

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

Año 16 N° 61

Enero - Marzo de 2006

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

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

Educación en línea



Entrevistas



Angélica Castro Rodríguez
Gerente General de Transmilenio S.A.



Mario Núñez Molina
Profesor de la Universidad de Puerto Rico



La educación en línea

Alfonso Meléndez Acuña

La educación en línea (llamada también *e-learning*) ha evolucionado de manera significativa durante la última década. Originalmente usada para desarrollar cursos por medio de Internet, la educación en línea ha crecido para incluir cualquier uso de tecnología destinada a la instrucción. De acuerdo con estadísticas recientes, dos tercios tanto de colegios como de universidades en el ámbito mundial ofrecen programas de educación en línea, y como parte importante de esta evolución ha nacido una industria entera: la de los sistemas de administración de cursos por la red, llamados LMS (*Learning Management Systems*). Estas herramientas informáticas permiten administrar la inscripción de estudiantes, o hacen seguimiento individual y grupal al desempeño, además de crear y distribuir contenidos por la red, entre otras cosas. Permiten a los profesores extender el aula de clase más allá de las fronteras tradicionales de tiempo y espacio, aparte de brindar nuevos espacios de comunicación y colaboración a través de la red.

La educación media, la educación superior y la capacitación a nivel corporativo están aprovechando cada vez más este tipo de herramientas, ya que pueden proveer una experiencia educativa más estimulante y rica que la proporcionada en los confines de un aula de clase. Ofrecer un curso en línea, adicionalmente, es una excelente oportunidad para que vuelvan a surgir preguntas como: ¿cuáles son los nuevos roles del profesor? ¿Qué ayudará a los estudiantes a aprender de la mejor manera? ¿Qué tipo de interacción (sincrónica, asincrónica) se debe utilizar y en qué ocasiones? Estos interrogantes ponen al educador en una nueva perspectiva y lo conducen a repensar su papel como docente, al igual que la forma en que las tecnologías de información y comunicación (TIC) pueden influir en sus labores cotidianas.

La Escuela Colombiana de Ingeniería no ha sido ajena a este proceso de cambio educativo, por lo que ha venido realizando investigación y formación en educación en línea por medio de consultorías a los sectores público y privado, construcción de herramientas informáticas de apoyo a la educación en línea, cursos de capacitación para docentes y diplomados-taller en línea. Este trabajo ha llevado a la creación de un programa institucional de formación en educación en línea (Cambia), que tiene como uno de sus objetivos brindar capacitación de alta calidad, tanto a profesores de la institución como de entidades externas, en los conocimientos que les permitirán diseñar y desarrollar cursos por la red de manera autónoma.

“Experiencias y perspectivas en educación en línea” es el tema central seleccionado por la *Revista de la Escuela* para este número. Se recogen experiencias en el área tanto a escala nacional como internacional. Los resultados de un foro realizado en febrero de este año en la Escuela, que contó con la participación de expertos nacionales en el tema, así como una entrevista hecha en línea a una autoridad internacional en esta temática, son los artículos centrales de esta edición.

Los planteamientos de estos expertos invitados, sin lugar a dudas, brindarán a los lectores de la *Revista* elementos de reflexión sobre este importante tema educativo que llegó para quedarse. ▽

Director del Centro de Estudios de
Informática Educativa de la Escuela
Colombiana de Ingeniería.

Alternativa social al plan 2019

Eduardo Sarmiento Palacio

Resumen de la ponencia presentada en la XXI Jornada de Opinión Cooperativa. Ascoop.

El plan 2019 se basa en las mismas prioridades que han dominado los planes de desarrollo de los últimos 20 años y, en buena medida, se sintetizan en el Consenso de Washington. Entre ellas se destacan la austeridad fiscal y monetaria, el motor de crecimiento del comercio y las políticas sociales de corte asistencialista. Durante dicho período el desempeño de la economía fue muy inferior al del lapso 1950-1980 y uno de los peores del siglo.

Luego del predominio de la Cepal, América Latina ha girado en torno a una serie de postulados extraídos de la teoría neoclásica, cuyo paradigma central se puede sintetizar en tres elementos. Primero, la austeridad fiscal y monetaria conduce a la estabilidad de precios y la estabilidad cambiaria, y suministra un marco propicio para el pleno empleo. Segundo, el motor de comercio internacional, de acuerdo con la teoría de ventaja comparativa, induce a una especialización en actividades de alta ventaja comparativa que garantizan un progreso rápido y crecimiento económico. Tercero, la eficiencia y la equidad son separables; las soluciones de mercado y los estímulos al crecimiento no inciden mayormente en la distribución del ingreso y, si lo hacen, se pueden compensar con políticas asistencialistas.

Los tres elementos se aplicaron dentro de las reformas del Consenso de

Washington, y los quince años o más que siguieron a su adopción constituyen un laboratorio de excelencia para evaluar su validez.

La austeridad fiscal y monetaria, inspirada en la neutralidad del dinero y en la estabilidad de demanda de di-

El motor de libre comercio está basado en la teoría de la ventaja comparativa, según la cual la especialización en un número reducido de productos que el país puede elaborar a menor costo redundará en el mayor crecimiento económico.

nero de la Universidad de Chicago, tuvo como desarrollo institucional el banco central autónomo, orientado a reducir la inflación. El expediente se aplicó con toda fidelidad en Colombia y tuvo su prueba de fuego en 1999, cuando se adoptó una

severa restricción monetaria y las tasas de interés se elevaron a 70% para sostener la banda cambiaria y bajar la inflación. Los resultados fueron totalmente concluyentes: la inflación se redujo a cambio de precipitar la economía en la peor crisis recesiva del siglo. Como era totalmente previsible, en mercados expuestos a inflexibilidades y rigideces no había ninguna razón para que el dinero fuera neutral. La ampliación selectiva de la emisión puede dar lugar a expansiones de la producción y el empleo, sin afectar el nivel de precios.

El motor de libre comercio está basado en la teoría de la ventaja comparativa, según la cual la especialización en un número reducido de productos que el país puede elaborar a menor costo redundará en el mayor crecimiento económico. El principio

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; jefe de Planeación Nacional. Columnista de *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

fue invalidado en Colombia, en razón de que el país tiene ventaja comparativa en actividades que carecen de demanda mundial. En consecuencia, la apertura significó la destrucción de la industria, la agricultura, el empleo y la conformación de un déficit de la balanza de pagos que propició un endeudamiento que tornó inviable la economía. Por lo demás, la experiencia de los últimos años revela que la competencia exportadora actúa como un ancla salarial. Los esfuerzos generalizados de los países para exportar por encima del crecimiento de las importaciones y del producto nacional han llevado a pagar salarios por debajo de la productividad. En todos los lugares, los ingresos laborales tienden a descender y las ganancias empresariales aumentan muy por encima de la actividad productiva, tornando el libre comercio en un claro factor de ampliación de las desigualdades.

El tercer elemento del paradigma es la separación entre la eficiencia y la equidad. Supuestamente, las soluciones de eficiencia y de mercado no afectan la distribución del ingreso, y cuando lo hacen pueden compensarse con las políticas fiscales tradicionales. Las reformas realizadas en Colombia dentro de esta concepción, como el debilitamiento de las facultades de expropiación de los terrenos rurales y urbanos, la liberación de los mercados, la sustitución de la tributación directa por la tributación indirecta, las privatizaciones de las empresas de servicios públicos, la fijación de las tarifas con lucro individual y la eliminación de los subsidios a los estratos pobres, la entrega de la administración de los servicios básicos a los grandes consorcios y la represión salarial, resultaron tremendamente nocivas para la distribución del ingreso. Por su parte, la política fiscal no contribuyó mayormente a contrarrestarlo ni a moderarlo. La elevación sin precedentes del gasto en salud y educación en los últimos quince años no corresponde a la cobertura y la calidad, y coincidió con el mayor retroceso social en términos de distribución del ingreso, pobreza y desempleo.

Luego de haber ocultado durante más de una década los resultados del modelo neoliberal, sus mismos autores aceptan que éste no ha dado crecimiento, amplía las desigualdades y vuelve más inestables las economías. Sin embargo, no se hacen mayores consideraciones sobre las causas concretas del fracaso ni se formulan propuestas de cambio. Más concretamente, no se evalúan las teorías que predijeron resultados muy diferentes de los observados, ni mucho menos se presentan formulaciones al-

ternativas. Todo el peso de la culpa recae en las instituciones, que no son otra cosa que el sofá. En el fondo, se proclama que el modelo produce malos resultados, pero no se dice cuál es la alternativa que permitiría revertirlos o mejorarlos.

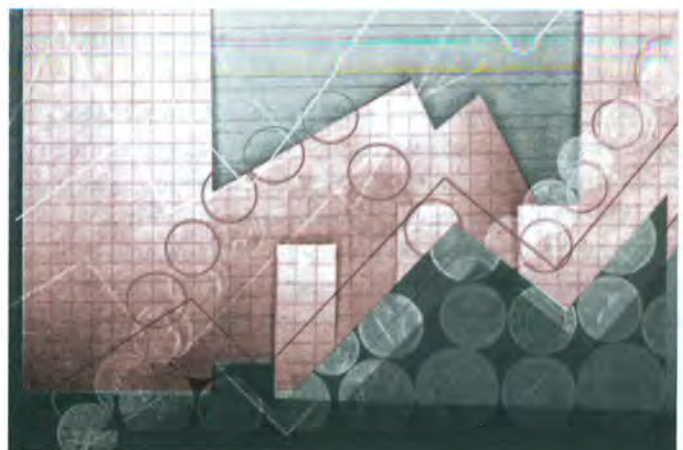
La lectura anterior plantea una situación muy distinta.

La verdadera causa del mal desempeño de la economía es el incumplimiento de las proposiciones teóricas que justificaron el paradigma neoclásico. La solución no puede ser otra que reformular las teorías y, sobre esas bases, construir nuevas instituciones o modificar las existentes.

En un mundo donde el dinero tiene efectos reales, resulta ilógico un banco central autónomo para reducir la inflación. En su lugar, se plantea una organización que vele por diversos objetivos y actúe sobre diversos instrumentos. En adición a la inflación, el Banco de la República debe operar sobre la producción y el empleo y la estabilidad cambiaria. Para tal efecto es necesario modificar la concepción que ha llevado a limitar la función del banco al control de los agregados monetarios y la tasa de interés. Las autoridades monetarias deben tener una amplia facultad para orientar el crédito, o si se quiere la emisión, hacia sectores con mayor capacidad de ampliar la producción y el empleo.

El libre comercio como motor de crecimiento ha resultado endeble e inequitativo. En la práctica, significa especializarse en la agricultura tropical y la maquila, que tienen serias limitaciones en los mercados internacionales. Por otra parte, en los últimos años se ha acumulado una amplia experiencia que ilustra que la competencia exportadora opera como un ancla salarial. Los esfuerzos generalizados de los países para exportar por encima de las importaciones y del producto han llevado a pagar salarios por debajo de la productividad.

El libre comercio como motor de crecimiento ha resultado endeble e inequitativo.



La experiencia de las revoluciones industriales muestra que la industrialización representa un mejor motor de crecimiento. Los países están en condiciones de iniciarse en las actividades rudimentarias, y en virtud del aprendizaje en el oficio, elevar su productividad y pasar a actividades más complejas hasta cubrir la totalidad del espectro industrial, y el capital humano y el capital físico podrían crecer por encima del producto. De esta manera, se darían todas las **condiciones para crecer por encima del 10%. A su turno, la ampliación del mercado interno reduciría la diferencia entre el salario y la productividad y suministraría el margen para elevar el salario mínimo.**

No hay ninguna razón teórica ni evidencia empírica que demuestren que la eficiencia y la equidad son separables. En múltiples sectores se presentan abiertos conflictos. La función de la política económica no puede ser distinta de conciliarlos, o de tomar posición a favor de uno a sabiendas de los costos que significa sacrificar al otro. En los últimos años se siguió una política a favor de la eficiencia, y en las circunstancias actuales lo que se requiere, precisamente, es revertir esta orientación a favor de la equidad. En este contexto, se plantea un contrato social para erradicar la pobreza y reducir las desigualdades dentro de tres estrategias centrales.

Lo primero es la lucha contra la concentración dentro de un marco que le conceda prioridad a la equidad con respecto a la eficiencia. Tales serían los casos de la revisión de la normatividad sobre la expropiación de terrenos urbanos y rurales, la regulación de los mercados financiero y cambiario, el fortalecimiento de la tributación directa

a la renta y el patrimonio, el establecimiento de tarifas de servicios públicos dentro de criterios que contemplan el mantenimiento del salario real y la restauración del subsidio a los estratos uno, dos y tres, el traslado de la administración de los servicios básicos a los municipios y los sectores solidarios, y el abandono de la represión salarial.

Lo segundo, el cambio drástico de la estructura productiva mediante la ampliación del mercado interno, la creación de las condiciones para las pequeñas y medianas empresas, en materia de distritos industriales, financiación y apoyo de los sectores solidarios y administraciones municipales, y la reforma del Banco de la República para movilizar el crédito hacia las actividades con mayor capacidad de expansión de la producción y el empleo. De hecho, el gobierno quedaría en condiciones de elevar el salario mínimo en forma significativa y crear 200.000 puestos de trabajo anuales por encima de la tendencia de 370.000.

Lo tercero, una gran reforma constitucional que establezca como prioridad de la política económica y social el acceso de toda la población a las **necesidades básicas de salud, educación, vivienda digna y trabajo**, así no dispongan de los recursos para adquirirlos. Adicionalmente, con-



vendría incluir dentro del texto las condiciones institucionales y financieras que aseguren su cumplimiento, como la participación dominante de las organizaciones solidarias en la administración de la salud y la seguridad social, y la asignación obligatoria de recursos a los municipios para la financiación de la vivienda de interés social y programas de trabajo.

El plan 2019 está fundamentado en el paradigma neoclásico que predominó en los últimos 20 años y resultó en uno de los crecimientos más bajos del siglo y en el agravamiento de las desigualdades. Frente a estos resultados, se abre espacio para formulaciones teóricas más representativas de la realidad y con mayor capacidad de entender el cre-

cimiento, la distribución del ingreso y sus vínculos. A manera de síntesis, emerge como nuevo paradigma del desarrollo, la política fiscal, monetaria y cambiaria selectiva, la industrialización como motor de desarrollo y el contrato social orientado a luchar contra la concentración, cambiar la estructura productiva y fortalecer los derechos fundamentales. Su aplicación resultaría en la erradicación de la pobreza y la mejora de la distribución del ingreso, dentro de un marco de elevadas tasas de crecimiento del producto nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Dirección de Planeación Nacional, *Visión Colombia II Centenario*: 2019. Bogotá.
- Sarmiento, E. (2006). *El nuevo paradigma de la estabilidad, el crecimiento y la distribución del ingreso*. Bogotá: Norma-Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sarmiento, E. (2004). "Estrategia de empleo para Bogotá". *Revista Escuela Colombiana de Ingeniería*

Lo primero es la lucha contra la concentración dentro de un marco que le conceda prioridad a la equidad con respecto a la eficiencia.

Evaluación de las propiedades dinámicas a bajas deformaciones de los suelos de Bogotá

Jorge Alberto Rodríguez Ordóñez* y Juan Pablo Escallón Osorio**

Resumen

Se evalúa el comportamiento mecánico observado en los suelos de las zonas 2, 3 y 4 de la microzonificación sísmica de Bogotá, con base en los datos de unos 30 estudios de respuesta dinámica local. La información analizada corresponde a resultados de ensayos de *down hole* y ensayos triaxiales cíclicos realizados por el autor en el marco de estudios de respuesta local para edificios en la ciudad. Se observa que la información más confiable corresponde a los datos de velocidad de onda de corte obtenida de ensayos de *down hole* en el terreno, y que hay claras relaciones entre los valores de V_s medidos y los valores esperados a partir de correlaciones reportadas en la literatura en función del índice de plasticidad de los suelos.

Los resultados de los ensayos triaxiales cíclicos muestran una alta sensibilidad a las condiciones de las muestras y la forma del ensayo, lo que produce una alta dispersión en los resultados. Debido a esto no se aprecia de manera clara la concordancia con los resultados de ensayos reportados en la literatura técnica mundial. Con todo, considerando estos efectos, y los resultados de ensayos recientes, se aprecia una mejor concordancia entre los resultados obtenidos para los suelos de Bogotá y los resultados reportados en la literatura. Esto es consistente con los resultados obtenidos del análisis de los ensayos de campo. Los resultados de este estudio son importantes para el conocimiento del comportamiento

básico de los suelos de Bogotá, y para los trabajos tendientes a revisar las recomendaciones de diseño para la microzonificación sísmica de la ciudad.

Abstract

The paper presents an evaluation of the low strain dynamic behaviour of the soft soils found in the Bogotá Sabana. The data analyzed is from down hole and cyclic triaxial tests from 30 local site response studies in the zones 2, 3 and 4 of the seismic microzonation of the city. The data is compared with published reference data and the reliability of the data is assessed. It is shown that shear wave velocity obtained from down hole shows clear correlation with plasticity index taking into account the expected effect of void ratio and confining pressure. The range of variation of this data is obtained, indicating that the tendencies obtained are very reliable.

The results from cyclic triaxial tests are very sensitive to the sample conditions and the test procedure producing high uncertainty in the results. Because of this it has been difficult to correlate the results for Bogotá soils with the data reported in the literature. Taking into account the factors affecting the results, and based on recent test data a better correlation with reported data is obtained. This is consistent with the results obtained from the analysis of the down hole data. The results of this study are important for the understanding of the dynamic behaviour of the Bogotá soft soils, and for the improvement of the microzonation design values for the city.

Palabras claves

Dinámica de suelos, microzonificación sísmica de Bogotá, ensayos de *down hole*, velocidad de onda de corte en suelos blandos.

INTRODUCCIÓN

En el área donde se localiza la ciudad de Bogotá se tienen grandes espesores de suelos que varían desde unos pocos metros en los bordes de los cerros que rodean la sabana, hasta unos 500 m en las partes más profundas de la misma. Las características de los suelos varían de manera importante con el espesor del depósito, y en general se tienen suelos de origen lacustre y aluvial de baja resistencia y alta compresibilidad. Durante un sismo, los depósitos de suelos tienen una gran influencia sobre el movimiento que se registra en superficie. Esto hace que en la ciudad se le haya prestado atención al estudio de la respuesta sísmica local, para lo cual se realizó el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (Ingeominas - Uniandes, 1997).

La determinación confiable de las propiedades de comportamiento dinámico de los suelos es importante para poder predecir su respuesta dinámica mediante modelos de propagación de ondas. Esto se hace con el fin de poder fijar parámetros de diseño sísmico de estructuras, teniendo en cuenta los efectos locales del suelo sobre el movimiento de los sismos de diseño establecidos para un sitio donde la cobertura de suelos sea significativa, como en el caso de Bogotá. Este fue el propósito de la microzonificación sísmica de Bogotá, la cual se realizó mediante análisis de propagación de ondas a través del perfil

* Director del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá
rodriguezja@javeriana.edu.co

** Ingeniero geotecnista, Jeoprobe Ltda.

de suelos para el que se estimaron sus propiedades dinámicas a partir de la información disponible en el momento.

El comportamiento mecánico de los suelos, tanto bajo carga monotónica como dinámica, está relacionado con su origen, estructura y estado. El estado del suelo se refiere en particular a su relación de vacíos, condición de sobreconsolidación y nivel de esfuerzos. En general, también depende de la velocidad de carga, en especial en los suelos finos que presentan un comportamiento viscoso. El entendimiento y la formulación racional de las relaciones esfuerzo-deformación-resistencia de los suelos, llamadas también relaciones constitutivas, han sido el objeto de la mecánica de suelos desde mediados del siglo XIX hasta el presente. En particular, el estudio del comportamiento dinámico de los suelos ha

tenido un desarrollo marcado desde los años sesenta, con los trabajos de Hardin y Richart (1963), que establecieron la relación entre la velocidad de propagación de ondas de corte (V_s) y la presión de confinamiento; Hardin y Black (1968), quienes establecieron la relación entre el módulo de corte (G) y la relación de vacíos de los suelos finos; Hardin y Drnevich (1972), quienes identifican la relación entre el módulo de corte y la relación de sobreconsolidación en los suelos finos, y Drnevich *et al* (1967), Seed e Idriss (1970), Hardin y Drnevich (1972) y otros, quienes identificaron la variación con el nivel de deformación tanto del módulo de corte como de la relación de amortiguamiento de los suelos en la forma como se utilizan más comúnmente estas propiedades hoy en día. Posteriormente ha habido muchos

otros trabajos en esta línea, entre los que se destacan los de Dobry y Vucetic (1987) sobre el comportamiento de suelos finos y el de Ishibashi y Zhang (1997,) que hace una recopilación de datos reportados y los analiza para establecer ecuaciones de correlación entre las propiedades dinámicas y las variables básicas que determinan el comportamiento de los suelos, como el tipo de suelos, representado por el índice de plasticidad; su estado, representado por la relación de vacíos y la relación de sobreconsolidación, y los niveles de esfuerzo de confinamiento y de deformación. En todos estos trabajos se presentan relaciones claras entre dichos parámetros, respaldadas por amplia evidencia experimental de alta calidad. La influencia de estas variables de forma similar a como se han identificado empíricamente, se puede establecer a partir de consideraciones

Es claro que como en cualquier problema que involucre materiales naturales, hay variaciones en los diferentes parámetros que se quieren determinar.

teóricas como las de la mecánica de suelos del estado crítico.

Es claro que como en cualquier problema que involucre materiales naturales, hay variaciones en los diferentes parámetros que se quieren determinar. Si se logran establecer funcionalmente las relaciones entre los parámetros que describen el comportamiento, entonces es posible, con base en un buen número de datos, determinar la variabilidad estadística de los parámetros y las propiedades que de ellos se deriven. Por otra parte, es necesario tener en cuenta la variabilidad que se puede introducir en los resultados debidos a los procedimientos de muestreo, ensayo e interpretación de pruebas de campo y laboratorio. Por tanto, hay al menos tres fuentes de incertidumbre en la caracterización de los materiales térreos, a saber: la incertidumbre epis-

témica que se origina en no conocer con certeza las relaciones entre los parámetros (limitaciones de la teoría que se utilice para estudiar el problema), la variabilidad natural de los parámetros debida al origen y composición de los materiales, y la incertidumbre en la determinación de los parámetros a causa de limitaciones en los procedimientos de muestreo y ensayo. La combinación de estas tres fuentes de incertidumbre produce variabilidad en los resultados que es muy importante tener en cuenta en análisis de ingeniería, en particular en el estudio de la amenaza sísmica, en la que se hace un gran esfuerzo por evaluar la incertidumbre que se incorpora en la evaluación de las características de los movimientos sísmicos que pueden afectar un sitio al nivel de la base de los depósitos de suelos.

En este artículo se pretende estudiar los aspectos básicos del comportamiento de los suelos, especialmente de las zonas 2, 3 y 4 de la microzonificación sísmica de Bogotá, con base en la información disponible de ensayos de campo y laboratorio, en su mayoría de los primeros 50 m de profundidad. Estos suelos corresponden principalmente a suelos originados en depósitos de ladera o depósitos aluviales en el borde del antiguo lago de la sabana en la zona 2, y suelos de origen lacustre en las zonas 3 y 4, con ocasionales intercalaciones de abanicos de deyección en la zona 3. Los suelos de ladera y aluviales son suelos arenosos o limos orgánicos, mientras que los suelos aluviales son arcillas y limos ocasionalmente orgánicos (turberas), de consistencia blanda, alta humedad y ligeramente sobreconsolidados a normalmente sobreconsolidados. Se pretende verificar si las observaciones reportadas en la literatura sobre el comportamiento dinámico de los suelos aplican efectivamente para los suelos blandos de Bogotá, establecer qué tan similar es dicho comportamiento al re-

portado en la literatura, y finalmente hacer una exploración sobre la confiabilidad de los datos de ensayos de campo y laboratorio de los que se dispone en la ciudad. Se pretende que esta información sea útil para la revisión del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá.

CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE SUELOS

A partir de la información geotécnica de los estudios de suelos realizados en 7 sitios de la zona 3 y un sitio de la zona 4, complementados con datos de otros estudios de las zonas 2 y 5 de la microzonificación sísmica de Bogotá, donde se realizaron estudios de respuesta sísmica local, se ha caracterizado la zona lacustre de Bogotá en términos de la variación de propiedades índice con la profundidad (Rodríguez, 2004, Rodríguez, 2005 a-g; Jeoprobe, 2005 a-d).

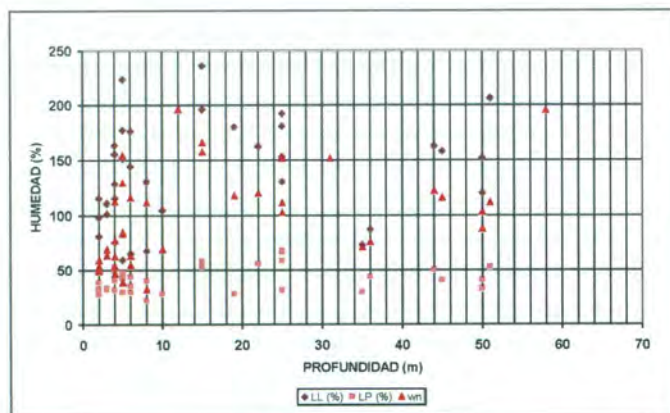


Figura 1. Variación de las propiedades índice con la profundidad (zonas 3 y 4).

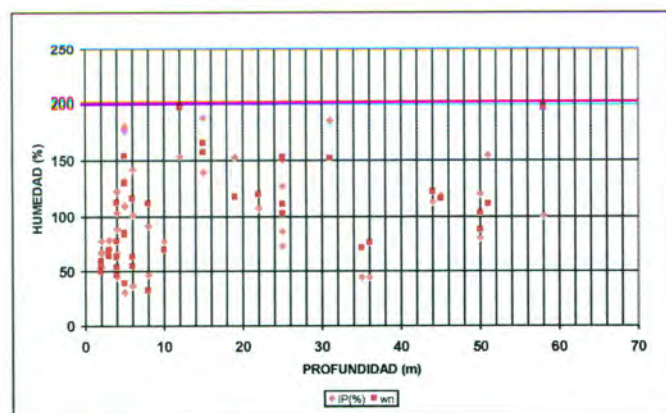


Figura 2. Variación de la humedad y del índice de plasticidad con la profundidad (zonas 3 y 4).

Se aprecia que en la zona lacustre de Bogotá, el límite plástico varía entre 30 y 60 y el límite líquido varía entre 150 y 200 en gran parte del perfil hasta 50 m de profundidad (figura 1), la humedad natural y el índice de plasticidad (figura 2) tienen rangos de valores similares entre 50 y 100 para la capa sobreconsolidada, entre 100 y 190 para los siguientes 25 m y entre 40 y 125 de 35 a 50 m de profundidad. Sin embargo, localmente se pueden presentar variaciones importantes en estratos del perfil. Los valores de relación de vacíos (figura 3) correspondientes a la capa superficial sobreconsolidada varían entre 1 y 1,5, en los siguientes 25 m se encuentran valores de relación de vacíos entre 2,5 y 3,75, mientras que a mayores profundidades el valor es del orden de 2. Correspondientemente el peso unitario (figura 4) está entre 15 y 17 kN/m³ para la capa sobreconsolidada, entre 12 y 14 kN/m³ para los siguientes 25 m, y entre 14 y 16 kN/m³ entre 35 y 50 m de profundidad.

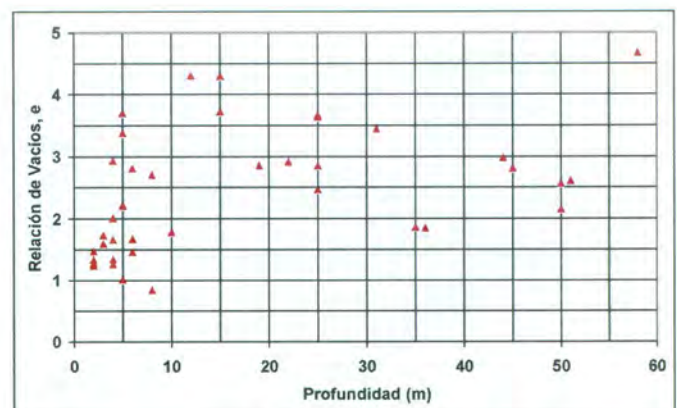


Figura 3. Variación de la relación de vacíos con la profundidad (zonas 3 y 4).

Se exploraron las tendencias de comportamiento de los suelos arcillosos y limosos de las zonas 2, 3 y 4 por medio de la relación entre los parámetros de estado (humedad natural o relación de vacíos) y su clasificación en función del índice de plasticidad (figura 5). Tales propiedades se obtuvieron de la información geotécnica básica de 16 sitios en la ciudad de Bogotá. Se trabajó sobre la hipótesis de que el índice de plasticidad es un parámetro básico que depende de la mineralogía (tipo) del suelo, mientras que la relación de vacíos depende básicamente del estado del suelo en relación con su proceso de preconsolidación. Se encontró que entre los suelos ensayados había suelos en toda la gama de valores de IP entre 10 y 190. Además, existe una relación entre el índice de plasticidad y la relación de vacíos, indicativa de que el estado y el origen de los suelos en el perfil están correla-

cionados (figura 6). En las figuras 5 y 6 se observa que las arcillas y limos de las zonas 2, 3 y 4 presentan un comportamiento que se ajusta a una única tendencia, mientras que las turbas presentan una tendencia diferente con valores más altos.

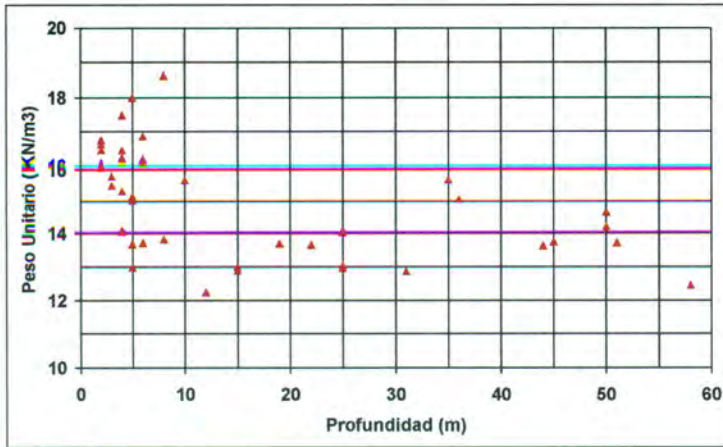


Figura 4. Variación del peso unitario con la profundidad (zonas 3 y 4).

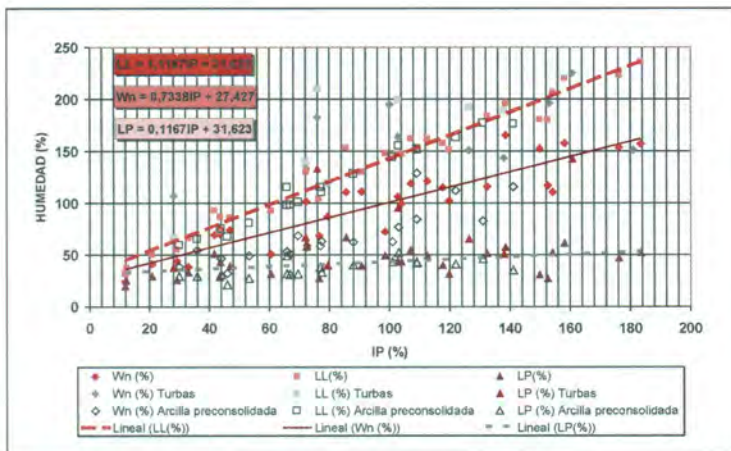


Figura 5. Correlaciones entre las propiedades índice y el índice de plasticidad (zonas 2, 3 y 4).

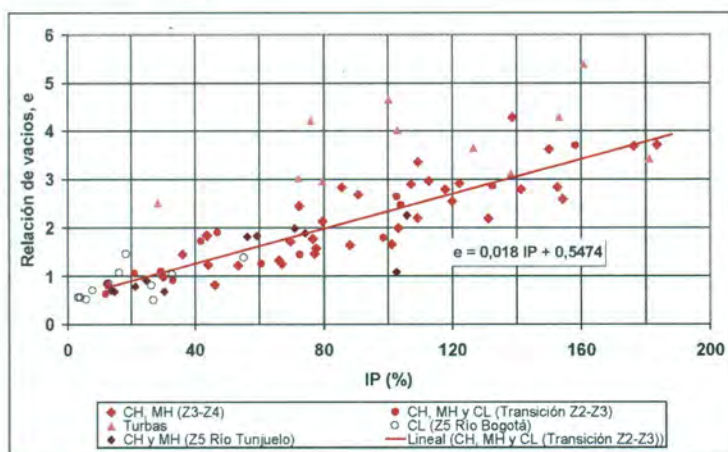


Figura 6. Correlación entre la relación de vacíos y el índice de plasticidad.

ANÁLISIS DE DATOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD MÁXIMO DE ENSAYOS TRIAXIALES CÍCLICOS, COLUMNA RESONANTE Y BENDER ELEMENTS

Se recopiló la información de ensayos triaxiales cíclicos de muestras tipo Shelby de unos 30 sitios de la ciudad de Bogotá, donde se efectuaron estudios de respuesta local; adicionalmente, se recopilaron datos de ensayos tipo bender elements y columna resonante sobre muestras de turbas (Moreno y Rodríguez, 2004). Se compara la relación del módulo máximo de elasticidad de laboratorio con el módulo de campo encontrada por Yokota *et al.* (1985) para arcillas aluviales, con respecto a los datos de módulo de laboratorio contra módulo de campo de los ensayos triaxiales cíclicos realizados en Bogotá para estudios de respuesta local (figura 7). En la figura 7 se aprecia una gran dispersión de los datos, pero se puede observar que la mayor parte de los datos de la transición de las zonas 2 y 3, al igual que los datos de las turbas, se ajustan a la línea a trazos.

La tendencia reportada por Kokushu (1980, 1987) de variación de la relación módulo de elasticidad máximo de laboratorio ($Eo_{(lab)}$) en función del módulo de elasticidad máximo de campo ($Eo_{(campo)}$), se expresó en términos del módulo de elasticidad utilizando una relación de poisson de 0,4, típica de los suelos arcillosos de la sabana de Bogotá, con el fin de comparar dicha tendencia con los datos de la relación $Eo_{(lab)}/Eo_{(campo)}$ contra $Eo_{(campo)}$ obtenida de los ensayos dinámicos tanto de campo (*down hole*) como de laboratorio (triaxial cíclico, columna resonante, *bender elements*, etc.) realizados para estudios de respuesta local en Bogotá (figura 8). Al ignorar dos puntos correspondientes a la transición de las zonas 2 y 3, que están lejos de la tendencia de gran parte de los puntos, se observa una tendencia marcada con la línea resaltada similar al límite inferior dado por Kokoshu (1987).

La dispersión de los datos y los bajos valores son indicativos de problemas que pueden estar relacionados con varios aspectos, a saber: mala calidad de las muestras o el proceso de muestreo y ensayo en el laboratorio que produce cambios importantes de esfuerzos, que se traducen en deformaciones principalmente de tipo volumétrico de las muestras. Estas deformaciones producen, a su vez, disminución de la rigidez y dependen del tiempo que transcurre entre la toma de la muestra y el momento de ensayo

yo, así como de las condiciones de confinamiento de la muestra durante este tiempo. En razón de que la realización de ensayos depende de la disponibilidad de los pocos equipos que hay en el país para hacer ensayos dinámicos, dicho tiempo puede llegar a ser de varias semanas. Finalmente, los resultados dependen del procedimiento de ensayo, que es propenso a detalles de manipulación, montaje, esfuerzos aplicados y aun de detalles en el procesamiento de la información y cálculo. Un aspecto particular relacionado con el estado de esfuerzos es el hecho de que en el terreno el estado de esfuerzos es anisotrópico, presumiblemente geostático, con un valor de coeficiente de empuje de tierras en reposo (K_0) que no se conoce y que debe depender del tipo de material y de la relación de sobreconsolidación. El esfuerzo efectivo de confinamiento depende también de la presión de poros, sobre lo cual también hay incertidumbre. Es necesario consolidar las muestras al estado de esfuerzos del terreno debido a que el efecto del confinamiento causa una disminución en el valor de E_o en caso de que la muestra se consolide a un confinamiento menor que el dado *in situ*, en proporción aproximadamente proporcional a la diferencia de presiones entre el terreno y el laboratorio.

Por lo general, se ha observado que los ensayos de mejor calidad son los realizados en materiales de la transición de las zonas 2 y 3, debido a que tienden a ser suelos de menor plasticidad y mayor rigidez, menos propensos a los problemas mencionados.

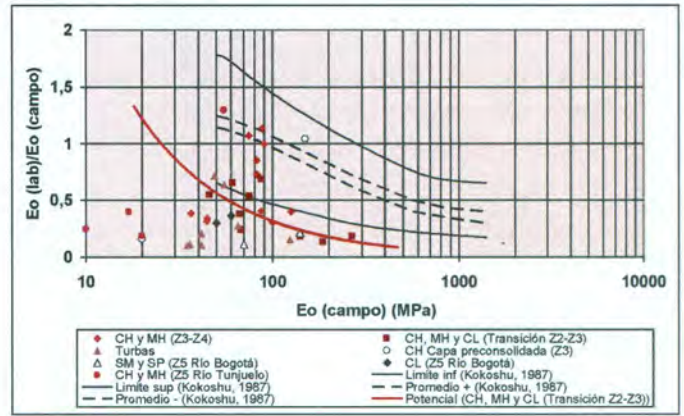


Figura 8. E_o (lab)/ E_o (campo) contra E_o (campo) de los ensayos triaxiales cíclicos realizados para estudios de respuesta local en Bogotá, en comparación con las tendencias encontradas por Kokoshu (1987).

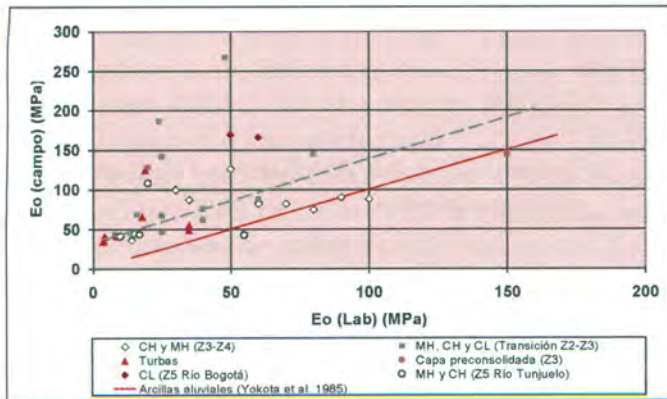


Figura 7. E_o (campo) contra E_o (lab) de los ensayos triaxiales cíclicos realizados para estudios de respuesta local en Bogotá, en comparación con la tendencia encontrada por Yokota et al. (1985).

Debido a la alta dispersión de los valores de E_o de laboratorio, estos valores no se emplearon para determinar correlaciones del tipo de suelo y su estado con los valores de rigidez. Cabe mencionar que los menores valores de rigidez obtenidos en el laboratorio producen no sólo una disminución del valor de E_o , sino en general de la rigidez con la deformación. Esto implica que los materiales en el terreno son más rígidos, lo cual produce niveles de respuesta más altos.

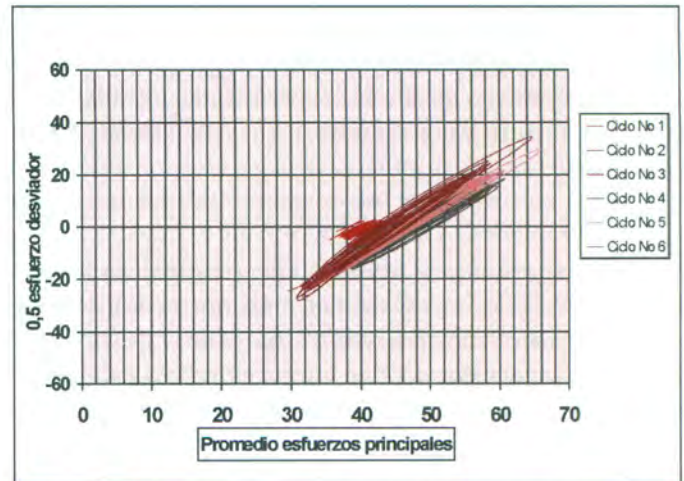


Figura 9. 0,5 veces esfuerzo desviador contra el promedio de los esfuerzos principales para una muestra cuyo confinamiento *in situ* es de 60 kPa.

En la figura 9 se presenta la gráfica de 0,5 veces el esfuerzo desviador contra el esfuerzo de confinamiento correspondiente a una muestra obtenida a 10 m de profundidad, cuyo esfuerzo de confinamiento *in situ* puede estar entre 60 kPa y 90 kPa. El confinamiento al cual se realizó el ensayo fue de 40 kPa aproximadamente y la relación E_o (campo)/ E_o (lab) de esta muestra es de 0,27. Con un confinamiento mayor se habría obtenido un valor de E_o (lab) mayor y una relación con el valor de campo mayor, mos-

trando cómo el efecto del confinamiento es importante para definir de manera correcta E_o (lab). Este es un aspecto que se debe tener en cuenta al realizar e interpretar los ensayos y que requiere investigación adicional, en particular para definir con razonable confiabilidad cuáles pueden ser los valores reales de presión de poros y K_o en el terreno.

CORRELACIÓN DEL TIPO DE SUELO Y SU ESTADO CON EL MÓDULO DE RIGIDEZ DE CAMPO A BAJAS DEFORMACIONES (ENSAYO DOWN HOLE)

La rigidez dinámica del suelo a bajas deformaciones, de acuerdo con la información de laboratorio dada (Kokoshu, 1980; Humphries y Wahls, 1968; Hardin y Black, 1968 y 1969), depende de la relación de vacíos y el estado de esfuerzos de la siguiente manera:

$$G_o = \frac{K}{F(e)} \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma_{ref}} \right)^m RSC^k \tag{1}$$

Donde:

- K = constante que depende del tipo de material
- σ'_c = esfuerzo de confinamiento efectivo
- σ_{ref} = esfuerzo de referencia (usualmente 100 kPa)
- m = exponente de la relación de esfuerzos
- RSC = relación de sobreconsolidación
- k = exponente de la relación de sobreconsolidación
- F(e) está dado por la siguiente expresión (Hardin, 1978)

$$F(e) = \frac{1}{(0,3 + 0,7e^2)} \tag{2}$$

Estas expresiones se utilizaron para normalizar los valores del módulo de elasticidad máximo medidos en el terreno a partir de los ensayos de *down hole* (Vs) y obtener en esta forma el valor de K en la ecuación (1). Los valores normalizados se correlacionaron con el índice de plasticidad (figura 10). Como se aprecia en la figura 10, tanto las arcillas sobreconsolidadas como las arcillas y limos de baja y alta plasticidad de las zonas 3 y 4 presentan una correlación clara de los valores normalizados (K) con el índice de plasticidad, con algunos pocos casos que difieren de la tendencia. Estos casos se revisaron en detalle y se encontró que en algunos estaban mal identificados los valores de Vs correspondientes en el perfil, o había inconsistencias en los ensayos de clasificación. Es interesante ver que a pesar de que los suelos del área de transición entre las zonas 2 y 3 pueden tener un origen diferente de los de las zonas 3 y 4, los valores de K se ajustan a la tendencia de las zonas 3 y 4. Igualmente, las arcillas aluviales depositadas por el río Tunjuelo (zona 5) se ajustan a esta tendencia.

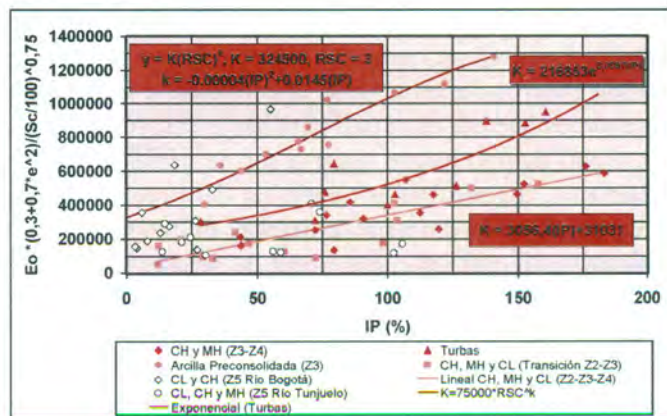


Figura 10. Correlación entre K y el índice de plasticidad.

Al revisar los datos, todas las muestras se conformaron a las tendencias ya encontradas. Se encontró que el valor de K en los suelos arcillosos de la sabana que están por debajo de la capa sobreconsolidada presentan una correlación lineal con el índice de plasticidad del tipo:

$$K = 3.056,4 * IP + 31.031 \tag{3}$$

En el caso de las arcillas sobreconsolidadas, se encontró que los valores normalizados, que incluyen el factor de sobreconsolidación RSC^k (expresión 1), se ajustan a la siguiente expresión:

$$y = K * RSC^k \tag{4}$$

Donde:

- K = 324.500
- RSC = 3
- k = función del índice de plasticidad dado por la siguiente expresión

$$k = -0,00004 * IP^2 + 0,0145 * IP \tag{5}$$

La expresión 5 es consistente con la tendencia de los valores de k en función del índice de plasticidad dados por Hardin y Drnevich (1972), aunque con valores mayores (tabla 1).

Tabla 1

Índice de plasticidad	k*	Índice de plasticidad	k**
0	0,00	0	0,00
20	0,18	20	0,27
40	0,30	40	0,52
60	0,41	60	0,73
80	0,48	80	0,90
≥ 100	0,50	100	1,05
	120	1,16	
	≥ 140	1,25	

* Tomado de Hardin y Drnevich (1972)
 ** Valores obtenidos por medio del ajuste dado por la expresión 4.

Adicionalmente, se observa que los valores de K de las turbas se ajustan a una relación exponencial en función del índice de plasticidad, dada por la siguiente expresión:

$$K = 216.853e^{0,0087 \cdot IP} \quad (6)$$

Para la normalización se hizo un análisis de sensibilidad de los parámetros que intervienen en la ecuación, con el fin de identificar los que producen un mejor ajuste a los datos disponibles. Se encontró que los parámetros de la función de la relación de vacíos propuestos por Drnevich se mantienen iguales y el exponente de la variación de la rigidez con la presión de confinamiento que dio mejor ajuste es del orden de 0,75. Este valor es consistente con los valores típicos para suelos arcillosos.

CONCLUSIONES

Se ha hecho una evaluación detallada de la información disponible de estudios de respuesta local en la ciudad de Bogotá, con el propósito de evaluar el comportamiento dinámico de estos suelos a bajas deformaciones. Se analizaron datos de clasificación y estado de los suelos y se relacionaron con los valores medidos de V_s en el terreno y los valores de rigidez a bajas deformaciones obtenidos en el laboratorio. Los resultados se confrontaron con los datos obtenidos en la literatura técnica mundial sobre el tema, con el objeto de identificar y validar los resultados.

El estado de los suelos arcillosos, tanto de origen aluvial como coluvial y lacustre de la sabana de Bogotá en términos de la relación de vacíos, está correlacionado de manera única con los valores de índice de plasticidad. La excepción son las turbas, que presentan el mismo comportamiento pero con valores de tendencia diferentes.

Con base en la información analizada se ha podido establecer una clara correlación entre la rigidez di-



námica *in situ* a bajas deformaciones y los parámetros de tipo de material (índice de plasticidad) y su estado (relación de vacíos, relación de sobreconsolidación y presión de confinamiento), funcionalmente, de la misma forma que se ha reportado en la literatura. Los parámetros obtenidos son también consistentes con los datos de la literatura.

Se ha encontrado una amplia variación en los valores obtenidos a partir de ensayos de laboratorio. Se han identificado problemas de calidad de las muestras y procedimientos de ensayo que pueden ser la causa de la dispersión. Estas variaciones producen importante incertidumbre que no permite apreciar con claridad las tendencias de comportamiento y comparar con los referentes publicados en la literatura. Es necesario llevar a cabo estudios detallados para evaluar el comportamiento dinámico de los suelos de la ciudad en el laboratorio.

Hay que mejorar no sólo las técnicas de muestreo, sino los procedimientos de ensayo para obtener datos de calidad de los ensayos triaxiales cíclicos. Es importante que las muestras se con-

soliden a los esfuerzos de confinamiento *in situ* correspondientes a su profundidad. Sin embargo, para esto se requiere investigación adicional, tendiente a evaluar las presiones de poros y los valores de K_0 reales en el terreno.

Es clara la correlación de tipo lineal existente entre la rigidez dinámica en función del parámetro de normalización K definido en este estudio y el índice de plasticidad de los suelos arcillosos para un rango de IP de 30 a 190. Igualmente, se presenta una correlación de tipo exponencial entre K e IP en el caso de las turbas, debido a los altos valores de relación de vacíos. Adicionalmente, se estableció la dependencia de k con IP para las arcillas sobreconsolidadas, la cual es consistente con la tendencia encontrada por Hardin y Drnevich (1972), aunque los valores de k hallados son superiores a los descubiertos por estos autores. Se encontró que el valor de la relación de sobreconsolidación en la capa superficial preconsolidada que mejor se ajusta a los datos es 3. Sin embargo, cabe anotar que la relación de sobreconsolidación no es constante, sino que varía con la profundidad como resultado del efecto de



deseccación de los suelos superficiales arcillosos de la sabana. Por tanto, el valor encontrado es una simplificación de la realidad, pero es un buen valor indicativo, que se ajusta mejor a los datos de V_s medidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Drnevich, V.P., Hall, J.R., Richard, F.E. (1967). "Effect of the amplitude of vibration on the shear modulus of sand". *Proceedings. International symposium on wave propagation and dynamic properties of earth materials*. University of New Mexico Press.
- Dobry, R., Vucetic, M. (1987). "Dynamic properties and seismic response of soft clay deposits". *Proceedings International symposium on geotechnical engineering of soft soils 2*, 51-87.
- Hardin, B.O., and Richard, F. E. (1963). "Elastic wave velocities in Granular Soils". *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Asce*, 89 SM1.
- Hardin, B.O., and Black, W. L. (1968). "Vibration Modulus of Normally Consolidated Clay". *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Asce*, 94 SM2.
- Hardin, B. O., and Black, W. L. (1969). "Closure to vibration modulus of normally consolidated clay". *Journal of Soil Mechanics and Foundations, Asce*, 95, SM6, 1531-7.
- Hardin, B. O., and Drnevich, V. P., (1972). "Shear modulus and damping in soils: design equations and curves". *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Asce*, vol. 98, N° SM7, pp. 667-692.
- Ingeominas-Universidad de los Andes (1997). "Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá".
- Ishibashi, I., and Zhang, X. (1993). Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay. *Soils and Foundations* 33:1, 182-191.
- Jeoprobe Ltda. (2005a). Estudio y análisis geotécnicos de la actualización de los diseños detallados para la construcción del pondaje auxiliar fontanar del río Bogotá en el sector de Gavilanes **de la localidad de Suba en Bogotá.**
- Jeoprobe Ltda. (2005b). Asesoría geotécnica y sísmológica para la evaluación de la amenaza sísmica, Proyecto Cusezar Calle 116 av. 9, Bogotá.
- Jeoprobe Ltda. (2005c). Asesoría geotécnica y sísmológica para la evaluación de la amenaza sísmica, Proyecto Calle 135 con av. Boyacá, Bogotá.
- Jeoprobe Ltda. (2005d). Estudio geotécnico básico del alineamiento: interceptor Tunjuelo Bajo (ITB).
- Kokushu, T. (1980). "Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range". *Soils and Foundations* 20:2, 45-60.
- Kokushu, T. (1987). "In situ dynamic soil properties and their evaluation". *Proceedings of the 8th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Kyoto, vol. 2, pp. 215-435.
- Moreno, C. A., Rodríguez, E. (2004). Dynamic behavior of Bogotá's subsoil peat and its effect in seismic wave propagation. *13th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Rodríguez, J. (2004). Estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas, Calle 59A 74-35 Normandía, Bogotá.
- Rodríguez, J. (2005a). Asesoría geotécnica y sísmológica para el estudio de respuesta de amplificación local, Puente de la Calle 13 con Carrera 30, Bogotá.
- Rodríguez, J. (2005b). Asesoría geotécnica y sísmológica para el estudio de respuesta de amplificación local, Puente de la Calle 26 con Carrera 30, Bogotá.
- Rodríguez, J. (2005c). Asesoría geotécnica y sísmológica para la evaluación de la amenaza sísmica, Edificio Avenida Caracas con Calle 55, Bogotá.
- Rodríguez, J. (2005d). Asesoría geotécnica y sísmológica para la evaluación de la amenaza sísmica, Proyecto Calle 122 con carrera 9A, Bogotá.
- Rodríguez, J. (2005e). Estudio particular de amplificación de ondas sísmicas, Proyecto Altavista de la Colina, Constructora Destral S.A., Bogotá.
- Rodríguez, J. (2005f). Asesoría geotécnica y sísmológica para la evaluación de la amenaza sísmica, Proyecto Colina, Constructora Lavca Ltda., Bogotá.
- Rodríguez, J. (2005g). Asesoría geotécnica y sísmológica para la evaluación de la amenaza sísmica, Proyecto Etapa IV Parque Central Salitre, Bogotá.
- Seed, H., and Idriss, M. (1970). Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis. *Report No. EERC 70-10*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Yokota, K. and Konno, M. (1985). "Comparison of soil constants obtained from laboratory tests and in situ tests". *Proceedings of the Symposium on Evaluation of Deformation and Strength of Sandy Grounds, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 111-140

Conwip

Un sistema de control de producción

Luis Ernesto Blanco Rivero*, Enrique Romero Motta** y Alejandro Páez Rodríguez***

Resumen

En este artículo se describe el sistema de control de producción Conwip, que se ha desarrollado tratando de mantener aspectos positivos de sistemas que controlan los inventarios dependiendo del consumo y los que planean órdenes de producción a partir de un pronóstico de demanda y controlan la producción al final. El Conwip mantiene una cantidad fija de inventarios en proceso y autoriza la entrada de nuevos materiales a producción, una vez que se realice un consumo o una demanda de bienes finales. Se analizan las ventajas y dificultades de implementar estos sistemas de control de producción en las empresas dedicadas a la producción de bienes.

Palabras claves

Inventario en proceso (WIP), control de producción mediante inventario constante (Conwip), sistemas de producción *pull*, sistemas de producción *push*, sistema de producción Justo A Tiempo, Sistema de planeación de requerimientos de materiales MRP.

Abstract

This paper describes the control production system Conwip that has been developed taking in account the more positive aspects of production control systems that authorize production orders depending on final demand and those that make production orders based on demand forecast and facilities capacity and control final production. The control production system Conwip only authorizes materials inputs

* Licenciado en matemáticas e ingeniero, magíster en ingeniería industrial, candidato a doctor en ingeniería industrial. Profesor y decano de ingeniería industrial de la Escuela Colombiana de Ingeniería. iblanco@escuelaing.edu.co.

** Ingeniero industrial con experiencia en sistemas logísticos del sector farmacéutico. Profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería. eromero@escuela.edu.co.

*** Ingeniero industrial y catedrático de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

as soon as final goods leave the production line. This paper focuses in advantages and difficulties implementing Conwip as control production system in goods production industries.

Key Words

Work in process (WIP), Constant work in process (Conwip), *pull* production systems, *push* production systems, JIT production planning system, MRP production planning system.

INTRODUCCIÓN

El sistema de control de producción Conwip lo desarrollaron dos profesores norteamericanos en 1980, quienes propusieron una nueva teoría para entender el funcionamiento de los sistemas de planeación, programación y control de la producción, que llamaron *física de plantas*. Para su trabajo, estudiaron los sistemas prototipo vigentes en ese entonces, de sistemas *pull* como el Justo A Tiempo (JIT) de los japoneses y *push* de la Planeación de Re-

recursos de Materiales (MRPII), y tomaron las ventajas que proporcionan uno y otros más sus leyes de manufactura, para proponer su nuevo sistema de control de inventarios.

Entre los aspectos positivos que ellos recogieron se pueden mencionar el control de los inventarios en proceso, la retroalimentación de información entre las distintas operaciones de un proceso, la autorización de la producción mediante tarjetas a partir de la demanda originada por los clientes y el uso de las capacidades de los MRPII como sistemas de información.

EL SISTEMA JUSTO A TIEMPO Y LA MAGIA DEL CONTROL DE INVENTARIOS

Finalizada la segunda guerra mundial, los japoneses sorprendieron al mundo con productos de excelente calidad y bajos precios, acaparando el interés de sus competidores por conocer el secreto de sus sistemas de producción. Éste radicaba más en la sencillez que en la complejidad y respondía a las condicio-

nes socioculturales y naturales del Japón. El sistema de planeación de la producción Justo A Tiempo (JIT), utilizado en compañías productoras de automóviles

El sistema de control de producción Conwip lo desarrollaron dos profesores norteamericanos en 1980, quienes propusieron una nueva teoría para entender el funcionamiento de los sistemas de planeación, programación y control de la producción, que llamaron *física de plantas*.

como Toyota, no usaba complicados algoritmos de optimización ni sistemas sofisticados de computación, sino reglas muy claras para el manejo de los inventarios. Sin embargo, el mundo occidental tardó varias décadas en comprender cuál era el verdadero núcleo de su secreto: *el control de los inventarios*.

El éxito de las grandes empresas japonesas se debe al estricto control que tienen sobre sus inventarios, unido a una serie de adecuaciones tecnológicas, a normas, procedimientos, disciplina de trabajo y un riguroso control de calidad. Técnicas como el acortamiento de los ciclos de proceso, la disminución de los rechazos, los tiempos cortos de alistamiento en las máquinas, la eliminación del desperdicio y el mejoramiento continuo son conocidas y aplicadas actualmente en muchas partes. Uno de los mayores logros de dichas empresas es la utilización de los *kanbans* en forma de tarjetas o de contenedores de materiales que se desplazan paralelos a las líneas de producción.

La nivelación de la producción está entre los requisitos para la implementación del control de inventarios. El movimiento de materiales en proceso se hace mediante tarjetas *kanban*, en las que se presenta la información de las partes como el nombre, a qué producto pertenece, código, almacén de donde proviene, proceso de destino, cantidad, tamaño del lote, etcétera. La demanda anual se pronostica y se fija, previo chequeo de cumplimiento de las restricciones de capacidad. Los lectores experimentados en actividades de planeación de producción saben que, en estas condiciones, el problema es sencillo de resolver.

Imaginemos que una empresa produce únicamente tres modelos de autos T1, T2, T3 y que trabaja 300 días al año en tres turnos de ocho horas. Supongamos además que la demanda anual de T1 es de 48.000 autos, la de T2 es de 24.000 y la de T3 es de 12.000. Por simplicidad, partamos de que el tiempo de procesamiento de los tres autos es el mismo. Se deben producir entonces 84.000 autos al año o, lo que es lo mismo, 280 autos al día. Como se estila en las empresas japonesas, dos de los tres turnos diarios de ocho horas son de producción, el otro es para mantenimiento y para atender cambios en la demanda o alteraciones en la producción causadas por la variabilidad natural de los procesos.

La producción diaria debe ser de 160 autos T1, 80 autos T2 y 40 autos T3. La secuencia de producción será siempre T1,T1,T1,T1,T2, T2, T3; T1, T1,T1,T1, T2,T2, T3; T1, T1,T1,T1, T2, T2, T3;..., que equivale a tasas del

0,571429%, 0,285714% y 0,142857% de la demanda, o sea, 80 autos T1, 40 autos T2 y 20 autos T3 en cada turno de producción. Diariamente se emiten los *kanban* para los materiales necesarios para producir los 280 autos por día.

Obsérvese que para poder cambiar rápidamente de modelo en la línea de producción se han requerido previamente cambios tecnológicos espectaculares, y pasar de un tiempo de preparación de algunos días a 15 o 20 minutos como máximo. Eso es lo que permite producir en el mismo día los tres modelos.

Esta programación de la producción la deben conocer con anterioridad los proveedores, quienes a su vez nivelan su producción, organizan sus procesos y estandarizan sus operaciones y tareas.

Una serie de reglas que organizan el movimiento de inventarios es el secreto de la magia del sistema Justo A Tiempo de los japoneses: "Regla 1. El proceso posterior recogerá del anterior los productos necesarios en las cantidades precisas, en el lugar y en el momento oportunos. Corolarios: 1) Deberá prohibirse cualquier retiro de

piezas o elementos sin utilización de *kanban*. 2) Deberá prohibirse cualquier retiro de piezas o elementos en cantidad mayor que el número de *kanbans*. 3) Un *kanban* deberá siempre adherirse al producto físico"¹. Esta primera regla constituye la esencia de los sistemas de "arrastre de la producción" o sistemas *pull*, donde la demanda final (consumo) hala el proceso de producción. Se autoriza la producción sólo cuando hay un cliente. Si no, únicamente se tiene lista la programación y los inventarios en sus *kanbans*, pero no se produce. De esta manera se evita la producción para *stock*². Por otra parte, los inventarios siempre están atados a los *kanbans*. Hay *kanbans* de producción y de transporte. A los lectores interesados, se les recomienda el libro de Monden en el que se explica con todo detalle la disciplina del Justo A Tiempo.

"Regla 2. El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente. Corolarios: 1) Ha de prohibirse una producción mayor que el número de tarjetas *kanban*. 2) Cuando en un proceso anterior hayan de producirse varios tipos de piezas, su producción deberá seguir la secuencia con que se han entregado los *kanbans*"³. Estas dos reglas y tres

La nivelación de la producción está entre los requisitos para la implementación del control de inventarios.

1. Yasuhiro Monden (1990). *El sistema de producción de Toyota*, Córdoba, Argentina: Ediciones Macchi, p. 25.
2. Inventarios de productos terminados.
3. *Ibid.*, p. 28.



Figura 1. JIT como sistema cerrado de control de producción con múltiples lazos de retroalimentación, que unen a cada operación con la anterior.

más que se encuentran en la obra ya citada organizan el movimiento y control de los inventarios; por esta razón, el segundo prerrequisito para la implementación de sistemas *pull* es la organización de los procesos, en conjunto, teniendo en cuenta lo relacionado con tecnología (máquinas, equipos, herramientas, métodos, procedimientos de trabajo, etc.) personal, materiales, instalaciones, flujos de producción, etcétera.

Los sistemas de planeación y control de producción como el Justo A Tiempo se consideran sistemas de control de producción cerrados, ya que controlan la entrada de materiales al sistema.

El sistema de autorización de producción mediante *kanbans* tiene inconvenientes declarados: 1) El número de autorizaciones hacia atrás en la cadena puede ser muy grande y una parada por falta de materiales en cualquier operación parará la línea de producción. El control de los inventarios mediante autorizaciones en cada una de las operaciones del proceso es excesivo. 2) El cálculo del número "óptimo" de *kanbans* requiere mucho conocimiento del proceso y bastante experiencia, en las ocasiones en que se presentan cambios inesperados en la demanda. 3) El exceso de inventarios se puede trasladar a los proveedores, quienes en algunos casos deben absorber las fluctuaciones de la demanda para no perder a sus grandes clientes. 4) Se requiere una demanda muy estable de los productos, un flujo de materiales constante y una producción nivelada. El *kanban* se restringe a manufactura repetitiva, con

una tasa de producción estable y un recorrido fijo. 5) Grandes variaciones en el volumen del producto o la mezcla de productos destruyen el flujo y debilitan las metas de desempeño de los sistemas *pull*.

EL PLANEAMIENTO DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES (MRP)

El MRP es un método de planeación de producción y de inventarios que utiliza las ventajas de las bases de datos, así como las grandes facilidades en el procesamiento de la información que brindan los computadores. Al mismo ritmo impresionante en el que se ha mejorado el tiempo de respuesta, que se ha incrementado la capacidad de procesamiento y de memoria, que se ha transformado el ambiente

usuario-sistema en algo mucho más amigable, en los computadores, y se ha mejorado la calidad de las comunicaciones a través de las redes, el MRP ha cambiado, corrigiendo sus falencias e incluyendo nuevos módulos para brindar a los usuarios una mayor precisión en el cumplimiento de los planes de producción. Este sistema se creó especialmente para productos con demanda dependiente. Por ejemplo, cinco llantas por auto.

El MRPII (*Material Resources Planning*), versión moderna del MRP, incluye módulos de *capacidad, costos, rutas y job shop*. El DRP (*Distribution Resource Planning*), nueva versión moderna del MRPII, incluye adicionalmente módulos de *distribución*, y los ERP (*Enterprise Resources Planning*), que son los desarrollos más modernos de MRPII, incluyen además de todos los anteriores, nue-



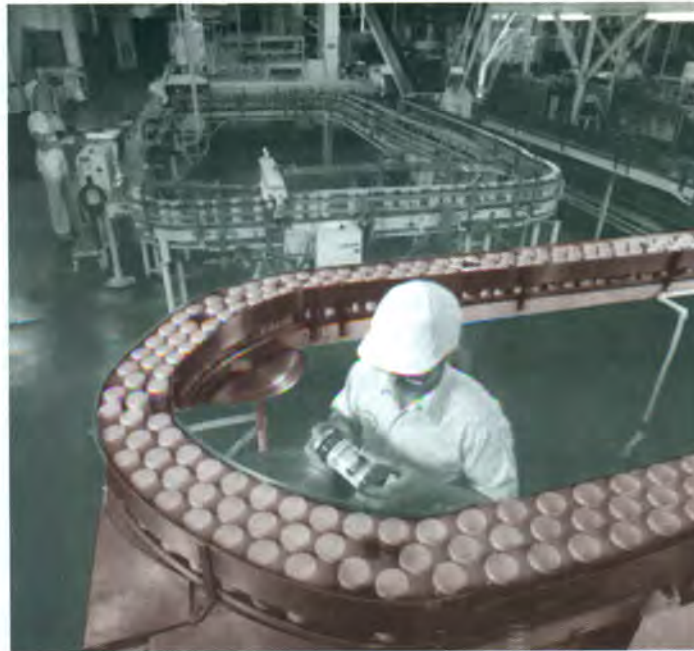
vos módulos de *comunicación en red*, que parecen adaptarse a las exigentes condiciones de la demanda global mencionadas anteriormente. Sin embargo, el archivo central de estos sistemas sigue siendo el MRP que necesita como entradas los archivos de la demanda individual de los productos finales y el de los tiempos de entrega o de producción (*lead times*).

El MRP, como sistema de bases de datos, tiene archivos importantes como el programa maestro de producción, donde se registra la demanda pronosticada de bienes finales. La lista de materiales, donde se registra la estructura de dependencia de los subensambles y partes del producto final, con niveles y cantidades. Los tiempos de producción o de entrega (*lead times*), donde se regis-

tran los tiempos que emplea el proveedor en suministrar una parte o subensamble, o el tiempo que demora el departamento de producción en manufacturarlos. El inventario, donde se lleva cuenta del inventario a la mano en el momento actual y las llegadas programadas de materiales. La salida de órdenes de compra de materiales para los proveedores o salida de órdenes de producción para que se hagan las partes o se ensamblen.

Imaginemos que la demanda pronosticada de autos para un día cualquiera es de 100 autos T1, 50 autos T2 y 10 autos T3. El sistema de información calcula cuántas partes y subensambles se deben alistar para atender dicha demanda, se verifica el inventario a la mano y se asignan los materiales que se encuentren en existencia para satisfacer la demanda. Para los que faltan se emiten órdenes de producción o de compra. El sistema hace un desfase en el tiempo para emitir las órdenes de compra o de producción para que lleguen a tiempo cuando se requieran. El MRP lleva cuenta también de las llegadas de las órdenes emitidas.

Como las órdenes de compra o de producción se van acumulando o “empujando”, el MRP se considera prototipo de los sistemas *push* (figura 1). En el MRP se controla el cumplimiento o satisfacción de las órdenes de producción, o sea, que se controla la tasa de salida del sistema o *Throughput*. El problema se origina cuando el cliente que pidió un auto se arrepiente. Este producto pasará al *stock*. Esa es la diferencia básica con los sistemas *pull*, que únicamente autorizan producción cuando el cliente compra.



Los datos de los tiempos de entrega generalmente se presumen discretos y estándar. Sin embargo, ésta es una condición ideal. En el mundo real, los tiempos de operación y de entrega tienen variación. Además, las operaciones de un proceso de producción o de una cadena de abastecimientos son interdependientes. Los fenómenos de *variabilidad* y *dependencia* siempre están presentes en los procesos productivos. De acuerdo con Goldratt⁴, “lo que sucede no es un promedio de las fluctuaciones, en nuestras varias velocidades, sino una *acumulación* de las fluctuaciones. Y principalmente es una *acumulación* de lentitud *porque la dependencia limita las oportunidades de las fluctuaciones más altas*”

Las operaciones con grandes fluctuaciones causan problema cuando están por debajo del promedio (negativas). En un proceso cualquiera, las fluctuaciones negativas se van acumulando (producción por debajo del promedio), y por más que las últimas operaciones sean las más eficientes, éstas

tendrán limitaciones por el lado de los materiales que les llegan de las operaciones anteriores. Resultado: los planes de producción que se hacen, no se cumplen.

Algunos programadores del MRP, o usuarios con acceso en alguna parte del proceso, presumen que el retraso se debe a “falta de materiales” y vuelven a pedirlos, duplicando las órdenes, a veces sin saberlo. De ahí que una de las características de los sistemas *push* es el exceso de inventarios.

El MRP es un sistema de control abierto ya que no controla la entrada de materiales, únicamente verifica que el *Throughput* se cumpla.

Los cambios debidos a nuevos pedidos, devoluciones por entregas fuera de fecha o cambios en la demanda pronosticada producen una acumulación de materiales, que causa en la planta un efecto de “trancón o atascamiento” que, al igual que en el caso de los autos, disminuye la velocidad de flujo, produce nerviosismo y causa mayor *variabilidad* en el sistema. Se produce entonces un “círculo vicioso” de nuevos pedidos, mayor trancón, mayor *variabilidad*, etc. En los sistemas globales, hay que sumar a los problemas anteriores la *variabilidad* en los transportes y los cambios en los gustos del consumidor final.

SISTEMA CON INVENTARIOS EN PROCESO CONSTANTES (CONWIP)

Mantener niveles de inventarios en proceso constantes (*Constant Work In Process*), que equivale a la nivelación de la producción de los japoneses; autorizar la producción únicamente cuando llegue el cliente, premisa de los sistemas *pull*; verificar la capacidad mediante el chequeo de los cuellos de

4. E. Goldratt (1992). *La meta*. Monterrey: Ediciones Castillo, S.S. de C.V., p.122.

botella; reconocer la variabilidad y la interdependencia en los procesos, que son ideas de Goldratt; reconocer las fortalezas de los MRP como sistemas de información y las ventajas de los sistemas *push*, en cuanto a un control mínimo de los inventarios una vez que los materiales están en la línea de producción, son algunas de las ideas que tuvieron en cuenta sus creadores: Wallace Hopp y Mark Spearman⁵.

La recomendación del Conwip como sistema de planeación y control de producción tiene un desarrollo teórico importante que los autores arriba mencionados llamaron *física de planta*, que contiene 20 leyes, definición de parámetros y demostraciones matemáticas, simulaciones y evidencias estadísticas. Un primer desarrollo es el cálculo de una cantidad de inventario "óptimo" en el proceso, W_0 , conociendo la tasa de producción del cuello de botella rb y el tiempo de ciclo global del proceso T_0 , que es el tiempo que demora un material desde que entra a producción hasta que sale como producto terminado, sin ninguna demora en su recorrido (el mínimo tiempo de ciclo).

$$W_0 = rb * T_0$$

En líneas de producción balanceadas y en estado estable, esta cantidad de inventario W_0 se puede verificar. Sin embargo, en otras condiciones dicho cálculo no es tan sencillo. Autores como Ignacio⁶, ampliamente conocido en el contexto de la investigación de operaciones, han desarrollado algoritmos genéticos para calcularlo en condiciones de estado estable. La simulación es también una herramienta muy útil en estos casos.

"Ley de Little: $TH = WIP/CT$ "⁷. Esta ley contiene la explicación teórica de que se puede producir el mismo *Throughput* con grandes cantidades de inventario en proceso y largos tiempos de ciclo, o con cantidades controladas de inventarios en proceso para tiempos de ciclo mucho más cortos. Como se mencionó anteriormente, es el mismo efecto de los 'trancones' en el flujo de autos: mientras **más autos (WIP), más demora (CT) y el número de autos que llega a su destino a tiempo es menor (TH)**. Si a los **tres parámetros de la ley de Little se agrega la variabilidad**, se puede producir un efecto cíclico perverso de incremento de inventarios y de tiempo de ciclo⁸.

"Ley del mejor desempeño: Para un nivel dado de inventario W , el mínimo tiempo de ciclo CT_{mejor} es T_0 si el inventario W es menor o igual que W_0 ; de lo contrario, CT_{mejor} es igual a W/rb . Esta ley comprueba la relación comentada antes: $W_0 = rb * T_0$ y que la mejor tasa de producción es la del cuello de botella: $TH_{mejor} = rb$. Aquí se aplica todo el desarrollo teórico que sobre el control en los cuellos de botella había hecho Goldratt.

Para los lectores interesados en el tema se les recomienda la lectura de la segunda edición de *Factory Physics*, en la que encontrarán las 18 leyes restantes y el desarrollo teórico comentado previamente.

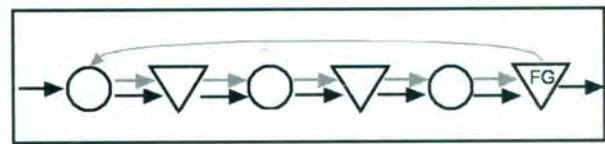


Figura 2. Conwip como sistema cerrado de control de producción, con un lazo de retroalimentación que une la última operación con la primera.

El Conwip se puede definir como un sistema de control de producción cerrado, esto es, controla la cantidad de materiales que ingresan al sistema y únicamente permite una cantidad constante de materiales en proceso dentro del sistema, que en una línea balanceada equivale a un (1) producto en proceso en cada máquina o estación de trabajo. Una vez que el sistema se llena, únicamente se permite entrada de materiales a éste cuando se produzca una salida de producto terminado del sistema (figura 2).



5. Wallace Hopp & Mark Spearman (1996). *Factory Physics Foundations of Manufacturing Management*, Boston: McGraw Hill.
6. James Ignacio (2003). *The implementation of Conwip in semiconductor fabrication facilities*, vol. 14, Future Fab Intl.
7. Wallace Hopp & Mark Spearman (1996). *Factory Physics Foundations of Manufacturing Management*. Boston: Irwin McGraw Hill, p. 232.
8. Luis Ernesto Blanco Rivero (2001). *Simulación con Promodel. Casos de producción y logística*, 2ª ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, p. 111.

Un lazo de información une la última estación del proceso con la primera. Mientras que en el sistema *Justo A Tiempo* cada operación está ligada a la operación anterior por un flujo de información que cierra el ciclo.

La disciplina de trabajo del Conwip es *pull* en la última operación del sistema productivo, o sea donde se termina el producto; una vez que se entrega uno de éstos se autoriza la entrada de materiales a la primera operación del sistema. De allí en adelante, la disciplina es *push*, es decir, las órdenes se van empujando a lo largo del proceso hasta llegar a la operación final.

El Conwip reconoce las ventajas del MRP como sistema de información y lo utiliza como tal. El control de entrada de los materiales se hace en la primera operación. Para evitar que la línea de producción se quede sin materiales, se permite una reserva o *buffer* de productos en la primera operación.

¿Cuánto se debe almacenar en la reserva de la primera operación? Esa es la pregunta del millón. Cuando la línea de producción está balanceada, se conoce además cuál es la operación cuello de botella y su tasa de producción rb , y también se sabe cuál es el mínimo tiempo de ciclo de los materiales T_0 ; la cantidad que debe haber de inventario dentro del sistema W_0 es igual a $rb \cdot T_0$, pero la cantidad que se debe almacenar al comienzo depende del análisis en estado estable de la misma. Esta cantidad está relacionada con el comportamiento de la demanda a largo plazo, con la variabilidad de las operaciones, con la calidad de los materiales y con los métodos de trabajo. ¡De manera que este es un trabajo para la *simulación!* La simulación es la herramienta ideal para comparar el desempeño de sistemas de producción y operaciones, debido a que hacerlo en la realidad es muy costoso y las empresas no tienen capacidad para hacerlo.

La simulación permite definir y variar los parámetros mencionados an-

teriormente y fijar el tiempo de calentamiento (*warm up*) necesario para lograr condiciones de estado estable.

La respuesta a la pregunta de si todos los sistemas de manufactura deben utilizar sistemas *pull* como Conwip o *Justo A Tiempo* para planear y controlar su producción es NO. Los sistemas JIT y Conwip no responden muy bien a cambios en el volumen y a la mezcla de productos. Como se comentó antes, los sistemas *pull* requieren un flujo estable de productos, o lo que es lo mismo: una producción nivelada.

Conwip necesita un volumen relativamente estable y con muy pequeños cambios en la mezcla de productos. La diferencia en el manejo de mezclas de productos está en relación directa con los tipos de producto y con los distintos cuellos de botella y de cómo el sistema controla el WIP.

CONCLUSIONES

Los sistemas de planeación de la producción que tienen como punto de partida o de arranque el consumo poseen la magia del control de inventarios. Tanto el sistema JIT como el Conwip autorizan la producción sólo cuando hay una demanda de producto terminado y mantienen acotados los inventarios, utilizando herramientas como el *kanban* en el primer caso y como el inventario en proceso crítico W_0 en el segundo, pero están diseñados para empresas con tasas de demanda y de producción muy estables o niveladas y con muy pocas mezclas de productos, esto es, para plantas con distribución por producto.

El MRPII tiene sus ventajas como sistema de información, pero deja mucho que desear como sistema de control de producción, debido a que es un sistema abierto.

La combinación de ventajas del JIT y del MRPII da como resultado unos sistemas híbridos entre *pull* y *push* como sucede con el Conwip, por tal razón aunque estos sistemas tengan un desempe-

ño óptimo ante restricciones como la producción nivelada y la ausencia de mezclas de productos, funcionan mejor que los sistemas originales.

Hacia el futuro, se debe utilizar

la simulación para comparar el desempeño de sistemas de planeación, programación y control de la producción como los descritos anteriormente, en diferentes escenarios de sectores económicos y de diversidad en las distribuciones de planta y de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hopp, Wallace & Spearman, Mark (1996). *Factory Physics Foundations of Manufacturing Management*. Boston: Irwin McGraw Hill.
2. Monden, Yasuhiro (1990). *El sistema de producción de Toyota*. Córdoba: Ediciones Macchi.
3. Goldratt, E. (1992). *La meta*. Monterrey: Ediciones Castillo, S.S. de C.V.
4. Shapiro, Jeremy (2002). "Acercamientos para la integración del inventario en la cadena de abastecimiento con otras decisiones".
5. Harrel, Gosh, Bourden (2000). *Simulation using Promodel*: McGraw Hill.
6. Ignacio, James (2003). The implementation of Conwip in semiconductor fabrication facilities. *Future Fab Intl*, vol. 14.
7. Blanco Rivero, Luis Ernesto (2001). *Simulación con Promodel. Casos de producción y logística*, 2ª ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
8. Marek Richard, Elkins, Debra & Smith, Donald (2001). *Understanding the fundamentals of kanban and Conwip pull systems using simulation*. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, B.A. Peters Editors

Los sistemas de planeación de la producción que tienen como punto de partida o de arranque el consumo poseen la magia del control de inventarios.

Balance de fases en sistemas de distribución aplicando búsqueda tabú

Juan Carlos Galvis Manso*, Mauricio Granada Echeverri** y Ramón A. Gallego Rendón***

Resumen

La transferencia de cargas sobre las fases del sistema de distribución no se puede realizar en forma continua, debido a que el consumo de los usuarios no es una cantidad controlable; adicionalmente, existen muchas posibles configuraciones de carga que pueden operar en el sistema. Debido a esto, el balance de fases es un problema de programación no lineal entero mixto que requiere una técnica combinatorial para ser resuelto. En este artículo se describe una estrategia de solución que utiliza un algoritmo de búsqueda tabú para explorar el espacio de soluciones. La

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad Tecnológica de Pereira, en la cual se desempeñan como docentes del programa de ingeniería eléctrica, por el apoyo prestado al grupo de investigación en planeamiento de sistemas eléctricos y a la Escuela Colombiana de Ingeniería por facilitar los medios para esta publicación.

* Ingeniero electricista, Universidad Tecnológica de Pereira, 2002. Magíster en ingeniería eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira, 2005.

Actualmente cursa estudios de doctorado en la Universidad de Campinas (Brasil).

** Ingeniero electricista, Universidad Tecnológica de Pereira, 2001. Magíster en ingeniería eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira, 2003. Docente del programa de ingeniería eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

*** Ingeniero electricista, Universidad Tecnológica de Pereira, 1981. Magíster en sistemas de potencia, Universidad Nacional, 1985, Ph.D en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Campinas (Brasil), 1997.

solución consiste en intentar distribuir las cargas sobre el sistema de energía, de manera que corrientes de igual magnitud y con un desfase angular de 120 grados fluyan por las tres fases del sistema y así, la corriente por el neutro sea cero. Esta estrategia minimiza las pérdidas en el sistema. Para la solución del problema operativo se utiliza un flujo de carga trifásico.

Palabras claves

Desbalanceado, búsqueda tabú, optimización combinatorial, flujo de carga trifásico, sistemas de distribución.

Abstract

Load transferring in distribution system would not be realized in continuous form because customer's consumption is a not controllable quantity. In addition, many load configurations would operate in the system. For that, phase balancing is a mixed integer non-

linear problem that is solved by a combinatorial technique. This paper describes a method by using a Tabu Search Algorithm to explore the space solutions. The solution consists of the load distribution in the system to equal currents (magnitude and phase) flows by the three phases of the system and so the neutral current yields zero. This strategy minimizes loss in the system. Operative problem is solved using a three-phase power flow.

Key words

Unbalanced, tabu search, combinatorial optimization, three-phase power flow, distribution systems.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de distribución con cargas desequilibradas tienen un costo operativo mayor, debido a que tales cargas producen mayores pérdidas netas en el sistema de potencia que en el caso balanceado. Otro de los inconvenientes de operar un sistema desbalanceado es el riesgo de que la fase menos cargada presente problemas de sobretensión. El balance del sistema

consiste en redistribuir las cargas de los usuarios, de manera que se minimice el índice de desbalance. El proceso de distribución se realiza a través de las tres fases que componen el sistema, denominadas común-

Los sistemas de distribución con cargas desequilibradas tienen un costo operativo mayor, debido a que tales cargas producen mayores pérdidas netas en el sistema de potencia que en el caso balanceado.

mente R, S y T o A, B y C, en su orden.

Por medio de esta estrategia se busca disminuir las pérdidas netas de potencia activa, a la vez que se reducen los riesgos de sobretensión en las fases que se encuentran menos cargadas. Esto representa un aumento en la calidad y confiabilidad del suministro de fluido eléctrico, además de una ganancia en términos económicos para la empresa distribuidora.

Transferir la carga de una fase a otra no se puede realizar mediante de un proceso controlado continuo, ya que el consumo de los usuarios no es una cantidad conocida y es difícil tanto desde el punto de vista técnico como económico realizar un cambio de fases usuario por usuario. Desde el punto de vista práctico, sólo se puede transferir la carga de un conjunto de usuarios¹. Por las razones anteriores, este problema debe tratarse como un problema de programación no lineal entero mixto, donde el objetivo fundamental es minimizar el grado de desbalance del sistema. Para ello se utiliza un índice de desbalance por corrientes. En condiciones balanceadas, el sistema transporta la misma cantidad de corriente por las tres fases, por lo que el índice debe reportar un valor cero que indica que no existe desbalance.

Este índice se debe aplicar a todas las líneas que conforman el sistema de distribución; así, para cualquier cambio que se realice en la conexión de un punto de carga en el sistema, se debe analizar su efecto en el balance global (el de todas las líneas). Esta situación hace que el problema presente una explosión combinatorial para sistemas grandes (de muchos nodos).

Búsqueda tabú es una técnica combinatorial que ha demostrado ser eficiente en problemas de gran tamaño, encontrando soluciones de buena calidad a través de una búsqueda inteligente en el espacio de soluciones. El algoritmo de búsqueda tabú proviene de la inteligencia artificial y está basado en un proceso de memoria adaptativa, que lo diferencia de otros procesos de búsqueda sin memoria como algoritmos genéticos y *Simulated Annealing*. Además de esto, búsqueda tabú utiliza una es-

tructura de vecindad que le permite explorar el espacio de soluciones. El criterio empleado para construir el vecindario determina la eficiencia de búsqueda del algoritmo.

En este artículo, el balance de fases se realiza utilizando el algoritmo de búsqueda tabú. Para ello se plantean dos objetivos: minimizar las pérdidas de potencia y minimizar el grado de desbalance global del sistema de dis-

tribución, ambos con el fin de conseguir un ahorro en los costos de operación de la red.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: inicialmente se presenta una breve reseña histórica del problema de balanceo de fases, luego se expone la formulación matemática del problema, seguidamente se hace una descripción del algoritmo de búsqueda tabú y la implementación del mé-



todo. Por último, se presentan un ejemplo de prueba, los resultados obtenidos y las conclusiones del trabajo.

RESEÑA HISTÓRICA

Existen pocos trabajos alrededor del problema de balance de fases. En [1] el problema de balance de fases se plantea como un problema de programación entero mixto con restricciones lineales. En este caso, el modelo matemático sólo considera las restricciones de corrientes sobre la red. Las restricciones de voltaje no se consideran debido a la no linealidad intrínseca. La función objetivo está basada en el desbalance del sistema, el cual se mide a través de las corrientes que fluyen por las líneas. En [2] se presenta un planteamiento del problema de balanceo de fases utilizando la téc-

nica combinatorial de *Simulated Annealing*. La función objetivo usada es una versión modificada que penaliza el grado desbalance del sistema en términos del porcentaje de flujo de potencia que circula por cada fase y que tiene en cuenta, adicionalmente, el número de cambios que se realizan sobre la red. Para esta situación, la no linealidad del modelo se lleva implícitamente en el cálculo de un flujo de potencia AC.

El problema de balanceo de fases se trata con más detalle en [3], [4]. Otro aspecto fundamental que se debe tener en cuenta es que existen dos maneras de balancear las cargas en un sistema de energía: la primera estrategia se conoce como el problema de la reconfiguración, en la cual la demanda se distribuye entre los alimentadores

1. La demanda de un conjunto de usuarios es una cantidad desconocida, pero se puede estimar o pronosticar.

primarios del sistema que conformen una configuración óptima. Sobre este problema existen múltiples trabajos [5], [6], [7], [8]. La segunda estrategia es el problema de balanceo de fases previamente mencionado, en el cual la demanda se distribuye en el sistema a través del cambio de conexión de las fases en los propios nodos de demanda.

Puesto que el problema de balanceo de fases requiere un flujo de carga trifásico, existe el problema de múltiples soluciones. En esta investigación no se considera este aspecto. Un tratamiento de dicha temática se puede encontrar en [9].

Otro trabajo reciente acerca de balance de fases utilizando una regla heurística se halla en [10].

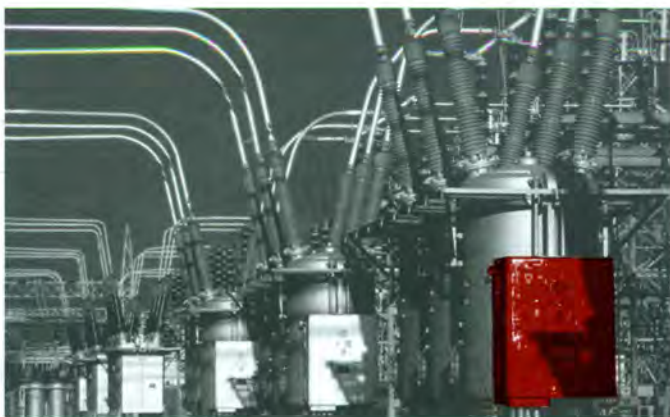
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A. Restricciones físicas

En razón de las características del problema, el modelamiento de los componentes del sistema debe realizarse en forma trifásica. Una de las razones principales es que no todas las cargas del sistema son trifásicas balanceadas. Muchas corresponden al sector residencial, el cual está compuesto por un gran número de usuarios con conexión de tipo monofásico.

En cuanto al sector industrial, éste registra usuarios con conexión del tipo trifásico, pero debido a la carga motriz que maneja no es posible realizar cualquier cambio de fases en estos nodos de carga, debido a que una inversión de secuencia de las fases puede causar traumas en los procesos de producción por la inversión del sentido de rotación que se presenta en los motores.

Existe otra restricción que está asociada a la topología del sistema, dado que es típico que los sistemas de distribución tengan ramales que no son trifásicos. Sobre los nodos de carga que se encuentran en dichos ramales, los cambios de fase dependen de las fases existentes físicamente, en el caso en que haya un circuito de dos fases. En el caso de circuitos monofásicos, estos ramales deben permanecer inalterados en el proceso de balanceo.



B. Modelo matemático

El primer enfoque dado al problema plantea una función objetivo que minimiza el grado de desbalance del sistema y el número de cambios que se deben realizar sujeto a las restricciones operativas de la red, como se muestra en (1).

$$\begin{aligned} \min \delta \cdot \sum_{j=1}^{nL} \sum_{k=1}^3 \varphi_j^k + \tau \cdot \sum_{i=1}^{nC} \psi(T_i^k, T_i^0) \\ \text{s.a.} \\ P_{3\phi} = f_p(V_{3\phi}, \theta_{3\phi}) \\ Q_{3\phi} = f_q(V_{3\phi}, \theta_{3\phi}) \\ V_{\min} < V_{3\phi} < V_{\max} \\ H_i \in \{1, \dots, 6\} \\ H_i \leq 3 \quad \forall i \mid i = \{\text{Carga motriz}\} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\psi(T_k, T_0) = \begin{cases} 0 & \text{si } T_i^k = T_i^0 \\ 1 & \text{si } T_i^k \neq T_i^0 \end{cases}$$

$$\varphi_j^k = \frac{|I_j^k - I_{prom}|}{I_{prom}} \times 100\%$$

$$I_{prom} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}$$

Donde:

nL : número de líneas.

nC : nodos de carga.

k : índice para las fases A, B y C.

δ : costo asociado al desbalance del sistema.

τ : costo asociado a un cambio de conexión en los nodos de carga.

La función ψ mide el número de cambios que se realizan sobre las cargas del sistema y es diferente de cero cuando se realiza un cambio de conexión, mientras que la función φ mide el grado de desbalance sobre las fases de cada tramo de línea y es diferente de cero cuando las fases de la línea j están desbalanceadas.

Las dos primeras restricciones de (1) corresponden a las ecuaciones de flujo de carga trifásico, en tanto que la tercera tiene en cuenta los límites operativos para el voltaje en las tres fases del sistema.

La codificación del problema se realiza a través del número H . Este número representa todos los posibles cambios de conexión que se pueden realizar sobre las cargas. En la tabla 1 aparece la nomenclatura utilizada.

Tabla 1
Codificación de las conexiones

Número (H)	Valor	Secuencia
1	ABC	No hay cambio de secuencia
2	BCA	
3	CAB	
4	ACB	Hay cambio de secuencia
5	BAC	
6	CBA	

El número 1 en la tabla anterior representa una conexión sin ninguna modificación en el sistema de distribución².

Debe tenerse en cuenta que las cargas motrices no pueden cambiar la secuencia de sus fases, por lo que esto invierte el sentido de giro de los motores trifásicos. Esta es una restricción adicional considerada en el modelo. También es posible limitar el número de cambios cuando no es posible cuantificar el costo de efectuar un cambio de fases a causa, por ejemplo, del desplazamiento de la cuadrilla y de la interrupción del servicio.

En la figura 1 se presenta un ejemplo para el cambio de conexión de una configuración ABC a una configuración CBA.

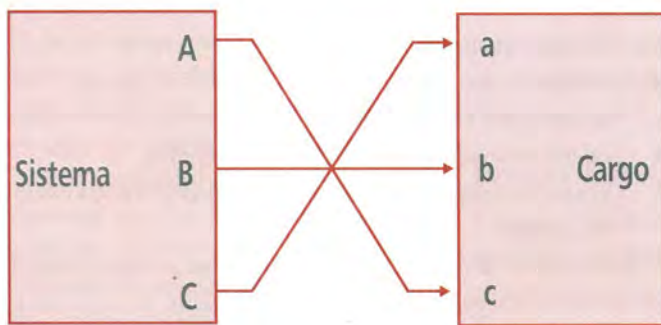


Figura 1. Ejemplo de un cambio de secuencia CBA.

El modelo anterior puede modificarse para que la función objetivo considere las pérdidas en vez del grado de desbalance. Esta modificación tiene implicaciones en el resultado final, como se muestra posteriormente. La expresión (2) muestra el modelo matemático considerando el costo de las pérdidas de potencia.

$$\min k_0 \text{Pérdidas}(V_{3\phi}, \theta_{3\phi}) + \tau \cdot \sum_{i=1}^{nC} \psi(T_i^k, T_i^0)$$

sa

$$P_{3\phi} = f_p(V_{3\phi}, \theta_{3\phi})$$

$$Q_{3\phi} = f_q(V_{3\phi}, \theta_{3\phi})$$

$$V_{\min} < V_{3\phi} < V_{\max}$$

$$H_i \in \{1, \dots, 6\}$$

$$H_i \leq 3 \quad \forall i \quad i = \{\text{Carga motriz}\}$$

(2)

Donde:

k_0 : costo asociado a las pérdidas de potencia activa totales.

Los modelos planteados en (1) y (2) sólo consideran un punto de operación de la curva de carga. En realidad, el programa de balance de fases debe realizarse para un período de planeamiento que considere una curva de carga discretizada en varios niveles, como se muestra en la figura 2. Estos niveles representan los estados de operación del sistema a lo largo del horizonte de estudio. De esta manera, se obtiene un balance de fases que es óptimo para un período de planeamiento y no para un instante de tiempo dado. Sin embargo, los modelos anteriores pueden adaptarse fácilmente a las condiciones reales, siempre y cuando se disponga de datos de demanda sobre los nodos de carga que se consideran en el problema de balanceo. La diferencia radica en la cantidad de información de entrada al algoritmo y en el esfuerzo computacional. Además, para llevar a cabo el balance de fases, se deben identificar claramente las fases a lo largo del sistema de distribución, es decir, que la fase tomada como referencia al principio de un alimentador debe conservarse hasta el final del mismo.

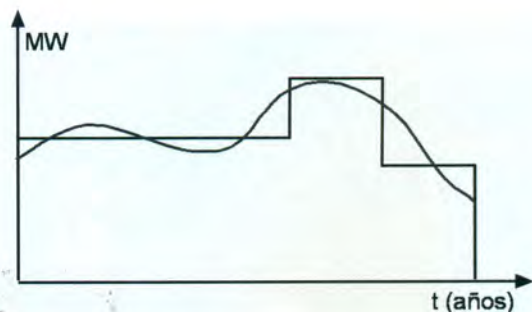


Figura 2. Curva de carga típica discretizada en tres niveles.

2. Puesto que en la etapa inicial del algoritmo propuesto no se realizó ningún cambio de conexión, todos los nodos de carga aparecen con una conexión de valor 1.

ALGORITMO DE BÚSQUEDA TABÚ

A. Definición

Búsqueda tabú [13], [14], [15], [16] es una técnica combinatorial que proviene de la inteligencia artificial, basada en una estructura de memoria adaptativa que le permite explorar el espacio de soluciones de manera eficiente a través de la estructura de vecindad. En la figura 3 se ilustra el concepto anterior.

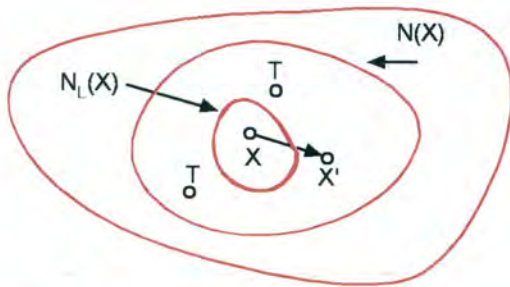


Figura 3. Ejemplo de vecindad en el espacio de solución.

Donde:

- X: configuración actual.
- X': configuración vecina.
- N(X): conjunto de vecinos posibles.
- $N_1(X)$: vecindario reducido.
- T: configuraciones prohibidas o tabú.

La idea del algoritmo es establecer algunos sitios o regiones del espacio de búsqueda como prohibidas. Esto permite reducir el espacio de soluciones, así como dirigir el esfuerzo de búsqueda hacia regiones más prometedoras. Igualmente es posible que durante la búsqueda el algoritmo se dirija a soluciones de peor calidad, pero la filosofía del método se fundamenta en que es mejor una mala selección con base en una estrategia, que una buena selección hecha de manera aleatoria. Con la estrategia anterior también se busca prevenir el ciclaje, es decir, visitar configuraciones que ya se exploraron durante el proceso de búsqueda.

B. Descripción

El algoritmo de búsqueda tabú básico involucra los siguientes elementos:

1. Configuración inicial

Una configuración es el conjunto de variables enteras del problema dispuesto en un arreglo (vector o matriz). La configuración inicial se puede generar de manera aleatoria o puede obtenerse usando un algoritmo constructivo que utilice factores de sensibilidad o cierta lógica heurística.

2. Generación del vecindario

Un vecino de una configuración X es una configuración X' obtenida a partir de X. Generalmente, el vector X' se obtiene modificando uno de los atributos del vector X (una posición del vector o matriz de la configuración X). Cada vecino generado se diferencia de X en una pequeña proporción. Este es el único criterio que se debe cumplir para construir el vecindario, ya que la manera como se genera depende de cada problema en particular; así, para el problema de balance de fases, un vecino se puede generar cambiando la conexión de una carga específica en el sistema de distribución.

En la mayor parte de los casos el vecindario N(X) puede ser muy grande, lo que implica un elevado esfuerzo de cómputo en el proceso de búsqueda. Debido a esto, se requiere reducir el número de vecinos a $N_1(X)$, redefiniendo las reglas de construcción del vecindario. Esta etapa es fundamental en el proceso ya que de ella depende, en gran parte, el éxito de la búsqueda.

Para el problema propuesto, en la figura 4 se muestran una codificación de una configuración X y su correspondiente configuración vecina X'.

	Nodo 1	Nodo 2	...	Nodo K	...	Nodo N-1	Nodo N
X =	5	1		3		3	2
	BAC	ABC		CAB		CBA	CAB
X' =	5	1		6		3	2

Figura 4. Ejemplo de una configuración vecina.

De la figura se observa que, en determinada etapa del algoritmo, al nodo 1 le corresponde una conexión BAC, la cual tiene asignado el número entero 5, y el nodo 2 tiene la conexión original, es decir, no ha sufrido modificación alguna. Una configuración vecina del vector X se forma modificando la conexión de cualquiera de los nodos; en este caso, el punto de carga correspondiente al nodo k cambió su conexión de 3 para 6. El vecindario es el conjunto de vectores que se forman alterando la conexión de uno de los nodos, mientras los otros permanecen fijos. Otro vecindario se podría formar alterando la conexión de dos nodos simultáneamente, mientras los demás permanecen en la misma posición. En ambos casos, el número de vecinos resultante de todas las combinaciones posibles es diferente y bastante amplio si el número de nodos es alto. En este trabajo sólo se permiten N vecinos, los cuales resultan de modificar, aleatoriamente entre 1 y 6, la conexión de un nodo de la configuración X. Esto porque la evaluación de cada configuración implica ejecutar un flujo de carga trifásico, lo que representa el esfuerzo computacional del método.

3. Selección del mejor vecino

Una vez definido el vecindario, se evalúa cada vecino para establecer el valor de su función objetivo y verificar si cumple o no con las restricciones planteadas; de esta manera se determina la factibilidad de la configuración vecina. Los vecinos se clasifican en una lista de acuerdo con el valor de la función objetivo y el proceso selecciona el mejor candidato. El primer candidato de la lista (de mejor función objetivo) se selecciona si él no es tabú (prohibido) y si es factible; de lo contrario, se busca entre los siguientes vecinos. Este modo de selección se denomina *búsqueda agresiva*.

Puesto que en cada iteración del proceso se almacena la mejor solución (incumbente), es posible que en una iteración dada el mejor candidato de la lista no tenga una mejor solución que la encontrada hasta el momento; en este caso, se debe seleccionar aquel que empeore menos la función objetivo y que no sea prohibido. Esta estrategia evita que el algoritmo sea atrapado por óptimos locales.

4. Actualización de la estructura tabú

El proceso de búsqueda tabú requiere una estructura tabú que tiene la misma codificación de la configuración X y que almacena la información de los atributos del vector X que han cambiado. Por ejemplo, los elementos del vector X que han cambiado en las últimas iteraciones se clasifican como prohibidos o *tabú*, durante un número determinado de iteraciones. Este número se almacena en la memoria de corto plazo y se conoce como *Status Tabu*. Varias posiciones de la configuración X pueden estar prohibidas y el *Status Tabu* puede o no ser variable a lo largo del proceso. Esto se conoce como proceso de memoria adaptativa y es una característica que, aparte de prevenir el ciclaje, permite que el proceso de búsqueda sea inteligente.

Nodo 1	Nodo 2	...	Nodo K	...	Nodo N-1	Nodo N
0	1		3		0	2

Figura 5. Vector de memoria de corto plazo.

En la figura 5 se muestra que en determinada etapa del proceso de búsqueda, el nodo K está prohibido para las tres iteraciones siguientes con *Status Tabú* = 3, es decir, que las configuraciones que se obtienen con la modificación de la conexión de este nodo se clasifican tabú. Un vecino generado a partir de una posición prohibida no puede seleccionarse de la lista de candidatos, a no ser que su función objetivo sea mejor que la incumbente encontrada hasta el momento. Esto se denomina *criterio de aspiración*. Este criterio compensa, en parte, el hecho de que al establecer posiciones tabú se reduce el espacio de búsqueda y pueden ignorarse configuraciones de buena calidad. Finalmente,

cuando se selecciona el mejor vecino, la posición de la configuración X a partir de la cual se generó se debe prohibir durante m iteraciones y los sitios que ya estaban prohibidos deben disminuir su *Status Tabú* en una iteración. Esto corresponde al proceso de actualización de la estructura tabú.

IMPLEMENTACIÓN

El problema de balance de fases se resuelve por medio de su descomposición en dos subproblemas: un problema maestro que involucra las variables enteras y que envía una propuesta de configuración de cargas, y un problema esclavo u operativo que recibe la propuesta del problema maestro y la evalúa a través del flujo de carga trifásico. De esta manera el problema esclavo suministra información sobre los costos y la factibilidad de las conexiones de cargas realizadas por el problema maestro. En la figura 6 se muestra la manera como se descompone el problema.



Figura 6. Descomposición del problema de balanceo de fases.

PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

La metodología desarrollada se probó con el sistema IEEE de 37 nodos. Este es un sistema trifásico constituido totalmente por líneas subterráneas. Los usuarios de la red son de tipo residencial. Los datos de este sistema se encuentran en [11], [12]. Para el balanceo de fases se utilizaron los modelos planteados en (1) y (2). Se presumió un valor de $\tau = 0$, $\delta = \epsilon_0 = 1$. De esta manera se ignoran las penalizaciones por el número de cambios realizados y se analiza la máxima reducción de pérdidas y de desbalance posible en el sistema.

En la figura 8 se registra la convergencia del algoritmo utilizando ambas funciones objetivo: desde el punto de vista de las pérdidas (inferior) y del desbalance global (superior) del sistema. Se puede observar que mientras la gráfica de pérdidas es estrictamente decreciente, la gráfica de desbalance no lo es, aunque en forma global también decrece con las pérdidas. Esto muestra que existen algunas configuraciones

de carga, las cuales, pese a presentar mayor grado de desbalance, operan con menores pérdidas. Se debe anotar que este resultado se obtiene para el caso de un sistema trifásico que no tiene neutro en el sistema de distribución primario, lo cual es típico en muchos de los sistemas de distribución existentes. Sin embargo, en el caso de existir neutro, las pérdidas que este conductor adicional aporta cambian los resultados.

En el ejemplo resuelto, las pérdidas iniciales eran de 33,29 kW. Después de realizar el balanceo se obtuvieron unas pérdidas de 29,96 kW. En la tabla 2 aparecen los cambios efectuados. En total se realizaron 16 cambios para una reducción de pérdidas de aproximadamente 10%. Las casillas con líneas punteadas representan nodos en los cuales no se hizo ningún cambio.

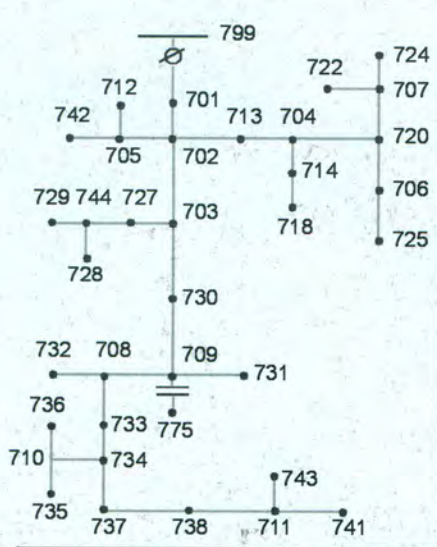


Figura 7. Sistema de prueba IEEE.

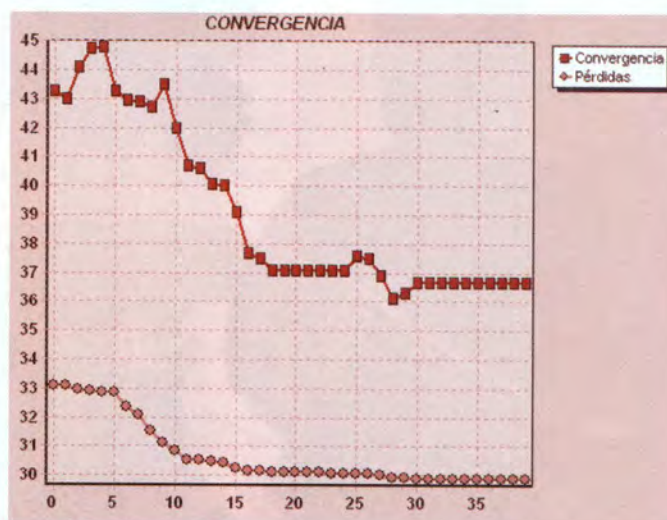


Figura 8. Pérdidas y desbalance global del sistema.

Tabla 2
Cambios realizados por nodo de carga

Nodo	Cambio	Nodo	Cambio
701	CBA	730	---
712	ACB	731	---
713	CBA	732	CBA
714	CAB	733	---
718	---	734	---
720	ACB	735	ACB
722	CAB	736	ACB
724	BCA	737	BAC
725	CBA	738	---
727	BCA	740	---
728	---	741	ACB
729	BCA	742	BCA
730	---	744	---

CONCLUSIONES

• Se presentó una metodología que resuelve el problema de balance de fases de manera eficiente y que la puede implementar una empresa distribuidora con el fin de reducir costos operativos. La calidad de las respuestas obtenidas por el método está en función de los datos suministrados.

- El algoritmo de búsqueda tabú permite encontrar soluciones de buena calidad para problemas de gran tamaño que no pueden ser resueltos por metodologías exactas y cuya solución por un método exhaustivo es imposible.
- De acuerdo con los resultados, se observa que no necesariamente un índice de desbalance menor produce

menores pérdidas. Esto motiva a que el modelo matemático para el problema de balanceo de fases esté basado en un índice de reducción de pérdidas y no en un índice de reducción del desbalance.

• La reducción de pérdidas a través del balance de fases resulta muy atractiva por su bajo costo de inversión. Adicionalmente, los ahorros en los costos de operación pueden ser significativos en la medida en que el sistema tenga un alto grado de desbalance.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Jinxiang, Z., Chow, M.Y. & Chang, Z. (1998). Phase Balancing Using Mixed Integer Programming. *IEEE Transaction on Power Systems*, vol 13, N° 4, November.
- [2] Jinxiang, Z., Griff, B. & Chow, M.Y. (1999). Phase Balancing Using Simulated Annealing. *IEEE Transaction on Power Systems*, vol 14, N° 4, November.
- [3] Zhu, J., Chow, M.Y. & Zhang, F. (1998). "Phase Swapping to Balance a Radial Feeder System", presented in *IEEE PES, Winter Meeting*.
- [4] Zhu, J., Chow M.Y. & Hoffman, K. (1997). "Phase Balancing Optimization for a Large-scale Feeder System", submitted to *IEEE Transactions on Power Systems*.
- [5] Chang, R.F., Non & Lu, C.N. (2002.) IEEE Feeder Reconfiguration for Load Factor Improvement. *Power engineering society winter meeting IEEE*, vol. 2, January, pp. 27-31.
- [6] Zhou, Qin, Shirmohammadi Dariush, W.H. Liu Edwin (1997). Distribution Feeder Reconfiguration for Operation Cost Reduction. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 12, N° 2, May, pp. 730-735.
- [7] Wagner, T.P., Chikhani, A.Y. & Hackam, R. (1991). Feeder Reconfiguration for Loss Reduction: An Application of Distribution Automation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 6, N° 4, pp. 1922-1933.
- [8] Zhou, Qin, Shirmohammadi Dariush, W. & Liu Edwin (1997). Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 12, N° 2, May, pp. 724-729.

- [9] Wang, Yuanning & Xu, Wilsun (2003). The Existence of Multiple Power Flow Solutions in Unbalanced Three-Phase Circuits. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 18, N° 2, May, pp. 605-610.
- [10] Lin, Chia-Hung, Chen, Chao-Shun, Chuang, Hui-Jen & Ho, Cheng-Yu (2005). Heuristic Rule-Based Phase Balancing of Distribution Systems by Considering Customer Load Patterns. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, N° 2, May, pp. 709-716.
- [11] IEEE Distribution Planning Working Group Report (1991). Radial Distribution Test Feeders. *Transactions on Power Systems*, vol. 6, N° 3, August.
- [12] Radial Test Feeders - IEEE Distribution System Analysis Subcommittee. En: <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html>.
- [13] Glover, Fred & Melián, Belén. *Tabu Search*. University of Colorado Boulder, CO 80309-0419, USA Departamento de Estadística, I.O. y Computación. Centro Superior de Informática. Universidad de La Laguna.
- [14] Glover Fred, González J. L. et al. (1966). *Optimización heurística y redes neuronales*. España: Editorial Paraninfo. ISBN 84-283-2269-4.
- [15] Glover, Fred & Kochenberger, Gary A. (2003). *Handbook of Metaheuristics*. University of Colorado at Denver. ISBN 1-4020-7263-5.
- [16] Glover, Fred & Laguna, Manuel (1997). *Tabu Search*. University of Colorado at Boulder Kluwer Academic Publisher. 🐟

Valoración del cargo por capacidad con base en valores observados del mercado de energía eléctrica colombiano y relación con hidrología crítica, confiabilidad y costo del racionamiento

Rafael Campo¹, Roberto Ríos², Iván Forero², Paula Ríos² y Héctor Hernández²

Abstract

Capacity payments are a contentious issue in many power markets, including the Colombian one. Issues like fair compensation to assure appropriate supply have been debated for a number of years, without clear resolution. This paper is a contribution towards this debate. It is proven that capacity charges can be viewed as an option paid by the consumers to keep spot prices under the price of the first rationing step (at present, approximately 200 US\$/MWh), when droughts produced by El Niño events take place (the Colombian generation system is about 70% hydro). The value of this option is estimated by adapting Kholodny's Non Markovian model [1] to the Colombian power system. It is proven that the option value so determined depends on prevailing supply-demand market conditions, observed spot prices, probabilities of El Niño events and the cost of rationing. In this way, for the first time, it is shown how these variables are interrelated. A geometric mean reverting model is fit to monthly spot prices. As an alternative, marginal costs of centralized minimum cost dispatch program MPODE are used as spot prices proxies. The resulting mathematical model is programmed on a spread sheet, which allows for easy sensitivity analysis and provides transparency to the process that determines capacity payments. Numerical results are encouraging, since obtained values prove to be close to the values being used at present, under a set of reasonable assumptions.

1. Consultor independiente.

2. Escuela Colombiana de Ingeniería.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se adapta un modelo no markoviano introducido por V. Kholodnyi [1] al mercado de energía eléctrica colombiano. El modelo se usa a continuación en la estimación del cargo por capacidad. La utilización del modelo permite obtener por primera vez cargos por capacidad sustentados en los resultados del mercado de energía eléctrica colombiano (en la actualidad, el valor del cargo por capacidad se determina con base en el costo fijo de una turbina de gas de ciclo abierto, con características tales como la vida útil definidas por la autoridad regulatoria –Comisión de Regulación de Energía y Gas, Creg–, que se supone es la unidad de punta). La introducción del modelo permite obtener, también por primera vez, una relación directa entre confiabilidad, costo del déficit e hidrología crítica, de nuevo con sustentación en el comportamiento observado del mercado. Es importante hacer notar que es la primera vez que el modelo no markoviano se utiliza para sistemas predominantemente hidroeléctricos.

La idea básica que se usó en las aplicaciones del modelo es la interpretación del cargo por capacidad como el valor de una opción de cubrimiento del riesgo para los consumidores frente a subidas pronunciadas en los precios (*spikes*), ocasionadas por la presencia de hidrologías extremas, originadas por el fenómeno del Niño. Esta idea se propuso en estudios que se hicieron anteriormente ([2] y [3]), aunque sólo hasta ahora se proporcionan estimativos numéricos de las

opciones allí propuestas.

En primer lugar, se describe el problema que acá se resuelve y se proporciona una intuición física de la formulación matemática utili-

zada. En segundo término, se explica el modelo matemático. En tercera instancia, se demuestra cómo el modelo puede utilizarse para la valoración de opciones europeas sobre precios de la electricidad en presencia de *spikes*. En cuarto lugar, se aplica lo anterior a la estimación del cargo por capacidad y se incluyen sensibilidades que indican claramente la relación entre cargo por capacidad, costo del racionamiento,

La utilización del modelo permite obtener por primera vez cargos por capacidad sustentados en los resultados del mercado de energía eléctrica colombiano.

criterios de confiabilidad e hidrología crítica utilizada. Finalmente, se presentan las conclusiones.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los mercados eléctricos presentan puntas (*spikes*) en los precios, a causa de la escasez coyuntural en la oferta de generación. Por ejemplo, en junio de 1998 el precio del MWh llegó en el medio oeste de Estados Unidos a valores del orden de US\$7.000, cuando el precio típico oscilaba alrededor de 30 US\$/MWh. En Colombia, el precio de la energía en la bolsa ha llegado a valores superiores a 260 \$/kWh, cuando el promedio está en alrededor de 70 \$/kWh (ambas cantidades en pesos constantes a enero de 2005). Muy seguramente se habrían observado precios mayores de no existir regulaciones (con amenazas de intervención de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, SSPD) en caso de que estos precios excedan el primer escalón de racionamiento.

Es evidente que trasladar a los consumidores precios superiores al primer escalón de racionamiento no es políticamente aceptable. Esta es una realidad que hay que tener en cuenta. Costos inferiores siempre al primer escalón de racionamiento, sin embargo, a más de distorsionar la señal del mercado, pueden hacer inviables proyectos que se construyen únicamente con el propósito de proporcionar confiabilidad al sistema en períodos de bajos aportes energéticos ocasionados, por ejemplo, por ocurrencias del Niño. La solución que se ha adoptado en Colombia consiste en incrementar los ingresos de los generadores en un "cargo por capacidad", responsable por cerca del 40% de los ingresos promedios de los generadores (figura 1).

La implantación del cargo por capacidad ha presentado varios problemas relacionados con los parámetros y el programa computacional usados para cuantificarlo y el monto unitario de la compensación. Se han propuesto varias soluciones en diferentes estudios realizados por la Universidad de Comillas en España y la firma Tera; la Creg recientemente presentó el borrador de una nueva reglamentación del cargo por capacidad que están discutiendo agentes del mercado. Los tres enfoques comparten la introducción de mecanismos de mercado para determinar la remuneración de los generadores por cargo por capacidad (o cargo por confiabilidad, para utilizar la nueva terminología de la Creg).

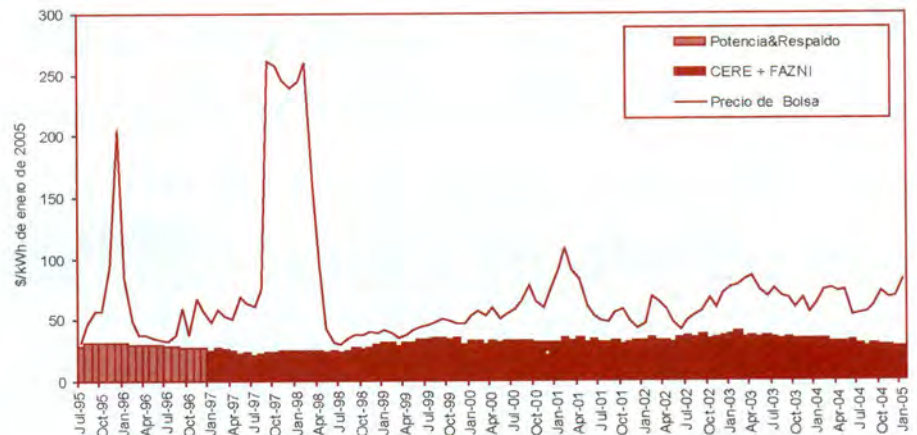


Figura 1. Precios mensuales de bolsa³ (\$/kWh; pesos de enero de 2005).

El cargo por capacidad puede concebirse como una opción que pagan los consumidores para adquirir la electricidad que requieren, aun en épocas de escasez ocasionadas por el Niño, a precios razonables. No existen, sin embargo, estimaciones cuantitativas del valor de estas opciones, basadas en los precios observados en el mercado de energía eléctrica colombiano. El presente trabajo de investigación es una contribución a la determinación de este valor que corresponde al precio de opciones europeas para protección frente a la ocurrencia de *spikes* en los precios del mercado *spot* (o bolsa de energía). Se basa en un modelo no markoviano, lo que permite no tener que suponer que el mecanismo por medio del cual los *spikes* decaen, es también responsable por la reversión a la media de los precios de la electricidad a largo plazo en el régimen sin *spikes*.

Se supone que la transición entre los regímenes de precios con *spikes* (*s*) y regular o sin *spikes* (*r*) está regida por una cadena homogénea de Markov.

MODELO MATEMÁTICO

Transición entre regímenes de precios

Llamando $P_{rs}(T,t)$ a la probabilidad de transición del estado *s* en *t* al estado *r* en *T*.

La siguiente es entonces la matriz de transición de probabilidades del proceso de Markov bajo análisis:

$$P(T,t) = \begin{bmatrix} P_{ss}(T,t) & P_{sr}(T,t) \\ P_{rs}(T,t) & P_{rr}(T,t) \end{bmatrix}$$

3. Cere: Costo Equivalente Real de Energía del cargo por capacidad real, Resolución Creg 98 de 1996.

Fazni: Fondo de Apoyo Financiero para la energización de las zonas no interconectadas, resoluciones Creg 116 de 1996 y 005 de 2001.

Como se supone que el proceso de Markov es homogéneo, la matriz del proceso depende únicamente de la diferencia entre T y t , como sigue:

$$P(T,t) = P(T-t)$$

y

$$P(T-t) = \begin{bmatrix} P_{ss}(T-t) & P_{sr}(T-t) \\ P_{rs}(T-t) & P_{rr}(T-t) \end{bmatrix}$$

Aunque en este trabajo se supone que el proceso es homogéneo, algunas de las deducciones se hacen primero para el caso más general.

Nótese que, puesto que $P(T,t)$ es una matriz de probabilidades:

$$P_{ss}(T-t) + P_{rs}(T-t) = 1 \quad (1.a)$$

y

$$P_{sr}(T-t) + P_{rr}(T-t) = 1 \quad (1.b)$$

Adicionalmente:

$$P_{ss}(T-t), P_{rs}(T-t), P_{sr}(T-t)$$

$$\text{y } P_{rr}(T-t) \geq 0$$

Generadores del proceso markoviano de transición entre estados

La familia de matrices definida como:

$$L = \frac{d}{dT} P(T-t) \Big|_{T=t} = \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ L_{rs} & L_{rr} \end{bmatrix}$$

se denomina un generador del proceso markoviano M_t .

Entonces

$$P(T,t) = e^{(T-t)L}$$

Con base en (1.a) y (1.b), puede verse que

$$L_{ss} + L_{rs} = 0$$

y

$$L_{sr} + L_{rr} = 0$$

Ambas ecuaciones implican que uno de los dos términos es positivo y el otro negativo, aunque ambos tienen igual valor absoluto. Por otra parte, para $T = t$, la matriz P se hace igual a la identidad. Para T un poco mayor que t , en consecuencia, el valor de $P_{ss}(T-t)$ sólo puede decrecer, en tanto que el de $P_{rs}(T-t)$ sólo puede aumentar. Algo

similar ocurre con $P_{rr}(T-t)$ y $P_{sr}(T-t)$. Por tanto:

$$L_{ss} \leq 0 \text{ y } L_{rs} \geq 0$$

y, en forma similar:

$$L_{rr} \leq 0 \text{ y } L_{sr} \geq 0$$

Es posible entonces introducir dos números no negativos que caracterizan a L en forma total: a y b , ya que

$$a = -L_{ss} = L_{rs}$$

y

$$b = -L_{rr} = L_{sr}$$

Estos números también caracterizan a P , puesto que, como se indicó con anterioridad, P puede obtenerse a partir de L .

Puede entonces demostrarse que: Si

$$c = e^{-(T-t)(a+b)}$$

$$P(T-t) = \begin{bmatrix} \frac{b+ac}{a+b} & \frac{b-bc}{a+b} \\ \frac{a-ac}{a+b} & \frac{a+bc}{a+b} \end{bmatrix}$$

Donde a y b se definieron con anterioridad.

Descomposición de las probabilidades de transición

Esta sección se basa en la ecuación de Chapman-Kolmogorov, que establece que

$$P(T,t) = P(T,\tau) P(\tau,t)$$

para

$$t \leq \tau \leq T$$

Puede demostrarse entonces que:

$$P_{ss}^s(T,t) = P_{ss}^s(T,t) + P_{ss}^r(T,t)$$

$$P_{ss}^s(T,t) = e^{\int_t^T L_{ss}(\tau) d\tau}$$

$$P_{ss}^r(T,t) = \int_t^T P_{rs}(\tau,t) L_{sr}(\tau) \cdot e^{\int_t^\tau L_{ss}(\theta) d\theta} d\tau$$

Es decir, la probabilidad de ir del estado s en el instante t al estado s en el instante T , es igual a la probabilidad de

estar todo el tiempo en el estado s (*spike*) más la probabilidad de hacer una transición de s al estado r en τ , $t \leq \tau \leq T$, otra de ahí al estado s y luego permanecer en el estado s .

Igualmente, con la ayuda de Chapman-Kolmogorov puede demostrarse que:

$$P_{sr}(T,t) = \int_t^T P_{rr}(\tau,t) L_{sr}(\tau) \cdot e^{\int_t^\tau L_{ss}(\theta) d\theta} d\tau$$

Es decir, que la probabilidad de ir de r en t a s en T es igual a la probabilidad de quedarse en r hasta τ , $t \leq \tau \leq T$, hacer una transición a s en τ y permanecer en s hasta T .

Proceso estocástico no markoviano para precios de la electricidad

Sea Π_t el precio de la electricidad en \$/kWh, cuando el proceso se encuentra en el estado s (con *spikes*) y sea Π_r^* cuando se encuentra en el estado r .

Supongamos que λ es una variable aleatoria mayor que 1, con función de densidad de probabilidad igual a f , es decir:

$$f(t, d\lambda) = \text{prob}[\lambda \in (\lambda, \lambda + d\lambda)]$$

λ representa un factor multiplicador que, multiplicado por el precio en el estado regular, produce un precio en el estado *spike*.

Nótese que esta función de densidad puede depender del tiempo y adicionalmente que λ es independiente de Π^* .

Para lo que sigue, se utilizan los resultados anteriores.

1. Se supone que el precio en t se encuentra en el estado regular. Entonces puede

i) pasar al estado *spike* en T , es decir:

$\Pi_T \in [\lambda \Pi_r^*, (\lambda + d\lambda) \Pi_r^*]$, $\lambda > 1$, con probabilidad igual a:

$$\int_t^T f(\tau, d\lambda) P_{rr}(\tau,t) L_{sr}(\tau) \cdot e^{\int_t^\tau L_{ss}(\theta) d\theta} d\tau$$

o,

ii) alternativamente, puede quedarse en estado regular con probabilidad igual a:

$$P_{rr}(T,t)$$

2. Si el precio en t se encuentra en el estado *spike*, es decir:

$$\Pi_t = \lambda \Pi_T^* \text{ para } \lambda > 1, \text{ entonces puede:}$$

i) Quedarse en el estado *spike* hasta el tiempo T , con probabilidad $P_{ss}(T,t)$

Nótese que “quedarse en el estado *spike*” equivale a decir que

$$\Pi_T = \lambda \Pi_T^* \text{ ó}$$

ii) Hacer una transición al estado regular en $\tau, t \leq \tau \leq T$, otra del estado regular al estado *spike* y quedarse en el estado *spike*, lo que equivale a decir que:

$\Pi_T \in [\lambda \Pi_T^*, (\lambda + d \lambda) \Pi_T^*], \lambda > 1$, con probabilidad igual a:

$$\int_t^T f(\tau, d\lambda) P_{rs}(\tau, t) L_{sr}(\tau) \cdot e^{\int_t^T L_{rs}(\theta) d\theta} d\tau \text{ ó}$$

iii) Puede pasar al estado regular en T , con probabilidad igual a $P_{rs}(T,t)$.

Las anteriores caracterizaciones del proceso estocástico del precio en presencia de *spikes* revelan su carácter no markoviano. En consecuencia, no es necesario suponer que el proceso estocástico que representa el precio en el régimen regular es markoviano.

Estimación de parámetros

Puede demostrarse que cuando se supone que la cadena de Markov es homogénea, la duración esperada de los *spikes* es igual a $1/a$ y la del estado regular es $1/b$, donde a y b se introdujeron anteriormente. Los valores de a y b entonces se interpretan como el inverso de las duraciones promedias de los *spikes* y de los períodos entre *spikes*, respectivamente.

La función de densidad de la magnitud de los *spikes*, $f(t, d\lambda)$, puede estimarse con base en los datos históricos.

VALORACIÓN DE OPCIONES EUROPEAS SOBRE PRECIOS DE LA ELECTRICIDAD EN PRESENCIA DE SPIKES

Sin spikes

Sea g la ganancia (puede ser cero) que se obtiene en T con una opción sobre el precio de la electricidad negociada en t , cuando la tasa de descuento es igual a r , que suponemos constante. Llamamos O_R al valor de la opción que resulta ser igual a:

$$O_R(t, T, g) = O_R(t, T, g)(\Pi_t^*) = e^{-r(T-t)} \sum_{i=1}^{N_H} g(\Pi_i^*) \Pr(i)$$

donde el término exponencial se utiliza para traer la sumatoria a valor presente. Dentro de la sumatoria, $g(\Pi_i^*)$ es la ganancia correspondiente al precio Π_i^* de electricidad en T y $\Pr(i)$ es la probabilidad de ocurrencia de la hidrocondición i (se suponen N_H hidrocondiciones).

Con spikes

Existen dos posibilidades, según el proceso estocástico que representa el precio que se encuentre en t en el estado con *spikes* o en el estado regular, como sigue:

Se define primero $H\lambda(s) = g(\lambda s)$, esto es, la ganancia de la opción cuando el precio en s se reemplaza por λs ; λ se definió anteriormente.

Precio inicial en estado regular

En este caso, el valor de la opción en t es O_r y está dado por la siguiente ecuación:

$$O_r(t, T, g) = P_{rr}(T, t) \cdot O_R(t, T, g) + O_R(t, T, g^*)$$

donde

$$g^* = \int_1^\infty f_r(t, T, d\lambda) g H\lambda$$

$f_r(t, T, d\lambda)$ es la función de densidad de probabilidad de g^* y viene dada por

$$f_r(t, T, d\lambda) = \int_t^T f(\tau, \lambda) P_{rr}(\tau, t) L_{sr}(\tau) \cdot e^{\int_t^T L_{rs}(\theta) d\theta} d\tau$$

Es decir, que dado que el estado inicial del proceso estocástico del precio es el regular, existen dos posibilidades: que el proceso permanezca en estado regular o que haga una transición al estado *spike* en algún instante de tiempo entre t y T . Para cada una de estas opciones aplican luego las probabilidades y los valores esperados de la opción correspondientes.

Precio inicial en estado spike

En este caso, el estado inicial es $\Pi_t = \lambda \Pi_t^*$; el valor de la opción en t , $O_s(t, T, g)$ viene dado por

$$O_s(t, T, g) = P_{ss}^*(T, t) O_R(t, T, H\lambda) + O_R(t, T, g^*) + P_{rs}(T, t) O_R(t, T, g)$$

donde:

$$g^* = \int_1^\infty f_s(t, T, d\lambda) \cdot H\lambda$$

$$f_s(t, T, d\lambda) = \int_t^T f(\tau, d\lambda) P_{rs}(\tau, t) L_{sr}(\tau) \cdot e^{\int_t^T L_{rs}(\theta) d\theta} d\tau$$

Es decir, que dado que el estado inicial del proceso estocástico del precio es el *spike*, existen tres posibilidades:

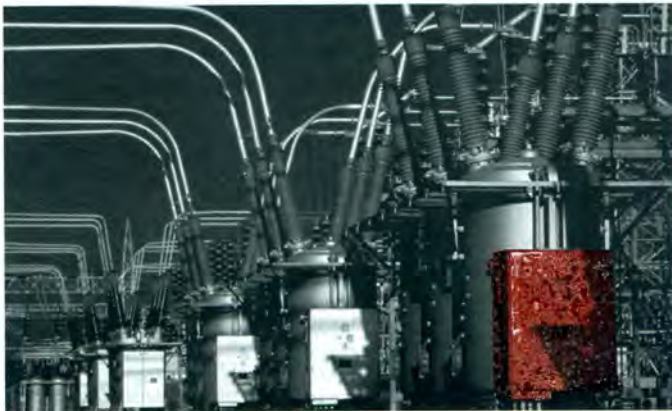
i) que el proceso permanezca en estado *spike*, ii) que haga

una transición al estado regular en algún instante de tiempo entre t y T y de ahí regrese al *spike*, y iii) que haga una transición al estado regular y se quede en el estado regular. Para cada una de estas posibilidades aplican luego las probabilidades y los valores esperados de la opción correspondiente.

Nótese que las posibilidades analizadas para precios de opciones son las mismas que aparecen en la definición del proceso estocástico de precios.

Las ecuaciones que definen los valores de las opciones europeas en el caso de que haya *spikes* en el proceso estocástico de los precios permiten concluir que estas opciones pueden interpretarse como portafolios de opciones europeas cuando los precios no presentan *spikes*. Puesto que las opciones europeas son lineales en función de sus ganancias, las opciones europeas con *spikes* en los precios pueden representarse como una sola opción en ausencia de *spikes*. Más tarde se estudiará el impacto de esta conclusión con respecto al cargo por capacidad.

Una conclusión de este análisis es que opciones europeas con *spikes* en los precios pueden valorarse dinámicamente y, en consecuencia, cubrirse en forma dinámica sobre *forwards* (contratos) en lugar de sobre precios *spot*.



Casos especiales

Magnitud constante para los *spikes*

En este caso puede verse que si el estado inicial es el regular, entonces

$$O_r(t, T, g) = P_{rr}(T, t)O_R(t, T, g) + P_{sr}(T, t)O_R(t, T, H\lambda)$$

Por otra parte, si el estado inicial es con *spikes*, entonces:

$$O_s(t, T, g) = P_{ss}(T, t)O_R(t, T, H\lambda) + P_{rs}(T, t)O_R(t, T, g)$$

Distribución de probabilidades de la magnitud de los *spikes* es independiente del tiempo

En este caso $f(t, d\lambda) = f(d\lambda)$ y las ecuaciones de valores de las opciones se convierten en:

• Para el estado inicial del proceso estocástico de precios igual al regular

$$O_r(t, T, g) = P_{rr}(T, t)O_R(t, T, g) + P_{sr}(T, t)O_R(t, T, g^*)$$

o

• si el estado inicial es el de *spikes*, entonces

$$O_s(t, T, g) = P_{ss}^s(T, t)O_R(t, T, H\lambda) + P_{rs}^f(T, t)O_R(t, T, g^*) + P_{rs}(T, t)O_R(t, T, g)$$

donde

$$g^* = \int_1^{\infty} f(d\lambda)H\lambda$$

Spikes raros y de corta vida

Esta situación se da cuando $a \gg b$. En este caso, el valor de las opciones europeas con *spikes* es una corrección al valor de estas opciones sin *spikes*. Sea

$$t_{car} = b / a;$$

entonces puede demostrarse que el valor de opciones europeas en presencia de *spikes*, que se llamara $O(t, T, g)$ es igual a:

$$O(t, T, g) = O_R(t, T, g) + t_{car} O_R(t, T, \Delta g)$$

donde

$$\Delta g = \int_1^{\infty} f(T, d\lambda)H\lambda - g$$

APLICACIÓN A LA ESTIMACIÓN DEL CARGO POR CAPACIDAD

Con el objeto de ilustrar la utilización del modelo en la evaluación del cargo por capacidad, suponga que el 1° de diciembre de 2004 se desea encontrar el valor de una opción de compra (*call*) que proteja contra *spikes* en febrero de 2006. Es pertinente hacer énfasis en que los resultados obtenidos son meramente ilustrativos.

Para este caso se utilizan las siguientes suposiciones:

1. La duración esperada del estado *spike* es de seis meses (el tiempo aproximado que duró el *spike* de 1997-1998, que corresponde más o menos al tiempo medio del efecto de un Niño sobre los precios de la electricidad).
2. La duración esperada del período regular es de 36 meses (duración esperada entre la ocurrencia de dos Niños).
3. La tasa de descuento "sin riesgo" es constante e igual al 10%.
4. Los *spikes* tienen magnitudes constantes, iguales al primer escalón de racionamiento al que, por consistencia, se le extrae el cargo por capacidad (450 \$/kWh).
5. Se utiliza el programa MPODE para simular los costos marginales mensuales en febrero de 2006 para cada una

de cien hidrologías equiprobables. Se supone que estos costos marginales son iguales a los precios de bolsa para las hidrologías simuladas.

Nótese que $T = 14$ meses; con base en las suposiciones 1 y 2:

$$a = 1/6 = 0,1667$$

$$b = 1/36 = 0,02778$$

$$P_{sr}(T,t) = \frac{b - b \cdot e^{-14(a+b)}}{a + b} = 0,1334$$

y

$$P_{rr}(T,t) = 1 - 0,1334 = 0,8666$$

Resulta interesante comparar estas probabilidades con las calculadas por Patricia Mejía [4], quien utiliza la serie histórica de caudales e información meteorológica adicional (por ejemplo, sobre el Índice de Oscilación del Sur, IOS) para modelar la transición entre los estados Niño y no Niño como una cadena homogénea de Markov. Las probabilidades de transición calculadas por Mejía son:

$$P_{rr}(T,t) = 0,8211$$

y

$$P_{sr}(T,t) = 0,1789$$

con valores cercanos a los calculados en esta investigación.

El valor de $O_R(t,T,g)$ se determina con base en precios de bolsa estimados para febrero de 2006, obtenidos a partir de costos marginales del MPODE para cada una de cien hidrologías de igual probabilidad de ocurrencia como se indicó en 5 anteriormente, a los que se les añade una “prima de riesgo” para obtener precios de bolsa. Para el valor del precio *strike* que se utiliza, se obtiene para O_R un valor de cero.

Se observa a continuación que el precio promedio de bolsa (sin cargo por capacidad) en los años 1999-2004 fue de alrededor de 28,58 \$/kWh. El valor de λ puede entonces estimarse como:

$$\lambda = 450 / 28,58 = 15,75$$

Con este valor de λ se obtiene para $O_R(t,T,g^*)$ un valor de 172,54 \$/kWh. El valor de O_r resulta entonces ser igual a:

$$(0,8666 * 0 + 0,1334 * 172,54) e^{(-0,10 \frac{14}{12})} = 20,49 \text{ \$/kWh}$$

resultado que es aplicación directa de la fórmula

$$O_r = P_{rr}(T,t)O_R(t,T,g) + P_{sr}(T,t)O_R(t,T,g^*)$$

valor inferior al del actual cargo por capacidad (30,96 \$/kWh).

Puede argumentarse que los costos marginales del MPODE subestiman los precios de bolsa, dado que el programa supone un conocimiento perfecto hacia el futuro de la demanda y de los precios de los combustibles. Adicionalmente, el programa presume en forma implícita perfecta

coordinación entre los generadores para obtener un despacho centralizado de mínimo costo. Es muy probable entonces que los generadores añadan al MPODE una “prima de riesgo”. Efectivamente, el costo marginal promedio del MPODE en el período bajo análisis fue de 23,31 \$/kWh vs. 28,58 \$/kWh para los precios de bolsa. Por esta razón y porque el MPODE no estuvo a disposición



de los autores de esta investigación, se utilizó un segundo enfoque basado en una representación de los precios de bolsa como un movimiento browniano geométrico con reversión a la media. Puede demostrarse que para estos procesos estocásticos

$$L(n) = a + L(n-1) + e(n)$$

donde $L(n)$ es el logaritmo del precio de mercado en n y los $e(n)$ son variables aleatorias independientes con distribución normal, media cero y varianza σ^2 .

Este modelo se generaliza como sigue:

$$L(n) = a + b L(n-1) + e(n)$$

Se suponen dos estaciones, seca y húmeda. La seca incluye los meses de diciembre a abril y la húmeda los demás meses. Se ajustan modelos por separado para las estaciones seca y húmeda. Puede demostrarse que, en relación con un mes dado inicial que se llama el mes 0, el valor de $L(n)$, n meses más tarde tiene una distribución lognormal con media $m(n)$ y varianza $v(n)$ dadas por:

$$m(n) = [a(1 - b^n) / (1 - b)] + b^n L(0)$$

y

$$v(n) = \sigma^2 (1 - b^{2n}) / (1 - b^2)$$

Tomando como base los precios de bolsa en el período enero de 1999 a diciembre de 2004, se obtienen los siguientes valores para la estación seca:

$$a = 0,8333$$

$$b = 0,7426$$

$$\text{RMS (Root Mean Square)} = 0,4787$$

Con base en estas cifras se obtienen para febrero de 2006 los siguientes valores:

$$m(n) = 3,2354$$

y

$$v(n) = 1,0670$$

Se simulan luego cien valores, provenientes de una distribución normal con estos parámetros. Mediante su exponenciación se determinan cien precios de mercado para febrero de 2006. Si se utilizan estos precios en lugar de los del MPODE se obtiene, al aplicar el modelo, un valor de 31,06 \$/kWh para la opción, cercano al del actual cargo por capacidad (30,96 \$/kWh).

Si se desea obtener 30,96 en lugar de 31,06 para el cargo por capacidad, utilizando el modelo estocástico se determina

que el valor del primer escalón de racionamiento debe reducirse a 448,5 \$/kWh. Nótese que, por primera vez, se establece una relación directa entre el valor del cargo por capacidad y el costo del déficit, sustentada en los precios del mercado.

Por otra parte, un cambio en las probabilidades de transición de la cadena de Markov subyacente se traduce en un cambio del valor del cargo por capacidad. Es decir, un cambio en la hidrología crítica usada para determinar el cargo por capacidad afecta directamente este cargo, en forma cuantificable, por el modelo matemático utilizado.

Así por ejemplo, si se escoge una hidrología demasiado crítica, con muy baja probabilidad de ser superada, tal que el tiempo entre la ocurrencia de dos eventos hidrológicos críticos sea diez años (120 meses), se obtiene:

$$a = 1/64 \rightarrow 0,1667$$

$$b = 1/120 = 0,00833$$

Se obtiene entonces

$$P_{se}(T,t) = 0,0435$$

y, finalmente, se determina un valor del cargo por capacidad igual a 10,12 \$/kWh, bastante por debajo del actual.

CONCLUSIONES

- Se introduce una metodología basada en los precios del mercado de energía eléctrica colombiano que, por primera vez, estima el valor de opciones de cubrimiento al riesgo de precios inusualmente altos en la bolsa de energía, ocasionados por sequías pro-

longadas, producidas por el Niño. Se demuestra que estas opciones pueden interpretarse como el cargo por capacidad que actualmente pagan los consumidores ya que, en

contraprestación a este pago, los precios no pueden estar por encima del primer escalón del costo de racionamiento.

- El algoritmo utilizado es una adaptación a sistemas con predominio hidroeléctrico del modelo no markoviano de Kholodnyi, con el cual existe amplia experiencia a escala mundial.

- Se establece una relación directa entre el costo del racionamiento, la hidrología crítica utilizada y el valor del cargo por capacidad. Es fácil hacer análisis de sensibilidad que permitan obtener en forma directa el impacto del costo de racionamiento y la hidrología crítica sobre el cargo por capacidad. De esta manera se proporciona un instrumento poderoso a los entes de control para establecer, por ejemplo, techos sobre precios de bolsa en presencia del Niño.

- La estimación de los parámetros se basa en los valores observados, ya sea en el mercado de energía eléctrica o en valores históricos de hidrologías y de variables meteorológicas.

Se establece una relación directa entre el costo del racionamiento, la hidrología crítica utilizada y el valor del cargo por capacidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "A non-Markov Method" (2001). V. Kholodnyi. EPRM Electricity, March.
- [2] "Estudio cargo por capacidad en Colombia- Informe final" (2000). Madrid, Universidad Pontificia Comillas, 10 de mayo.
- [3] "A market approach to long-term security of supply" Vásquez *et al.* (2002). *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 17, N° 2, pp 349-357.
- [4] Mejía, Patricia (1995). "Simulación con series de tiempo teniendo en cuenta el fenómeno del Niño". Tesis de grado, Universidad de los Andes. Enero.

RECONOCIMIENTO

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación "Opciones de cubrimiento del riesgo por subida fuerte en los precios del mercado en bolsa de energía y su relación con el cargo por capacidad", financiado por Colciencias, Interconexión Eléctrica S.A. y la Escuela Colombiana de Ingeniería. Los conceptos acá emitidos no comprometen a ninguna de estas instituciones y son responsabilidad exclusiva de los autores.



Hacienda El Otoño

Monumento nacional

Yasmeidis Alicia Constante Figueroa

Resumen

Las haciendas que se construyeron en los alrededores de la sabana constituyen el patrimonio urbano y arquitectónico de la ciudad, ya que cumplieron un papel muy importante en la configuración espacial de la misma y, además, fueron las artífices en la implantación de la nueva arquitectura republicana de viviendas secundarias o de recreo, donde se desarrolló el gusto por el detalle en los acabados, caracterizándolas de esta manera con valores estéticos y arquitectónicos muy especiales.

Abstract

The farmhouses which were built in the sabana surroundings constitute the urban and architectonic patrimony of the city because they play a very important roll in its special configuration and also they implanted the new republican architecture in secondary or country houses were the delight for the detail in the finishes were developed, characterizing them with very special architectural and esthetic values.

Palabras claves

Hacienda, casona, restauración.

INTRODUCCIÓN

El rescate de la memoria urbana de una sociedad y de la valoración de sus piezas tangibles —como en este caso es la hacienda El Otoño— hace del patrimonio cultural y arquitectónico la mayor muestra de un tesoro que debe preservarse como huella del proceso de consolidación social, política, económica y cultural de una ciudad, de una región o de un país.

El proyecto de intervención de la hacienda El Otoño surge como ejercicio académico para la Maestría en Restauración de Monumentos Arquitectónicos de la Pontificia Universidad Javeriana, en convenio con la Escuela Colombiana de Ingeniería. Este proyecto lo realizaron los arquitectos Yasmeidis Constante Figueroa, Carlos Burbano Eraso y Édgar Prieto Ramírez, alumnos de la maestría, durante el período comprendido entre los años 2003 y 2005. En la realiza-

ción de este proyecto contamos con la colaboración de nuestros profesores asesores, lo cual nos sirvió como pauta para analizar y construir alternativas de restauración del inmueble e integración con el medio donde está inserta, en los aspectos tanto arquitectónicos como urbanísticos.

LOCALIZACIÓN

La hacienda El Otoño está ubicada en terrenos de la sabana de Bogotá, próxima al lindero sur del cementerio Jardines del Recuerdo, a unos 200 metros de la calzada occidental de la autopista Norte, en predios de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

HISTORIA

La casa de la hacienda El Otoño forma parte del legado de una arquitectura especial que se desarrolló en los alrededores de la ciudad de Bogotá, D.C. y tuvo su origen a finales del si-



1. Magnus Mornes (1924). *Haciendas, latifundios y plantaciones en América Latina*, p. 331.

Arquitecta, estudiante de la Maestría en Restauración de Monumentos Arquitectónicos.
Pontificia Universidad Javeriana.
yconstante@javeriana.edu.co

glo XIX. Se declaró monumento nacional mediante Decreto 1909 del 2 de noviembre de 1995.

El análisis histórico de la casona determinó que se construyó entre 1880 y 1910, durante el tercer período de la época republicana². Los terrenos de la hacienda El Otoño ya existían: primero pertenecieron a los de la hacienda La Conejera, pero con el transcurrir de los años estos terrenos se fueron fraccionando al ser vendidos hasta llegar al año de 1882 cuando la compró el europeo Demetrio Paredes, conformando un solo globo de terreno llamándolo hacienda El Otoño, el cual poseía en ese momento los siguientes linderos: por el oriente, limitaba con la zona de la carrilera del Ferrocarril del Norte; por el norte, con

un camino abierto que colinda con las haciendas La Filomena y Los Arrayanes; por el occidente, limitaba con los terrenos de la hacienda La Conejera; y por el sur, con los terrenos de la hacienda La Servia. En este momento de la compra aparece en escritura la existencia de una casa, la cual se presume era de estilo colonial construida en adobe. Según relatos de cronistas el presidente José Hilario López, general de la república, solía descansar los fines de semana en la hacienda³, con lo cual se cree que se hizo necesario ampliarla y darle una ornamentación y acabados con detalles especiales, para lo cual se anexó el ala sur con áreas de servicio y la torre, que actualmente se encuentra construida en ladrillo.



TIPOLOGÍA

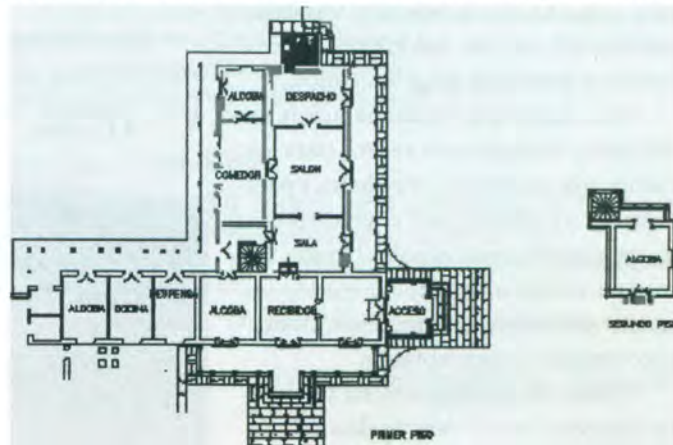
Espacialidad

La casona es una construcción que posee una arquitectura especializada en haciendas, típica de la época republicana, cuya principal característica radica en que los patios se remplazaron por vestíbulos o corredores que distribuían a los diferentes espacios. Esta casa de hacienda poseía la siguiente distribución espacial: en el ala norte y hacia la cara oriental se encontraban la sala de recibo, el salón y un despacho; hacia la zona occidental, estaban el comedor y una alcoba; en el ala sur, hacia el costado oriental, se encontraban las áreas de recibo y en el lado opuesto las áreas de servicio; en la zona media, la escalera y una alcoba. En el segundo piso de la torre, estaban la alcoba de los dueños de la casa, y en el tercer piso, el área de la biblioteca o estudio privado.

Características arquitectónicas

Entre las características arquitectónicas que posee la casa y que la hacen única en su riqueza estética y su estilo, encontramos las siguientes:

- Pintura mural con motivos de ángeles y representación de las haciendas propiedad de la familia Paredes Goelkel, pintados al temple o al óleo en las superficies de las paredes de la sala, comedor y corredores. Estas pinturas están enmarcadas en cornisas de motivos poliformes.



2. Silvia Arango, *Historia de la arquitectura en Colombia*, p. 140.

3. *Revista Historia – Credencial*, N° 75. "Historia de la fotografía en Colombia".

- Escalera con ornamentos poliformes en las caras anversas de las contrahuellas, paneles decorativos en sus paredes e iluminación con ventanales y vitrales.

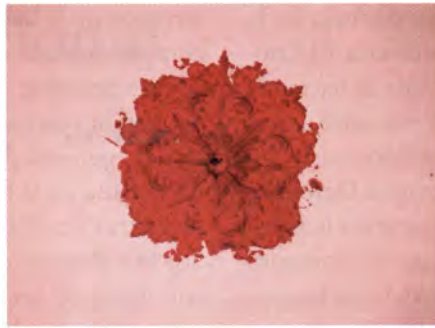


- Papeles de colgadura para identificar cada uno de los espacios de la casa, además del uso de baldosines de cemento o porcelana para los baños.

- En cuanto a la ornamentación, se utilizaron elementos en yesería para los cielorrasos, rosetones y molduras, y para destacar su valor se usó el color dorado en contraste con el color blanco. La madera también se empleó como elemento decorativo en los aleros, donde encontramos canes labrados.

- Todas las puertas son de madera, molduradas con elementos decorativos

como molduras, pilastras, capiteles y cornisas finamente detalladas.



- Las columnas son trabajadas estéticamente como un elemento de gran importancia ornamental en los espacios exteriores, haciendo no sólo un aporte estructural sino de valor estético.

- La casona posee remates en latón troquelado –probablemente de origen belga– en su cubierta.



- Hay diferentes clases de pisos. El primero es un piso en listones de madera, empleado en las áreas social y



privada; el segundo es el baldosín de cemento coloreado que permitió la realización de diseños geométricos en los corredores. El tercero es el baldosín cerámico empleado en las áreas de servicio, y en las zonas perimetrales, pisos y escaleras de acceso se encuentra piedra labrada.

ESTADO DE CONSERVACIÓN

La casa de la hacienda El Otoño presenta diversos grados de deterioro en sus sistemas constructivos, ocasionados principalmente por el incendio del año 1985. Esta acción causó daños considerables en la estructura de madera de algunos sectores de la cubierta, que poco a poco fueron permitiendo la entrada de agua en la estructura portante del inmueble. Por otra parte, se encontró que el terreno registra asentamientos diferenciales producidos por el desecamiento del suelo, principal causa del desplome presente en las cujías norte y occidente. Igualmente, la presencia de plantas inferiores y superiores entre las juntas y elementos de los muros hace que se observen humedades en los muros y en la estructura de las cubiertas. En el caso de la estructura portante, específicamente en los muros en adobe, hay erosiones en sus caras, desmoronamientos, desprendimientos del material y del pañete, además de grietas. En el caso de la ornamentación, los cielorrasos presentan desplomes de elementos en yeso (cornisas y medallones); la carpintería en madera presenta faltantes tanto de molduras de las escaleras y enchapes en los zócalos como en ventanas y puertas.

Es importante resaltar que la labor desarrollada por la Escuela Colombiana de Ingeniería desde el año 2004 con la construcción de la sobrecubierta, la limpieza de la casa y el inventario de elementos ornamentales ha detenido el proceso de deterioro que venía presentando el inmueble.



INTERVENCIÓN

En 1984, el arquitecto Germán Franco realizó un levantamiento arquitectónico y fotográfico de la casona cuando aún no estaba tan deteriorada, trabajo que nos sirvió como punto de referencia para el planteamiento de nuestra propuesta en cuanto a la integración y conservación de elementos que hoy no encontramos. Nuestras propuestas son las siguientes:

Proyecto de intervención del inmueble

Para la elaboración de la propuesta del proyecto de intervención del inmueble se respetaron los criterios por los cuales la casona fue declarada monumento nacional. Es decir, que al diseñar el plan de intervención, se mantuvieron intactos su ornamentación y los elementos decorativos que hacen de la casona un inmueble especial y excepcional con un alto valor estético. Además, en esta propuesta se incluyó un programa arquitectónico para un nuevo uso de la edificación. Se propuso la consolidación, integración y restitución de los elementos perdidos o deteriorados, algunos muros se liberaron y se planteó la realización de obra nueva en exteriores para acondicionar esta edificación al uso requerido. Este nuevo uso es el de Bienestar Cultural de la Escuela Colombiana de Ingeniería, donde se diseñaron espacios para llevar estas funciones; tales espacios quedaron distribuidos así:

- **Primer piso.** La casona y su casa posterior de complemento se destinaron a los talleres para teatro y danza, biblioteca, salón de conferencias, baños, jardines de esparcimiento y recreación pasiva, cafetería al aire libre con sus servicios, y caminos de circulación.

- **Segundo piso.** Ubicamos la oficina del director de Bienestar Cultural.

- **Tercer piso.** Localizamos allí un lugar de descanso y contemplación del paisaje, aprovechando la visual que domina el espacio.

- **Casa posterior.** Destinada a los talleres de escultura y pintura.

Proyecto de intervención del entorno urbano

En el proyecto de intervención del entorno urbano e inmediato de la casona propusimos la construcción de zonas de recreación pasiva dentro de los predios de la Escuela Colombiana de Ingeniería, que condujeran directamente al inmueble a través de senderos con texturas y plazoletas de reparto hacia la misma, generando un espacio y la consolidación de la zona deportiva y cultural de la misma. En cuanto al ingreso desde el exterior de los predios de la Escuela, tuvimos en cuenta la propuesta del POT, la cual consiste en generar nuevos usos en los suelos de tratamiento de la Escuela Colombiana de Ingeniería y en la construcción de una alameda adyacente al cementerio Jardines del Recuerdo que conecte las vías en todos los sentidos, creando recorridos ecológicos ya que este sector posee una riqueza ambiental muy valiosa.

CONCLUSIÓN

La valoración y la protección de la hacienda El Otoño contribuyen a la difusión del patrimonio construido en este sector, que es desconocido para muchas personas. Además, mediante la restauración y recuperación de la hacienda, el desarrollo de los terrenos del lote B de la Escuela Colombiana de Ingeniería y de su entorno inmediato, se generan una accesibilidad y una conexión entre el monumento y sus alrededores por medio de plazas, plazoletas, recorridos ecológicos y alamedas perimétrales.

BIBLIOGRAFÍA

Fuentes primarias

- Archivo General de la Nación
- Archivo de Notarías Richmond 1600 – 1820.
 - Archivo Notaría Segunda de Bogotá.
 - Archivo Notaría Tercera de Bogotá.
 - Archivo Notaría Cuarta de Bogotá.
 - Archivo Notaría Primera de Fusagasugá.

Fuentes secundarias

- Arango, Silvia (1989). *Historia de la arquitectura en Colombia*. Bogotá: Ediciones Universidad Nacional de Colombia.
- Mornes, Magnus (1924). *Haciendas, latifundios y plantaciones en América Latina*, 1ª ed. México.
- Revista Credencial - Historia, N° 75. Historia de la fotografía en Colombia.
- Saldarriaga Roa, Alberto (1995). *Casa Republicana*. Villegas Editores

About certain type of matrix groups

Néstor Raúl Pachón R.*

Abstract. This note gives response to a question raised recently in one of the virtual forums of the Atlas Topology: if for some integer $n > 2$, $z^n = e$, for all z in a group G , is it true that G is abelian?

Key words: Group, abelian group.

Introduction. In any book of abstract algebra, like for example [1], one proposes to prove that if G is a group in which $z^2 = e$, for all $z \in G$, then G is abelian. This is because, under the hypothesis, $z = z^{-1}$ for all $z \in G$, and so $xy = x^{-1}y^{-1} = (yx)^{-1} = yx$, for all $x, y \in G$.

Recently, I proposed the following question in the “Ask an algebraist” forum [2]:

“If G is a group in which $z^3 = e$, for all $z \in G$, is G abelian?”

A participant in the forum with alias “Renji” responded:

“No. Consider upper triangular matrices 3×3 on \mathbb{Z}_3 ”.

Off course, if

$$G = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & a & b \\ 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} : a, b, c \in \mathbb{Z}_3 \right\},$$

with multiplication, then $A^3 = I$, for all $A \in G$, being I the 3×3 identity matrix, but G is not abelian.

Later, another participant in the forum with alias “Daniel” proposed the following question:

“Is there any $n > 2$ such that if $z^n = e$, for all z in a group G , then is G abelian?”.

The purpose of this note is to present the answer I gave to this question in the forum the 23rd of september of 2005. This is motivated by the Renji example for $n = 3$.

At first, I considered groups of $n \times n$ upper triangular matrices on \mathbb{Z}_n , which allowed me to solve the case in which n is odd.

A little later, I obtained a group in which both, the odd and even cases, were covered. Nevertheless, I realized that it was not necessary to consider beyond 3×3 matrices on \mathbb{Z}_n .

The example. Let $n \geq 3$ and let G be the multiplicative group

$$G = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 2a & b \\ 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} : a, b, c \in \mathbb{Z}_n \right\}.$$

Is clear that

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

and

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

which shows that G is not abelian.

Now, is easy to prove by mathematical induction, that for all $k \in \mathbb{Z}^+$, and for all $a, b, c \in \mathbb{Z}_n$,

$$\begin{bmatrix} 1 & 2a & b \\ 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^k = \begin{bmatrix} 1 & 2ka & kb + k(k-1)ac \\ 0 & 1 & kc \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

and so

$$\begin{bmatrix} 1 & 2a & b \\ 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^n = \begin{bmatrix} 1 & 2na & nb + n(n-1)ac \\ 0 & 1 & nc \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

because all entries are in \mathbb{Z}_n .

In conclusion, $A^n = I$, for all $A \in G$, but G is not abelian.

References

- [1] I. N. Herstein. *Abstract Algebra*. Macmillan Publishing Company. 1986.
- [2] "Ask an algebraist" virtual forum of the *Atlas Topology*. September 2005.

* Profesor de la Facultad de Matemáticas de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Magister Scientiae en Matemáticas y doctor en Matemáticas de la Universidad Nacional de Colombia.

nrpachon@hotmail.com
 npachon@escuelaing.edu.co

Educación en línea



PONENTES

Luz Adriana Osorio Gómez

Directora del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática Educativa (Lidie) de la Universidad de los Andes

Gustavo Jiménez Perdomo

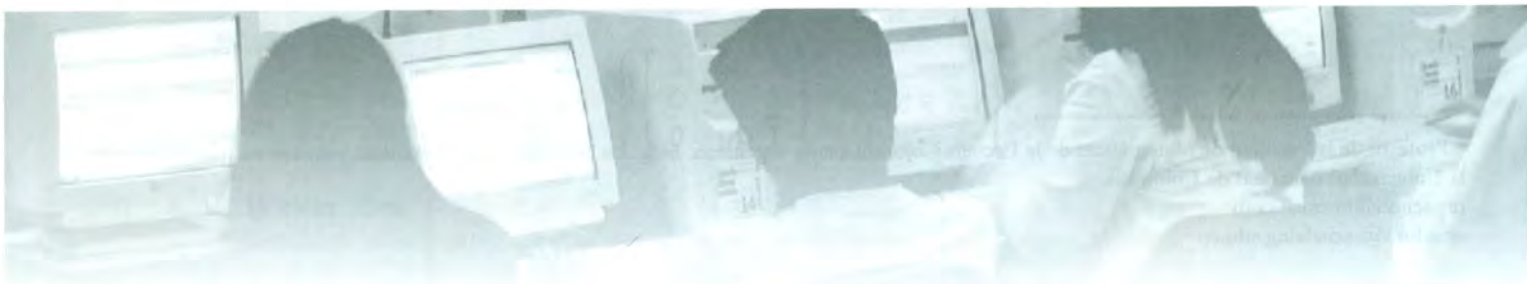
Director del Centro de Altos Estudios de la Contraloría General de la República.

Moderador

Alfonso Meléndez Acuña, director del Centro de Estudios de Informática Educativa (CEIE).

La Facultad de Ingeniería de Sistemas y el Centro de Estudios de Educación en Línea (CEIE) organizaron el foro “Educación en línea: experiencias y perspectivas”, que se llevó a cabo el jueves 23 de febrero en el Aula Máxima de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Durante el desarrollo del foro se dieron a conocer las experiencias más relevantes que sobre este aspecto se están realizando en el país, además se discutió sobre el futuro de la enseñanza a través de esta metodología.



En nombre de la Escuela Colombiana de Ingeniería y de la Facultad de Ingeniería de Sistemas, les damos una cordial bienvenida a todos los que han querido acompañarnos en este encuentro.

El presente foro tiene como tema "Educación en línea: experiencias y perspectivas", y está dividido en dos partes. En la primera hay tres panelistas que nos van a mostrar tres experiencias representativas de educación en línea: la primera en una universidad pública, la segunda en una universidad privada y la tercera en el medio empresarial.

Lamentablemente, no se pudo realizar la experiencia internacional que teníamos planeada por problemas de úl-

tima hora con el señor Mario Núñez, de la Universidad de Puerto Rico, pero ya se contactó con nosotros y nos va a enviar un escrito que se publicará en la *Revista de la Escuela*.

Los panelistas son el doctor Roberto Salazar, vicerrector académico de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Unad); la doctora Luz Adriana Gómez, quien trabaja en el Instituto Lidie (Laboratorio de Investigación en Informática Educativa) de la Universidad de los Andes, y el doctor Gustavo Jiménez, director del Centro de Altos Estudios de la Contraloría General de la República.

El presente foro tiene como tema "Educación en línea: experiencias y perspectivas", y está dividido en dos partes.

LUZ ADRIANA GÓMEZ

Voy a presentar la experiencia de incorporación de tecnologías de información y comunicaciones (TIC) en la Universidad de los Andes desde el proyecto que implementamos a partir del año 2002. Este proyecto es una iniciativa de la Vicerrectoría Académica, diseñado y puesto en marcha por el Laboratorio de Investigación en Informática Educativa (Lidie), que el año pasado cumplió dos décadas de trabajo en el tema de cómo mejorar la calidad de la educación en Colombia y en el ámbito iberoamericano, contando con las tecnologías de información y comunicaciones.

Para presentar la experiencia es importante partir de un contexto que nos ayude a entender el porqué de lo que estamos haciendo, porque el éxito o fracaso de la educación en línea y de lo que una universidad decida hacer con tecnologías de información y comunicaciones (TIC) está directamente relacionado con la misión, con el plan educativo, con los propósitos de la universidad. En la medida en que esas dos cosas vayan juntas, es más factible que nos orientemos hacia una incorporación de estas tecnologías y una implantación cultural de ellas dentro de la universidad.

Reformas curriculares

Un contexto muy importante es el de las reformas curriculares que en este momento se están produciendo en la Universidad de los Andes. La universidad les está apuntando a programas más cortos, que tengan una duración de ocho semestres, con menos de 140 créditos por carrera y de 18 créditos por semestre; se espera que un crédito equivalga a una hora presencial más dos horas de trabajo individual. Definitivamente, se quiere atender en especial el tema de las horas de trabajo individual y cómo sacarles provecho a las clases presenciales.

El modelo de la Universidad de los Andes es híbrido, implementado en pregrado. A este nivel, la universidad pretende mantener la presencialidad, pero integrando las tecnologías de información y comunicaciones a los procesos de enseñanza-aprendizaje, con la intención de que esas horas de trabajo individual que tiene el estudiante estén guiadas por un mode-

lo educativo propuesto por el profesor desde la clase presencial, haciendo hincapié en conceptos básicos y en formación de competencias.

El énfasis del pregrado es aprender a aprender dentro del contexto de una disciplina y disciplinas complementarias, con la idea de que, realmente, menos sea más; esto es, que menos semestres, menos créditos, no signifique que estamos reduciendo la calidad de la educación, ni de lo que los estudiantes aprenden. Deseamos aprovechar la tecnología para ampliar las posibilidades que se les dan a los estudiantes de aprender desde las diferentes disciplinas.

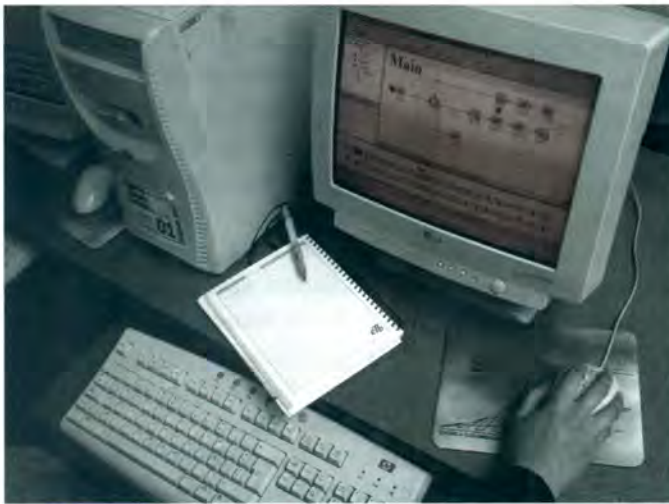
Esto nos lleva a la necesidad de buscar mejores estrategias de aprendizaje



individual y colaborativo y a hacer uso más eficiente del tiempo de estudio, es decir, que cuando el estudiante salga de la clase presencial tenga una propuesta amplia, cuidada desde un modelo educativo que controlan el profesor y los actores que intervienen en el acto educativo en sí mismo; la idea es que el estudiante pueda optar por esos espacios y ser un actor activo dentro de éstos.

Ambientes virtuales de aprendizaje

Se llaman así porque lo que queremos es generar propuestas en un ambiente de aprendizaje mediado por estas tecnologías; por tanto, hay que ser muy conscientes de aquello que hay en ese ambiente, cómo se diseña, cómo se pone en marcha, cómo se evalúa, qué propuesta pedagógica subyace, qué tipo de aprendizaje estamos promoviendo en los estudiantes, qué clase de actividades, qué competencias pueden desarrollar al acercarse a los ambientes virtuales de



aprendizaje; o sea, que los estamos entendiendo en un contexto mucho más amplio de un centro de recursos o de un espacio de administración de los cursos.

Con el proyecto de ambientes virtuales de aprendizaje deseamos generar propuestas para aprender a través de estas tecnologías, muy a la medida de las necesidades de los cursos y de los programas académicos de cada una de las facultades, con el fin de dar una idea de hacia dónde va la reforma curricular en la Universidad de los Andes, dónde ya está concluida, dónde está en proceso y dónde se halla todavía en discusión dentro de los diferentes departamentos, con el fin de lograr una mayor eficiencia en el proceso de aprendizaje. Con este proyecto, uno puede pensar en in-

corporar las tecnologías de información y comunicaciones desde los procesos administrativos del curso, conseguir una interacción entre estudiantes y profesores, contextos e hipertextos y contenidos que complementan lo que pasa en la clase presencial, y un nivel mucho más integral, al que se le puede sacar provecho para ejercitadores, simuladores y todo lo anterior. En síntesis, se pretende hacer mayor énfasis en la construcción de ambientes donde se pueda sacar mucho más provecho a todas las posibilidades que se tengan.

En la universidad interesa mantener la presencialidad, especialmente en pregrado, mientras que en lo concerniente a maestrías, doctorados, especializaciones y educación continua es más negociable el tema de la educación virtual.

Nuevas tecnologías en la educación

En el tema de incorporación de las tecnologías de información y comunicación en educación superior hay muchos modelos, algunos de los cuales han surgido a raíz de las posibilidades que ofrecen estas tecnologías, como por ejemplo los campus virtuales; sin embargo, existen otros modelos que poco a poco han ido integrando esos ambientes virtuales o que definitivamente se quedan en la presencialidad, pero exploran un poco las posibilidades con virtualidad. Entonces tenemos campus presenciales con programas virtuales, programas virtuales al lado de los presenciales; algunos cursos de los programas son virtuales y el estudiante puede optar por tomarlos de manera virtual o presencial, y hay también campus presenciales con elementos virtuales de apoyo, nivel donde podríamos ubicar esta experiencia. En pregrado estamos trabajando el tema de la presencialidad para ver cómo le agregamos valor creando modelos híbridos entre lo presencial y lo virtual.

Hay dos grandes objetivos dentro de esta experiencia y este proyecto. El primero es producir estrategias institucionales y sistemáticas de incorporación de las TIC a los procesos de enseñanza-aprendizaje, lo que a su vez genera tres subobjetivos: el primero es diseñar una metodología de construcción interdisciplinaria de ambientes virtuales de aprendizaje, basada en el acompañamiento cercano a los profesores; nuestra propuesta surge del laboratorio y nace de la experiencia previa que tiene en acompañar instituciones de educación básica primaria y media, en cómo incorporar las tecnologías de información y comunicaciones. La experiencia previa nos mostró que la tecnología es un tema de acompañamiento y no solamente de capacitación y formación. Cuando nos

En la universidad interesa mantener la presencialidad, especialmente en pregrado.

sentamos al lado de los docentes, de sus modelos pedagógicos, y analizamos la cotidianidad de la práctica en el aula con ellos, es más fácil que la tecnología llegue al aula. Cuando hacemos procesos sólo de capacitación y no tomamos un tiempo para averiguar de qué manera aterriza en el aula de clase, es posible que nunca llegue.

Con esta experiencia previa, construimos una metodología para hacer este proyecto dentro de la Universidad de los Andes, basado en el acompañamiento; la palabra más fuerte de toda la experiencia es el acompañamiento interdisciplinario a los profesores para la construcción de los ambientes virtuales de aprendizaje.

El segundo subobjetivo consiste en diseñar mecanismos de evaluación y seguimiento al impacto y resultados obtenidos, para darnos cuenta de si lo que estamos haciendo realmente está apuntándole a lo que queremos o cuándo hay que corregir el rumbo y diseñar estrategias de soporte, mantenimiento y mejoramiento continuo a partir del seguimiento a la práctica y la investigación en el tema.

El tercer subobjetivo es lograr que los ambientes virtuales estén siempre al servicio de los cursos y de lo que pasa en el aula; entonces no son productos ni materiales acabados, sino que hay que ser conscientes de que deben estar en un proceso continuo de mejoramiento, soporte para que siempre permanezcan activos.

El segundo gran objetivo es enriquecer los ambientes presenciales de aprendizaje con elementos construidos en ambientes virtuales. Nos interesa potenciar procesos educativos no convencionales que, con el pretexto de incorporar las nuevas tecnologías en las clases presenciales, consigan que los alumnos puedan profundizar sobre el objeto de estudio y ser mucho más activos frente al conocimiento que alcancen, así como también promo-

ver relaciones innovadoras entre estudiantes, estudiante-contenido, estudiante-profesor. Lo que nos ha mostrado el proyecto es que hacemos una reflexión desde la presencialidad que muchas veces lleva a rediseñarla para que la virtualidad cobre un sentido y realmente agregue valor a lo que ya pasa en la presencialidad.



Se benefician los estudiantes, los profesores y la universidad. Los estudiantes porque cuentan con más materiales complementarios para poder acceder al conocimiento, y se sabe que la diversidad en las formas de aprender es mucho más factible de atender desde la virtualidad que desde la presencialidad, y eso es algo que se debe aprovechar desde las TIC.

Los profesores porque reflexionan sobre su práctica pedagógica al formar parte activa de un grupo de trabajo interdisciplinario y cuentan con más herramientas que no sólo apoyan el proceso de enseñanza sino también

el de aprendizaje. Y la universidad porque al apoyar este proceso de aprendizaje enriquece los cursos y les da herramientas a los profesores para mejorar la enseñanza.

Cómo crear un ambiente virtual de aprendizaje

¿Cómo nos organizamos para crear un ambiente virtual de aprendizaje? El objetivo último es generar un ambiente en el que profesor y estudiante se sientan cómodos, que así como están cómodos en la clase presencial y disfrutan ese encuentro, también lo estén desde la virtualidad y disfruten las diferentes propuestas de encuentro que se construyen con los profesores para la virtualidad.

Hay un equipo interdisciplinario, integrado por el asesor pedagógico, quien inicia el diálogo con el profesor, le empieza a buscar ese lado al curso presencial desde los objetivos de aprendizaje, las estadísticas del curso, qué funciona, qué no, cómo dicta la clase. Luego tenemos el apoyo de un ingeniero, cuyo papel está dividido en dos partes: hay unos ingenieros más cercanos a la educación y otros más cercanos al desarrollo. Los primeros hacen las veces de interlocutores entre la parte educativa y el desarrollo mismo del ambiente y ayu-

dan a que todas esas ideas que se construyen entre el profesor y los pedagogos se traduzcan en diseños informáticos, si es del caso, pero que también integren toda la propuesta educativa del ambiente;

después están los diseñadores gráficos, un coordinador de proyecto y un evaluador que comienza su labor desde el momento cero del proyecto, asiste a las clases del profesor, hace observaciones de clase, etc.; todo eso sir-

Cuando el ambiente virtual ya está listo y se inicia el semestre, combinamos lo presencial con lo virtual y la evaluación de nuevo es de línea de salida.

ve de insumo para que conversemos sobre lo que el profesor está haciendo en su clase presencial.

Cuando el ambiente virtual ya está listo y se inicia el semestre, combinamos lo presencial con lo virtual y la evaluación de nuevo es de línea de salida, para darnos cuenta de si las necesidades que identificamos son atendidas con el ambiente que se construye.



ambientes virtuales que hemos creado en la universidad son ambientes de los profesores, porque ellos tienen toda la libertad para usarlos; ahí hacemos cosas interesantes desde el punto de vista tecnológico, pero sobre todo queremos hacer cosas importantes desde el punto de vista educativo en todos los casos, que los profesores sean usuarios, diseñadores, constructores y vivan esos ambientes que

Fases del proyecto

¿Qué ha sucedido hasta ahora en la universidad? El proyecto ha pasado por tres fases. Una fase piloto en el 2003, una fase de expansión en 2004-2005 y estamos en la fase de apropiación en este momento.

La fase piloto consistió en la implantación metodológica. En el laboratorio hicimos una propuesta metodológica para el acompañamiento y el trabajo interdisciplinario con los profesores, con el fin de crear un ambiente virtual de aprendizaje. La construcción de un ambiente virtual toma mínimo un año: un semestre en el que lo hacemos, un semestre en el que lo ponemos a prueba y al siguiente semestre es cuando se familiarizan estudiantes y profesores con el uso de esos ambientes. Hay varias fases en el diseño. Una de ellas es el análisis educativo, en desarrollo del cual se comprenden el curso, los objetivos, toda la realidad de la práctica del profesor en el aula, el modelo pedagógico, lo que lleva a la identificación de una necesidad educativa que puede apuntar para muchos lados; dependiendo de esto, nos dedicamos a crear un ambiente virtual de aprendizaje como apoyo al aprendizaje de un concepto.

En el diseño educativo intervienen los profesores, los asesores pedagógicos y los ingenieros interlocutores, que nos ayudan a decidir sobre la tecnología más adecuada y, si hay que hacer aplicaciones adicionales, levantar los requerimientos para entrar en la fase de diseño comunicacional y computacional, desarrollo del ambiente virtual y ejecución; la evaluación es transversal a todas las fases.

Como resultado de esta fase piloto, los profesores hicieron explícita su estrategia de enseñanza y desarrollaron estrategias de aprendizaje basadas en los estudiantes, estos, fueron constructores activos de la solución. Los 96

ellos mismos construyen con nosotros.

La evaluación nos mostró que los estudiantes manifiestan interés y reconocen que tienen elementos adicionales de apoyo para lo que están haciendo. Por su parte, el piloto nos mostró cosas que había que ajustar, y eso fue lo que hicimos en la fase de expansión. El piloto lo realizamos con veinte cursos de diferentes programas académicos de todas las facultades, porque también nos interesaba probar la metodología con profesores de distintas disciplinas. Trabajamos con las facultades de artes, humanidades, ingenierías, administración, lo que nos dio un panorama más o menos general. En la fase de expansión quisimos hacerlo más sistemáticamente, ya que la Vicerrectoría Académica planteó el reto de llevar a cabo un número determinado

de cursos por cada uno de los departamentos de la universidad, razón por la cual echamos a rodar varias estrategias. Una de éstas fue la estrategia de difusión, que comenzó por sensibilizar a los profesores frente a todo este tema; también advertimos que era importante empezar a abrir escenarios de formación para profesores que pudiesen acompañar a otros en la tarea de hacer

análisis y diseño de ambientes virtuales de aprendizaje, soporte y mejoramiento continuo, y la investigación como tarea permanente de nuestro laboratorio para estar mirando toda la experiencia, dándonos cuenta de qué estaba pasando con lo que estábamos haciendo.

En cuanto a participación por facultades, economía es la que menos ha intervenido en el proceso e ingeniería la que más lo ha hecho.

En la fase de formación diseñamos un curso de entrenamiento, modalidad híbrida que cubre análisis y diseño educativo; se probó con profesores de diferentes discipli-

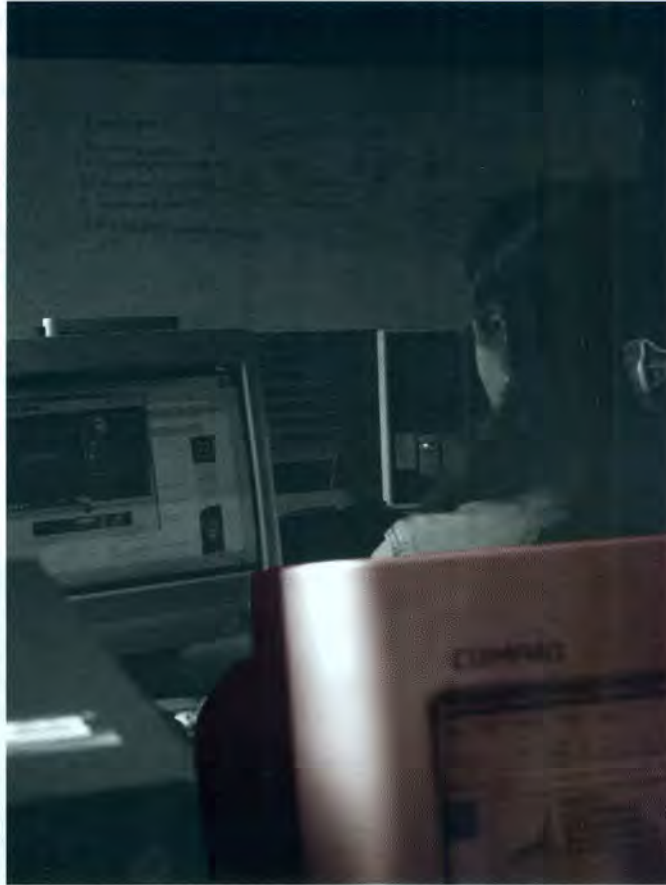
**En el diseño educativo intervienen
los profesores, los asesores
pedagógicos y los ingenieros
interlocutores**

nas y es una posibilidad para que el acompañamiento no siempre venga de nuestro laboratorio, sino que profesores de disciplinas afines puedan acompañar a otros en la concepción de lo que podría ser un ambiente virtual de aprendizaje. Ya cuando lleguen a la fase de diseño gráfico y aplicaciones, tienen el apoyo de nuestro equipo para terminar de construir el ambiente virtual.

Hemos aplicado instrumentos de actitudes hacia las TIC en profesores y estudiantes, hemos dado a conocer el proyecto en las diferentes unidades académicas, hemos hecho ferias de productos, todo esto con el ánimo de que los profesores conozcan la experiencia y se animen a participar. Estamos haciendo varios estudios internamente en el laboratorio para que la universidad tenga más elementos de juicio para poder decidir hacia dónde avanzar con el proyecto.

La fase actual es la fase de apropiación. Nos dimos cuenta de que estábamos trabajando con cada profesor, creando sus ambientes virtuales de aprendizaje, pero no había necesariamente una apropiación de las unidades académicas, de los departamentos y las facultades frente a estos ambientes virtuales; muchas veces la selección de los cursos no era tan estratégica como se quería que fuese. Por eso vamos a seguir haciendo ambientes virtuales, pero también otras cosas que les sirvan a las facultades para potenciar los procesos académicos que estén efectuando.

Es así como en medicina, por ejemplo, hay un ambiente para acompañar el modelo educativo basado en desarrollo de competencias a los estudiantes. Este ambiente



permite hacerles seguimiento a las competencias individuales de cada estudiante y ver cómo aporta cada curso al desarrollo de competencias.

En derecho se quiere hacer una herramienta para toda la facultad, que se use desde los diferentes cursos. En ingeniería vamos a crear comunidades de aprendizaje entre las áreas que integren los sectores externo e interno y los estudiantes en práctica. Lo que se espera es que esas necesidades surjan ahora de los programas académicos, de las reformas curriculares, de las competencias, de todos estos temas que interesa trabajar desde la parte educativa y que podamos apoyarlas desde las tecnologías de educación y comunicación.

Cultura institucional

En este momento, entonces, los retos que identificamos como más grandes son la implantación de la cultura institucional y la sostenibilidad en el tiempo. A nosotros no nos interesa sumar y sumar cursos sino generar una cultura institucional de uso de estas tecnologías, pero para eso hay que ser sensibles a los diferentes ritmos que tiene la universidad, pues no todas las facultades avanzan a la misma velocidad, como lo pudimos ver en la distribución de cursos que hemos hecho. En artes y humanidades, van más lento pero bien, están haciendo cursos que tienen un gran impacto; en ingeniería ha sido mucho más fácil, o sea, entender la diversidad, entender la diferencia, incluso metodológica, en el acompañamiento, en las velocidades, en el alcance. Saber hasta dónde llegar es fundamental si uno quiere realmente tocar la cultura institucional.

GUSTAVO JIMÉNEZ

Las contralorías tuvieron su origen en los tribunales de cuentas en Latinoamérica durante la época de la Colonia. En 1923 un especialista norteamericano,

el profesor Kemmerer, con el auspicio del gobierno estadounidense, se vino por el Pacífico creando contralorías, desde México hasta Chile, mientras que en el Atlántico tene-

mos tribunales de cuentas todavía. Ese fue el gran cambio de los tribunales de cuentas en Latinoamérica.

El segundo gran cambio es otra travesía que hizo el Banco Interameri-

cano de Desarrollo (BID), que se vino con un grupo de técnicos y especialistas y trajo unos programas de modernización para estas instituciones.

El programa y sus elementos

El programa de modernización de la Contraloría General de la República tiene cuatro elementos. El primero es el fortalecimiento institucional, donde se inscribe el programa de capacitación virtual. El segundo es el fortalecimiento misional, que no es otra cosa que un cambio tecnológico en la manera como se llevan a cabo los procesos de auditoría, de análisis económico y de procesos de responsabilidad fiscal con el apoyo de técnicas de la información. Hay un tercer elemento, que es el fortalecimiento misional para otras contralorías. En Colombia está la General, que cubre todo el país, así como las departamentales y las de capitales de departamento. Finalmente, dentro de ese proyecto de modernización se incluyó un subproyecto que tiene que ver con apoyo a la participación ciudadana, para que la ciudadanía, a través de medios como cartas o de la Internet, pueda poner quejas y reclamos en relación con posibles faltas en los procesos de manejo de recursos en Colombia.

Pilares de la capacitación

La capacitación tiene cuatro pilares básicos: los alumnos, los docentes, los medios y los contenidos. Entre las personas a las que se capacitaría están en primer lugar los funcionarios de la Contraloría; en segundo término, los funcionarios de las contralorías territoriales a mediano plazo y, finalmente, se espera tener un intercambio con contralorías de Latinoamérica y España.

En el caso de la Contraloría, a los alumnos del campus los podemos clasificar en dos grupos: los de Bogotá, que son unos dos mil, y los del resto del país, que hacen gestiones de auditoría y control en todos los de-

partamentos y son otros dos mil; en total, son cuatro mil, que se dividen de la siguiente manera en términos de oficios o de actividades: cerca de la mitad son auditores, unos 300 analistas económicos y los demás son los jurídicos, los que siguen los procesos de responsabilidad fiscal, que son como 500. El resto de funcionarios son los de apoyo en las diferentes áreas. Esa es nuestra población objetivo.

La escuela de capacitación de la Contraloría cumplirá 50 años en el 2007.

ne especializaciones pero son pocos los que poseen niveles de maestría.

La escuela de capacitación de la Contraloría cumplirá 50 años en el 2007, de modo que tenemos una tradición y hemos dictado miles de cursos; sin embargo, no hay textos.

Allá existía la creencia, premoderna por cierto, de que cada profesor debía publicarse su texto, entonces ya perdía su función. Ese es un salto fuerte.



De esos cuatro mil, alrededor de 60 o 70 los nombra el contralor y el resto de funcionarios son de carrera. La edad promedio de los funcionarios es de 47 años, no son muchachos como en la universidad; ese es nuestro núcleo básico de aprendizaje, mucho más difícil de formar. El reto no es pasar de la modernidad a la posmodernidad, sino pasar casi de la premodernidad a la posmodernidad en un salto muy rápido. Un 75% de los funcionarios tiene título universitario, un buen número tie-

Recientemente abrimos un concurso de docentes y se presentaron alrededor de 250 personas, señalándoles que el objetivo era formar una escuela virtual, de las cuales se aprobaron unas 140 en diez especialidades. Ese es nuestro mundo de docentes, pero sin textos. Nuestro objetivo es tener un metro de libros, esto es, unos 30 textos. En este momento ya hay unos 35 centímetros, es decir, nueve o diez libros producidos por docentes nuestros, y otros textos los estamos construyen-

do con el apoyo de dos licitaciones que se abrieron: una en el área jurídica de la Universidad Sergio Arboleda, de donde sacamos seis textos que están en proceso de virtualización, y otra con la Universidad

Autónoma de Bucaramanga, con unos quince textos.

El cuarto elemento es el medio y para esto tenemos los siguientes componentes básicos: uno es el portal, que integra todo; otro son las aulas virtuales, que son dos salones con 40 estaciones de trabajo, con sus tableros inteligentes, sus cámaras, conexión con videoconferencia, etc.; ahí la gente se entrena en la formación, en el aprendizaje, porque la edad promedio de los funcionarios de la Contraloría es alta y no tienen ese entrenamiento. Utilizan Word y Excel con aplicaciones sencillas, pero no usan otras cosas más complejas y eso es una gran dificultad. Ese es el fin de las aulas virtuales.

Otro componente de ese campo es el *software* de administración de cursos en línea, el Intralearn, que tiene ciertas limitaciones. Hay una herramienta muy buena que apenas estamos empezando a utilizar, que no forma parte como tal del campus pero sí está integrada, que es la *webcast*, que nos permite grabar conferencias para transmitir a los estudiantes; este sistema nos ayuda mucho desde el punto de vista de la información y ha acercado más la tecnología. También nos ha servido para hacer otras cosas, como organizar mesas de trabajo de auditoría, como herramienta de capacitación. Dictamos un curso de redacción con videoconferencia y ha sido muy útil porque garantiza una asistencia muy alta.

La capacitación virtual ha tenido un éxito relativo. Hay unos cursos con tasas de deserción muy bajas, en aquellos en los que al alumno se le da más tiempo para que estudie también la

tasa de deserción es baja, pero en los que él lo toma *motu proprio* la tasa de deserción puede ser muy alta y nos llegó a tasas parecidas a las que tiene el Sena, cer-

canas al 90%. Nosotros hemos tenido tasas, sobre todo en período de vacaciones, del 80 u 85%; estamos aprendiendo, estamos sistematizando esas experiencias con el fin de minimizar las tasas de deserción.

Para estos procesos, saltar de la premodernidad a la posmodernidad

Un punto clave es que se debe empezar por los contenidos y no por la tecnología.



es muy duro, hemos hecho procesos de capacitación intensos en cada uno de estos componentes y en otras cosas de producción audiovisual, producción multimedial, en macromedia, etc., y creo que tenemos unas diez mil horas de capacitación.

Una de nuestras ventajas es que contamos con la financiación total del proyecto. Ese proyecto se formuló como apoyo al proceso de modernización y se hizo una cosa interesante, que fue in-

tegrar el área de sistemas al área de capacitación. Se creó una nueva identidad gráfica para unificar la personalización.

Problemas por doquier

Problemas hemos tenido muchos. Un punto clave es que se debe empezar por los contenidos y no por la tecnología, y hacer esos ajustes ha sido un ejercicio complejo.

En el caso de la Contraloría hay información valiosísima, no solamente la de capacitación, sino la de las auditorías, que tiene informes de casos complejos que pueden lesionar el patrimonio público; por eso debe haber unas seguridades absolutas. Eso nos ha afectado en el mundo de la capacitación, porque por cerrarle las posibilidades a un *hacker* la capacitación virtual ha quedado casi sellada. Ese es el mundo del trabajo, que es diferente del mundo de la universidad.

Recomendaciones

Recomendaciones hay muchas. Por ejemplo, tenemos una biblioteca bastante buena desde la óptica de la capacidad, pero no contamos con *in books*; entonces tenemos que cargarla para que la gente pueda acceder a ella y crear la cultura de la consulta. Hay grupos que consultan bastante, como los analistas, y otros poco, como el de los auditores, que piden la información, revisan y dan unos conceptos; entonces meterlos a esa cultura de la consulta es complejo. Por eso les digo que el esfuerzo de la Contraloría ha sido gigantesco, ha sido un reto, pero estaríamos dispuestos a compartir con ustedes para que puedan conocer nuestra experiencia y también estamos dispuestos a aprender, como en efecto lo hemos hecho.

PREGUNTAS

• **Doctora Gómez, quisiera que ampliara la información sobre las investigaciones que se están realizando en la Universidad de los Andes...**

Nosotros tenemos varios procesos internos con el propósito de observar la experiencia de una manera tranquila y, sobre todo, entendiendo que lo que estamos viviendo en la universidad es un proceso de aprendizaje.

Frente a la metodología de acompañamiento, permanentemente nos preguntamos si lo que estamos haciendo es una propuesta que lleva a la construcción de ambientes de aprendizaje adecuados a las necesidades de los profesores, de los cursos y de la universidad. Entonces, desde el año 2002 iniciamos este proceso de investigación metodológico, cómo acompañar en particular a la Universidad de los Andes, pero más en general a una institución educativa, en la incorporación y uso de las tecnologías de información y comunicaciones, de tal manera que realmente impacten los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Esa pregunta nos llevó a la metodología con la que arrancamos el proceso, pero no seguimos mirando los resultados de impacto de cada uno de los cursos. Cada uno de los ambientes virtuales que hemos creado tiene un modelo de evaluación que subyace a la necesidad educativa. La necesidad educativa está ahí, por lo que hay un modelo educativo y un modelo de evaluación que les hacen seguimiento a lo que piensan los profesores y los estudiantes, después que emplean el ambiente virtual. Debo aclarar que el impacto no lo seguimos a lo largo del tiempo, porque siendo estrictos y rigurosos, el impacto de lo que aprendió un estudiante en un curso hay que seguirlo mucho tiempo después de que pasa por el curso. Una vez que termina el curso vemos qué pasó con el proceso de aprendizaje, qué se pudo evidenciar durante el curso, durante el semestre que se hizo, pero, no estamos haciendo ese proceso de manera rigurosa como debe ser.

Con lo que arrojan las percepciones de los profesores, de los estudiantes, hacemos encuestas de sa-

tisfacción frente a la metodología, miramos los resultados de diseño de esos ambientes. Estamos realizando un par de investigaciones más. Una nació de dos antropólogas, que querían ver cómo se relacionan los estudiantes de la universidad con el tema de la tecnología. Partían de la hipótesis de que nosotros suponemos que los estudiantes, por ser jóvenes y por estar en la universidad, tienen una relación natural con la tecnología y suponemos que están dispuestos a lo que

nosotros les pongamos enfrente, siempre y cuando lo que haya sea tecnología. Se trabajó con grupos focales integrados por estudiantes de diferentes áreas, se identificaron unas categorías para ver de qué manera el estudiante se relaciona con la tecnología, y en particular si ve la tecnología como un apoyo para aprender.

Otra línea muy fuerte que estamos trabajando tiene que ver con el tema de evaluación en ambientes virtuales de aprendizaje. Hay un grupo de psicólogos encargado de crear esos modelos para medir el impacto y lo que pasa dentro de un ambiente virtual de aprendizaje. Hemos tenido hasta ahora tres versiones del modelo de evaluación y en este momento estamos a punto de volver a adaptar el modelo para que cada vez esté más ajustado a las necesidades que estamos atendiendo con lo que estamos haciendo.

Ahora estamos iniciando análisis transversales de toda experiencia, que nos permitan responder en qué condiciones los resultados obtenidos por la incorporación de la tecnología son más adecuados, ante qué necesidades educativas de las que vamos identificando hemos podido responder mejor y qué hace que respondamos mejor.

Así las cosas, ¿cuáles son esos ritmos y situaciones que hacen particular el tema de la incorporación en cada una de las facultades? Y, finalmente, ¿de qué manera podemos acompañar a las instituciones de educación superior en el tema de incorporación de tecnologías de información y comunicaciones?

Esas son las preguntas en las que estamos trabajando desde nuestro laboratorio en este momento.

Cada uno de los ambientes virtuales que hemos creado tiene un modelo de evaluación que subyace a la necesidad educativa.



• **Quisiera saber qué estrategias se tienen para evitar la deserción de los estudiantes en cursos de educación en línea...**

GUSTAVO JIMÉNEZ

En el caso de la Contraloría, tenemos varios esquemas para minimizar las tasas de deserción. Uno es efectuar la mezcla virtual-presencial, que ayuda muchísimo a hacer más amigable el curso. Otro esquema consiste en utilizar técnicas que nos permiten hacer ameno el curso, que la gente se sienta bien y cómoda frente al computador y que interactúe con él. Si se colocan textos planos en el computador, pues obviamente leer resulta muy tedioso, pero si se ponen elementos que hacen mucho más amigable ese mundo virtual, contactos con el docente, juegos, elementos de interacción entre los estudiantes y los profesores, etc., el mundo de lo virtual se va perdiendo y se hace una aproximación casi presencial. Otro elemento es el apoyo del chat, es decir, que haya bastante contacto en horas que no son de la capacitación sincrónica, sino que se haga en momentos libres, para que la gente pueda participar incluso con otros temas, de modo que lo podamos acompañar con videoconferencias; entonces utilizamos ese instrumento para que la gente de Barranquilla interactúe con la de Cartagena, con la de Bucaramanga, y hagan intercambio de experiencias y saberes en cada uno de sus cursos.

Creo que esos tres elementos ayudan bastante.

LUZ ADRIANA GÓMEZ

Con respecto a nuestra experiencia en la Universidad de los Andes, el tema de la deserción no va más allá de las clases presenciales, porque como les decía estos ambientes virtuales se integran a los cursos presenciales, enton-

ces, no vivimos el tema de la deserción por la propuesta virtual.

El tema de la deserción, de quedarse o no quedarse, puede depender de dos cosas: del estudiante y de la propuesta educativa. Cuando alguien decide tomar un curso virtual, puede haber muchas motivaciones para que él decida hacerlo; esa motivación puede ser una necesidad vital por adquirir un co-



El tema de la deserción, de quedarse o no quedarse, puede depender de dos cosas: del estudiante y de la propuesta educativa.

nocimiento, una capacidad, una habilidad, y se queda porque lo que necesita es aprender para resolver una necesidad que tiene y que es absolutamente vital. Sin embargo, no basta con esa necesidad sino con la capacidad que tenga el estudiante de autoorganizarse, de autogestionarse, de encontrar los espacios y poder lidiar con la soledad que puede haber a través de un ambiente. Ahora, quien propone el ambiente de aprendizaje o quien hace la propuesta en línea debe involucrar al estudiante como un actor activo dentro del proceso de aprendizaje y proponerle momentos que pueda disfrutar al acercarse al aprendizaje, que lo reten, que le permitan relacionarse con otros, que le permitan crear y preguntarse y no solamente ser un receptor pasivo de unos contenidos que se le proponen.

• **¿En qué modelo o estilo pedagógico se fundamentan los cursos virtuales de su institución?**

LUZ ADRIANA GÓMEZ

Nosotros les apuntamos a las corrientes más constructivistas de aprendizaje, pues nos interesa que con lo que estamos proponiendo presencial y virtualmente el estudiante sea un actor activo, que pueda aprender en ambientes significativos constructivistas, que manipule el objeto de conocimiento y se pueda relacionar con sus compañeros en encuentros sociales para llegar al conocimiento. Nos interesa que sean ambientes

donde el estudiante tenga actividad. Tratamos de diseñar con los profesores esos ambientes activos, de interacción con los compañeros, con el conocimiento, con el profesor, pero también encontramos casos en los que hay menos actividad que en otros. En la práctica lo hemos logrado en un gran número de cursos, pero podemos encontrarnos con algunos ambientes en los que la actividad no es tanta como la que uno quisiera de parte del estudiante. No obstante, siempre que diseñamos un ambiente virtual de aprendizaje lo hacemos desde el punto de vista del estudiante y no sólo desde el punto de vista del profesor.

GUSTAVO JIMÉNEZ

Ha habido discusiones en la Contraloría y la Escuela de Capacitación en relación con la metodología de aprendizaje más adecuada.

En estos primeros procesos de aprendizaje y de enseñanza hemos debatido alrededor de los famosos modelos pedagógicos, pero estamos ahí como en un espacio de prueba y error, con miras a encontrar qué se amolda mejor a las condiciones de los estudiantes; hay grupos más receptivos, en los que se puede aplicar un constructivismo más abierto, en el sentido de que ellos discuten con el profesor, pero en otros campos, como en el de la auditoría, la actividad tiene que ser menos de intercambio, de enriquecimiento, orientada más bien a que la persona se vaya formando de acuerdo con una ruta previamente definida.

En estos primeros procesos de aprendizaje y de enseñanza hemos debatido alrededor de los famosos modelos pedagógicos.

• **¿Hay alguna metodología para medir el impacto que ha tenido el e-learning en la empresa?**

GUSTAVO JIMÉNEZ

En esto de medición del impacto voy a hacer una precisión: nosotros consideramos tres momentos en la capacitación. El primero es cuando llega el estudiante con un conjunto de saberes y él supuestamente salta en su saber, y eso lo mide el profesor a través de un examen. Al comienzo y al final se califica, y se ve el salto que ha habido en los saberes. Eso es en función de la capacitación propiamente dicha.

Lo segundo que estamos haciendo es medir el impacto en los productos, porque la capacitación es para que la persona que desarrolla una tarea obtenga un producto; la Contraloría no produce bienes sino servicios, transforma papeles, elabora textos, informes de auditoría, informes de análisis económico, etc. Con la Universidad Nacional hicimos el ejercicio de medir cuánto ha cambiado la calidad del texto en términos del texto mismo. Ese es realmente uno de los impactos, pero el impacto mayor de la capacitación debería estar relacionado con la labor de la Contraloría, qué tanto afecta eso el buen uso de los recursos públicos. Por ejemplo, si gracias a los informes de auditoría se detecta que los recursos públicos se afectaron en cientos de millones de pesos, lo que debería esperarse es que la mayor capacitación le permitiera al auditor detectar con mucha más claridad estos problemas.



• **Uno de los problemas que enfrenta la educación en línea es la poca credibilidad que hay sobre su efectividad en el aprendizaje, además de la avalancha de ofertas que prometen educación en línea con calidad. ¿Cómo pueden las instituciones educativas garantizar y demostrar aprendizajes efectivos en este tipo de educación?**

LUZ ADRIANA GÓMEZ

Bueno, es una pregunta muy difícil. En un estudio que se hizo con 200 universidades de la Unión Europea, precisamente para ver qué ha pasado en el tema de incorporación de tecnologías de información y comunicaciones en universidades, se ven resultados preocupantes. Básicamente, los resultados reales en aprendizaje e impacto en mejorar la calidad de la educación no son los esperados. Parece que pese a todos esos esfuerzos de incorporar las tecnologías a los procesos de aprendizaje, los estudiantes no los están usando o los usan muy poco.

Entonces cabe preguntarse dos cosas: o estamos haciendo lo que no deberíamos o de pronto sí estamos haciendo cosas interesantes pero no las estamos midiendo en la forma adecuada; tal vez la manera como evaluamos lo que estamos logrando no está sintonizada con la realidad. Quiero dejar esa inquietud, porque si uno la traslada a Colombia, tampoco hay estudios que muestren los efectos finales en aprendizaje y calidad de la educación. Se están haciendo muchas cosas, sobre todo si uno entiende que el incorporar las tecnologías es un tema de infraestructura, de formación, de capacitación, de tener las competencias para poderla usar, pues interesa analizar el tema desde muchos lados para poder hablar en términos de lo que podría ser educación con calidad utilizando las TIC.

Deseo ser un poquito irreverente y preguntarme cómo pueden las instituciones educativas garantizar y

demonstrar aprendizajes efectivos en la educación. La existencia de la tecnología y de numerosas posibilidades nuevas no va a remediar problemas que de pronto se tienen que resolver de múltiples modos.

Indudablemente, la tecnología sí se ha constituido en un pretexto para que nos preguntemos muchas cosas con respecto a la calidad de la educación. Así mismo, cuando uno diseña cursos y busca cómo agregarle valor a la presenciali-

dad, abre un espacio de discusión para preguntarse qué estamos realizando, cuál es la oferta que les estamos haciendo a los estudiantes para que aprendan y en qué condiciones.

Ahora voy a mencionar algunos aspectos que, a mi juicio, deberían considerarse para pensar en tener condiciones que favorezcan un aprendizaje más efectivo.

Sin duda el asunto es educativo, es metodológico, es pedagógico, como lo es en cualquier escenario educativo del que estemos hablando. Entonces deberíamos pensar de qué manera estamos proponiéndoles a los estudiantes que se aproximen al conocimiento, qué papel están cumpliendo ellos en las propuestas que estamos haciendo.

Situémonos en la educación virtual. Ante un curso virtual, qué papel desempeña el estudiante, a qué tipo de conocimiento lo estamos aproximando, cuáles son los objetivos de aprendizaje de ese curso, la claridad frente a los objetivos de aprendizaje, la propuesta del curso en términos pedagógicos y metodológicos, y la forma como se evalúan el aprendizaje y la coherencia entre esos objetivos. Eso no es sólo de lo virtual, pues en muchos cursos presenciales la manera como se evalúa no es coherente con los objetivos del curso y se nos olvida que son dos cosas muy relacionadas. Lo que se pretende lograr con el curso debe estar directamente relacionado con lo que el curso ofrece como escenario de aprendizaje y con lo que se le pide al estudiante, que debe ser capaz de demostrar qué logró.

Por otro lado, en las tecnologías de información y comunicaciones, para que el aprendizaje sea efectivo el estudiante debe poder trascender el medio y que sea absolutamente transparente para

que nos podamos concentrar en lo importante. En muchos cursos virtuales, el alumno pasa medio curso tratando de descubrir cómo manda la tarea, cómo baja un video que le mandó el profesor... en fin, para que el aprendizaje sea efectivo, la tecnología debe volverse transparente. Entonces la prospectiva aquí sería cómo hacer para que la tecnología sea realmente transparente y poder centrarnos en lo importante.

Quiero hacer mucho énfasis en el tema de la evaluación, no sólo del diseño de los cursos sino también de lo que el estudiante está aprendiendo, es decir, de qué modo estamos evaluando el aprendizaje en esos ambientes virtuales, pues se debe ir en relación directa con la calidad de lo que podamos ofrecer.

Sin duda el asunto es educativo, es metodológico, es pedagógico, como lo es en cualquier escenario educativo del que estemos hablando.

GUSTAVO JIMÉNEZ

Hay una altísima correlación entre educación presencial en centros de alta calidad académica y tecnológica, y educación virtual en centros de alto nivel académico y tecnológico, así como también en centros de baja calificación académica y tecnológica la calidad de la educación presencial y de la educación virtual debe ser igual o menor.

Entonces, no debe haber mucho cambio entre la dirección de las dos educaciones. La gente que está mejor capacitada para estudiar y formarse, que viene de escuelas con mucha más exigencia, tiene muchas más posibilidades de acceder a los beneficios y ventajas que ofrece esta tecnología y estas formas pedagógicas modernas.

• *Hacia el futuro, ¿la educación en línea impactará de igual*

manera los niveles educativos escolar, pregrado y posgrado, o tendrá un impacto primordial en un nivel específico?

LUZ ADRIANA GÓMEZ

Lo que realmente nos deberíamos preguntar es si las personas que estamos formando en la universidad son los trabajadores que requiere el mercado laboral hoy en día. Las condiciones laborales son muy distintas de las de antes, porque ahora la gente puede trabajar desde su casa, puede pertenecer a varias empresas, puede parar y quedarse sin trabajo por grandes períodos de tiempo; pero también el individuo está viendo que su familia se está transformando. Antes, los papás pasaban por la universidad, se graduaban y ejercían por el resto de sus vidas, se jubilaban, y luego seguían estudiando los niños, los jóvenes y entrábamos en un proceso que era más o menos lineal. En cambio, las condiciones actuales llevan a una necesidad permanente de actualización y de renovación de conocimientos.

La sociedad le está poniendo a la universidad el reto de actualización permanente en muchos frentes, una formación y un desarrollo de habilidades para poder entender todos estos cambios que se están generando en este momento y que seguramente se seguirán presentando.



La pregunta es, entonces, hasta qué punto la universidad está formando al ciudadano de hoy como partícipe de las distintas democracias en las sociedades en las que vivimos. Hasta qué punto el trabajador de hoy es capaz de lidiar con un ambiente laboral flexible, con todo lo que eso implica. Hasta qué punto está formado para hacer parte de una economía global, de un país que negocia el TLC.

Así las cosas, lo que necesitamos son opciones para podernos preparar y responder de manera adecuada

a los retos que plantea esta sociedad. Entonces, toda esta diversidad hay que entenderla.

A mi juicio, las condiciones llevan a que unas y otras cosas sean válidas, y en unas y otras tenemos que preocuparnos por la calidad de lo que hacemos.

Lo normal es que un joven entre a la universidad, llegue a un campus real y físico, vaya a unas aulas reales, tome clases presenciales y se desplace por el campus; esas son condiciones ideales, absolutamente ventajosas, porque son muchísimas las diferencias entre un campus presencial y un campus virtual y una de las más grandes es el campus. Pero cuando uno no tiene esas posibilidades y está distante geográficamente, necesita por lo menos acceder a la educación; hay entonces pregrados virtuales, los cuales cobran mucho sentido porque la presencialidad no está ahí. Entonces, en uno u otro caso la educación debe ser de la mejor calidad posible.

Y en posgrado más aún. Entonces, hasta qué punto la universidad está respondiendo a ese reto de actualización y formación para que la empresa, la organización y la institución tengan al individuo que necesitan para poder respon-

der a los retos globales a los que se enfrenta. En posgrado la presencialidad es aún manejable por muchos, pero cada vez menos, entonces ahí sí que requerimos propuestas virtuales y de muy buena calidad para poder responder a esa necesidad permanente de actualización, para que el papá, la mamá, los hijos que ya pasaron por la universidad,

puedan actualizarse y aprender todos los días desde cualquier lugar.

En el plano escolar, no tiene mucho sentido hablar de virtualidad.

Lo que quiero mostrar es que hay tal diversidad de situaciones y necesidades, que el impacto se va a producir en todos los niveles, sobre todo en pregrado y posgrado.

En pregrado, lo ideal es que uno estudie presencialmente, por todo lo que ya hemos mencionado. Pero si se puede combinar presencialidad con virtualidad, se tiene lo mejor de las dos posibilidades, porque también es cada vez más común que los estudiantes de pregrado trabajen para responder a una cantidad de obligaciones que vienen de otro lado.

Lo que hay es una necesidad permanente de actualización y de posibilidades para poder responder mejor a todos los retos de tipo económico, político, laboral, familiar y social, que estamos viviendo en este momento.

GUSTAVO JIMÉNEZ

Voy a destacar una preocupación muy personal. Este proceso que estamos viendo de nuevas tecnologías de la información es lo que constituye la tercera gran revolución mundial, de acuerdo con los grandes autores. La primera fue la revolución agrícola, que se produjo hace unos diez mil años,

cuando el hombre descubrió el grano y empezó a sembrar, a ser independiente de la naturaleza; entonces se crearon las ciudades. La segunda revolución fue la industrial, a partir de James Watt, el profesor que inventó la máquina de vapor, invento que generó la ciudad moderna. La tercera gran revolución es la revolución de la tecnología, en desarrollo de la cual estamos creando un mundo posmoderno, un mundo totalmente diferente del anterior, aun en los procesos de aprendizaje.

Sin embargo, nos estamos aproximando a una cuarta revolución, que integra las tres anteriores y es, por ejemplo, que el sector agrícola se usa para generar energía y sustitutos del petróleo y también para producir nuevos materiales, como plásticos desechables, plásticos que se reconvierten, biodegradables, para que en vez de que el proceso de biodegradación tarde miles de años, demore apenas quince. Eso implica que los mejor dotados van a continuar disfrutando este tipo de cosas, algo en verdad preocupante, pues los habitantes de países como los de África, Asia y América Latina van a quedar excluidos de esos procesos, porque las grandes producciones agrícolas se harán con fines industriales y de producción de energía; el costo del trigo, del maíz y de otros bienes se va a disparar. Ya estamos viendo aquí que el precio del azúcar aumentó 43%, porque se está utilizando para producir combustible.

Entonces, ¿qué va a pasar con esa nueva revolución en la que se incorporan todas estas revoluciones anteriores? Pues que el poder se va a seguir concentrando mucho más en grupos especiales y de mayor desarrollo tecnológico, industrial, etc. Esto nos debe llevar a una reflexión al margen de esta discusión ▽

La sociedad le está poniendo a la universidad el reto de actualización permanente en muchos frentes.

LA ENSEÑANZA EN LÍNEA TRANSFORMA AL EDUCADOR

La educación en línea es una modalidad que está tomando cada vez más fuerza. No sólo desde el punto de vista de la enseñanza-aprendizaje sino también en la tecnología, son muchos los esfuerzos dirigidos a los aprendices que, en la era digital, multimedial y cibernética, requieren mayor flexibilidad de tiempo y espacio para aprender. Con el fin de tratar los diferentes aspectos involucrados en esta modalidad, la *Revista de la ESCUELA* dialogó en línea con el profesor Mario Núñez Molina, coordinador del Instituto para el Desarrollo de la Enseñanza y el Aprendizaje en Línea (Ideal) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

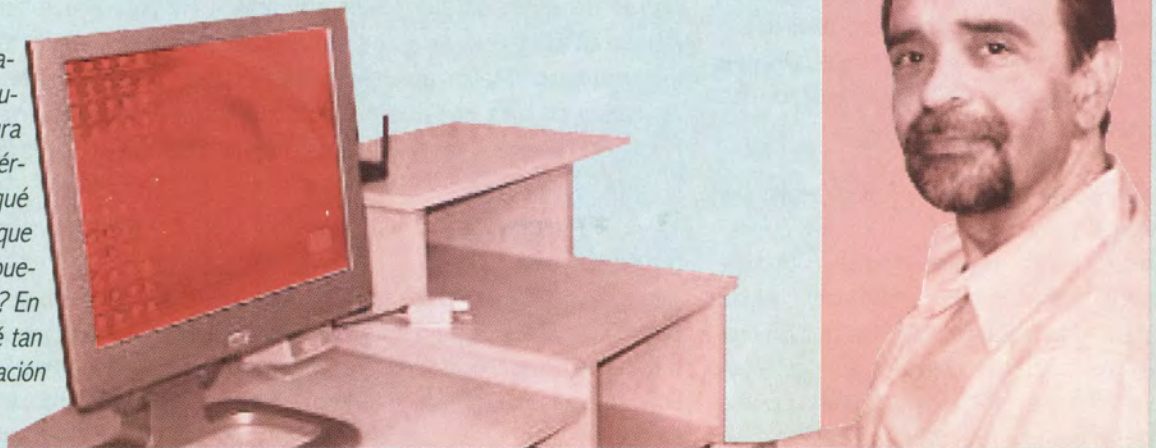
¿Qué lo motivó a incursionar en el aprendizaje en línea?

Hace unos seis años empecé a cuestionar mi práctica en la sala de clases. Llegué al mundo de las tecnologías de aprendizaje porque quería ser mejor profesor y transformar mi praxis pedagógica. La tecnología se convirtió en la manera de estimular la interactividad en las clases, facilitó la comunicación con mis estudiantes y le impartió una novedad que le hacía mucha falta. Volví a tener el mismo entusiasmo de los primeros años y ahora estoy dispuesto a enseñar unos cincuenta años más. Eso es parte de su efectividad.

Estoy convencido de que este tipo de enseñanza mejora nuestras destrezas en la sala de clases; nos hace conscientes de factores que pasamos por alto; dejamos de ser expertos y nos convertimos en facilitadores del proceso de enseñanza-aprendizaje; desarrollamos un mayor interés por mantenernos al día en relación con los temas del curso y, definitivamente, nos volvemos más organizados.

Está claro que la educación en línea puede ayudar a ampliar la cobertura en educación, pero en términos económicos, ¿qué tan acertado es creer que la educación en línea puede disminuir los costos? En esta misma línea, ¿qué tan factible es ofrecer educación en línea gratuita?

Mario Núñez Molina es doctor de la Universidad de Harvard, profesor de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, donde es decano asociado de Avalúo y Tecnologías de Aprendizaje y coordinador del Instituto para el Desarrollo de la Enseñanza y el Aprendizaje en Línea (Ideal).



Por Cristina Salazar Perdomo

Me parece que disminuir los costos no debe ser la principal motivación para desarrollar programas en línea. Es más, en la mayor parte de los casos no es así. La realidad es que hacerlo implica invertir en plataforma y en infraestructura.

¿Podría uno irse al otro extremo y pensar que la educación en línea es costosa y poco accesible para ciertos sectores?

En algunos casos es así. Por ejemplo, en universidades de Estados Unidos es realmente costoso estudiar en línea porque generalmente hay que invertir mucho dinero en plataformas como WebCT y Blackboard, aunque también las hay de código abierto. Lo que pasa es que no son muy conocidas. Además, si se utilizan programas para videoconferencia, el costo aumenta.

Ahora bien, en cuanto a la identificación del estudiante, se considera que en la modalidad presencial es relativamente fácil controlarlo. ¿Cómo hacerlo en línea?

Si es un programa serio, habrá oportunidades de descubrir al impostor. Algunos programas en línea les exigen a sus estudiantes encuentros presenciales, aparte de que hay actividades de audioconferencia. Además, el profesor empieza a conocer a sus estudiantes por la forma en que se expresan y sabe hasta dónde llega cada uno. De todos modos, me parece importante que haya actividades presenciales de corta duración. Por eso prefiero las modalidades híbridas. La principal lección que he aprendido es que la combinación de ambientes presenciales y en línea nos permite tener lo mejor de los dos mundos.

O sea, que no se trata de elegir entre una modalidad y otra...

No. Me parece que el asunto vital no es comparar la enseñanza presencial con la virtual, pues no son dos polos opuestos. La diferencia es cuestión de métodos. Los buenos profesores en el salón de clases buscarán la manera de ser buenos en la enseñanza en línea. Creo que enseñar en línea tiende a transformarnos como educadores. He aprendido a reconocer



el poder de las cosas que no podemos ver (cibespacio, educación virtual, presencia virtual). La experiencia de mis estudiantes en los cursos en línea me da a entender que pueden aprender virtualmente sin problemas. Más aún, están recibiendo el mensaje de que aprender no es un asunto limitado a las paredes del salón de clases.

¿En qué medida cree usted que hace falta la presencialidad en la educación?

Hasta donde sea posible. El asunto es definirla. Voy a referirme a este asunto de la presencialidad a partir de una cita del filósofo e historiador de las ciencias Michel Serres, de Francia: "¿Sustituirán alguna vez la presencia viva del maestro, encarnación amada del saber? Y sin embargo, por muy presente que esté al entregarse, ¿enseñó alguna vez el cuerpo docente algo que no fuera virtual?". Me parece que hemos "romantizado" la presencialidad y ésta no asegura que seamos efectivos. Puedo tener a mis estudiantes físicamente en el salón, pero sus mentes están en otra parte. Por eso prefiero hablar de educación en línea en vez de educación a distancia. La distancia es posible en ambos modelos, si no se es efectivo. En ocasiones, la presencia virtual es tan poderosa o más que la física.

Sobre el plagio

Hablaba usted de los impostores. Uno de los problemas de la educación que se han acentuado en la era digital es el plagio. ¿Es en realidad un problema o el profesor puede controlar la originalidad y autenticidad de los trabajos que presentan sus estudiantes?

Sobre el asunto del plagio, considero que es más fácil prevenirlo y tratarlo en la enseñanza en línea. Hay programas, como *Turn-it in*, que identifican fácilmente si un estudiante ha plagiado. Sobre todo, el plagio puede controlarse si cambiamos los tipos de tareas y proyectos que asignamos.

¿Cómo plantear las tareas en la educación en línea para evitar el plagio?

Se deben plantear de modo que los estudiantes las vayan entregando por partes, y así uno puede ir evaluando el progreso. Por ejemplo, si es una revisión de literatura, pedir primero las referencias, después un resumen de los artículos, luego un borrador y al final el trabajo. Con muchas tareas se puede hacer lo mismo.

Algo más que puede hacer el profesor es visitar los sitios que publiquen trabajos y a los que podrían acudir sus estudiantes; además, si les cuenta que él conoce esos recursos, los puede alertar sobre los riesgos de plagiar documentos.

¿Se aprende en la educación en línea?

El aprendizaje en línea ha generado numerosas reacciones tanto a favor como en contra. Algunos, apegados al sistema tradicional, se resisten a aceptar que esta modalidad puede ser tan efectiva o incluso más que la presencial.

Hay quienes se preguntan si realmente se aprende en línea...

A esas personas yo les preguntaría si realmente se aprende en el salón de clases. Hay decenas de estudios que concluyen que aprendemos tanto o más en línea que presencialmente. Primero tenemos que preguntarnos qué queremos lograr como educadores, cuáles son nuestras metas y objetivos pedagógicos; hay que comenzar por cuestionar la enseñanza presencial. Hemos estado haciendo lo mismo en el salón de clases por largo tiempo, descansando muchas veces en la conferencia y en la pizarra como nuestras principales tecnologías. ¿Es eso lo que queremos como educadores y lo que merecen nuestros estudiantes?

Entonces, considero que la pregunta ya no debe ser si aprendemos en línea, sino cuáles son los elementos que hacen efectiva la enseñanza en línea.

¿Cuáles son los elementos?

Lo interesante es que los elementos son esencialmente los mismos que los de la enseñanza presencial. Por ejemplo: tener comunicación efectiva con los miembros de la clase; ofrecer retroalimentación frecuente (*feedback*); tener altas expectativas en torno a nuestros estudiantes; facilitar la colaboración.

Otro aspecto muy discutido es el cambio que debe producirse en el estudiante para que deje de ser pasivo y se convierta en activo. ¿Contribuye la educación en línea a que el estudiante sea más activo?

No hay duda. Un estudiante puede pasar un curso en línea sólo si es activo. Esa es la única manera. No es así

en el salón de clases. En el foro todos los estudiantes tienen que participar, mientras que en la modalidad presencial muy pocos lo hacen. Ahora, el rol del profesor en la enseñanza en línea es más bien de guía y los estudiantes son el centro.

De la edad media para acá no hemos tenido transformaciones reales en la forma en que enseñamos. Nos reunimos en un salón, hablamos, dictamos, resumimos, hacemos una que otra pregunta, asignamos lecturas y se acaba la clase. Y eso lo repetimos *ad infinitum*. Mientras que nuestros estudiantes memorizan, repiten y se aburren hasta más no poder. Esa es, usualmente, la norma de todos los días en muchos salones de clase.

¿Puede ser más explícito en cuanto al rol del profesor como guía?

¿Tiene que ver con que el profesor trabaje menos?

Todo lo contrario. En la enseñanza en línea hay menos preocupación por el contenido del curso y el énfasis se hace en el aprendizaje constructivista. Pero el proceso siempre está presente. Lo peor que puede ocurrir en un curso en línea es que tengamos a un profesor invisible; hacerlo bien es una tarea realmente compleja, tal vez más que en un curso presencial.

¿Y el estudiante? ¿Qué papel debe asumir él?

El estudiante debe ser independiente y saber organizar su tiempo. Tiene que ser un "self-learner", un aprendiz autónomo.



En cuanto a la motivación para el aprendizaje, ¿cree usted que es tarea del profesor, debe compartirse con el estudiante o es responsabilidad de éste nada más?

Me parece que el profesor tiene la responsabilidad de crear un ambiente en el que sea divertido e interesante aprender. En ese sentido podemos hablar de motivación. Pero entiendo que no todo el mundo está preparado para aprender en línea. Hay personas que necesitan el salón de clases. Eso se debe a los estilos de aprendizaje.

¿También podría considerar el profesor que la enseñanza en línea no va con él?

Es así. Hay profesores que, esencialmente, no están preparados para enseñar en línea o no les gusta la modalidad. Tanto ellos como los estudiantes deben ser libres para escoger si desean participar en esa modalidad o no. De todos modos, considero importante ofrecer adiestramientos a unos y otros para que puedan aprovechar el mundo de la tecnología. Es fundamental que nuestros estudiantes entiendan que el aprendizaje en el salón de clases es muy limitado en términos de tiempo y espacio. Aprender es un proceso continuo.

¿Hay alguna forma de saber si un profesor podría hacer un buen trabajo en ambientes en línea?

Existen cuestionarios que se utilizan para que el estudiante sepa si la opción en línea es buena para él, al igual que varias encuestas para profesores. En el Recinto Universitario de Mayagüez tratamos de que el curso tenga una sesión presencial y el estudiante escoja si desea tomarlo presencial o en línea. Lo otro es avisar con tiempo para que se sepa que el curso es en línea.

Se dice que la educación en línea contribuye al aprendizaje autónomo. ¿Cómo se puede contribuir a que el estudiante en línea sea autónomo?

Facilitar la autonomía siempre es una tarea difícil, tanto en la modalidad en línea como en la presencial. Los profesores tenemos un deber y una responsabilidad para que nuestros estudiantes desarrollen autonomía y la mejor manera es con el tipo de tareas, con el modo en que se formulan las preguntas y se presenta el material. Es clave que el estudiante entienda que es su responsabilidad.

Habla usted del modo de hacer preguntas. Esto es todo un arte. ¿Qué nos puede decir al respecto, a partir de su experiencia?

Como lo han señalado los sabios, las preguntas son más importantes que las respuestas. Me parece que la idea no debe ser estimular a los estudiantes a generar respuestas, que en la mayor parte de los casos se convertirán en obsoletas. La formulación de preguntas es la base central de toda ciencia y del proceso de búsqueda.

A propósito de esto, ¿cómo se puede fomentar la investigación en procesos de aprendizaje en línea?

Me parece que es muy similar a lo que hacemos en el salón de clases pero fortalecida por internet, con sus bases de datos y motores de búsqueda. Saber buscar en línea se convierte en una destreza imprescindible.

En esta era digital, ¿qué papel debe asumir el Estado?

El Estado tiene que hacer lo posible por facilitarles el acceso a internet a todos los ciudadanos. El gran reto es tratar de reducir la brecha digital. Ahora, hay que tomar en cuenta que en

varios países la tecnología no es prioridad porque tienen que lidiar con las necesidades básicas de sus ciudadanos.

El profesor Mario Núñez Molina continúa trabajando en el Ideal, comprometido con el cumplimiento de sus objetivos para "establecer el uso de la tecnología como una alta prioridad y promover el concepto de que la inversión en tecnología es una inversión en el futuro".

REFERENCIAS

- Weblog (blog) sobre tecnologías de aprendizaje: <http://www.vidadigital.net/blog>.
- Cuestionarios para determinar si la modalidad en línea es viable o no para un estudiante o un profesor: <http://www.uprm.edu/ideal/cursos.htm>.
- Sobre el plagio en línea: <http://www.uprm.edu/ideal/plagio.swf>



Ciencia & TECNOLOGÍA

Bernardo Liévano León

En los albores del siglo XXI, nos encontramos frente al controvertido fenómeno de la globalización. Las naciones más desarrolladas, que enarbolan los estandartes del capital, reinan omnímodamente, y parapetado detrás del antifaz de la igualdad y la concordia entre los pueblos, el dinero se yergue como el valor que regirá el mundo en las décadas venideras. Todos los estamentos de la sociedad tendrán que enfrentar el nuevo orden socioeconómico, y la ciencia, la tecnología y el mundo académico no serán la excepción; por el contrario, los objetivos prístinos y desinteresados que otrora estimularon la formación de las universidades y que fueron verdadero motor de la actual cultura occidental, son los grandes ausentes en la formación de las nuevas generaciones. Hoy se busca el facilismo, lo *light* invade los nuevos paradigmas de la formación académica y profesional; hoy se estudia para conseguir dinero, no para aprender; la ciencia y su subproducto tecnológico tienen interés en la medida en que puedan contribuir a la concentración de capitales. Ya se escuchan las voces de quienes buscan la sustitución de los temas de formación básica en los nuevos currículos, por los subproductos instrumentales de la investigación científica, no se pretende for-

mar sino entrenar. La academia no puede permitir un exabrupto de tal naturaleza, cuyo único resultado será la mutilación intelectual de las nuevas generaciones.

Quiero invitar a los lectores a reflexionar sobre este tema con las palabras que don Miguel de Unamuno pronunciara en 1908, acerca de la formación académica y profesional, palabras que

“(…) Ya Platón hacía decir a Sócrates en el Parménides que quien de joven no se ejercitó en analizar esos principios metafísicos, que el vulgo estima ocupación ociosa y de ociosos, jamás llegará a conseguir verdad alguna que valga. Es decir, traduciendo al lenguaje de hoy ahí, en esa tierra, los cazadores de pesos que desprecian las macanas jamás sabrán nada que haga la vida más noble, y aunque se redondeen de fortuna tendrán pobrísima el

alma, siendo toda su vida unos beocios; y siglos más tarde que Platón, otro espíritu excelso, aunque de un temple distinto del de aquél, el canciller Bacon, escribió que ‘no se han de estimar inútiles aquellas ciencias que no tienen uso, siempre que agucen y disciplinen el ingenio’.

Éste es un sermón que hay que predicar a diario —y por mí no quedará— en aquellos países, entre aquellas gentes donde florece la sobrestimación a la ingeniería con desdén de otras actividades.

En el vulgo es esto inevitable, pues no juzga sino por los efectos materiales, por lo que le entra por los ojos. Y así, es muy natural que ante el teléfono, el fonógrafo y otros aparatos

que le dicen ser invención de Edison —aunque en rigor sólo en parte lo sean de este diestro empresario de invenciones técnicas—, se imagine que el tal Edison es el más sabio y más genial de los físicos hoy existentes e ignore hasta los nombres de



a pesar de tener ya casi cien años, son de una actualidad indiscutible. He aquí el pensamiento del inmortal salaman-
tino:

tantos otros que le superan en ciencia. Ellos, los del vulgo, no han visto ningún aparato inventado por Maxwell, verbigracia, y se quedan con su Edison, lo mismo que se quedan creyendo que el fantástico vulgarizador Flammarión es un estupendo astrónomo.

Mal éste que, con el del cientificismo, tiene que ser mayor que en otros en países como ese, formados en gran parte por emigrantes de todos los rincones del mundo que van en busca de fortuna, y cuando la hacen, procuran instruirse de prisa y corriendo, y en países además donde los fuertes y nobles estudios filosóficos no gozan de estimación pública y donde la ciencia pura se supedita a la ingeniería, que es la que ayuda a ganar pesos. Al menos, por lo pronto.

Y digo por lo pronto, porque donde la cultura es compleja, han comprendido todos el valor práctico de la pura especulación y saben cuánta parte cabe a un Kant o un Hegel en los triunfos militares e industriales de la Alemania moderna. Y saben que si cuando Staudt inició la geometría pura o de posición esta rama de la ciencia no pasaba de ser una gimnástica mental, hoy se funda en ella mucha parte del cálculo gráfico que puede ser útil hasta para el tendido de cables.

Pero aparte de esta utilidad mediata o a largo plazo que pueden llegar a cobrar los principios

científicos que nos parezcan más abstractos, hay la utilidad inmediata de que su investigación y estudio educa y fortifica la mente mucho mejor que el estudio de las aplicaciones científicas.

Cuando nosotros empezamos a renegar de la ciencia pura, que nunca hemos cultivado de veras —y por eso renegamos de ella— y todo se nos vuelve hablar de estudios prácticos, sin entender bien lo que esto significa, están los pueblos en que más han progresado las aplicaciones científicas escarmentándose del politécnico y desconfiando de los practicones. Un mero ingeniero —es decir, un ingeniero sin

verdadero espíritu científico, porque los hay que le tienen— puede ser tan útil para trazar una vía férrea como un buen abogado para defender un pleito; pero ni aquél hará avanzar a la ciencia un paso, ni a éste le confiaría yo la reforma de la Constitución de un pueblo. (...)

Miguel de Unamuno
Salamanca, febrero de 1908”.

Las universidades son los templos del saber, desde siempre. Es en ellas donde, además del entrenamiento profesional idóneo, se debe estimular también el estudio de las disciplinas “que no sirven para nada”, de los temas básicos que no encuentran uso inmediato en el ejercicio profesional. Ya decía Michael Faraday cuando presentaba su descubrimiento de la ley de la inducción electromagnética ante los escépticos miembros de la Royal Society que le preguntaron: “Señor Faraday, muy interesante, pero... ¿eso para qué sirve?”, a lo cual sin vacilar, Faraday respondió: “¿Para qué sirve un bebé recién nacido?”



Una **mujer** que ama el Transmilenio

Martha Cecilia Niño

PERFIL

Angélica Castro Rodríguez, ingeniera civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería, especializada en gestión pública e instituciones administrativas de la Universidad de los Andes y con una maestría en planeación de transporte de la Universidad de Leeds, en el Reino Unido. Domina dos idiomas, inglés y francés.

“Nací entre hombres y soy la única hija mujer. Además de mi papá y mis hermanos, mis primos de mi edad también son hombres. Aunque puede ser coincidencia, estudié una carrera que, en opinión de mi mamá, es de hombres, al igual que la especialización. Sin embargo, nunca he tenido problemas de género y aunque independientemente del contexto nunca dejo de ser mujer, eso se refleja en los sentimientos, emociones y amor que siento por Transmilenio”.

Casada desde hace trece años con Luis Fernando Ballesteros, también ingeniero civil de la Escuela, ha dedicado su vida a estudiar y a trabajar. Considera que Dios manda a cada persona al mundo a hacer una labor, por lo que relata algunos aspectos de su vida que la han llevado a enrolarse en el tema

de transporte y que hoy le han permitido estar al frente de uno de los sistemas de transporte urbano masivo más admirados.

Gerente general de Transmilenio S.A. Nombramiento realizado el 1° de febrero de 2006.

¿El bagaje académico entregado por la Escuela le ha servido para la aplicabilidad de su trabajo?

Sí, aunque indudablemente es la suma de varias formaciones: la del colegio, la universitaria, las oportunidades que se me han presentado, la familia, entre otras. Desde luego que la universidad ha sido muy importante y me correspondió en una época donde éramos pocos, máximo mil estudiantes, pues sólo existían tres ingenierías: civil, eléctrica y de sistemas. Con los egresados de las primeras promociones de algunas de ellas nos conocíamos casi todos.



¿Qué proceso académico tuvo que seguir para llegar a este cargo?

Ahí hay una historia de coincidencias. Cuando terminé ingeniería civil, duré un año en una firma privada. Luego tuve la oportunidad de irme a trabajar al Departamento Nacional de Planeación, en el sector de transporte. Estando allí, algún día el doctor Pedro Chocontá, profesor de topografía de la Escuela, me llamó y me ofreció una beca para estudiar transporte en el Cauca. Por diferentes razones no tomé esta opción. Pasados dos años, pensé en estudiar derecho y esta decisión estaba relacionada con el tema de la Constituyente.

Al final me decidí por la especialización en gestión pública e instituciones administrativas, en la Universidad de los Andes, la cual está fundamentada en el derecho público. Cuando culminé los estudios y con el temor de encasillarme en el tema de transporte, resolví estudiar algo relacionado con administración.

En Planeación Nacional tuve la oportunidad de irme a la Cooperación Técnica Internacional y estando en la agencia encontré una especialización en España sobre administración pública, que era mi ilusión. Sin embargo, no logré esa beca pero me ofrecieron otra para irme al Japón a estudiar transporte urbano. Nadie se había presentado porque en esa época no había tanto auge en el tema. Fueron tres meses allí y de nuevo la vida me llevó al tema del transporte. Fue una experiencia muy enriquecedora.

Cuando volví del Japón, tomé la decisión de hacer una maestría internacional sobre transporte. Me inscribí y me presenté a la Universidad de Leeds, en Inglaterra. Cuando culminé los estudios y como había viajado con beca de Planeación Nacional, la primera opción de trabajo la tenía allí. Regresé como jefa de la División de Políticas y Apoyo a la Descentralización en Planeación Nacional y luego me nombraron jefa de la División de Transporte, es decir, volví al tema.

En 1999 se empezó a retomar el asunto del transporte masivo, pero aquí en Colombia nadie creía en nada que le cambiara el panorama al transporte. En ese entonces el alcalde mayor de Bogotá, Enrique Peñalosa, me llamó y me dijo que para Transmilenio necesitaba una persona experta en transporte urbano y me ofreció la Dirección de Planeación.

Estuve tres años en ese cargo, tiempo en el cual pusimos en operación la fase I del sistema y planeamos la fase II, que actualmente se encuentra en construcción. En agosto de 2003 el gerente de la entidad en ese momento, Enri-

que Sandoval, y el alcalde de Bogotá, Antanas Mockus, me ofrecieron la subgerencia general de Transmilenio S.A.

En diciembre del 2003, nuevamente hubo cambio en la administración distrital y llegó a la gerencia de Transmilenio S.A. la doctora Astrid Martínez, quien me invitó a que la acompañara considerando que yo tenía el conocimiento técnico que se necesitaba para lo que deseaba realizar en su gestión. Después de dos años en el cargo y luego de la partida de la gerente, a finales de enero de 2006, el alcalde Luis Eduardo Garzón me llamó y me dijo "Astrid se va para la Energía y quiero que usted me ayude y se quede en la gerencia general de Transmilenio S.A."

La academia se debe complementar con vivir la experiencia y saber qué significa hacer cada cosa.

¿Qué recomendaciones les puede dar a los catedráticos que hoy están formando a los jóvenes en la Escuela, como enseñanza práctica?

Para mí es fundamental que un catedrático salga y "coma calle", como digo yo. La academia es muy importante, allí se

reflexiona, pero en estos cargos a veces se es reactivo y no hay tiempo para sentarse a la discusión. La academia se debe complementar con vivir la experiencia y saber qué significa hacer cada cosa. Yo tengo otra frase: "Hacer es muy difícil pero criticar es muy fácil". Por eso la combinación entre hacer y reflexionar es muy importante.

Jaime Lerner, quien hizo Curitiba en Brasil, una ciudad que fue durante mucho tiempo el hito urbano de Latinoamérica en el tema de transporte, decía que la planeación se debía hacer desde la calle. Entonces, una recomendación: hay que vivir la profesión para poder enseñar.

¿La ingeniería es calidad, es servicio o qué es?

La ingeniería es un servicio transversal en muchos frentes. Si es energía, es darle luz a la gente; si es construcción, es dónde van a vivir; el transporte es cómo llevarlos de un lado para otro en las mejores condiciones. Siempre hay un tema de servicio del que a veces no somos muy conscientes, pues depende de la formación profesional. Se puede construir un edificio, pero se debe tener respuesta a los interrogantes sobre quién va a vivir ahí y en qué condiciones, cómo se va a poder mover. La Escuela, como universidad, ha aprendido y se ha desarrollado para darles muchas cosas a sus nuevos profesionales.

¿Qué cree usted que proyecta la ingeniería del siglo XXI?

Creo que la tecnología es la parte que reúne la proyección, no importa qué haga uno. El tema de la ingeniería está relacionado con la tecnología. Los modelos para hacer pla-

neación de transporte, las hidroeléctricas, el tema de aguas, en fin, veo a la ingeniería proyectada de manera transversal en lo tecnológico hacia el futuro.

De acuerdo con la experiencia que ha logrado como profesional en ingeniería civil, ¿qué cambios le haría a su profesión para brindarles una mejor orientación a los ingenieros de hoy? Haría mucho énfasis en los aspectos económico y financiero. Una realidad es estar de frente al país en el sentido de tomar partido con estructura, pero hay un tema fundamental, que lo aprendí un poco en Inglaterra cuando hice la maestría, y es que a veces no importa si dos más dos es cuatro, seis o dos, lo que importa es el análisis que hace usted frente a la respuesta. Lo que les pondría fundamentalmente sería estructura mental para que la gente piense por qué un resultado le está dando de esa manera.

¿Qué retos tiene ahora como gerente general de Transmilenio?

Mi principal reto es poner en operación la fase II del sistema, que está compuesta por la troncal de Suba con diez kilómetros y su respectiva alimentación, y el tramo restante de la NQS, que tiene otros cinco kilómetros. Ese es el reto palpable. Y el reto no palpable, pero muy importante, es mejorar el nivel del servicio del sistema. No voy a desocupar los buses, pero indudablemente creo que hay un espacio importante de servicio al usuario para mejorar.

Transmilenio ha sido un sistema admirado pero también criticado. ¿qué soluciones tiene previstas para corregir las fallas del sistema?

Hay una muy concisa y es reestructurar los servicios luego de la entrada com-

pleta de la fase II. El propósito es que los servicios actuales, es decir, los corrientes, expresos y algunos superexpresos, reflejen mejor la matriz origen y destino. Es decir, que si un bus se llena en una estación, tenga la posibilidad de irse derecho hasta el centro o hasta Chapinero sin necesidad de parar en más estaciones. Pero ahí tenemos que hacer algo combinado para que todo el mundo disfrute de un buen servicio; tenemos que dar las opciones necesarias para que el vehículo haga menos paradas cuando esté lleno.

Mi principal reto es poner en operación la fase II del sistema, que está compuesta por la troncal de Suba con diez kilómetros y su respectiva alimentación.

He tenido la oportunidad de dictar conferencias en Francia, Alemania y Emiratos Árabes, entre otros países, y puedo sentir la admiración tan profunda que tienen por Bogotá y por este sistema de transporte. Tam-

bién en publicaciones importantes del mundo han contado cómo Transmilenio le ha cambiado la cara a Bogotá. El exgerente de Transmilenio S.A., Enrique Sandoval, me decía: “Si usted quiere oír hablar bien de Transmilenio ponga el pie en Rumichaca, porque en Ipiales, que es todavía Colombia, todos lo critican. Sin embargo, siempre me ha parecido que las críticas no son malas porque son una oportunidad de mejora. Por ejemplo, en Transmilenio tenemos un *call center* para atender y orientar a los usuarios. Antes no había la costumbre de manifestar una queja o una sugerencia porque nadie la oía. Hoy respondemos a los comentarios o críticas de los usuarios, aunque siempre creo que criticar es más fácil que hacer.

En el caso del servicio de alimentadores es un tema más complejo, porque dependemos de otras acciones. Es un tema de infraestructura deficiente,

de tecnología, tenemos la restricción de compartir la vía con el tráfico mixto y el resto de transporte público. Eso dificulta la operación, pero a pesar de todo trabajamos continuamente para mejorar el servicio, que se presta donde la gente no tiene otra opción distinta de Transmilenio, son de escasos recursos y no pueden pagar doble tarifa, o donde las condiciones geográficas de la zona hacen que no exista otro tipo de servicio. Actualmente, el 50% de nuestros usuarios provienen de la alimentación.

Yo siempre digo que Dios manda a cada persona al mundo a hacer una labor. Hoy me siento como la mamá de un grupo grande de muchachos que trabajan aquí, a los que consiento, quiero y regaño, cuando es necesario. Creo que esa es mi misión.

Llevo siete años en Transmilenio S.A. y ha sido una carrera interesante porque finalmente creo que soy un ejemplo. Siempre digo que a mí no me gusta hacer lo que quiero pero me encanta querer lo que hago. Eso hace que finalmente sea feliz, aunque a veces piense que sea el dinosaurio de Transmilenio por el tiempo que llevo aunque, la verdad, siete años no son nada

