8371 | 0,6418 | 0,4585 | 0,3466 | 0,2478 | 0,5697 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | DMU 2 | 0,5074 | 0,4663 | 0,5284 | 0,4545 | 0,3755 | 0,3818 | | | | | | |
| | | 0,4663 | 0,5284 | 0,4545 | 0,3755 | 0,3818 | 0,3255 | | | | | | |
| | | | 0,5284 | 0,4545 | 0,3755 | 0,3818 | 0,3255 | 0,2479 | | | | | |
| | | | | 0,4396 | 0,3629 | 0,3689 | 0,3143 | 0,2390 | 0,2904 | | | | |
| | | | | | 0,3625 | 0,3686 | 0,3136 | 0,2380 | 0,2896 | 0,3155 | | | |
| | | | | | | 0,3505 | 0,2923 | 0,2143 | 0,2629 | 0,2951 | 0,3694 | | |
| | | | | | | | 0,2835 | 0,2072 | 0,2582 | 0,2865 | 0,3611 | 0,3660 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| DMU 3 | | 0,6739 | 0,6453 | 0,5524 | 0,6776 | 0,6842 | 0,8189 | | | | | | |
| | | 0,6453 | 0,5524 | 0,6776 | 0,6842 | 0,8189 | 0,9467 | | | | | | |
| | | | 0,5542 | 0,6799 | 0,6865 | 0,8216 | 0,9499 | 0,8597 | | | | | |
| | | | | 0,6707 | 0,6772 | 0,8105 | 0,9370 | 0,8481 | 0,7627 | | | | |
| | | | | | 0,6772 | 0,8105 | 0,9370 | 0,8481 | 0,7627 | 0,4617 | | | |
| | | | | | | 0,6537 | 0,7557 | 0,6840 | 0,6152 | 0,3724 | 0,3666 | | |
| | | | | | | | 0,7407 | 0,6703 | 0,6029 | 0,3649 | 0,3593 | 0,5989 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | DMU 4 | 0,6305 | 0,5731 | 0,5762 | 0,5642 | 0,6056 | 0,7270 | | | | | | |
| | | 0,5731 | 0,5762 | 0,5642 | 0,6056 | 0,7270 | 0,6452 | | | | | | |
| | | | 0,5776 | 0,5655 | 0,6071 | 0,7287 | 0,6467 | 0,5854 | | | | | |
| | | | | 0,5601 | 0,6012 | 0,7218 | 0,6405 | 0,5786 | 0,4256 | | | | |
| | | | | | 0,6013 | 0,7218 | 0,6405 | 0,5787 | 0,4256 | 0,3935 | | | |
| | | | | | | 0,5806 | 0,5153 | 0,4692 | 0,3424 | 0,3165 | 0,3806 | | |
| | | | | | | | 0,5049 | 0,4561 | 0,3355 | 0,3101 | 0,3730 | 0,4912 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| DMU 5 | | 0,5875 | 0,5140 | 0,5154 | 0,3533 | 0,4788 | 0,4779 | | | | | | |
| | | 0,5140 | 0,5154 | 0,3533 | 0,4788 | 0,4779 | 0,7513 | | | | | | |
| | | | 0,5154 | 0,3533 | 0,4788 | 0,4779 | 0,7326 | 1 | | | | | |
| | | | | 0,3179 | 0,4346 | 0,4338 | 0,6426 | 0,8522 | 1 | | | | |
| | | | | | 0,4346 | 0,4338 | 0,6426 | 0,8522 | 1 | 0,7840 | | | |
| | | | | | | 0,4331 | 0,6422 | 0,8521 | 1 | 0,7837 | 0,5614 | | |
| | | | | | | | 0,6419 | 0,8520 | 1 | 0,7835 | 0,5611 | 0,6183 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | DMU 6 | 0,5907 | 0,8274 | 0,8854 | 1 | 0,9336 | 0,8681 | | | | | | |
| | | 0,8474 | 0,8854 | 1 | 0,9336 | 0,8681 | 0,7934 | | | | | | |
| | | | 0,8835 | 1 | 0,9326 | 0,8660 | 0,7903 | 0,7469 | | | | | |
| | | | | 1 | 0,9276 | 0,8557 | 0,7744 | 0,7551 | 0,6081 | | | | |
| | | | | | 1 | 0,9190 | 0,8274 | 0,7705 | 0,6363 | 0,7495 | | | |
| | | | | | | 1 | 0,8965 | 0,8352 | 0,6894 | 0,8157 | 0,8307 | | |
| | | | | | | | 1 | 0,9310 | 0,7656 | 0,9134 | 0,9300 | 0,6658 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| DMU 7 | 0,2333 | 0,2143 | 0,0854 | 0,0674 | 0,0862 | 0,0792 | | | | | | | |
| | | 0,2143 | 0,0854 | 0,0674 | 0,0862 | 0,0792 | 0,0741 | | | | | | |
| | | | 0,0854 | 0,0674 | 0,0862 | 0,0792 | 0,0741 | 0,0690 | | | | | |
| | | | | 0,0644 | 0,0825 | 0,0757 | 0,0709 | 0,0660 | 0,0574 | | | | |
| | | | | | 0,0820 | 0,0596 | 0,0705 | 0,0657 | 0,0571 | 0,1043 | | | |
| | | | | | | 0,0678 | 0,0635 | 0,0592 | 0,0514 | 0,0939 | 0,1135 | | |
| | | | | | | | 0,0617 | 0,0575 | 0,0500 | 0,0913 | 0,1103 | 0,0920 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

| DMU | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| DMU 8 | 0,3158 | 0,4850 | 0,8724 | 0,8637 | 0,6004 | 0,6748 | | | | | | |
| | | 0,4850 | 0,8724 | 0,8637 | 0,6004 | 0,6748 | 0,5668 | | | | | |
| | | | 0,9114 | 0,9024 | 0,6772 | 0,7050 | 0,5922 | 0,5387 | | | | |
| | | | | 0,7625 | 0,5299 | 0,5957 | 0,5004 | 0,4552 | 0,3914 | | | |
| | | | | | 0,5300 | 0,5957 | 0,5004 | 0,4552 | 0,3914 | 0,5951 | | |
| | | | | | | 0,5298 | 0,4450 | 0,4048 | 0,3480 | 0,5292 | 0,6276 | |
| | | | | | | | 0,4399 | 0,4002 | 0,3440 | 0,5231 | 0,6203 | 0,8306 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DMU 9 | 1 | 0,8101 | 0,7709 | 1 | 0,9101 | 0,8289 | | | | | | |
| | | 0,8101 | 0,7709 | 1 | 0,9101 | 0,8289 | 0,8236 | | | | | |
| | | | 0,7079 | 1 | 0,8312 | 0,7600 | 0,7555 | 1 | | | | |
| | | | | 1 | 0,8312 | 0,7600 | 0,7555 | 1 | 0,8012 | | | |
| | | | | | 0,8326 | 0,7629 | 0,7589 | 1 | 0,8048 | 1 | | |
| | | | | | | 0,7840 | 0,7803 | 1 | 0,3480 | 1 | 0,5602 | |
| | | | | | | | 0,7941 | 1 | 0,8333 | 1 | 0,5868 | 0,8014 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DMU 10 | 0,8221 | 0,6593 | 0,8533 | 0,8670 | 0,8810 | 1 | | | | | | |
| | | 0,6593 | 0,8533 | 0,8670 | 0,8810 | 1 | 0,8442 | | | | | |
| | | | 0,8533 | 0,8670 | 0,8810 | 1 | 0,8442 | 0,7065 | | | | |
| | | | | 0,8670 | 0,8810 | 1 | 0,8442 | 0,7065 | 0,8199 | | | |
| | | | | | 0,8711 | 1 | 0,8348 | 0,7046 | 0,8200 | 1 | | |
| | | | | | | 0,8061 | 0,6806 | 0,5696 | 0,6555 | 0,8153 | 1 | |
| | | | | | | | 0,6503 | 0,5510 | 0,6419 | 0,7790 | 0,9793 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DMU 11 | 0,9755 | 0,6072 | 0,9205 | 1 | 0,7575 | 0,2038 | | | | | | |
| | | 0,6072 | 0,9205 | 1 | 0,7575 | 0,2038 | 0,2060 | | | | | |
| | | | 0,9205 | 1 | 0,7575 | 0,2038 | 0,2060 | 0,2867 | | | | |
| | | | | 0,9938 | 0,7468 | 0,1942 | 0,1963 | 0,2737 | 0,2800 | | | |
| | | | | | 0,7468 | 0,1934 | 0,1955 | 0,2732 | 0,2796 | 0,4919 | | |
| | | | | | | 0,1776 | 0,1795 | 0,2577 | 0,2643 | 0,4819 | 0,6401 | |
| | | | | | | | 0,1755 | 0,2517 | 0,2581 | 0,4754 | 0,6343 | 0,1406 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DMU 12 | 0,4314 | 0,4946 | 0,9205 | 0,2947 | 0,3489 | 0,3454 | | | | | | |
| | | 0,4946 | 0,6479 | 0,2947 | 0,3489 | 0,3454 | 0,2801 | | | | | |
| | | | 0,6460 | 0,2947 | 0,3489 | 0,3454 | 0,2801 | 0,2738 | | | | |
| | | | | 0,2795 | 0,3339 | 0,3301 | 0,2640 | 0,2574 | 0,2589 | | | |
| | | | | | 0,3339 | 0,3301 | 0,1955 | 0,2574 | 0,2590 | 0,4684 | | |
| | | | | | | 0,3692 | 0,2835 | 0,2743 | 0,2756 | 0,5719 | 0,5956 | |
| | | | | | | | 0,3081 | 0,2956 | 0,2965 | 0,6628 | 0,6741 | 0,6769 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DMU 13 | 0,4339 | 0,3429 | 0,4301 | 0,2896 | 0,4573 | 0,7113 | | | | | | |
| | | 0,3429 | 0,4301 | 0,2896 | 0,4573 | 0,7113 | 0,7123 | | | | | |
| | | | 0,4301 | 0,2896 | 0,4573 | 0,7113 | 0,7123 | 0,4374 | | | | |
| | | | | 0,2590 | 0,4260 | 0,6791 | 0,6796 | 0,4046 | 0,2527 | | | |
| | | | | | 0,4260 | 0,6791 | 0,6796 | 0,4046 | 0,2528 | 0,5188 | | |
| | | | | | | 0,7759 | 0,7758 | 0,4431 | 0,2589 | 0,5796 | 0,9511 | |
| | | | | | | | 0,8117 | 0,4540 | 0,2607 | 0,5985 | 1 | 0,7248 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DMU 14 | 0,3667 | 0,5723 | 0,2233 | 0,0158 | 0,0030 | 0,0001 | | | | | | |
| | | 0,5723 | 0,2233 | 0,0158 | 0,0030 | 0,0001 | 0,0001 | | | | | |
| | | | 0,2188 | 0,0155 | 0,0030 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0174 | | | | |
| | | | | 0,0119 | 0,0023 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0134 | 0,0001 | | | |
| | | | | | 0,0023 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0134 | 0,0001 | 0,0001 | | |
| | | | | | | 0,0001 | 0,0001 | 0,0134 | 0,0001 | 0,001 | 0,0063 | |
| | | | | | | | 0,0001 | 0,0134 | 0,0001 | 0,001 | 0,0063 | 0,0001 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DMU 15 | 1 | 0,6023 | 0,5666 | 0,4820 | 0,5733 | 0,6144 | | | | | | |
| | | 0,6023 | 0,5666 | 0,4820 | 0,5733 | 0,6144 | 1 | | | | | |
| | | | 0,5644 | 0,4768 | 0,5710 | 0,6133 | 1 | 0,6001 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

| DMU | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|---------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| | | | | 0,4404 | 0,5543 | 0,6055 | 1 | 0,5902 | 0,6375 | | | |
| | | | | | 0,6012 | 0,6852 | 1 | 0,6437 | 0,8337 | 0,8692 | | |
| | | | | | | 0,7768 | 0,9159 | 0,7485 | 0,8409 | 0,8542 | 1 | |
| | | | | | | | 0,9108 | 0,7729 | 0,8490 | 0,8600 | 1 | 1 |
| DMU 16 | 0,6645 | 0,1672 | 1 | 1 | 0,4695 | 0,4864 | | | | | | |
| | | 0,1672 | 1 | 1 | 0,4695 | 0,4864 | 0,7178 | | | | | |
| | | | 0,8621 | 0,8681 | 0,3989 | 0,4239 | 0,6236 | 1 | | | | |
| | | | | 0,6104 | 0,2887 | 0,2945 | 0,4375 | 0,7303 | 1 | | | |
| | | | | | 0,2887 | 0,2945 | 0,4375 | 0,7303 | 1 | 0,7665 | | |
| | | | | | | 0,2945 | 0,4375 | 0,7303 | 1 | 0,7665 | 0,5940 | |
| | | | | | | | 0,4375 | 0,7303 | 1 | 0,7665 | 0,5940 | 0,9907 |
| DMU 17 | 0,3502 | 0,3277 | 0,4584 | 0,4442 | 0,4835 | 0,3679 | | | | | | |
| | | 0,3277 | 0,4584 | 0,4442 | 0,4835 | 0,3679 | 0,4581 | | | | | |
| | | | 0,4575 | 0,4439 | 0,4806 | 0,3659 | 0,4581 | 0,5775 | | | | |
| | | | | 0,4427 | 0,4806 | 0,3543 | 0,4577 | 0,5775 | 0,5187 | | | |
| | | | | | 0,5117 | 0,3640 | 0,4889 | 0,6091 | 0,5519 | 0,5514 | | |
| | | | | | | 0,4476 | 0,5807 | 0,6894 | 0,6384 | 0,6402 | 0,8334 | |
| | | | | | | | 0,6251 | 0,7351 | 0,6789 | 0,6819 | 0,8640 | 0,8541 |
| DMU 18 | 0,0101 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0022 | 0,0057 | | | | | | |
| | | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0022 | 0,0057 | 0,0012 | | | | | |
| | | | 0,0001 | 0,0001 | 0,0022 | 0,0057 | 0,0012 | 0,0032 | | | | |
| | | | | 0,0001 | 0,0019 | 0,0049 | 0,0010 | 0,0027 | 0,0028 | | | |
| | | | | | 0,0019 | 0,0049 | 0,0010 | 0,0027 | 0,0028 | 0,0326 | | |
| | | | | | | 0,0048 | 0,0010 | 0,0027 | 0,0028 | 0,0318 | 0,0483 | |
| | | | | | | | 0,0010 | 0,0027 | 0,0028 | 0,0316 | 0,0455 | 0,0055 |
| DMU 19 | 0,9062 | 1 | 0,6906 | 0,8887 | 0,9889 | 0,8313 | | | | | | |
| | | 1 | 0,6906 | 0,8887 | 0,9889 | 0,8313 | 0,9595 | | | | | |
| | | | 0,6972 | 0,9246 | 1 | 0,8649 | 0,9688 | 1 | | | | |
| | | | | 0,6402 | 0,7142 | 0,5988 | 0,6930 | 0,7154 | 1 | | | |
| | | | | | 0,7142 | 0,5988 | 0,6930 | 0,7154 | 1 | 0,2028 | | |
| | | | | | | 0,5988 | 0,6930 | 0,7154 | 1 | 0,2028 | 0,4826 | |
| | | | | | | | 0,6930 | 0,7154 | 1 | 0,2028 | 0,4826 | 0,8720 |
| DMU 20 | 0,1604 | 0,0849 | 0,1941 | 0,4509 | 1 | 0,8079 | | | | | | |
| | | 0,0849 | 0,1941 | 0,4509 | 1 | 0,8079 | 0,4096 | | | | | |
| | | | 0,1941 | 0,4511 | 1 | 0,8121 | 0,4096 | 0,0974 | | | | |
| | | | | 0,4471 | 1 | 0,8017 | 0,4049 | 0,0903 | 0,0003 | | | |
| | | | | | 1 | 0,8017 | 0,4049 | 0,0903 | 0,0003 | 0,0031 | | |
| | | | | | | 1 | 0,4994 | 0,1023 | 0,0003 | 0,0031 | 0,1350 | |
| | | | | | | | 1 | 0,1059 | 0,0003 | 0,0031 | 0,1401 | 0,0033 |
| DMU 21 | 0,2782 | 0,0749 | 0,1941 | 0,0270 | 0,0044 | 0,0001 | | | | | | |
| | | 0,0749 | 0,2235 | 0,0270 | 0,0044 | 0,0001 | 0,0091 | | | | | |
| | | | 0,2235 | 0,0270 | 0,0044 | 0,0001 | 0,0091 | 0,0451 | | | | |
| | | | | 0,0254 | 0,0041 | 0,0001 | 0,0086 | 0,0424 | 0,0003 | | | |
| | | | | | 0,0041 | 0,0001 | 0,0086 | 0,0422 | 0,0003 | 0,0028 | | |
| | | | | | | 0,0001 | 0,0079 | 0,0388 | 0,0003 | 0,0026 | 0,0127 | |
| | | | | | | | 0,0077 | 0,0380 | 0,0003 | 0,0025 | 0,0125 | 0,0003 |
| DMU 22 | 0,4117 | 0,6288 | 0,6960 | 0,6930 | 0,7178 | 0,7251 | | | | | | |
| | | 0,6288 | 0,6960 | 0,6930 | 0,7178 | 0,7251 | 0,4985 | | | | | |
| | | | 0,6960 | 0,6930 | 0,7179 | 0,7251 | 0,4985 | 0,6384 | | | | |
| | | | | 0,6515 | 0,6735 | 0,6790 | 0,4816 | 0,6080 | 0,6020 | | | |
| | | | | | 0,6731 | 0,6787 | 0,4803 | 0,6073 | 0,6013 | 0,0596 | | |
| | | | | | | 0,6538 | 0,4421 | 0,5774 | 0,5707 | 0,0508 | 0,1388 | |
| | | | | | | | 0,4277 | 0,5637 | 0,5568 | 0,0487 | 0,1332 | 0,4900 |

Articulación IDU - Empresas de Ingeniería III

Con el propósito de enfrentar y resolver la problemática planteada por las relaciones entre las empresas del Estado y las compañías de ingeniería nacionales, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la Alcaldía Mayor de Bogotá, con el apoyo de la Escuela Colombiana de Ingeniería, decidieron organizar una serie de foros denominada "Articulación IDU - empresas de ingeniería", el primero de los cuales se efectuó el 21 de abril de 2004.

Poco después, el 12 de agosto del mismo año, se realizó el segundo foro, y como resultado del trabajo que se ha venido haciendo desde esa fecha se determinó llevar a cabo el tercer foro, el 13 de abril de 2005, en las instalaciones de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, con el objeto de presentar los avances registrados en el nuevo modelo de acercamiento entre la ciudad, las empresas de ingeniería y la academia.

A lo largo del encuentro los representantes de cada sector aportaron sus saberes y plantearon sus posiciones, con el único fin de propiciar acuerdos que redunden en beneficio de la sociedad, contribuyan a elevar el prestigio de la ingeniería nacional y ayuden a restablecer la confianza en las compañías del sector.



PONENTES

GERMÁN SANTOS GRANADOS

Rector de la Escuela Colombiana de Ingeniería

JUAN MARTÍN CAICEDO FERRER

Presidente de la Cámara Colombiana de la Infraestructura (CCI)

ALFONSO ORDUZ DUARTE

Presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI)

CARLOS IVÁN GUTIÉRREZ GUEVARA

Director del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)

WILSON DUARTE

Concejal de Bogotá

GUILLERMO BALCÁZAR

Representante de las empresas de ingeniería

DIEGO SÁNCHEZ FONSECA

Subdirector técnico del IDU

EDUARDO SILVA SÁNCHEZ (moderador)

Director de Ciencias Básicas de la Escuela Colombiana de Ingeniería y director ejecutivo de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (Acofi)

De izquierda a derecha: doctores Carlos Iván Gutiérrez, Germán Santos Granados, Alfonso Orduz Duarte, Diego Sánchez Fonseca y Guillermo Balcázar.



GERMÁN SANTOS GRANADOS

Doctor Carlos Iván Gutiérrez, director del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU); ingeniero Alfonso Orduz Duarte, presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI); doctor Juan Martín Caicedo Ferrer, presidente ejecutivo de la Cámara Colombiana de la Infraestructura; doctor Wilson Duarte, concejal de Bogotá y panelista; ingeniero Guillermo Balcázar, representante de las empresas de ingeniería; doctor Diego Sánchez Fonseca, subdirector técnico del IDU; ingeniero Eduardo Silva Sánchez, moderador del foro.

Hace casi un año, se gestó un nuevo modelo de acercamiento entre la ciudad, las empresas de ingeniería y la academia, y hoy, con inmenso placer, nos reunimos en este tercer foro con el fin de presentar avances en este trabajo de construcción colectiva y sus beneficios tangibles asociados.

Estos espacios de estudio, discusión y diálogo, los propició la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito entre el mayor contratante estatal de la ingeniería nacional y las empresas del sector para analizar y racionalizar las diversas facetas de la contratación, sus condiciones, sus procesos, sus costos, sus programaciones y sus requisitos de seguros, con el fin de disminuir al máximo las causales de reclamos y pleitos que venían incrementándose año tras año en todo tipo de contratos relacionados con infraestructura, en el campo de los estudios, en la interventoría, en la construcción y en el mantenimiento de las obras.

Así las cosas, estas empresas dedicarán sus mayores esfuerzos a la ingeniería, y la ciudad moderna, humana y paradigmática que todos queremos, se irá haciendo realidad de la mano de las obras ejecutadas con la calidad que se requiere dentro de los presupuestos y cronogramas adecuados.

A partir del segundo foro se estableció una segunda fase de la mesa de trabajo, en la que se han discutido y acordado aspectos como los requisitos de experiencia para las empresas y para los profesionales que se exigían en cada contrato, la transparencia en los procesos, las reglas de adjudicación de licitaciones, pagos de anticipos y calidad de obras.

Dichos resultados se están dando a conocer públicamente en este tercer foro que, estoy seguro, resultará tan interesante, propositivo y constructivo como los anteriores. De esta manera mostramos entonces que la academia no está en una torre de marfil, indiferente a su entorno, sino coadyuvando a la definición de caminos, cimentando el futuro y haciendo partícipes a sus estudiantes y profesores de la realidad por construir.

Igualmente, seguimos expresando nuestra disposición y nuestro compromiso con la solución de los problemas de nuestro entorno inmediato.

Es grato registrar cómo cada uno de los actores ha asumido responsablemente su papel, ha aportado con honestidad sus saberes y planteado sus posiciones, ha propiciado acuerdos que redundarán en el beneficio de la comunidad, en el prestigio de la ingeniería y en la confianza en las empresas, tal como nos lo propusimos hace un año.

Adicionalmente, este esquema de trabajo se ha constituido en un modelo de construcción colectiva que esperamos que se reproduzca en otros ámbitos relacionados con el mejoramiento de la infraestructura, la cual tiene un gran impacto en el desarrollo de los pueblos y en el mejoramiento de la calidad de vida que son, en esencia, el fin último de la ingeniería.

La academia no está en una torre de marfil, indiferente a su entorno, sino coadyuvando a la definición de caminos, cimentando el futuro y haciendo partícipes a sus estudiantes y profesores de la realidad por construir.



JUAN MARTÍN CAICEDO FERRER



Quiero simplemente destacar tres o cuatro ideas que hemos venido trabajando de modo paralelo con el desarrollo de esta mesa en la Cámara y que tienen relaciones muy estrechas con el propósito de la mesa.

No es desconocido para ustedes el esfuerzo que hemos tratado de implementar en la Cámara y que esperamos que sea una realidad al finalizar este año, en el sentido de impulsar, con un criterio casi sin precedentes en Colombia, un código de autorregulación para los empresarios que están participando en la contratación pública, para que frente a este tema de la corrupción no asumamos una actitud pasiva sino, por el contrario, una actitud proactiva; esto serviría de ejemplo para el gremio de la ingeniería que está contratando, porque pensamos en una prefectura independiente de la propia institución gremial para poner en marcha no solamente el régimen de sanciones, sino aplicarlo, pero sin que la misma Cámara desarrolle ese propósito, con el fin de que no se convierta en juez y parte.

Es indiscutible que la claridad y la transparencia en las reglas de juego aplicables a la competencia de los proponentes en todo el ámbito de la contratación pública derivan en que se premian las mejores propuestas y se eliminan las múltiples distorsiones que se presentan hoy en la adjudicación de contratos, lo que conduce indirectamente a un mejoramiento en la calidad de las obras públicas.

Otro elemento que quiero destacar tiene que ver con la implantación de mecanismos alternativos para la solución de conflictos, como una opción

frente a los tribunales ordinarios de justicia, que suelen ser tan lentos, para buscarle salidas a toda esta conflictividad. La Sociedad Colombiana de Ingenieros tiene su centro de conciliación, pero nosotros hemos pensado en montar un centro especializado en la amigable composición, ya que en 45 días se puede resolver un conflicto que en los tribunales tardaría dos o tres años, con todos los costos que de ello se derivarían. Nuestra idea es plantearle a la SCI una especie de alianza estratégica con miras a no duplicar tareas sino a



Hoy en día no hay reglas de juego definidas en materia de normas urbanísticas, por ejemplo, y esas responsabilidades le corresponden a Planeación Distrital.

complementarnos.

Finalmente, quiero reiterarle al doctor Carlos Iván Gutiérrez un compromiso que habíamos hecho de modo informal en esta mesa de trabajo, que consiste en la revisión de los términos de referencia de la consultoría. La Cámara se ha comprometido a revisar y elaborar los términos de referencia tipo, con el propósito de eliminar los cuellos de botella que se están presentando en la contratación; a facilitar la labor del IDU; a propugnar una contratación transparente, y por último a garantizar condiciones de igualdad para los proponentes, de manera que reafirmamos el compromiso de asumir esa

tarea con gran entusiasmo y diligencia.

El doctor Gutiérrez, con un espíritu muy receptivo, ha estado pendiente de las observaciones hechas sobre los atrasos de las obras en Transmilenio; sobre ese particular, vamos a tratar de intercambiar ideas con el alcalde porque tenemos preocupaciones graves en tal sentido.

Hay que insistir en lo que tiene que ver con la planeación, pues debe haber claridad sobre el rumbo de la ciudad en materia de crecimiento físico; hoy en día no hay reglas de juego definidas en materia de normas urbanísticas, por ejemplo, y esas responsabilidades le corresponden a Planeación Distrital.

Proyectos sobre valorización

Así mismo, debe haber claridad sobre los espacios de recursos y de inversión en obras que tenemos que desarrollar en los próximos años. El director del IDU nos ha recordado que está pendiente de trámite en el Concejo

un proyecto sobre valorización, del cual depende la consecución de recursos fundamentales para la ciudad con el fin de realizar tales obras, y de ese modo demostrarles a algunos bogotanos que los desarrollos adicionales de Transmilenio no son lo único ni lo prioritario.

Para finalizar, deseo hacer una reflexión: en virtud de que el alcalde Garzón tiene como programa bandera desde su campaña darle apoyo al aspecto social, creo que desarrollar la infraestructura de Bogotá debería ser el gran objetivo social, ya que esto impulsa el crecimiento de la economía y de la competitividad de ciudades como ésta, y además cumple con el mandato constitucional propio de un Estado de

derecho de darles más calidad de vida y más bienestar a los ciudadanos, lo que se logra con infraestructura; la gran bondad del esfuerzo que podamos hacer en los próximos años en infraestructura es que redundará en crecimiento de la economía, en bienestar social, en empleo, y por supuesto en la competitividad de la ciudad; es como una reflexión para decirle al alcalde, que

El pecado que cometieron los gobiernos en Colombia fue hacer ajuste fiscal a costa de sacrificar la inversión en infraestructura, con el argumento de que lo que implica desarrollo en obras civiles no es gasto social.

tiene la impronta de lo social metida entre ceja y ceja, que hacer infraestructura es también hacer desarrollo social. Ese fue el pecado que cometieron los gobiernos en Colombia, es decir, hacer ajuste fiscal a costa de sacrificar la inversión en infraestructura, con el argumento de que lo que implica desarrollo en obras públicas o en obras civiles no es gasto social



ALFONSO ORDUZ DUARTE

La verdad es que la ingeniería se ejerce no solamente en los cargos públicos, sino también por quienes hacen las obras con base en contratos, de manera que esta es una buena oportunidad para que tengamos presente que los ingenieros que hacen las obras por encargo no pueden convertirse en émulos ni enemigos de quienes están del otro lado del escritorio. La idea es trabajar de la mano para que todo salga bien.

Y es que al margen de las disposiciones legales que rigen la contratación de las obras, hay unos aspectos que a mi juicio son los que generan la mayor cantidad de conflic-

tos que se presentan entre quienes hacen las obras y quienes están encargados de vigilarlas: los pliegos de condiciones.

Los pliegos de cargos, los pliegos para hacer las interventorías y estudios, conducen a veces a condiciones que desvirtúan un poco las mismas normas legales que se deben cumplir, de modo que este es un episodio muy importante. Felicito al IDU y a la Cámara Colombiana de la Infraestructura, la hija menor de la SCI, porque es la última sociedad correspondiente que ha ingresado a la agremiación, la que la estimula para que continúe en estas tareas.

Sean bienvenidos, y les deseo muchos éxitos en estas tareas



CARLOS IVÁN GUTIÉRREZ GUEVARA

El resultado de estas mesas de trabajo no es solamente plasmar unos términos de referencia o establecer unas condiciones de trabajo, sino que va mucho más allá; por eso es fundamental garantizar que la contratación sea democrática, que tengamos mecanismos de mayor generación de empleo, mecanismos de control, de transparencia en la contratación; si invertimos todos los recursos existentes exclusivamente en las obras, vamos a hacer más obras y mejor.

Así mismo, estas mesas de trabajo han servido para colaborar, en una u

otra forma, en una labor muy importante para el país, cual es la generación de mecanismos para hacer cada día mejor ingeniería; creo que todos los presentes somos conscientes de que la ingeniería ha venido pasando por una crisis de calidad que obviamente está asociada con los problemas de empleo, la cual se nota de manera radical en los inconvenientes que se han generado en algunas obras de la ciudad.

Ojalá que estas mesas de trabajo se ocupen en el futuro también de otras cosas, como los requisitos que tenemos hoy en día para la gestión social y para la gestión ambiental, al igual que de tratar de que en los contratos y en las obras se vincule a ingenieros recién

egresados, ya que darles oportunidad a los ingenieros del futuro es supremamente importante para el país.

Cómo mejorar la ingeniería

Quiero pedirles de manera muy especial a todos los presentes, y a las asociaciones y gremios del sector, que realicemos mesas de trabajo sobre la forma como estamos haciendo ingeniería y los mecanismos por los cuales debemos mejorar nuestro quehacer. Eso es clave para el país, pues no puede ser que en vez de mejorar el tiempo y la calidad de los estudios de ingeniería, estemos hablando de reducirlos; no puede ser que la academia siga despreocupada en algunos aspectos de la

calidad de los egresados de ingeniería cuando cada día deberían ser mejores, no sólo desde el punto de vista técnico y ético, sino también desde el punto de vista profesional. Pero aparte de la academia están las instituciones del Estado, sin duda responsables en gran medida de la calidad de las obras que hacemos. No podemos seguir contratando al mejor postor en condiciones desfavorables para los ingenieros, y por eso los gremios deben participar en esa discusión; es muy importante que organicemos mesas de trabajo acerca de dónde están los problemas y cómo los vamos a superar para hacer una mejor ingeniería cada día.

Es clave también que las empresas se preocupen por eso, puesto que no podemos continuar contratando en la espiral de la muerte en la cual simplemente nos acogemos a bajarnos del presupuesto oficial, porque las instituciones propondrán cada vez menores presupuestos; en este orden de ideas, las empresas de ingeniería deben comprometerse a cobrar y hacer lo justo.

Proyectos del IDU

Ahora voy a hacer una revisión rápida de algunos de los proyectos del IDU en el último año y que forman parte de las obras de ingeniería que se van a efectuar en el cuatrienio del alcalde Garzón.

Esta presentación tiene varios temas principales, uno de los cuales es lo que el IDU debe hacer en el plan de desarrollo. El IDU, además de formar parte del eje urbano regional, tiene 34% del presupuesto de la ciudad; entre los ítems considerados más importantes para el desarrollo de la ciudad están educación, salud, alimentación, y también infraestructura para esas actividades sociales, cosa que es fundamental. Debo decir que por lo menos 30% del presupuesto de este cuatrienio se va a invertir en la construcción de colegios, escuelas, hospitales y centros de salud, que son mecanismos de generación de empleo que en el fondo tienen una repercusión social importante.

No podemos seguir contratando al mejor postor en condiciones desfavorables para los ingenieros, y por eso los gremios deben participar en esa discusión.

En lo que tiene que ver con movilidad y espacio público, no solamente está el IDU, sino también la Secretaría de Tránsito, Planeación, etc.; este rubro tiene \$44 billones, esto es, 19% del presupuesto total del Distrito.

En el eje urbano regional, los principales programas en los cuales el IDU participa son el hábitat desde los barrios y las unidades de planeamiento zonal, las redes de centralidades distritales, la sostenibilidad urbano rural y la red integrada para el desarrollo; ahí no aparecen las troncales de Transmilenio, cuyo presupuesto está aparte. Probablemente lo más visible son las troncales, porque son las que mayor impacto causan en la ciudad, pero más adelante veremos que hay una inversión importante en las localidades.

El total del presupuesto del IDU para el 2004 fue de \$260 mil millones, que a la luz de las necesidades de la ciudad es exiguo. Bogotá requiere en este momento, en sólo malla vial, cerca de \$7,5 billones, de manera que lo que se va a invertir en el cuatrienio no es mucho; la mayor inversión en este período se hará en el año 2006, en donde el presupuesto es del orden de \$656 mil millones.

En el 2004 se trabajó en corredores de movilidad local, fundamentalmente en Suba, Usaquén, Santa Fe, Usme, Ciudad Bolívar y Bosa, que son tal vez las localidades con mayores necesidades; se trabajó en pavimentos locales, básicamente en programas de renovación. Cabe anotar que cerca de 60% de las vías de la ciudad se halla en mal estado y que alrededor de 20% se encuentran en buen estado, de modo que la mayor parte de ellas ni siquiera son transitables; hay muchas vías sin pavimento, en las cuales no se ve nin-

guna posibilidad de invertir a corto plazo, de tal manera que hacemos programas de renovación, es decir, colocamos materiales granulares. Últimamente estamos trabajando con las alcaldías locales y con las comunidades en un aporte a tres manos: las alcaldías locales ponen la maquinaria, las comunidades, la emulsión y nosotros el fresado, que obtenemos de las obras de Transmilenio, para hacer unos pavimentos en frío en vías locales; el resultado ha sido bastante estimulante.

Para construcción de vías arterias en el año inmediatamente anterior, en estudios y diseños en la avenida La Sirena, en la construcción de la avenida Ciudad de Cali entre calles 138 y 139, para la misma avenida en el sector de La



Salitrosa, se invirtieron cerca de \$68.900 millones, y en mantenimiento de vías locales, \$2.055 millones.

Algunas vías importantes están en este momento en contratación o están a punto de ser contratadas este año para construcción, como por ejemplo el tapón del barrio Japón en la avenida Ciudad de Cali; la ampliación de la calle 53, de la carrera séptima a la carrera 24; los estudios y diseños de la calle 45 con carreras séptima y 13, que están en ejecución, y la avenida Comuneros, que va a contratarse también hacia finales de este año. Esas vías, cuyos estudios están completándose, se sacarán a contratación este año; igualmente, se contrató mantenimiento de vías arterias por un valor total de \$15.680 millones.

En construcción y mantenimiento de vías intermedias se construyeron o rehabilitaron rutas alimentadoras del sistema Transmilenio por \$33 mil millones, mientras que en mantenimiento de malla vial intermedia se invirtieron \$774 millones.

En cuanto a las obras de Transmilenio, la mayor parte de la troncal NQS desde la autopista Norte se está terminando y el puente del tercer nivel, que no tiene ningún problema de estabilidad, está a punto de ser inaugurado. Igualmente, el 1° de julio comenzará la operación del sistema Transmilenio en toda la troncal NQS desde la autopista Norte; habrá líneas por la autopista que tomarán por la NQS hasta la Escuela de Policía General Santander. Los contratos de ahí hacia el sur han tenido algunos problemas, pero estarán terminados y en servicio en diciembre de este año. Lo mismo ocurre con la troncal avenida Suba, donde la mayor

parte de los tramos se están completando en este momento; sin embargo algunos puntos críticos, particularmente el tramo de la montaña, han demorado los trabajos en esa troncal, pero estará lista para diciembre de este año.

Bogotá es una ciudad que se ha transformado dramáticamente en los últimos años y de la cual todos nos sentimos orgullosos, en especial por las obras de ingeniería que se han hecho. En este momento se está terminando la rehabilitación del puente occidental de la autopista Norte sobre la NQS y queda pendiente el mantenimiento de las losetas del puen-

habilitadas y 114 kilómetros/carril de intermedias mantenidas. Y en vías locales, faltan 214 kilómetros por construir, 28 por rehabilitar y 160 por mantener, de manera que hay mucho trabajo por hacer.

En infraestructura local, hay \$33.574 millones para mantener los corredores de movilidad, para el programa de desmarginalización en los barrios \$4.196, para el programa de pavimentos locales \$29.510 millones, en tanto que en los corredores de movilidad local se invertirán \$15.332 y en vías locales que accedan a la alameda 20 de Julio, una obra que se está haciendo al sur de la ciudad, \$382 millones.

En Kennedy, Suba, Engativá, Usaquén y Rafael Uribe se van a invertir \$41 mil millones en rutas alimentadoras del sistema Transmilenio; este es un proyecto poco visible pero supremamente importante, que tiene que llevarse a cabo en los próximos años; la verdad es que nos hemos ocupado de hacer troncales, pero el proyecto de rutas alimentadoras es tres o cuatro veces mayor.

En distritos de mantenimiento se invertirán \$16.069 millones y \$14.523 en la Bri-

gada de Reacción del IDU con la Secretaría de Obras Públicas, que es para mantenimiento de emergencia; ese rubro puede aumentar en la medida en que las localidades trasladen recursos al IDU para mantenimiento. En construcciones para la malla vial arterial se invertirán \$12.863 millones, en puentes peatonales \$1.240 millones y en puentes vehiculares \$1.225 millones; igualmente se harán obras en el tapón de la calle 21, se efectuarán mejoramientos geométricos, se completará la avenida Ciudad de Cali, se ayudará en la emergencia vial del Tunjuelo, se re-

El total del presupuesto del IDU para el 2004 fue de \$260 mil millones, que a la luz de las necesidades de la ciudad es exiguu.



te oriental, que nos darán algún dolor de cabeza todavía por un buen tiempo, dado que el sitio tiene muchas dificultades.

Plan de inversiones 2005

En lo que respecta a las ciclorrutas, hay tres kilómetros mantenidos y 8,4 construidos, mientras que en espacio público faltan 26.600 metros cuadrados por construir y 225.000 por mantener; en vías arterias e intermedias hay 16 kilómetros nuevos por hacer, 143 kilómetros por construir, 993 de arterias mantenidas, 46,93 de arterias re-

forzarán las estructuras de algunos puentes peatonales y de los puentes de la calle 63 y la avenida 68 por Norte-Quito-Sur.

Para conexiones menores de ciclorrutas en toda la ciudad, construcción de ciclopuentes, construcción y mantenimiento del espacio público y ciclorrutas, habrá \$58 mil millones.

Vías rurales

Para la vía Suba-Cota habrá una inversión importante, al igual que para la vía Usme-San Juan de Sumapaz, con \$9.214 millones; se rehabilitarán la vía a Guaymaral y un buen tramo de la vía a Choachí, gracias a un acuerdo según el cual el Invías construye del kilómetro 10 en adelante y participa también en lo que vamos a hacer nosotros desde el kilómetro cero hasta el diez. En suma, hay una inversión para este año de \$14.468 en la ruralidad, que es fundamental para conectar la ciudad con los centros de producción de alimentos.

Con respecto a la autopista al Llano, está a punto de salir la licitación para la construcción de la vía entre el CAI de Yomasa y el inicio de la concesión, inversión que se hará junto con el Invías; en la avenida Longitudinal de Occidente la inversión este año será

exclusivamente para completar algunos predios, con la idea de que el próximo año podamos empezar a construir el tramo entre el Muña y la calle 13.

En cuanto a los procesos que debemos hacer este año, tenemos: en estudios y diseños, 20; en interventoría de estudios y diseños, 20 también; en construcción y rehabilitación, 80; en interventoría, construcción y rehabilitación, 80; en mantenimiento, 14, y en interventorías y mantenimiento, 14. Esto significa que el IDU manejará este año 228 procesos de contratación. La idea es que se hagan a lo largo del año.

Estamos realizando la fase de prefactibilidad del sistema Transmisión en la calle 26 y las carreras décima y séptima, hasta la calle 72; son 21,84 kilómetros, cuyo costo total sin financiación es de \$768 mil millones, y con financiación estimamos que sea de \$1,2 billones.

Estimamos que estudios y diseños definitivos saldrán a licitación a partir del 1° de junio, de manera que estén listos el 1° de julio del año próximo, fecha en que se iniciará la etapa cons-



tructiva; esto en cuanto tiene que ver con la calle 26, que esperamos entregar en servicio, de acuerdo con ese cronograma, el 1° de enero del 2008. Sin embargo, hay algunos factores que nos permiten ver con optimismo el proceso, por lo que es posible que podamos darla antes de esa fecha al servicio de la ciudad.

Las carreras décima y séptima tienen un cronograma similar: el 1° de septiembre se debe completar la etapa 1, de aforos y factibilidad, de manera que saldremos a concurso el 1° de julio del 2005; aspiramos a tener estudios y diseños completos el 1° de octubre de 2006 para empezar la construcción inmediatamente y entregarla al servicio el 1° de diciembre del 2008.



WILSON DUARTE

Primero que todo, quiero hacerles saber que el próximo 3 de mayo se va a celebrar un debate en la Comisión de Presupuesto del Concejo, el cual he llamado “La democratización, la transparencia y la selección objetiva en los procesos de contratación con el Distrito”, con el fin de solucionar las deficiencias en la contratación y analizar las observaciones que el gremio hace al respecto.

Deseo empezar mi intervención dentro de un marco muy jurídico, con el fin de explicar por qué debe hacerse la democratización y de qué manera, y cómo deben implementarse la participación y la equidad, plasmadas en

la Constitución política y en el Plan de Desarrollo del Distrito. En el artículo 2° de la Constitución se dice que hay que promover la prosperidad general y garantizar la efectividad de los principios, derechos y deberes consagrados en la Constitución; en el artículo 6° se habla de la responsabilidad que tienen el particular, en este caso los contratistas, y los servidores y funcionarios públicos, así como de las consecuencias que puede acarrear en un momento dado la omisión o la extralimitación de funciones de tipo civil, penal, disciplinario y fiscal. Ahí vemos que los contratistas, las entidades y los funcionarios del Distrito tenemos gran responsabilidad en el tema de la contratación, además de que el artículo 209 nos habla de la función administrativa, y

dentro de ésta, de la obligatoriedad de aplicar los principios de igualdad, de eficacia, de economía, de celeridad, de imparcialidad y de publicidad. Y en esto quiero destacar cuatro términos: igualdad, que tiene que ver mucho con el tema de la democratización; moralidad, imparcialidad y publicidad, aspectos que han de considerarse en el momento en que los funcionarios estemos elaborando los pliegos de condiciones.

Estatuto de contratación

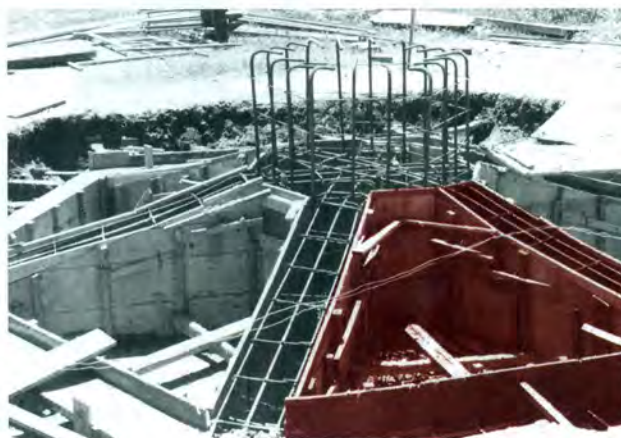
Dentro de este marco normativo está la Ley 80 de 1993, o estatuto de contratación estatal, que en su artículo 3º nos habla de los fines de la contratación.

No soy juez para cuestionar a las entidades sobre este tema, pero sí quiero mencionar algunas de las fallas que he hallado en el desarrollo de la investigación que he venido realizando en las diferentes entidades, las cuales se vuelven repetitivas y por eso me atrevo a mencionarlas.

Prefactibilidad

En la Ley 80 se dice que antes de iniciar un proceso de contratación se deben tener definidos los estudios, diseños, especificaciones técnicas, planos, y eso ya nos da una orientación; se habla también de los estudios de prefactibilidad y factibilidad técnica, que deben ser la antesala para empezar la ejecución de un contrato; entre las fallas que hemos detectado están que no hay estudios previos de necesidad, de conveniencia, de oportunidad ni de adecuación de planes de inversión.

Aquí al mandatario de turno se le viene a la mente una idea, la transmite a sus subalternos y éstos a su vez la expresan también con ligereza a un consultor, por lo que estamos obviando esa primera función, que es netamente obligación de la entidad. En las entidades públicas existen profesionales idóneos y capacitados para efectuar ese estudio de prefactibilidad, para que sin ligereza podamos viabilizar y visibilizar qué es lo que quiere realmente el mandatario cuando desea llevar a cabo proyectos que beneficien a la comunidad.



Falta de continuidad

La otra falla es el intervalo de tiempo entre el diseño y la ejecución, y eso obedece al cambio en las administraciones. El gobernante de turno presenta un plan de desarrollo, pero su sucesor tiene otro plan de desarrollo en el que se enfatiza en otros temas diferentes de los que se vienen trabajando en las diferentes administraciones; cuando un mandatario quiere ejecutar o invertir en algunas de las obras que administraciones pasadas habían contemplado, ve truncados sus deseos porque los diseños, los estudios y ese trabajo desarrollado por profesionales de la ingeniería y la arquitectura ya son obsoletos; en ese momento se entra en un detrimento patrimonial porque hay que volver a hacer los diseños, los estudios, u optar por lo que se ha vuelto costumbre en las entidades

del Estado: actualizar y ajustar los estudios y los diseños. A mi juicio, las entidades no pueden caer en ese error porque en el artículo 25, numeral 12 de la Ley 80 se establece que los contratos se pueden ejecutar con la dualidad de diseño y construcción cuando ese sea el objeto del contrato. No puede volverse costumbre que las entidades lo hagan de ese modo, sobre todo cuando en el párrafo primero de ese mismo numeral se determina que antes de la ejecución de un contrato se deben tener los diseños, especificaciones, planos, etc., definidos totalmente para poder sacar el proceso de contratación. Quiero dejar ese mensaje para evitar tal modalidad de interpretación de la norma.

En las entidades públicas existen profesionales idóneos y capacitados para efectuar estudios de prefactibilidad, para que sin ligereza podamos viabilizar y visibilizar qué es lo que quiere realmente el mandatario cuando desea llevar a cabo proyectos que beneficien a la comunidad.

Algunas soluciones

Pero como aquí no se trata solamente de nombrar las fallas, sino de plantear soluciones, me parece importante lograr que la contratación se haga con planeación, que toda obra que se vaya a ejecutar esté acompañada por el consultor, por el autor del diseño, porque eso no está pasando. En el caso de los consultores, éstos entregan su trabajo y se olvidan de la responsabilidad, ya que la entidad tampoco ha dado esa directriz. En cambio, si el contratista constructor tiene una responsabilidad de cinco años, puede ser llamado en cualquier momento a responder por irregularidades o

dan de la responsabilidad, ya que la entidad tampoco ha dado esa directriz. En cambio, si el contratista constructor tiene una responsabilidad de cinco años, puede ser llamado en cualquier momento a responder por irregularidades o

fallas que puedan producirse en la construcción, en la edificación, en la vía, por qué el consultor no puede tener un período de vigencia para poder hacerle acompañamiento tanto a la entidad como al asesor y al contratista ejecutor de la obra, como asesor también y autor de los diseños que se están ejecutando, para evitar con esto que se hagan interpretaciones como las que ya vimos en el IDU con el tema de Transmilenio. Ahí les dejo esa inquietud como una posible solución para el tema de planeación.

Sin duda tenemos que hacer diseños completos y obras completas, no podemos seguir con el tema de los grandes elefantes blancos contruidos a pedacitos, dado que el administrador de turno tiene un contratista para hacer las zapatas, otro para elaborar las columnas, otro para hacer la estructura total y otro para los acabados. Pensemos, señores funcionarios, en lo importante que es llegar a concluir un proyecto para que lo utilicen inmediatamente los ciudadanos, que son los que realmente requieren estas obras para satisfacer sus necesidades básicas.

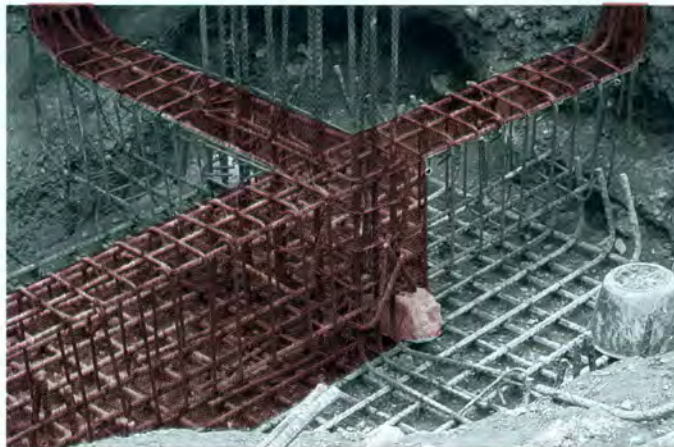
Democratización en la contratación

Como segundo punto tenemos la democratización, que consiste en dar mayor participación a personas naturales y jurídicas y a consorcios o uniones temporales en los procesos de contratación. En el plan de desarrollo 2004-2007 se habla de la importancia de crear dentro de las entidades un esquema de participación equitativo para llegar a la democratización de la contratación. Ese mandato, presentado por la administración de Luis Eduardo Garzón, adoptado y aproba-

do por el Concejo y sancionado por el alcalde mayor de Bogotá, deben cumplirlo todas las entidades públicas y no solamente el IDU.

Evitar la concentración en las contrataciones públicas

Se ha vuelto costumbre durante los últimos años darles las contrataciones públicas a un pequeño grupo de contratistas. Así las cosas, ¿dónde está la



Para estar a tono con el principio de la democratización, propongo que los contratistas que no tengan ningún contrato con el IDU, sean los elegidos para adjudicarles ese contrato.

participación de todo el gremio? Lo único que me encuentro todos los días son compañeros y colegas quebrados, pidiendo la visa para Estados Unidos o para España porque aquí ya no tienen posibilidades de trabajo.

Cómo evitar los monopolios

Lamentablemente no somos equitativos en el momento de repartir esa gran torta, ese gran ponqué, cuando podemos hacerlo en una forma racional. Por eso debemos promover las contrataciones públicas de fácil acceso para las empresas que licitan, con el propósito de impedir la aparición de monopolios, ya que éstos generan concentración de riqueza y, por consiguiente, injusticia social.

Igualdad de condiciones y contratación incluyente

Considero que en el tema de igualdad y de inclusión no podemos seguir realizando procesos de contratación, ni continuar haciendo pliegos de condiciones o términos de referencia con la solicitud de experiencias exageradas. La Secretaría de Educación exige 25 mil metros cuadrados en proyectos similares para construir un colegio, cuando el proyecto tiene siete mil metros cuadrados: ¿será que quien haya hecho un edificio de cuatro pisos no puede tener la posibilidad de crecer y la entidad no puede darle la oportunidad de construir el quinto y hacer un edificio de cinco pisos? El problema es que aquí se acostumbra al contrario: el que tenga cinco edificios de diez pisos puede hacer el de cinco pisos. ¿Será que eso es incluyente, que es igualitario? Ahí les dejo esa reflexión.

Volviendo al tema de la contratación, muchas entidades nos han dicho que prefieren contratar con uno para una gran obra porque es más fácil atender a uno que a diez. En palabras de la señora veedora, “es que cuando se le entrega a un solo contratista y ese contratista subcontrata, ahí hay democratización”. Sí, hay democratización de trabajo, mas no de las utilidades.

Otra manera de evitar los monopolios es mediante la elaboración de pliegos objetivos con exigencias racionales, y mayor acceso de participantes por medio de bajos precios de pliegos de condiciones. Es más, en ninguna parte de la normatividad se habla de cobrar los pliegos de condiciones, y esa pelea la voy a librar desde lo político: no se deben cobrar los pliegos de condiciones, máxime cuando hoy se pueden bajar por internet.

Replantear el sistema de sorteo en empates

No me parece justo dejar que la suerte dirima un desempate. Para estar a tono con el principio de la democratización, propongo que los contratistas que no tengan ningún contrato con el IDU, sean los elegidos para adjudicarles ese contrato. Y en segundo lugar, si todos tienen contratos, entreguémoselo al que posea mayor capacidad de contratación, porque esa persona está demostrando capacidad de contratación, capacidad administrativa, técnica, operativa y financiera.

Igualmente, se debería contratar con personas naturales o jurídicas de Bogotá, quienes tributan en la ciudad; esta es una discusión que ha salido también en lo político, pues no se está cumpliendo con el mandato constitucional y de la Ley 80 en el sentido de que los gobernantes y los administradores deben mantener una condición siempre favorable a su administrado, que en este caso somos los que pagamos impuestos en Bogotá, los que generamos empleo en Bogotá. Los extranjeros tienen mucho trabajo y otras empresas también lo tienen, pero los bogotanos están a punto de la quiebra.

La transparencia

La escogencia del contratista se efectúa mediante el proceso de licitación o concurso público. Si bien es cierto que el

Decreto 2170 ordenó que se hiciera publicidad a través de internet, no se puede acceder a esa información porque las páginas se bloquean permanentemente, sobre todo en el preciso instante en que se necesita investigar o revisar la información; ya cuando se abre la página se da uno cuenta de que el proceso se había cerrado hace dos horas. Llamo la atención sobre ese punto porque la gestión contractual debe ser diáfana y cristalina.

En cuanto al tema de la objetividad, creo que es simplemente aplicarlo; el artículo 29 de la Ley 80 habla que la selección de los contratistas debe ser objetiva, tanto en contratación directa como en procesos de licitación pública. Hay un principio de imparcialidad que me parece importante, dado que la imparcialidad equivale a rectitud, equidad, neutralidad, objetividad, ecuanimidad y legitimidad; en algo que los funcionarios, sobre todo de tercer nivel, son expertos es en la subjetividad, y en las audiencias públicas tratan de defender lo subjetivo por encima de lo objetivo; así estén 50 contratistas reclamándoles, no paran bolas, les dicen que demanden en el tribunal que allá les resuelven el problema. Obviamente, el principio de la igualdad se refiere a la posición similar que deben tener los aspirantes, con los mismos derechos y expectativas.

Simplemente quería dejar esas reflexiones, pues me parecía clave decir las en un escenario y en un auditorio tan respetable como éste.

En cuanto al tema de la objetividad, creo que es simplemente aplicarlo; el artículo 29 de la Ley 80 habla que la selección de los contratistas debe ser objetiva, tanto en contratación directa como en procesos de licitación pública.

es el resultado de una acción conjunta en el mismo sentido.

En este proceso de la mesa de trabajo nos inscribimos voluntariamente un grupo de ingenieros contratistas del IDU, pues de alguna manera consideramos que era un momento importante para aportar nuestra experiencia con el fin de evitar problemas futuros en los temas de contratación.

Directores de proyecto

Mi intervención tiene que ver con las experiencias de los profesionales, el pago de anticipos y los compromisos de la ingeniería nacional. En el tema

de la calidad de las obras la experiencia es fundamental, pero también tenemos que trabajar para permitir que pueda haber un relevo generacional; los pliegos, como están estructurados en algunas entidades, difícilmente permiten que una persona llegue a ser director del proyecto; es decir, no puede ser director del proyecto sino aquel que haya sido director de proyectos, incluso no puede ser residente sino aquel que haya sido residente. Esto es un absurdo. Lo ideal sería permitir el ascenso progresivo a medida que se vaya obteniendo la experiencia.



GUILLERMO BALCÁZAR

Quiero presentarles hoy una parte de los resultados a los que hemos llegado con estas mesas de trabajo con el IDU, que marcan una diferencia con las mesas de concertación que se hacían en este país, que por lo regular se generan cuando hay un conflicto; aquí no, aquí se hace una acción proactiva, es una acción que nace para evitar conflictos hacia el futuro, es una acción en la cual la entidad decide escuchar a su interlocutor de igual a igual, que somos las firmas de ingeniería, porque el sacar adelante los proyectos

Para el trabajo de definir los requisitos de los profesionales nos basamos en la Resolución 747 del Inviás, que establece una serie de categorías y de requisitos para los cargos que pueden ocupar los ingenieros; ese documento de referencia es muy importante, aparte de que se acepta en todo el país. No vimos adecuado inventarnos otra clasificación. Se establecieron unos criterios, pero el IDU nos pidió que este documento no fuera una camisa de fuerza, pues hay proyectos que por sus características especiales requieren que el IDU haga unas exigencias adicionales. Para eso, hoy en día tenemos los prepliegos, creados mediante el Decreto 2170, con el fin de que los proponentes, los interesados, puedan consultarlos y tengan tiempo de objetar las exigencias que la entidad está haciendo; el compromiso del IDU es escuchar esas objeciones, debatir y sustentar sus ideas. Cuando por alguna razón la entidad no hiciera caso o simplemente dejara el tema en silencio, sin una respuesta adecuada, en ese momento los gremios, la Sociedad Colombiana de Ingenieros, la Cámara Colombiana de la Infraestructura, en su calidad de firmantes y garantes de este documento, deben llamarle la atención al IDU.

Retomando el tema de los directores de proyecto, según la resolución del Inviás, sólo pueden serlo quienes pertenezcan a las categorías uno, dos y tres, que son las de más experiencia, pero para proyectos hasta de mil quinientos salarios mínimos mensuales legales vigentes no hay que haber sido director, es decir, que en esos proyectos de tamaño menor puede empezar su carrera un profesional para ser director, dado que acumulará la experiencia necesaria, porque finalmente no podemos olvidar la gran responsabilidad que tienen la entidad y esas firmas con las que estamos invirtiendo el dinero público.

Anteriormente, en los pliegos aparecía que el director del proyecto debía tener mínimo diez años de experiencia; ahora se le valida su experiencia en los diferentes campos y se le exige una experiencia específica de director mucho menor; para este caso del proyecto más grande, exigimos que haya sido director por dos años.

En el caso de los residentes de proyectos se hace una labor similar, permitiendo que quien no haya sido residente pueda trabajar en el proyecto; sin embargo, se le exige un tiempo de graduado, una experiencia general mínima de cuatro años; ¿cómo hacer entonces para que alguien empiece a ser residente y comience su carrera en la contratación? La idea es que el requisito de este personal sea solamente para uno de los residentes del proyecto; el IDU va a necesitar únicamente un número limitado, pero con seguridad en la ejecución del proyecto se van a requerir más, que no cumplirán con las especificaciones exigidas, pero sí podrán desempeñarse como residentes y empezar a acumular su tiempo, que se le certificará después para poder ascender a residentes y, más adelante, a directores o especialistas de proyectos.

Estas experiencias se completan y se conjugan con los estudios. Por eso les mandamos un mensaje a todos los

profesionales sobre la urgencia y la necesidad de que se capaciten y estudien; hoy en día, la exigencia de las especializaciones aparentemente dejó de ser importante porque se piden sólo años, pero hay que tener en cuenta que si un recién egresado tiene ya una especialización, podrá acceder al trabajo en la contratación pública en el IDU.

Un inconveniente de las licitaciones es que muchas veces exigen el mismo número de profesionales para construir un andén que para construir una vía, por lo que hoy en día vemos unos contratos desbalanceados, que limitan la posibilidad de que un especialista vaya haciendo carrera; por tal razón estamos planteando unos tres niveles de

especialistas, dependiendo de la importancia del proyecto.

El otro problema de los pliegos actuales es que muchas veces se exige un especialista que no se necesita o que se necesitó en un momento dado pero después no, mientras que hay otro que por error o por circunstancias del proyecto sí hace falta, pero no se puede contratar porque no hay ninguna posibilidad de modificar el contrato. Por eso se ha convenido que en un proyecto uno podría pedir, durante la ejecución de la obra, hasta el cambio de dos especialistas por otros del mismo perfil, que nos sirvan realmente para el proyecto; eso puede concertarse de una manera ágil con la entidad, y además es un gran aporte para facilitar la ejecución de los proyectos y elevar el nivel de calidad, que es lo que queremos.



Otro problema de los pliegos actuales es que muchas veces se exige un especialista que no se necesita o que se necesitó en un momento dado pero después no, mientras que hay otro que por error o por circunstancias del proyecto sí hace falta.

Hoy en día los pliegos son tan restringidos que para construir un andén tendríamos que conseguir un ingeniero con diez años de experiencia como especialista en andenes, pues si la tenía en vías, habría problemas para que lo aprobaran; aquí ha quedado ya bastante abierto, y se acepta que la experiencia del profesional como especialista en el área es la que vale.

Así mismo, no se hace la distinción tan tajante que existía antes para el tema de vías y el tema de andenes o espacio público, acogiéndonos a la definición de espacio público del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), que establece que espacio público es todo lo que esté de paramento a paramento, aunque yo diría que todo lo que no sea espacio privado

es público, de manera que la vía, el andén, el puente, el parque, la alameda, la ciclorruta son experiencias válidas y compatibles, y no esta complicación que había en los procesos porque la persona trabajó en un tramo de andén que tenía unas redes o en un tramo de vías que tenía unas redes y no se sabía si esa experiencia era válida o no para el proceso. Por fortuna, esas minucias han quedado resueltas; entendemos que el profesional que se ha desempeñado en uno de esos proyectos puede trabajar perfectamente en el otro.

Equivalencias de los estudios

Si un profesional cursa una especialización, esto le permite validar dos años de experiencia general y un año de experiencia específica; esto hace que aquellos profesionales que decíamos que debían tener cuatro años de experiencia para ser residentes, de tiempo de graduados, de experiencia general, hoy en día con sólo dos estarían cumpliendo ese requisito. Obviamente el doctorado lo dejamos para el nivel uno, y así se tendrán los doctores que necesita el país.

Otro asunto clave es el tema de las equivalencias en aquellos que han trabajado o prestado su colaboración en las entidades públicas; hay que ser conscientes de que no se puede castigar a un profesional porque aceptó un puesto en una entidad pública. Esto para evitar aquellas discusiones de que si el ingeniero era funcionario, realmente traba-

jaba por un contrato de prestación de servicios o si era coordinador, y entonces si en otra entidad o en una obra no existe el cargo de coordinador, no se le aceptaría esa experiencia. Hemos tratado de que todo sea muy transparente, en el sentido de que una persona que trabaja en una entidad está acumulando experiencia y vamos a valerla en los procesos.



Los “posticipos”

Un aspecto que nos afecta a todos, en especial el bolsillo, son los anticipos, o “posticipos”, como los llaman, pues se pagan cuando el contrato ha finalizado; afortunadamente, llegamos a un acuerdo con el IDU para que esos anticipos se paguen el día de la firma del acta de iniciación o a más tardar en la siguiente semana, de manera que podamos contar con los fondos que requiere el contrato. También hemos acordado que se tome muy en cuenta si el contrato tiene anticipo para que se rebajen las exigencias de capital de trabajo, puesto que éste se calcula normalmente por el valor de la inversión del proyecto en dos meses; entonces, si no hubiera anticipo, uno podría facturar el primer mes y antes de que se completara el segundo mes recibiría el pago de la primera factura. Ese sistema de cálculo del valor del anticipo se puede complementar con la consideración de cuánto fue el anticipo para poder reducir el valor del capital de trabajo exigido a la firma; así contribuimos a que la firma tenga liquidez.

En los contratos de interventoría hay una dificultad, por cuanto los funcionarios no pueden firmar cuentas de manejo conjunto de anticipos; eso se solucionaba con la entrega de los pagos anticipados, dinero que entra directamente a la cuenta del contratista, pero el Decreto 2170 prohibió el pago de sumas anticipadas, por lo que quienes trabajan en interventoría quedan en desventaja porque la entidad no puede darles un anticipo; luego de muchos debates con la parte jurídica del IDU se estableció el procedimiento que se presenta hoy, gracias al cual se le puede pagar contra la presentación de un primer documento que tendrá la metodología que cada pliego especificará.

En los contratos de interventoría hay una dificultad, por cuanto los funcionarios no pueden firmar cuentas de manejo conjunto de anticipos; eso se solucionaba con la entrega de los pagos anticipados, dinero que entra directamente a la cuenta del contratista, pero el Decreto 2170 prohibió el pago de sumas anticipadas, por lo que quienes trabajan en interventoría quedan en desventaja porque la entidad no puede darles un anticipo; luego de muchos debates con la parte jurídica del IDU se estableció el procedimiento que se presenta hoy, gracias al cual se le puede pagar contra la presentación de un primer documento que tendrá la metodología que cada pliego especificará.

Compromisos interpartes

Hasta aquí son los compromisos del IDU, pero obviamente una concertación debe tener compromisos de parte y parte.

Cuando hablamos de los presupuestos y de la Resolución 747 del Invías, estábamos trabajando no sólo para

Llegamos a un acuerdo con el IDU para que los anticipos se paguen el día de la firma del acta de iniciación o a más tardar en la siguiente semana, de manera que podamos contar con los fondos que requiere el contrato.

definir unas categorías sino también unos salarios, de manera que el IDU tuviera una escala de salarios para el momento de hacer los presupuestos, los cuales pueden discutirse durante la etapa del prepliego; si nosotros le exigimos a la entidad que haga el presupuesto poniéndole al director categoría uno un salario de \$3 millones y resulta que en verdad le vamos a pagar a ese profesional la mitad, esto no tendría ningún sentido, ya que el IDU va a hacer sus presupuestos con base en tales tarifas. Incluso se establece la posibilidad de que cuando el IDU lo requiera pueda acceder a los contratos que se tienen con esas personas, de manera que se pueda verificar que efectivamente se están pagando esos niveles de salario a los que nos hemos comprometido. Hubo mucha discusión al respecto, pues existen empresas que tienen especialistas de planta que no podrían ajustarse en un momento dado a estos pagos; en dichos casos se aceptará que la firma presente al IDU la justificación de por qué se alejó un poco de las tarifas de la resolución del Invías.

Otro de los temas que al IDU le preocupan es el de las competencias

laborales. Resulta que un profesional necesita trabajar para el IDU y tiene la experiencia requerida, pero no conoce ni el manual de interventoría ni las especificaciones del IDU. Por tal motivo la Cámara de la Infraestructura, en asocio con la Escuela Colombiana de Ingeniería, está comprometida a presentar un proyecto para dictar una capacitación en este aspecto a los profesionales que trabajen con interventorías para el IDU a partir del segundo semestre de este año.

Otro compromiso de la Cámara, ya presentado también por Juan Martín Caicedo, consiste en buscar mecanismos alternativos de solución de conflictos, haciendo énfasis en la posibilidad de que en los contratos del IDU quede establecida la amigable composición, que hemos visto que es supremamente ágil y útil.

Este documento de la mesa de trabajo se constituye en la base funda-

mental de los nuevos pliegos del IDU, porque define todos los mecanismos para adjudicación, calificación y exigencia de personal; con todo, aún hay que trabajar en otros aspectos, como las obligaciones y el alcance de los contratos, definiciones que desarrollaremos en unas minutas y en unas observaciones que entregaremos al IDU desde la Cámara de la Infraestructura y que buscarán "aterrizar" contratos de diseño que de alguna manera son de alcance indefinido y que a veces, con una pequeña frase, se convierten en lo que quieren o lo que salga y usted está obligado a hacerlo; ahí se trabajará con la Cámara, y seguramente en los siguientes eventos que se hagan de esta naturaleza veremos los resultados.

Obviamente, todos estos compromisos tendrán un proceso de seguimiento, de manera que podamos ver que realmente se cumplan



mental de los nuevos pliegos del IDU, porque define todos los mecanismos para adjudicación, calificación y exigencia de personal; con todo, aún hay que trabajar en otros aspectos, como las obligaciones y el alcance de los contratos, definiciones que desarrollaremos en unas minutas y en unas observaciones que entregaremos al IDU desde la Cámara de la Infraestructura y que buscarán "aterrizar" contratos de diseño que de alguna manera son de alcance indefinido y que a veces, con una pequeña frase, se convierten en lo que quieren o lo que salga y usted está obligado a hacerlo; ahí se trabajará con la Cámara, y seguramente en los siguientes eventos que se hagan de esta naturaleza veremos los resultados.

Obviamente, todos estos compromisos tendrán un proceso de seguimiento, de manera que podamos ver que realmente se cumplan

DIEGO SÁNCHEZ FONSECA

En la historia reciente del IDU, los procesos de definición sobre los alcances de los términos de referencia de los pliegos de condiciones del IDU habían sido un poco cerrados a la discusión; en la actual administración distrital hemos creído que tenemos que escuchar a las personas que trabajan con el IDU, porque los únicos espacios que había para ese fin eran las audiencias, tanto de aclaraciones como de adjudicaciones, donde el espacio está supremamente limitado. Por eso se abrieron estas mesas, porque queremos que la gente aporte y que de algún modo entiendan, que se sientan satisfechas con nuestra respuesta. Gracias a esto, hoy en día tenemos el segundo documento, mediante el cual se formalizan esos acuerdos con las empresas de ingeniería.

Voy a hacer una presentación de manera paralela entre lo que eran las consideraciones anteriores y las consideraciones actuales que van a regir la contratación, comenzando por decir cuáles fueron los principales asuntos tratados; en principio me voy a referir a los procesos de selección de contratistas, uno de los temas más álgidos y de mayor interés. Estoy seguro de que lo que acordamos no satisface a todo el mundo y de que seguiremos recibiendo críticas y observaciones a la forma como estamos evaluando la experiencia y como estamos seleccionando las empresas; seguiremos revisando las propuestas que se presenten, con base en los criterios de participación, evaluación y selección de firmas.

También se trabajó mucho la calidad de pliegos de condiciones y minutas contractuales, pero como es un tema

muy complejo al final quedó como parte del documento que es sólo un compromiso de la ingeniería nacional apoyar al IDU en revisar esos términos de referencia y esas minutas de los contratos.

Hicimos mucho énfasis en la consultoría, básicamente porque hemos notado desde hace algún tiempo que los principales problemas del IDU en la ejecución de los proyectos surgen en los contratos de consultoría, y no estoy hablando de los consultores, estoy hablando de los contratos; a lo mejor los contratos de consultoría en sí mismos, por su forma, por su estructuración, plazos, presupuestos, compromisos, riesgos que tiene el consultor, han generado que al final el producto de la consultoría no sea el adecuado y eso degenera en un mal proyecto. Por eso vamos a trabajar fuertemente para mejorar los pliegos de condiciones y minutas de los contratos, en especial de consultoría.

La definición de lineamientos para las áreas ejecutoras y de apoyo tiene que ver con las exigencias técnicas. Aquí había un problema y era que el IDU, que tenía supuestamente una sola unidad de criterio, no la tomaba en cuenta al momento de arrancar procesos licitatorios por áreas diferentes. Nosotros tenemos tres áreas principalmente, que son las responsables de la ejecución en el IDU: construcciones, malla vial y espacio público. Cada una, de manera independiente, generaba criterios diferentes. Eso está mal, porque el IDU debe mantener una sola unidad y responder a las necesidades de los contratistas de manera unificada.

Experiencia de las firmas

En general, había diversos criterios para limitar o permitir la participación de empresas en procesos de contratación, lo cual era inconveniente a la hora de evaluar, porque incluso nosotros mismos en el Comité de Evaluación y Adjudicación nos dábamos cuenta de que no teníamos esa unidad de criterio, aspecto que nos complicaba a veces las evaluaciones y las adjudicaciones.

Lo otro era que a los proponentes se les exigía siempre acreditar incluso hasta el 200% del presupuesto oficial del proceso licitatorio, pues se pensaba que el que no había

hecho más de lo que estábamos contratando no era capaz de hacer lo que íbamos a contratar; ahora hemos entendido que no es necesario buscar más, ya que básicamente con la mínima experiencia se puede lograr el objetivo del proyecto.

También había limitación en la posibilidad de acreditar experiencia por pretender asimilarla al proyecto objeto del proceso de contratación. Si sacábamos a licitación la construcción de un puente, entonces únicamente había que acreditar experiencia en puentes, pero el señor que había hecho un muelle fluvial, un aeropuerto, una avenida, no podía participar;

la construcción de obras civiles y de obras de infraestructura tiene muchas situaciones similares. No podemos cerrar de manera tan clara la especialización y no ser tan transparentes ni tan incluyentes al momento de pretender seleccionar las firmas. Es más, se diferenciaban las experiencias en interventorías por los objetos de los proyectos. Estoy convencido de que las mejores interventorías no están relacionadas con la cantidad de actividades que se hayan realizado en un trabajo particular, pues lo fuerte y lo importante de una interventoría es el aspecto puramente gerencial y administrativo que ha de tener el grupo interventor.

El grupo de especialistas es un complemento. Yo no puedo descalificar a un interventor bueno porque sólo ha hecho interventoría de andenes y yo necesito la interventoría de una vía.

Otra limitante era el número de años de experiencia, pues siempre se pedían diez. En ocasiones pedíamos cinco, ya que las firmas más modernas se acomodaban mucho mejor a las posibles contrataciones que estábamos realizando en ese momento. Sin embargo, entendemos también que lo que se aprende diez años atrás no se puede olvidar y de alguna manera las empresas no se mueren por el hecho de que en los últimos cinco años no hayan tenido trabajo; entonces, hay que darles la oportunidad. Eso es lo que había antes en algunos conceptos de evaluación de experiencias de las firmas: qué se pactó y qué se va a empezar



Estoy convencido de que las mejores interventorías no están relacionadas con la cantidad de actividades que se hayan realizado en un trabajo particular, pues lo fuerte y lo importante de una interventoría es el aspecto puramente gerencial y administrativo que ha de tener el grupo interventor.

a implementar. Primero, se podrán presentar contratos en ejecución o ejecutados en el lapso comprendido entre el 1° de enero de 1989, fecha en que comenzó a regir en el país el salario mínimo mensual legal vigente, y la fecha del cierre de la licitación. Entonces podemos ubicar la experiencia únicamente a partir de esa fecha en salarios para poder hacer la comparación en los diferentes contratos.

Como los proponentes deberán acreditar contratos con facturación a la fecha de cierre, pusimos tres opciones, sin que esto signifique que siempre nos vamos a limitar a ellas; es más, hay una solicitud del concejal Duarte para ampliar esto. Lamentablemente, en el espacio de la mesa no hemos logrado discutir el tema en conjunto, pero por ahora tenemos esto, sin que signifique que en algún momento se pueda ampliar o modificar. Una empresa, para participar, puede acreditar un solo contrato cuya experiencia haya sido similar al contrato que se va a ejecutar por 75% del presupuesto oficial; puede acreditar dos contratos, siempre y cuando sea mínimo 100% del presupuesto oficial, y hasta seis contratos, siempre y cuando estén por encima de 150% del presupuesto oficial.

En consorcio con uniones temporales, se estipuló que por lo menos uno de los integrantes debe cumplir el 50% de la experiencia exigida; el campo de experiencia se amplió a todo aquello relacionado con proyectos de infraestructura para el transporte o proyectos de espacio público, pues no vamos a centrarnos únicamente en el tema específico del proyecto

que se va a contratar, sino que vamos a ser mucho más amplios en la selección en cuanto a la experiencia de las empresas.

Hay tres alternativas para los efectos de la contratación, que son más bien ejemplos, pero que pueden servir en el momento de la implementación de los pliegos. Para contrataciones de interventorías no será necesario acreditar experiencias similares al objeto

del proyecto en proceso de contratación; el ejemplo es claro: infraestructura de transportes es vías, carreteras, puentes, muelles, aeropuertos, etc.; las personas que tengan interventoría en cualquier aspecto podrán participar en proyectos del IDU.

Para contratación de estudios de diseño y para contratos de construcción se deberá certificar la ejecución de por lo menos un contrato, cuyo monto mínimo se encuentra entre 30 y 75% del valor del presupuesto oficial que haya correspondido a actividades muy similares al objeto del proyecto en contratación. Por ejemplo, si la empresa ha trabajado permanentemente en vías rurales y ha hecho muchos contratos con el Invías, se le puede permitir que acredite hasta cinco contratos de esos, pero por lo menos

uno de ellos debe tener relación con las actividades que se van a contratar.

En la contratación de edificaciones, por ejemplo portales y estaciones, se aceptarán como proyectos similares los que contemplen estructuras verticales metálicas o de concreto; esto significa que el que ha hecho un edificio no está limitado para construir un portal. Antes aparecía en algunos pliegos, específicamente, que el licitante debía haber hecho portales de Transmilenio, y eso daba tres o cuatro empresas, por mucho.

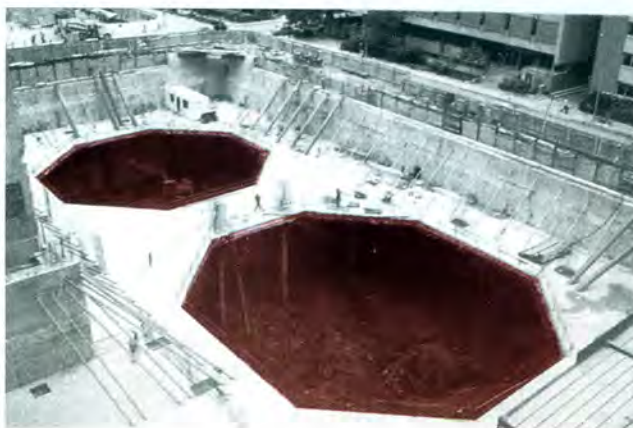
Gestión de calidad

En los pliegos del IDU aparecía que en todos los procesos se exigía certificación de calidad indiscriminadamente, relacionada con el objeto del proceso, lo que generaba muchas dificultades. Se acordó, entonces, exigir el certificado de calidad sólo a procesos de mayor cuantía, es decir, por encima de mil salarios mínimos mensuales legales vigentes.

En los procesos de cuantías superiores a mil salarios, la certificación se exigirá en sistemas de gestión de calidad, estudio y diseño, construcción, interventoría, y se eliminará de los pliegos la frase “de cuyo alcance a las certificaciones esté relacionado con el objeto del proceso”.

Voy a tocar un tema que no se profundizó en las mesas de trabajo y es un tema difícil, porque trasciende incluso la misma facultad que tiene el IDU de tomar decisiones; sin embargo, las empresas que estuvieron en la mesa en representación de las compañías de seguros sí manifestaron su preocupación con estos temas, por lo que quedó como parte del documento lo siguiente: “El IDU evaluará los riesgos particulares de cada proyecto y definirá la entrada en vigencia de cada amparo de manera escalonada, si el proyecto lo

Se acordó exigir el certificado de calidad sólo a procesos de mayor cuantía, es decir, por encima de mil salarios mínimos mensuales legales vigentes.



amerita. Estamos abriendo procesos de licitación con tiempos superiores a cinco años, dado que las compañías de seguros han insistido en que no pueden certificar más allá de dicho período; sin embargo, parece que existe un decreto que trata de los contratos que tienen etapas, en el que se contempla la posibilidad de que la póliza se reactive en la medida en que la etapa se va venciendo y se inicia una nueva etapa; eso se va a evaluar, de manera que se puedan amparar los plazos adicionales sin necesidad de que la póliza que debe entregar el contratista al principio del contrato sea la única condición para poder legalizar la garantía del contrato.

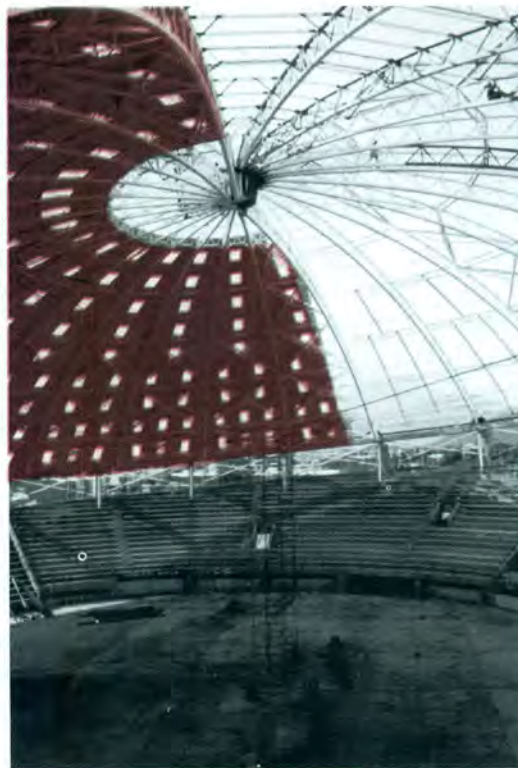
Igualmente, se clasificarán las intervenciones para definir el tipo de póliza y la vigencia del amparo, según el riesgo identificado; no es lo mismo parar un contrato de construcción de una troncal de Transmilenio, que es una avenida con especificaciones completamente nuevas, con un diseño de vida útil de 20 años, que amparar un parcheo o una simple tarea de reparación de andenes; es decir, no se pueden exigir cinco años por lo mismo; la idea es clasificar, de acuerdo con el nivel de intervención, las exigencias de amparo de las pólizas de cumplimiento.

Por último, la dirección legal del IDU se comprometió a estudiar todas las observaciones que ha hecho el gremio, especialmente las relacionadas con cláusulas de indemnidad y restablecimiento de valores asegurados, entre otras.

Criterios de evaluación y adjudicación

Otro aspecto de interés general es el tema de los criterios de evaluación y

de adjudicación, especialmente de tipo financiero. Anteriormente se exigía que la capacidad residual de contratación debía ser igual o superior al 200% del presupuesto oficial, la solvencia mayor de 1, el endeudamiento mayor de 0,7, la relación patrimonial menor de 3, y un capital de trabajo de 20% del presupuesto oficial; además, existía una fórmula que ha sido muy cuestionada por algunos contratistas y es la selección del orden, y la propuesta económica, a la que se le asigna el máximo



La dirección legal del IDU se comprometió a estudiar todas las observaciones que ha hecho el gremio, especialmente las relacionadas con cláusulas de indemnidad y restablecimiento de valores asegurados, entre otras.

puntaje y se hace con una aproximación de decimales indefinida, hasta conocer la empresa ganadora, lo que llevaba lógicamente a que algunas empresas entraran en un juego de manipulación, según interpretan algunos; por tal motivo se propone asignar un número limitado de decimales. Así las cosas, el K residual de contratación puede ser ahora del 100% del presupuesto oficial o mayor. La solvencia sigue siendo mayor que uno y el endeudamiento menor que 0,7; en otras

palabras, los factores relacionados con solvencia, endeudamiento y relación patrimonial y capital de trabajo quedaron igual.

Estamos considerando incluir dentro de la evaluación de la propuesta económica aspectos como los índices representativos, los precios unitarios, las sumas globales, el factor multiplicador, entre otros, para no limitarnos al componente del valor total de la propuesta.

La mesa de trabajo cree también que las fórmulas son un sistema que ofrece suficientes garantías desde la parte de transparencia de las propuestas.

Contrato y contratistas

Voy a mencionar algo que se pidió insistentemente que se trabajara, y es lo referente a los contratos de consultoría; para tales contratos se van a revisar, junto con el Banco Mundial, los aspectos que realmente nos interesa validar y valorar en el momento de la evaluación y de la adjudicación, es decir, más la parte técnica que la económica, y en lo posible vamos a tratar de subir el factor técnico al 90%, si es posible, aunque ojalá se lograra el 100%; no obstante, esa es una limitación que hoy en día tiene el Banco Mundial en la contratación de consultoría.

En los contratos de construcción no hay ninguna posibilidad de que el Banco Mundial otorgue en este momento un visto bueno para lo que está en ejecución, o de que elimine como criterios de adjudicación el menor valor; definitivamente el concepto de menor valor es utilizado por el Banco Mundial en todo el mundo, y en ese caso no se hacen excepciones con nadie.

Conclusiones

Pienso que este tipo de espacios hay que mantenerlos, pues creo que los

contratistas tienen el derecho de ser escuchados, pero es fundamental que haya una moderación; en este caso, la moderación estuvo a cargo de la Escuela Colombiana de Ingeniería, que se caracterizó por su neutralidad y por ser un gran apoyo para poder llegar a conclusiones y a acuerdos favorables para las partes.

Otra conclusión es que hay que seguir trabajando porque todavía quedan unos temas pendientes, en particular en lo que tiene que ver con la mejor fórmula para poder seleccionar a la mejor firma en caso de empate de las mismas en un proceso licitatorio.

Otro punto es el relacionado con el tema de exigencias socioambientales en los contratos. La mayoría de los contratistas, interventores y consultores coinciden en que hay muchas exigencias, lo que redundaría en un elevado costo para el proyecto; nosotros defendemos lo que estamos haciendo en la medida en que todo lleva a un fin, que es garantizar la sostenibilidad ambiental, evitar accidentes, mejorar las condiciones de seguridad, darles divulgación a los proyectos, permitir la participación de la comunidad; sin embargo, lo que se exige en el tema ambiental y social es desproporcionado en comparación con lo que se exige en el aspecto técnico.

Queda pendiente de revisar el tema de multas y sanciones, el cual es importantísimo; hoy en día hay un proceso de multa en los contratos, que en el interior y el exterior del IDU se considera que hay que analizarlo. Vamos a buscar un mecanismo contractual para asegurar el acompañamiento real y efectivo del diseñador durante la obra, ya que eso es fundamental, pues en los contratos de obra no se puede desconocer la responsabilidad del diseñador original y el IDU no

lo puede dejar de hacer tampoco. Ahí hay un tema de limitación del contrato: el contrato de consultoría finaliza en un término de tiempo determinado y se liquida; en ese momento lo único que queda es una póliza de calidad, pero no existe una obligación clara del consultor en atender las necesidades que se presenten en el desarrollo del contrato. Lógicamente, al consultor se le debe dar alguna remuneración; en el contrato de consultoría se debe pactar la obligación de que en el momento en que se requiera, durante el desarrollo de la obra, se pueda destinar una participación del diseñador para atender un cambio, una modificación o una inquietud que no sea por calidad; es decir, la entidad deberá buscar el mecanismo para que el diseñador responda y sea el único responsable de los cambios y modificaciones en el diseño.

En lo referente a los riesgos en los contratos y a partir de los contratos de concesión, definitivamente ha habido mucha discusión: si no se están trasladando los riesgos a los que son, si se ha exagerado en la responsabilidad del IDU, si el contratista debe responder por todo. Eso hay que hablarlo y hay que seguir trabajándolo, porque muchas veces se cree que el contratista es malo, pero en realidad lo

que ocurre es que el contrato era bastante difícil.

Eso, en general, para decirles de nuevo que esperamos de aquí en adelante su participación; como representante del IDU, quiero dejar una puerta abierta para que me hagan saber cualquier irregularidad que adviertan en un proceso licitatorio, en la compra de prepliegos o de pliegos, para que podamos tomar las medidas del caso a tiempo, y podamos definir conjuntamente en su momento, dentro de las instancias

Hay que seguir trabajando porque todavía quedan unos temas pendientes, en particular en lo que tiene que ver con la mejor fórmula para poder seleccionar a la mejor firma en caso de empate de las mismas en un proceso licitatorio.



Queda pendiente de revisar el tema de multas y sanciones, el cual es importantísimo; hoy en día hay un proceso de multa en los contratos, que en el interior y el exterior del IDU se considera que hay que analizarlo.

del IDU, los cambios que habrá que hacer.)

EDUARDO SILVA SÁNCHEZ (MODERADOR)

Esta es la etapa dos de un proceso que podría llamarse de ahora en adelante el foro permanente de los ingenieros con sus contratantes, porque hay puntos que no están tan claros; como puro pasatiempo de profesor, y como ingeniero aficionado a las matemáticas, uno encuentra que hay allí unas fórmulas un poco extrañas, que deberían obedecer eventualmente a alguna relación un poco mejor fundamentada. Quiero decir la siguiente broma: si ustedes para acceder a un contrato de 1.500 salarios mínimos deben acreditar una experiencia de cuatro años, y para uno de 30 mil de seis años, y así sucesivamente, qué experiencia le vamos a pedir al director del IDU en una adjudicación, pues termina siendo un proceso poco convincente que estamos trabajando con moneda nacional y seis decimales.

PREGUNTAS

Wilson Duarte

En mi exposición mencioné un debate de control político que se va a hacer a todas las entidades del Distrito que manejan el tema de la obra pública, que como sabemos tiene una partida bastante grande dentro del presupuesto distrital; pienso que para democratizarlo de la mejor manera se debe sensibilizar a las entidades sobre la importancia de manejar unos aspectos constitucionales y de orden legal en el tema de la equidad, en el tema de la participación y en el tema de la selección objetiva; creo que es una aplicación directa, pero para que esto se logre se requiere que haya voluntad por parte de los administradores.



Hoy en día, el único empeñado en sacar adelante este propósito y en escuchar a los contratistas es el IDU. Yo he participado en algunas charlas con otras entidades, en las que se ha concluido que con voluntad se pueden generar unos cambios, pero para eso se requiere la participación activa de todo el gremio de la ingeniería, de la arquitectura y de los contratistas.

Diego Sánchez

En la actualidad esto no es posible, básicamente por una razón de tipo presupuestal: el presupuesto del IDU está hecho sobre ingresos e inversiones, y este es un ingreso que genera un balance en el presupuesto; si se dejan de cobrar los pliegos, al final de año va a haber un desbalance que va a generar una investigación de tipo disciplinario y fiscal por parte de la Contraloría. Lo que se puede hacer, y eso desde el próximo año, es ver al-

ternativas de cobro mucho más ajustadas a lo que realmente le representan a la entidad la elaboración y el gasto mismo en que se incurre en los pliegos.

Muy respetuosamente solicitamos que se revisen los precios tope del IDU en la mesa de trabajo, ya que muchos de éstos no corresponden a la realidad y no tienen suficiente sustento técnico.

El tema de los precios tope del IDU ha sido objeto de discusión permanente por parte de los

El IDU va a pedir que por lo menos se acredite un contrato cuyas actividades sean similares a las que se están contratando, y ese contrato podrá tener un valor, una facturación total en salarios mínimos entre 30 y 70%.

contratistas e interventores. Hay que considerar que tales precios no son de estricto cumplimiento si se demuestra, mediante un análisis juicioso y serio, que no existe la posibilidad de pagar dicho precio tope en las condiciones comerciales actuales en Bogotá. Yo invito a los contratistas e interventores a que ayuden al IDU advirtiéndole sobre esos precios porque éstos no son una camisa de fuerza para nosotros, además del hecho de que utilizamos bases de datos que en ocasiones hay que retroalimentar y muchas veces no lo hacemos. Les aseguro que el grupo de precios del IDU estará dispuesto siempre a atender su solicitud.

Se mantiene, igualmente, la exigencia de un contrato con experiencia específica superior al 30 o 70% del presupuesto oficial, rango que se debería llevar al 30% porque, tal como está, genera una exigencia mucho mayor que el anterior. Realmente lo que dijimos fue que la entidad va a pedir que por lo menos se acredite un contrato cuyas actividades sean similares a las que se están contratando, y ese contrato podrá tener un valor, una facturación total en salarios mínimos entre 30 y 70%; la entidad lo determinará, dependiendo de la complejidad del proyecto: si se considera que ese proyecto requiere que la empresa de alguna ma-

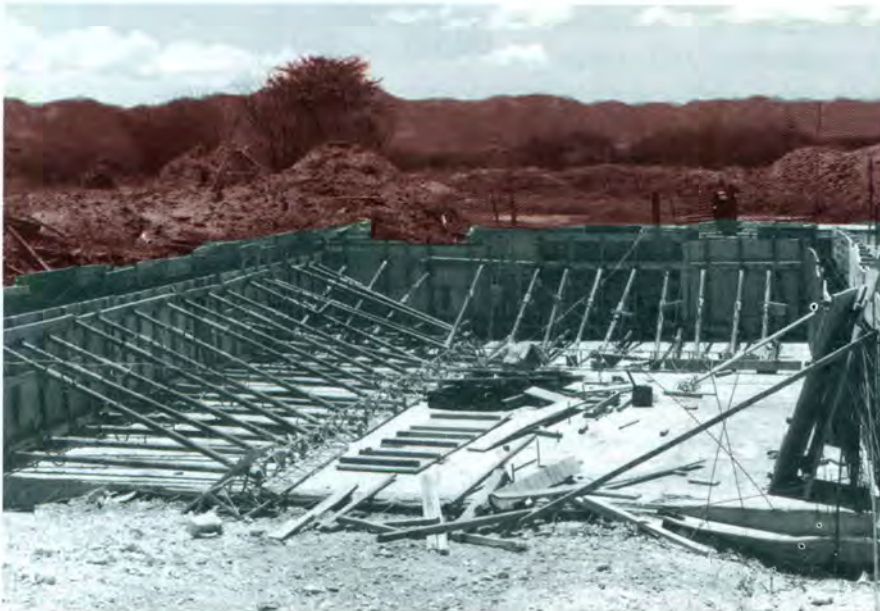
nera acredite un mayor valor de experiencia similar al que se va a contratar, se le pone 70, pero si es un trabajo muy sencillo desde el punto de vista de intervención, se puede dejar en 30%. Esto queda para que la entidad lo determine en su momento, sin que signifique que no los puedan observar en la etapa de prepliegos y en el mismo proceso de pliegos.

Cuando se dice que hay posibilidad de ajustar los contratos en curso con las nuevas normas, supongo que tiene que ver con el trabajo que estamos llevando a cabo con el grupo de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, en virtud del cual esperamos tener en escasos dos meses las especificaciones de construcción para vías urbanas de Bogotá. Ese documento suplirá el reglamento del sector vial 2002, que tuvo dificultades en su aplicación; ahora no es posible ponerlo en práctica, dado que en este momento los contratos ya están en ejecución, con unas especificaciones técnicas previamente definidas. Esto comenzará a aplicarse cuando se adopte el nuevo reglamento.

Guillermo Balcázar

Aquí se dijo que respecto a los anticipos para interventoría se solicitó concepto a la oficina de la Presidencia de la República, pero eso no es cierto. El IDU, por medio de su oficina jurídica, dio ese concepto, tema en el cual nosotros como firmas contratistas de interventoría, manifestamos que sabíamos que en otras entidades sí se pagaba anticipo a la interventoría y que en tal aspecto podríamos avanzar en un futuro. Durante la mesa, después de discutirlo bastante, llegamos a la fórmula de presentar un primer trabajo para que se pueda facturar un primer pago. Desde la óptica de la ingeniería de consulta, insistiría en el tema de los anticipos, aclarando que lo que exige el decreto guber-

La dificultad en la liquidación de un contrato va más allá de la responsabilidad del contratista y del interventor; es, básicamente, responsabilidad de terceros, como ocurre mucho con las empresas de servicios públicos en general y con la Secretaría de Tránsito, entre otras.



namental es que haya una cuenta especial, no una cuenta intervenida, y una cuenta especial es la que se abre en un banco para el contrato, la cual no necesariamente debe llevar la firma de un funcionario.

Así mismo se preguntó que si se acordó que el 20% va a ser el capital de trabajo mínimo exigido, y se va a pagar un anticipo, si éste es superior al 20% no se le exigiría capital de trabajo al contratista.

No, no habíamos hecho esa cuenta de tal manera, pero evidentemente sí se va a seguir exigiendo que el contratista tenga capital de trabajo; yo anotaba que se consideraría el porcentaje que se haya reconocido como anticipo, pero cabe recordar que el capital de trabajo está relacionado con el valor de la inversión prevista más o menos para dos meses, y el anticipo se tendría que diferir en todos los meses, así que no hay que restar el 20% menos el 20% para que dé cero, como lo propone el doctor Argelino Durán.

En lo referente a la etapa de liquidación de un contrato IDU, como contratistas hemos durado más liquidando el

contrato que ejecutando el mismo; por tal razón necesitamos que se reformule la entrega de las obras, que se debe hacer a las empresas de servicios públicos, teniendo en cuenta que estas obras ya las recibió la interventoría contratada, e incluso aparecen dentro del acta del cruce de cuentas, que es un rubro de la interventoría, entre el IDU y las empresas de servicios públicos.

Este es un tema bastante complejo, por cuanto la dificultad en la liquidación de un contrato va más allá de la responsabilidad del contratista y del interventor; es, básicamente, responsabilidad de terceros, como ocurre mucho con las empresas de servicios públicos en general y con la Secretaría de Tránsito, entre otras. En dicho sentido estamos fortaleciendo los convenios interinstitucionales con tales entidades, dejando plazos más cortos, mejor dicho, tiempos de respuesta fijos por parte de las empresas para que se pronuncien, ya sea aprobando o devolviendo el contrato; si pasado un tiempo predeterminado no se ha apro-

bado ni se ha devuelto el contrato, la entidad considerará que con el concepto favorable del IDU se puede pasar a liquidar el contrato. Esa es la propuesta del IDU.

Si se han construido vías para la empresa privada, entidades consultoras o centros comerciales, ¿tiene validez esta experiencia para contratar con el IDU u otras entidades distritales?

Claro que sí, porque construir una vía, por ejemplo, es infraestructura de transporte.

Hay una nueva modalidad de contratación que incluye estudio, diseño, construcción y mantenimiento. ¿Cómo se pretende manejar la parte de mantenimiento si es totalmente nueva y no existe una normativa clara que regule el engranaje entre el IDU, la interventoría y el contratista?

Hay que regular un poco más al respecto. Nosotros comenzamos muchos contratos de construcción y mantenimiento, y hoy en día tenemos algunas dificultades en la aplicación clara del contrato y el cumplimiento claro de los contratistas. Hoy estamos actualizando, básicamente, dos documentos internos del IDU que nos permitirán mejorar ese tema de los contratos: el manual de contratación y el manual de interventoría. Alrededor de esos dos documentos vamos a generar algunos procedimientos, formatos que faciliten ese engranaje entre el IDU y el contratista, porque realmente se observa una falta de engranaje entre las mismas áreas internas del IDU, porque son responsables de manera diferente de la construcción, unos, y del mantenimiento, otros.

¿Por qué los ingenieros tenemos que estar en la picota pública

cuando no existe ninguna exigencia de desempeño ético y de competencia laboral a inspectores, mandos medios, supervisores de materiales en la fuente de los mismos y en la ejecución específica de las obras?

Yo no sé si los ingenieros están en la picota pública, pero lo que sí sé es que hay un tema de control de calidad que debe reforzarse muchísimo en las obras por

cuanto hemos advertido muy mala calidad en los acabados de las obras de espacio público, y ese es un problema de preparación de los maestros, de preparación de los inspectores y de preparación de los ingenieros. Para este punto en particular montamos un foro taller donde expertos en construcción de espacios públicos dictarán unas clases para ingenieros, abierto también para técnicos y tecnólogos, inspectores y maestros, tratando de generar, precisamente, una mayor capacidad y conocimiento en lo relativo a la construcción de este tipo de obras.

Por qué razón cuando el IDU vincula a un ingeniero, contrata a cuatro abogados. ¿A qué se debe esa proporción?

Honestamente creo que sí hay un gran número de abogados en el IDU, pero lo que pasa es que ellos se encargan de los cobros coactivos de los proyectos de valorización; sin embargo, ellos no trabajan en proyectos. De pronto en la planta general del IDU haya más

abogados, pero no es para atender los contratos.

¿Cuál es la función de la Secretaría de Obras del Distrito

en cuanto a contratación de recuperación y mantenimiento de la malla vial secundaria?

Nosotros tenemos un convenio con la Secretaría de Obras Públicas (SOP) para mantener la malla vial principal e intermedia. Con los

equipos de la Secretaría de Obras Públicas, con los insumos que aporte el IDU —que en este caso son suministro de materiales y mano de obra—, con algunos operadores de la SOP que no han sido liquidados ni pensionados, con ese equipo en conjunto venimos atendiendo básicamente actividades de parcheo, reparcho y algunos refuerzos en varias vías de la ciudad.

Sobre la certificación de calidad, quiero recordarles que antes éramos mucho más exigentes en este aspecto; conocemos lo que significa para una empresa certificarse en calidad, y eso es algo que debemos promover, pues no debemos olvidar que finalmente eso genera procesos mucho más confiables, que redundan en la calidad de las obras.

¿La revisión de asignaciones salariales, según la Resolución 747, se hará extensiva a contratos vigentes a plazo largo?

No, los contratos vigentes no pueden tener una revisión en este sentido. Nosotros nos hemos basado en la Re-



solución 747, que establece unos topes; en general, el mercado venía funcionando con unos salarios bastante más bajos para la mayoría de los profesionales que contratan por fuera, pero hoy en día estamos subiendo ese valor. No obstante, falta dar un debate en ese sentido. Por tal razón estamos organizando un congreso en la Escuela Colombiana de Ingeniería para el mes de octubre, en el cual pretendemos establecer unos compromisos y una unión entre los requisitos de capacitación, las exigencias de innovación y trabajo que le hacemos a cada profesional, y la remuneración que estamos dispuestos a pagarle. Es muy triste ver cómo a un

ingeniero le ofrecen quinientos mil pesos mensuales, y el que le hace la oferta muy seguramente es otro ingeniero. Incluso tenemos información de firmas que le han ofrecido salario mínimo a un profesional. No, nosotros no podemos seguir compitiendo basados en pagar los peores sueldos, ya que eso no le conviene al país, más ahora que estamos enfrentados a la apertura, a la internacionalización. Si queremos que cada día se haga mejor ingeniería, lo primero que tenemos que hacer es pagarla bien, pues esto no encarece los proyectos.

En Colombia, el valor de los honorarios puede ser el 2% del total del proyecto, mientras que en Estados Unidos puede ser de 5 o 6%, máximo el 10%. Si les pagamos mucho mejor a nuestros profesionales, estaríamos mandando el mensaje adecuado para que se capaciten y podríamos exigirle a ese profesional que trabaje bien, que sea innovador, que

esté al día con la ciencia y la tecnología, es decir, lo mismo

El país no puede seguir invirtiendo en profesionales para que salgan a manejar taxi porque es mejor negocio que trabajar en su profesión; no, eso no lo podemos permitir.

que hoy en día le exigimos sin que le estemos ofreciendo el mismo salario para incentivar ese esfuerzo. El país no puede seguir invirtiendo en profesionales para que salgan a manejar taxi porque es mejor negocio que trabajar en su profesión; no, eso no lo podemos permitir. Debemos mirar las tarifas del 747, ver si son las adecuadas, estudiarlas, analizar cuánto es el costo de tener un profesional capacitado como el que queremos y en ese momento realmente haremos una función en beneficio de la ingeniería.

Teniendo en cuenta que las nuevas empresas partirán de cero, no es posible acreditar su experiencia; no podemos considerar la experiencia de sus profesionales, dado que la experiencia de éstos se podrá acreditar para los cargos que se exijan dentro de la planta mínima que deberá trabajar en un proyecto.

¿Cómo hace el IDU para garantizar la generación de empresas y de empleo sin fomentar la guerra del centavo?

Yo no sé si el IDU esté fomentando la desaparición de empresas o impidiendo la participación de otras que están surgiendo. Básicamente, la Ley 80 nos obliga a abrir de modo permanente procesos de contratación de manera democrática, por lo que no hay forma de favorecer más a unos o a otros.

¿Cuáles son los mecanismos de selección, los requisitos exigidos y la experiencia de los funcionarios o contratistas del IDU encargados de coordinar los contratos de consultoría e interventoría en relación con los expuestos para las empresas de ingeniería?

Los contratistas de prestación de servicios tendrán validez para poder acreditar esa experiencia y ahí se vieron las opciones. Fundamentalmente, las personas que sean de cargo directivo en una entidad pública

podrán acreditar esa experiencia para un cargo de director de proyectos, y los que están como profesionales, que en este caso serían los coordinadores, pueden concursar para el cargo de residentes

La experiencia de los profesionales de la empresa se podrá acreditar para los cargos que se exijan dentro de la planta mínima que deberá trabajar en un proyecto.



Ciencia & TECNOLOGÍA

Bernardo Liévano León

TU ES PETRUS

Aquellos que visitaron París o Londres en la década de los años noventa se sorprendieron al contemplar las vetustas fachadas de la catedral de Notre-Dame, o de la abadía de Westminster, con un color casi blanco, el cual contrastaba rotundamente con la apariencia que siempre tuvieron estos invaluable monumentos de la edad media. Se trataba del proceso de limpieza de esa piedra milenaria, mediante el cual se recupera el color original, se limpia la piedra y se detiene el deterioro de la misma. La profesora Carlotta M. Grossi, de la Universidad de East Anglia, Reino Unido, nos cuenta los pormenores interesante proceso de limpieza de la

en el
de este
piedra.

LA LIMPIEZA DE LA PIEDRA

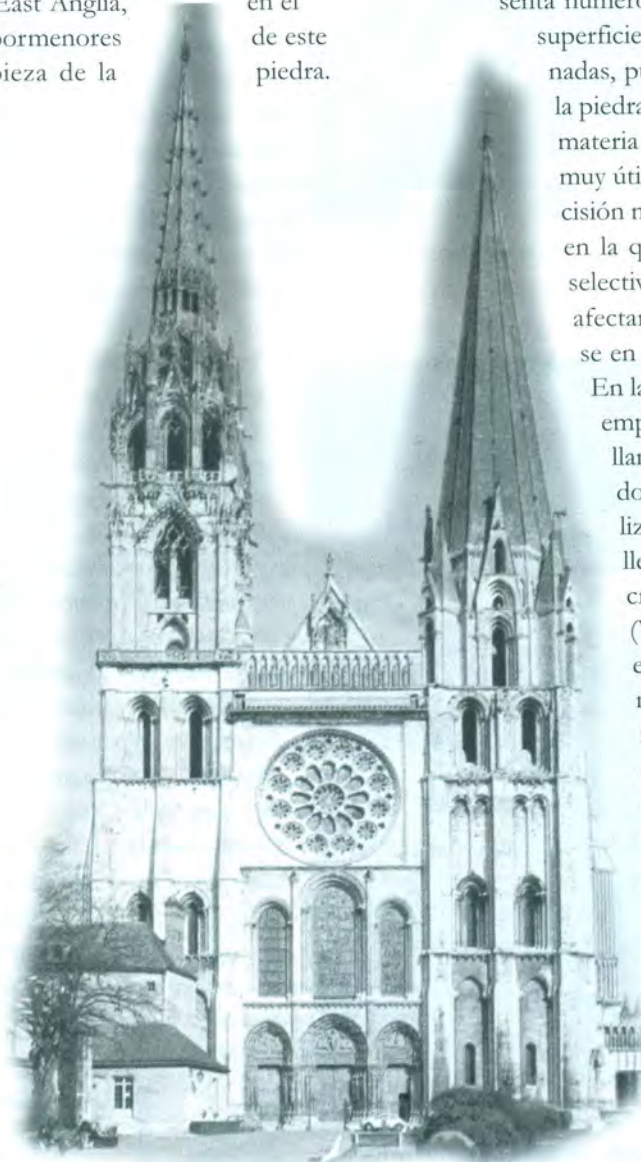
El láser Nd:YAG

Desde los años setenta, se viene recurriendo a la técnica del láser para proteger y conservar la piedra de monumentos y edificios históricos. Aplicada principalmente a la limpieza de rocas carbonatadas (calizas y mármoles), se emplea también, aunque en menor medida, en rocas sedimentarias silicatadas, como las areniscas. El láser elimina la costra negra producida por la contaminación atmosférica.

Si lo comparamos con otros medios de limpieza, el láser presenta numerosas ventajas. Es muy adecuado para superficies sumamente frágiles o poco cohesionadas, pues no entra en contacto directo con la piedra. Se elimina la suciedad sin introducir materia ni generar productos secundarios. Es muy útil para trabajos que requieran una precisión muy fina, ya que sólo se limpia la parte en la que incide el haz fotónico. Su acción selectiva permite extraer la pátina sucia, sin afectar a la roca. Puede dirigirse y controlarse en todo momento su operación.

En la limpieza de la piedra monumental se emplean láseres de medio activo sólido (se llama medio activo a la parte del equipo donde se genera la radiación). El más utilizado, el láser Nd:YAG "Q-switched", lleva como medio activo una varilla de cristal de granate con itrio y aluminio (YAG), dopado con neodimio (Nd). La expresión "Q-switched", o "con conmutación del factor de calidad", se refiere a su modo de funcionamiento: la disipación de luz en la cavidad resonante donde se produce el haz de láser se reduce súbitamente o, en otras palabras, aumenta su factor de calidad Q, para generar pulsos cortos e intermitentes de luz.

Emite una longitud de onda fundamental de 1.064 nanómetros, que cae dentro del infrarrojo cercano: genera pulsos que sólo duran nanosegundos. Produce la fotoablación o eliminación de la capa



Tomado de *Investigación y ciencia*, diciembre de 2004.

sucia mediante procesos fototérmicos, es decir, por calentamiento de la superficie absorbente de la radiación.

Muchos componentes de las capas de suciedad absorben intensamente la radiación infrarroja, mientras que los sustratos sólo lo hacen débilmente; ahí reside la razón principal de recurrir a ese láser de neodimio para la limpieza. Existe una gran diferencia de absorción entre una costra negra (90%) y una superficie pétreo limpia (la calcita absorbe el 20%). Para la radiación ultravioleta, es menor la diferencia de absorción entre la capa de suciedad y el sustrato limpio. El proceso, en principio selectivo, se interrumpe cuando se extrae la capa sucia. Los pulsos subsiguientes se reflejan y se evita causarle daños a la piedra. Gracias a ese proceso, además, se conserva la pátina de envejecimiento, que suele perderse cuando se aplican otras longitudes de onda.

Sin embargo, la limpieza por láser no se halla exenta de riesgos. Podemos dañar el sustrato con una exposición excesiva a la radiación, es decir, cuando se sobrepasa un límite de fluencia o densidad de energía. Se llama densidad de energía a la razón entre la energía del pulso y la superficie impactada. El umbral de daño o de fotoablación depende de tres factores: tipo de material (composición, textura y cristalinidad), parámetros del láser (fluencia y frecuencia del pulso, a una determinada longitud de onda y duración del pulso) y clase de aplicación (la irradiación sobre superficies húmedas reduce la probabilidad de daño y aumenta la eficiencia de la limpieza).

El óxido de hierro y los minerales ricos en hierro —pensemos en las micas— absorben mucho la radiación en la longitud de onda de 1.064 nanómetros. Por tanto, si empleamos un láser Nd:YAG “Q-switched”, que emite a esa longitud, para limpiar el granito, areniscas y calizas rojas, habrá que proceder con precaución para evitar que la radiación altere o desagregue el mineral. En superficies secas se observa un cambio de color, una decoloración por lo común, atribuida a cambios en los estados de oxidación del hierro; la decoloración puede llegar a ser muy notable, en particular si se trata de rocas en el componente rojo. Algunos minerales, como las biotitas, pueden sufrir fusiones y vitrificaciones.



En mármoles y calizas de color claro, la intervención del láser provoca a menudo el fenómeno de amarillamiento cuya naturaleza es objeto de debate. Para ciertos autores, esto se debe a la conservación de la pátina de envejecimiento (yeso, oxalato u otros recubrimientos). En opinión de otros, nos hallamos ante el resultado de un daño infligido en el material, bien por una tinción de residuos orgánicos de suciedad de costras negras eliminadas con láser, o bien por una decoloración consecuente con los cambios térmicos en los compuestos de hierro de la piedra. Hay, por fin, quien atribuye el amarillamiento a la dispersión de la luz a causa de la creación de vacíos en la capa de yeso por la vaporización selectiva de las partículas negras. El amarillamiento no se produce cuando se usan longitudes de onda de los espectros visible y ultravioleta.

Ese láser de neodimio de la longitud de onda indicada no resulta idóneo tampoco para eliminar determinados restos orgánicos o limpiar sobre ciertos pigmentos. No obstante las ventajas de este Nd:YAG “Q-switched” ($\lambda = 1.064 \text{ nm}$), sus limitaciones nos obligan a seguir investigando las técnicas disponibles

y mejorando los equipos. De ahí el interés que reviste el estudio de otras longitudes de onda; por ejemplo, la posibilidad de usar el láser Nd:YAG en el segundo y tercer armónico (532 nm y 355 nm, respectivamente).

Para valorar la eficacia de la limpieza y evitar el daño al sustrato, necesitamos ahondar en las técnicas de control y seguimiento de la operación láser; los procesos de limpieza no parecen tan selectivos, como se venía creyendo.

Finalmente, habrá que abordar las causas de los daños del sustrato asociados a la limpieza de dieléctricos, tales como el cuarzo, la calcita o los feldspatos, que constituyen fases principales de rocas ornamentales. Debe incluirse aquí el papel de los defectos cristalográficos y los bordes de grano en la absorción selectiva de la energía de la luz, así como el efecto por las reflexiones y difracciones internas con sus fenómenos asociados

