

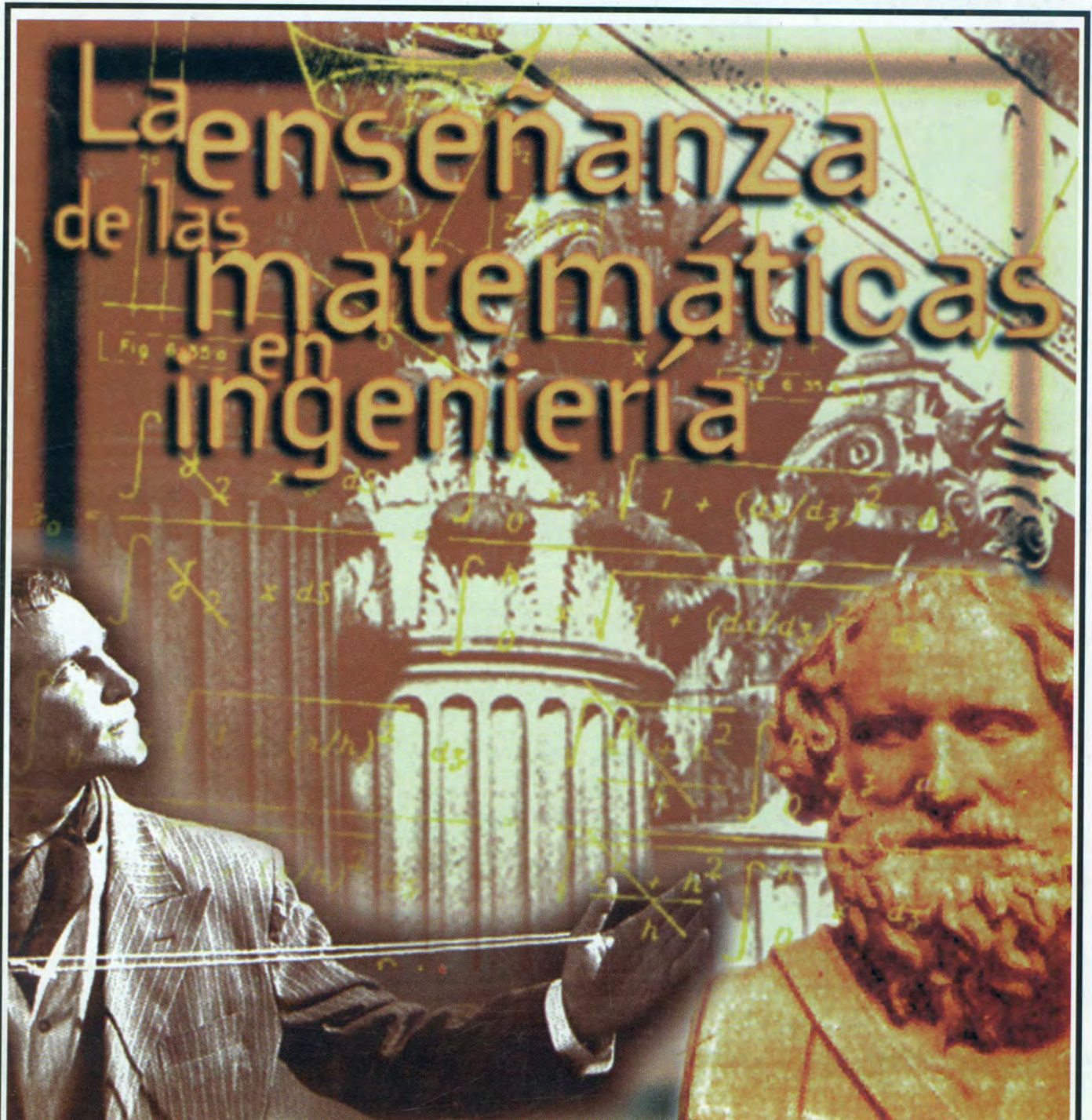
REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE

# INGENIERIA

Año 6 N° 23

Julio - Septiembre de 1996

PERMISO DE TARIFA POSTAL REDUCIDA N° 1419 DE ADPOSTAL



## ¿ Y ?

Mat. Carlota López Arango



Qué sería de las matemáticas sin la ingeniería? Este paradójico interrogante planteado por un antiguo filósofo griego\* puede molestar el ego de algunos matemáticos, lo cual es el propósito de la susodicha interrogación. En efecto, en la mayoría de los casos (92.2365 % de acuerdo con los estadísticos, que son unos señores muy precisos) es indispensable sacudir la realidad desde un aspecto nada convencional para descubrir los misteriosos caminos que nos conducen al futuro científico.

¿Cuáles son los “paradigmas” matemáticos –la coloco *ex profeso* entre comillas pues sé de algunos a quienes molesta esta palabra– que no parecían relevantes hace 20 ó 30 años, que nos abruman en las facultades de ingeniería y los cuales es necesario desentrañar? ¡Yo qué sé!<sup>1</sup>. No obstante, palabras como “difícilísima”, “tecnología”, “amor” y “entusiasmo” tienen que hacernos reflexionar cuidadosamente al respecto.

Nos enfrentamos hoy a un estudiantado bastante diferente del que teníamos hace un tiempo. Si miramos la historia de las matemáticas en Colombia, las facultades dedicadas a ellas surgieron precisamente de las facultades de ingeniería. La razón era clara: los jóvenes que entraban a estudiar esta profesión eran personas que no sólo tenían facilidad para las matemáticas sino que además éstas les apasionaban. Hoy precisamente, como existen carreras más afines a las matemáticas, es muy posible que gran parte de los estudiantes de ingeniería encuentren en los cursos de matemáticas más un obstáculo que un placer.

Otro aspecto muy importante es el avance tecnológico, que ha permitido que nuestros estudiantes tengan siempre a su alcance calculadoras y computadores que les facilitan el trabajo rutinario y mecánico de algunos problemas, razón por la cual muchos de ellos piensan que gran parte de los cursos de matemáticas están de más en su profesión (es un hecho que algunos profesores de matemáticas se encargan de reforzar esta apreciación).

Solamente mirando los anteriores aspectos, los docentes de matemáticas nos vemos enfrentados a una gran labor con los estudiantes. Ante todo debemos demostrarles que los cursos de matemáticas son relevantes no sólo por sus contenidos sino porque a través de ellos van a aprender a razonar y resolver cualquier problema que se les presente tanto en su vida de estudiantes como en su vida profesional. Es algo que no se logra mediante la represión y el temor, sino que resulta en forma espontánea del gusto especial por la materia, que es precisamente lo que nosotros debemos transmitir dentro y fuera de las aulas.

Es muy importante también que les enseñemos a manejar “inteligentemente” los computadores, para que los estudiantes caigan en cuenta de que éstos son sólo una herramienta más que, además, debe ser utilizada no para resolver los problemas “por” ellos sino “para” ellos. En esto hay que tener mucho cuidado, pues tan absurdo es el uso de calculadoras y computadores para todo, como el despreciar su utilidad.

Para terminar, creo que es muy importante que nuestra labor de docentes sea tan bien hecha que, por lo menos, unos pocos de nuestros estudiantes lleguen a motivarse de tal manera que ellos mismos soliciten cursos de investigación en matemáticas (eventualmente electivos), pues necesitamos formar verdaderos líderes científicos que puedan guiar a otras generaciones.

Una vez resuelto el interrogante inicial –o por lo menos habiendo hecho un buen intento para crear una razonable confusión al respecto– me permitiré no aburrir más a los amables lectores y sólo les pediré que intenten contestar estas dos sencillas preguntas: ¿Cuánto es uno más uno? ¿Por qué? ↴

\* En realidad no recuerdo que ningún filósofo griego haya mencionado este tema, pero este tipo de citas siempre les da un aire de importancia a los editoriales.

<sup>1</sup> Les Luthiers, Warren Sánchez, versículo 2, 1992.

# Fórmulas para superar la crisis económica

Dr. Eduardo Sarmiento Palacio

Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia; Ph.D. en Economía, Universidad de Minnesota; ha sido decano de Economía, Universidad de los Andes; asesor Junta Monetaria; subjefe Planeación Nacional; en la actualidad columnista del diario *El Espectador*, autor de siete libros y más de doscientos ensayos y artículos; director del Centro de Estudios Económicos, Escuela Colombiana de Ingeniería.

## INTRODUCCIÓN

**E**n 1993 y 1994 la economía pasó por un estado de bonanza promovida por los elementos artificiales de la apertura. Estas condiciones se modificaron en 1995. En los primeros meses de ese año se presentó el desplome de los precios de las acciones, el descenso de las ventas, de la construcción y del comercio. Luego, el proceso se trasladó a la industria que terminó el año con índices negativos y al desempleo que se elevó sistemáticamente en el segundo semestre. Si bien el deterioro económico se inició antes que la crisis política, no se puede desconocer que ésta ha dificultado el diagnóstico y ha reducido la gobernabilidad para enfrentar problemas económicos.

La ponencia parte de esta realidad para precisar el agravamiento de la crisis en el primer semestre del año y formular algunas soluciones para superar la crisis.

## ESTADO ACTUAL

Los indicadores del semestre son los peores en mucho tiempo. Las encuestas de la Andi y Fedesarrollo revelan un panorama de la industria, que en cierta forma recoge el desempeño de las distintas actividades de la economía, que no se veía desde los prime-

ros años de la década del ochenta. La producción del sector caerá en el semestre varios puntos en relación con el año anterior. A su turno, la agricultura, no obstante el alza de los precios internacionales, no ha logrado salir de la crisis que cada vez se torna más estructural. El área de cultivos transitorios caerá por quinto año consecutivo y la producción pecuaria y de cultivos permanentes se verá seriamente afectada por el debilitamiento del mercado interno. Por otra parte, el desplome de los indicadores de demanda, que registran caídas de 5% en las ventas del comercio, de 30% en la construcción y de 10% en la inversión

empresarial, sugieren que la crisis no ha tocado fondo. Más aún, a la luz de la lenta evolución de los índices de consumo de energía y gasolina, parecería que ya llegó a los servicios que son determinados por factores de largo plazo.

Si a todo esto se agrega el rápido deterioro de la tasa de desempleo que pasó de 9% a 11.7% en un año, es claro que la economía ha entrado en una profunda recesión que tiende a propagarse como las plagas. El producto nacional crecerá por debajo de 2.5% y este exiguo dinamismo provendrá de las actividades mineras.

A una situación de esta naturaleza no se llega de un momento a otro. Desde hace cinco años vengo señalando las serias deficiencias del modelo de apertura y sus daños estructurales propinados a la economía colombiana. La estructura arancelaria en conjunto con la revaluación indujo un desbordamiento de las importacio-



nes que desplazó la industria y agricultura de alto valor agregado, que es la que tiene mayores posibilidades de demanda y empleo, y a cambio de ello, surgió una serie de actividades altamente dependientes de las importaciones que desplazó al empleo nacional. La economía quedó expuesta a un déficit creciente en la cuenta corriente de la balanza de pagos que constituía una clara evidencia de que la frivolidad importadora no llevaba a la inserción internacional. Luego, los intentos recientes para mantener el desequilibrio externo y evitar el colapso cambiario llevó a propiciar tasas de interés de 45%.

Estos daños se vieron desde un principio y se agravaron progresivamente. Sin embargo, durante varios años se compensaron o se ocultaron por la elevación del ingreso ocasionado por la reducción de los precios de los productos importados y por la entrada masiva de capitales especulativos. La realidad sólo vino a verse en 1995, cuando la actividad económica descendió aceleradamente y en diciembre desembocó en recesión. Lo grave es que en el primer semestre del presente año el proceso adquirió formas alarmantes que no es fácil imaginar en dónde terminarán.

Lo más preocupante es la pasividad del gobierno. El plan de reactivación está orientado a promover la vivienda popular, frenar el contrabando y reducir las tasas de interés. No es necesario profundizar para advertir que estas disposiciones no guardan relación con la gravedad de la situación. Los estímulos a la vivienda popular pueden inducir mayores ventas, pero no tendrán mayores efectos so-

***La fórmula consiste en reajustar la estructura arancelaria para reducir las importaciones de los productos que pueden ser elaborados internamente, bajar la tasa de interés entre 10 y 15 puntos porcentuales por procedimientos administrativos y sustituir el sistema cambiario por un tipo de cambio único, regulado y anunciado por las autoridades monetarias.***

bre la actividad constructora ni el empleo mientras persista el estado de sobreoferta. Las acciones contra el contrabando, si bien se justifican por razones legales, están muy lejanas de corregir los daños estructurales propinados por la inundación de las importaciones registradas. Por otra parte, las determinaciones recientes de liberar \$400.000 millones, algo así como 4% de los medios de pago, no lograrán reducir significativamente las tasas de interés activas que están por las nubes del 45%.

El drama del país es el mismo de México y Argentina, en donde las autoridades económicas se han resistido a modificar las fallas estructurales de la apertura. Esta actitud coloca la economía entre el dilema del déficit externo y la recesión. La viabilidad y el alcance de las políticas tradicionales de reactiva-

ción se ven limitados por los riesgos cambiarios.

## FÓRMULA

El único camino para lograr una rápida y significativa reactivación es la revisión de la apertura mediante un enfoque pragmático. La prioridad no puede ser distinta a la de corregir los daños estructurales que están ocasionando la recesión, como el desbordamiento de las importaciones, las elevadas tasas de interés y la inestabilidad cambiaria.

El primer paso consistiría en detener o revertir el desbordamiento de las importaciones. No sería realista esperar que un cambio en la estructura productiva ocasionada por la apertura se pueda modificar en un corto plazo. Por eso es necesario proceder con prudencia y gradualidad. En un principio la reducción de las importaciones debe concentrarse en los bienes finales y en general en las actividades que están en capacidad de ser elaboradas internamente. De esta manera, la menor entrada de productos foráneos contribuiría a la reactivación gradual de la economía y al mejoramiento progresivo de la balanza de pagos.

Tal vez, la mayor preocupación actual gira en torno a las elevadas tasas de interés que se han convertido en un factor devastador. En este caso tampoco opera la ortodoxia. La pres-



**Angi Tours LTDA.**

Calle 57 No. 25-69

Tels.: 210 1437 - 248 6966

Fax 210 1278

Santafé de Bogotá, D.C.



TURISMO RECEPTIVO



EXCURSIONES



RESERVAS HOTELES



CRUCEROS



ALQUILER AUTOS



PASAJES NACIONALES E INTERNACIONALES

cripción de bajar las tasas de interés mediante la expansión del crédito no es viable en las condiciones actuales de la balanza de pagos. La mayor disponibilidad de fondos, en conjunto con la mayor rentabilidad externa, movilizaría a los individuos a adquirir divisas, lo que compensaría la expansión monetaria inicial y su efecto sobre las tasas de interés, y más bien podría conducir a un colapso cambiario.

En realidad, la reducción significativa de las tasas de interés sólo puede lograrse mediante acciones administrativas. Una medida de esta naturaleza permitiría reducir los niveles actuales entre 10 y 15 puntos porcentuales y no significaría la liberación de fondos. Sin embargo, su aplicación no deja de significar riesgos dentro del régimen cambiario vigente. La reducción de las tasas de interés internas podría inducir una ampliación de la demanda de divi-

sas que empujaría el tipo de cambio al techo de la banda, generando un estado de expectativas de devaluación que amenazaría la estabilidad cambiaria. Como es apenas normal, el control directo de las tasas de interés

requiere una revisión del sistema cambiario.

La tercera medida consiste, entonces, en sustituir el sistema de bandas por una tasa de cambio única fijada por el Banco de la República. Las autoridades monetarias quedarían en posición de mantener los rendimientos internos en línea con los externos. Una posible alternativa consistiría en ajustar de una sola vez el tipo de cambio de acuerdo con la inflación internacional esperada menos la inflación interna y anunciar que la nueva tasa se mantendría durante un año. En tales condiciones, los efectos inflacionarios no serían diferentes a los del sistema actual e incluso podrían ser menores. Lo más interesante es que un manejo de esta naturaleza prepararía el camino para adelantar en el futuro un pacto social encaminado a reducir la inflación por debajo de 10%.

Dentro de cualquier plan de reactivación no puede estar ausente la construcción. Al fin y al cabo, este sector representa la tercera parte de la industria, tiene una gran influencia en el empleo urbano y, por lo general, es el primero en salir de las recesiones y el



encargado de arrastrar a los restantes. La principal restricción en el momento actual es el elevado nivel de inventarios que se acumuló en los últimos años, pero todo parece indicar que empezarán a descender en el segundo semestre. Aun así, las expectativas de reducción de los precios continuará debilitando la demanda y ahuyentando a los constructores. El círculo vicioso sólo puede quebrarse con una reducción significativa a las tasas que, obviamente, tendrían que extenderse al UPAC. En particular, convendría que la corrección monetaria no supere la inflación y que la tasa de interés adicional se sitúe por debajo de 8%.

Por último se plantea la pregunta del manejo fiscal. Ante todo convendría que los economistas del gobierno revisaran sus lecciones elementales y entendieran que un estado de altas tasas de interés con recesión no pueden atribuirse a una política fiscal expansiva. En las circunstancias actuales, el intento de reducir el déficit fiscal para bajar las tasas de interés sólo contribuiría a agravar aún más la recesión. Sin embargo, un manejo fiscal activo para estimular la producción podría generar serios problemas externos y financieros. Por exclusión de materia, se llega a la necesidad de una política relativamente neutral que podría lograrse con un déficit del sector público consolidado del orden de 1.6% del PIB, cifra que corresponde a la predicción de la Comisión de Gasto Público para el presente año y que en

***La prioridad no puede ser distinta a la de corregir los daños estructurales que está ocasionando la recesión, como el desbordamiento de las importaciones, las elevadas tasas de interés y la inestabilidad cambiaria.***

**OMICRON**  
Ingenieros Asociados Ltda.

● DISEÑO Y CONSTRUCCION DE  
INSTALACIONES ELECTRICAS Y  
MECANICAS

Alberto Reyes Uribe  
Jorge E. Torres Correa  
Marco A. Valentín G.  
Oscar D. Rodríguez Q.

Calle 55 No. 14-76 Teléfono: 345-0388  
Fax: 310-7570 Apartado Aéreo 50472  
Santafé de Bogotá

cualquier parte sería considerado como moderado en un momento de profunda recesión.

Hasta hace un tiempo señalábamos que la apertura había propiciado serios daños estructurales a la economía que inducirían a bajas tasas de crecimiento y elevadas tasas de desempleo. Ahora resulta que dentro de las condiciones creadas por la apertura, las políticas expansivas tradicionales son ineficaces e inconvenientes. Las posibilidades de salir del estado actual de recesión dependen de la capacidad de modificar selectivamente el modelo actual de libre mercado. La fórmula consiste en reajustar la estructura arancelaria para reducir las importaciones de los productos que pueden ser elaborados internamente, bajar la tasa de interés entre 10 y 15 puntos porcentuales por procedimientos administrativos y sustituir el sistema cambiario por un tipo de cambio único regulado y anunciado por las autoridades monetarias.

En el largo plazo las soluciones no pueden ser distintas a la de modificar el modelo económico. En primer lugar, se plantea la necesidad de modificar la estructura arancelaria en favor de las actividades de alto valor agregado,



estableciendo los aranceles de las materias primas y los productos intermedios por encima de los productos finales. Así mismo, habría que crear las condiciones fiscales, financieras y salariales que permitan mantener un tipo de cambio alto. Por otra parte, es indispensable avanzar en una reforma de fondo del sector financiero para corregir sus características que favorecen la especulación y el consumo. Como mínimo, se requiere una reglamentación que elimine el vínculo entre el sector financiero y el sector productivo y evite las desviaciones de los recursos de ahorro hacia el consumo.

Estas decisiones cambiarían totalmente la fisonomía del modelo económico. Contribuirían a crear una estructura en favor

de las actividades de alto valor agregado que ofrecen las mayores posibilidades de demanda, productividad y penetración en los mercados internacionales e implicarían una elevación significativa del ahorro. Por este camino, se conformaría un esquema que propiciaría la industrialización, la capitalización y la estabilidad cambiaria que constituyen las únicas bases ciertas para acelerar el crecimiento económico y entrar en la modernidad.

## ARQUITECTURA E INGENIERIA

GERENTE: PILAR ROJAS MACÍAS

- Elaboración de planos de ventas, modelos tridimensionales
- Cálculo de estructuras
- Digitalización
- Servicio de PLOTTER
- Sistemas CADD para arquitectura e ingeniería

DISTRIBUIDOR  
AUTORIZADO



AUTODESK

Calle 115 No. 43-21 Apto. 102 - Tels.: 2154448 - 6129279 - Fax 6129280

# Aplicación de emulsiones asfálticas en vías colombianas

Ing. Sandra X. Campagnoli M.

Ingeniera Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería; especialista en Geotecnia, Universidad Nacional de Colombia; directora Departamento de Geotecnia, Escuela Colombiana de Ingeniería.

## INTRODUCCIÓN

**E**n este artículo se presentan, de manera resumida, los aspectos destacados del estudio **Desarrollo y estado actual de las emulsiones asfálticas en Colombia**, realizado por la Escuela Colombiana de Ingeniería dentro del marco de un convenio suscrito con la Empresa Colombiana de Petróleos –Ecopetrol–, cuyo objeto general es el de desarrollar investigaciones para producir y evaluar emulsiones con diferentes tipos de ligantes asfálticos y emulgentes.

## GENERALIDADES

Las emulsiones asfálticas, E.A., están ganando día tras día mayor popularidad y aceptación como material adecuado para el mantenimiento integral de las carreteras y como recurso tecnológico de la construcción. Su gran versatilidad ligante ha permitido su uso en pavimentación, rehabilitación y mantenimiento vial, de tal forma que estas emulsiones se conciben como alternativa o complemento de los asfaltos en caliente y de los asfaltos rebajados.

De los 64 millones de toneladas de asfalto que se usan en el mundo para la construcción de carreteras, aproximadamente un 7.7% es empleado en forma de emulsión. Estados Unidos, Francia, España y Japón son los prin-

cipales productores; su participación se estima en 40% de la producción. Cifras que inducen a reflexionar sobre la importancia que ha adquirido en el mercado la tecnología de las E.A. se muestran en la Tabla 1.

De la producción total de E.A. a nivel mundial, más de 85% corresponde a las catiónicas, debido a que éstas permiten un mayor espectro de aplicación. Las E.A. aniónicas, por su parte, son de aplicación restringida, ya que exigen agregados calizos y condiciones ambientales favorables.

La tecnología de las E.A. y de sus aplicaciones en carreteras se viene desarrollando de manera sorprendente. En el campo de la fabricación, se están realizando estudios tendientes a optimizar la energía mecánica, convencionalmente aportada por una turbina o molino coloidal, para lograr mayor eficiencia, economía y simplicidad en equipos e instalaciones. Los emulgentes, que aportan la energía fi-

sicoquímica necesaria para la obtención de una E.A. estable, son también motivo de numerosas investigaciones que persiguen modificarlos y mejorarlos para hacerlos más compatibles con los asfaltos.

El desarrollo continuo y creciente de la tecnología de E.A. ha permitido que se fabriquen a voluntad en cuanto a viscosidad, velocidad de rotura, naturaleza, características del ligante, etc., atendiendo el compromiso de adaptarlas a los materiales pétreos, condiciones climáticas y exigencias de aplicación y comportamiento en obra.

En respuesta a las mayores solicitudes de tráfico, velocidades y cargas, y exigencias de *confort* y seguridad y a la racionalización de las inversiones en construcción, mantenimiento y rehabilitación de carreteras, se han desarrollado E.A. modificadas con base en polímeros. La tendencia futura de la tecnología de asfaltos y E.A. se dirigirá hacia un mayor uso de ligantes modificados, los cuales se caracterizan por tener muy baja susceptibilidad térmica, muy buena elasticidad, elevadas te-

Tabla 1  
INFRAESTRUCTURA Y PRODUCCIÓN DE E. A. EN EL MUNDO

	Emulsión producida (miles ton.)	Red total de carreteras (miles km)	Consumo de emulsión (ton/km)	Número de plantas productoras
Europa	2280	3951	0.58	412
África	126	507	0.25	30
América	5146	9619	0.53	339
Asia y Oceanía	725	4303	0.17	166
TOTAL	8277	18380	0.45	947

Ref.: Raz, Ramón T, Curso de Emulsiones Asfálticas, Instituto Nacional de Vías, Santafé de Bogotá, 1995.

nacidad y ductilidad y mayor durabilidad.

El uso de emulgentes especiales, asociados con nuevas técnicas depuradas de fabricación de las E.A., ha contribuido al desarrollo de emulsiones aniónicas de reología modificada o emulsiones de alta flotación, en las que el asfalto residual presenta un comportamiento reológico distinto del que se observa en el ligante base, con una baja susceptibilidad térmica de su residuo en comparación con la del asfalto de partida.

Desarrollos recientes (1991) han permitido la puesta a punto de emulsiones con base de ligantes sintéticos, constituidos por una mezcla de resinas, polímeros, aceites, agentes estabilizantes de luz ultravioleta y otros, con lo cual se pretende, en cierto grado, reproducir el comportamiento de los betunes provenientes de la destilación convencional y obtener mezclas pigmentables sin limitación de color.

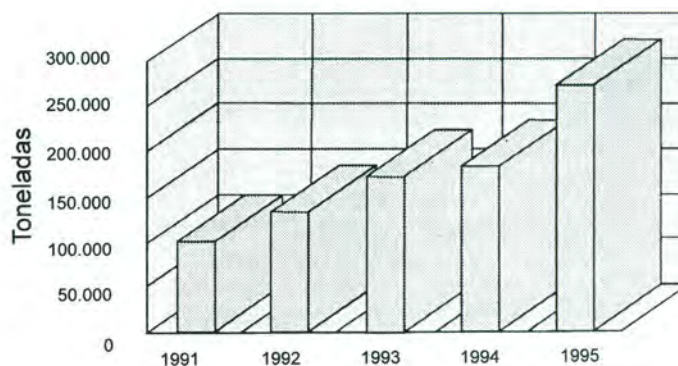
## EMULSIONES ASFÁLTICAS EN COLOMBIA; INFRAESTRUCTURA Y PRODUCCIÓN

Colombia dispone de siete plantas fijas de producción y una planta móvil, distribuidas en las ciudades de Barrancabermeja, Medellín, Bogotá y Cartagena, que atienden apropiadamente la demanda de emulsiones en sus zonas de influencia.

La capacidad instalada para la fabricación de E.A. asciende a 285.000 toneladas anuales. Esta capacidad ha aumentado desde 1989, cuando sólo se contaba con tres plantas principales de producción, localizadas en Barrancabermeja y Bogotá, y una capacidad estimada en 99.000 toneladas anuales. La evolución de la capacidad instalada se puede apreciar en la Figura 1.

Las plantas para la fabricación de E.A. se encuentran localizadas en sitios que pueden considerarse estratégicos, pues benefician a los depar-

Figura 1. Evolución de la capacidad instalada de producción en el período 1991-1995.



tamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Antioquia y a la Costa Atlántica, regiones donde se presenta la mayor demanda de asfaltos y E.A. Esto se aprecia en la Figura 2, elaborada de acuerdo con estudios realizados por Ecopetrol acerca de la distribución de la demanda aparente de asfalto.

Históricamente, la demanda de E.A. en Colombia ha estado por debajo de la capacidad de las empresas productoras; sin embargo, tal capacidad ha ido evolucionando, como puede apreciarse en la Tabla 2. En términos generales, la producción de E.A. en el país, en el período 1991-1995, aumentó un 36.9% anual. Este crecimiento de la producción representa un aumento del consumo, durante ese período, de cerca de tres veces; crecimiento similar al observado en la capacidad instalada.

Los tipos de E.A. que se producen en Colombia, salvo contadas excepciones, son emulsiones de tipo catiónico. Las E.A. catiónicas de rompimiento lento, CRL-1, constituyen el mayor volumen y han mantenido en los últimos años una participación cercana al 94%

de la producción total. Las emulsiones de tipo catiónico de rompimiento rápido, CRR, representan apenas un 4.5% de la producción, y las de rompimiento lento controlado, CRL-1h, un 1.5%. Las emulsiones catiónicas de rompimiento medio, CRM, y las de tipo aniónico, aun cuando se han fabricado en el país para proyectos específicos, no han tenido participación significativa.

## LA MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE E.A. EN COLOMBIA

En una E.A. convencional los ingredientes principales son el asfalto, presente en un 55% a 70%, y el agua, con una concentración de entre el 45% y el 30%. La cantidad de emulgentes y aditivos solamente alcanza a ser del 0.2 al 1.5%. En las E.A. modificadas con polímeros, junto con los anteriores ingredientes, se halla una concentración de polímeros que normalmente oscila entre el 1% y el 4%.

El asfalto producido por el Complejo Industrial de Barrancabermeja, CIB, resulta ser el de mayor consumo por parte de

**De los 64 millones de toneladas de asfalto que se usan en el mundo para la construcción de carreteras, aproximadamente un 7.7% es empleado en forma de emulsión.**



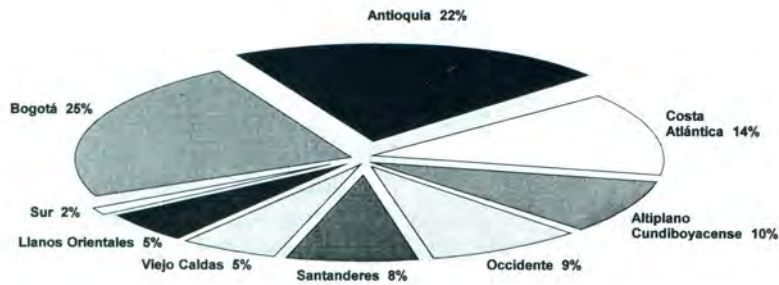


Figura 2. Distribución por regiones de la demanda aparente de asfalto.

los fabricantes de E.A. Este hecho se justifica por la cercanía de las principales plantas productoras de E.A. a la refinería del complejo y porque los fabricantes consideran que obtienen emulsión de mejor calidad con este asfalto.

El consumo de asfalto para emulsiones ha aumentado. En el año de 1988, según el estudio *Emulsiones asfálticas en Colombia* desarrollado por la Escuela Colombiana de Ingeniería, tal aplicación ascendía a un 8% de la producción total de asfalto, y actualmente es del 16%. La evolución de la participación del asfalto emulsificado, en el consumo total del asfalto que se produce en el país, se puede ver en la Tabla 3. En la Figura 3 se muestra la distribución del uso del asfalto base, de acuerdo con estudios realizados por Ecopetrol en 1994.

Los emulgentes empleados para la fabricación de E.A. en Colombia son todos materia de importación. Aunque se han realizado estudios por parte de diferentes instituciones, entre ellas la Universidad Industrial de Santander, que han demostrado la factibilidad técnica para la producción de emulgentes catiónicos en el país, con los consecuentes beneficios tanto técnicos como económicos para la industria de las E.A., su implementación no se ha llevado a cabo por ra-

zones que se desconocen. Son muy diversos los tipos de emulgentes que se encuentran en el mercado internacional para la fabricación de E.A., con diferentes eficiencias y poder emulsionante. En la práctica los fabricantes de emulsiones trabajan conjuntamente con las casas proveedoras de emulgentes, con el objeto de encontrar los productos más apropiados y formular emulsiones que se adapten a las aplicaciones particulares.

El precio de los asfaltos colombianos resulta especialmente atractivo en el mercado internacional; sin embargo, el precio del emulgente, presente en la emulsión en una proporción muy baja frente a la del asfalto, representa aproximadamente un 40% del costo total de los insumos usualmente empleados en la fabricación de una E.A. Una reducción en esta relación de costos se lograría promoviendo el desarrollo de una industria de emulgentes en Colombia, lo cual, adicionalmente, desde el punto de vista técnico, proporcionaría un

mayor soporte al desarrollo de las fórmulas y los procedimientos para la fabricación de las E.A., y un mejoramiento de la calidad de las mismas.

## NORMAS Y ESPECIFICACIONES

En la realización de estudios y diseños para la construcción o el mantenimiento de pavimentos, es necesario precisar las especificaciones de los materiales que se usarán en la obra, así como determinar el alcance, los equipos, los procedimientos constructivos y el control de tolerancias y medidas, todo lo cual constituye las normas de construcción para la obra específica.

El desarrollo y la evolución de las E.A. y de sus aplicaciones en Colombia han correspondido a un proceso gradual de apropiación de la tecnología de países que tienen amplia trayectoria en su empleo, donde se cuenta con especificaciones fundamentadas en resultados de investigaciones de laboratorio y en la evaluación de equipos, materiales y procesos constructivos seguidos en obras que presentan un buen comportamiento. Infortunadamente no se han consolidado las experiencias logradas en este proceso de compatibilización de la tecnología de E.A. con nuestro medio. Las especificaciones de construcción y los criterios para la aplicación de las tecnologías en frío con E.A. en proyectos viales se fundamentan principalmente en los conceptos contemplados en el *Manual de utilización de emulsiones asfálticas*

Tabla 2  
DEMANDA DE E. A. CON RESPECTO A LA CAPACIDAD INSTALADA

Año	1991	1992	1993	1994	1995
Capacidad instalada (ton)	96.624	131.472	174.240	186.912	281.952
Producción (ton)	34.875	52.917	65.268	92.530	101.400*
Demanda de la capacidad (%)	36	40	37	50	36

\* Producción estimada.

**Tabla 3**  
PARTICIPACIÓN DE LAS E.A. EN LA DEMANDA DE ASFALTO

Año	Producción de E.A. (ton)	Asfalto emulsificado (ton)	Producción de asfalto (ton)	Participación de las E.A. (%)
1991	34.875	20.925	162.600	12.9
1992	52.917	31.750	209.600	15.2
1993	65.268	39.161	253.800	15.4
1994	92.530	55.518	324.000	17.1
1995	101.400	60.840	372.600	16.3

en carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, año 1986.

El hecho de que las E.A. deban ser formuladas de acuerdo con el tipo de aplicación, el tipo y la calidad de los agregados pétreos disponibles, las condiciones climáticas y ambientales imperantes en la zona del proyecto y, en general, con las particularidades de cada obra, ha determinado que los fabricantes de E.A. trabajen conjuntamente con los diseñadores, consultores, constructores y entidades encargadas de la gestión vial, para dar soluciones propias a los requerimientos de cada proyecto.

Otro aspecto fundamental para el desarrollo apropiado de las tecnologías en frío con E.A. es el de la infraestructura de laboratorios. En Colombia se dispone de normas bien definidas para los ensayos de laboratorio pertinentes, pero no se cuenta con un número adecuado de laboratorios especializados, accesibles para todos los interesados, en los que se puedan evaluar pavimentos en frío, verificar la calidad de las emulsiones certificadas por los productores, controlar las mezclas y elaborar los diseños respectivos. Solamente el Instituto Nacional de Vías y algunos productores, pavimentadores y universidades disponen de laboratorios bien dotados para satisfacer todas las necesidades en esta área.

## APLICACIONES DE LAS E.A. EN COLOMBIA

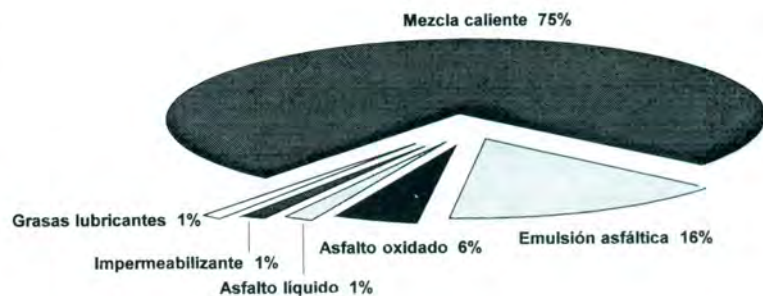
Son muy diversas las aplicaciones ejecutadas con E.A. en la red vial na-

cional, aunque sólo desde finales de la década de los setenta y principios de la década de los ochenta se tiene conocimiento de ellas. Sin incluir los diferentes tipos de riegos de imprimación, liga, etc., que se han venido imponiendo en sustitución de los asfaltos rebajados, el primer lugar en utilización de E.A. lo ocupan los *tratamientos superficiales con agregados*, cuya experiencia ha permitido desarrollar una tecnología propia de materiales y métodos constructivos. Otros tipos de aplicaciones, como la grava-emulsión, las estabilizaciones, las lechadas asfálticas y el reciclaje, han constituido también fuentes de demanda de las E.A. en la red administrada por el ministerio.

En la *red vial de Bogotá*, cuya malla está conformada por cerca de 10.000 km de vías-carril pavimentadas, desde 1987 se inició la aplicación de tecnologías de pavimentación en frío usando E.A., especialmente en

las labores de parcheo, estabilizaciones de capas de base y, recientemente, en proyectos de reciclaje. La Secretaría de Obras Públicas del Distrito cuenta con una planta para la fabricación de mezclas en frío con E.A., de 200 m<sup>3</sup>/día de capacidad. La producción de esta planta se destina especialmente a trabajos de mantenimiento en labores de parcheo. A partir de 1992, por administración directa, se inició un programa para la recuperación de la estructura de los pavimentos de las vías de la ciudad, empleando la técnica de reciclaje en frío con E.A. *in situ*; por medio de este sistema se han rehabilitado hasta el año de 1995 aproximadamente 800.000 m<sup>2</sup>.

En Medellín, que tiene una malla vial de 2.800 km, de los cuales 2.500 km se encuentran pavimentados, la Secretaría de Obras Públicas del municipio viene utilizando desde 1988 los escombros de las carpetas asfálticas que son retirados diariamente de las vías, para someterlos a un proceso de reciclaje en frío en planta y disponerlos nuevamente en programas de parcheo o de rehabilitación de vías de la ciudad. Se estima que se reciben, en un centro de acopio especialmente acondicionado para esto, entre 200 y 250 m<sup>3</sup>/día de material de carpeta asfáltica. Hasta 1994 se reciclaron más de 300.000 toneladas de escombros de carpetas asfálticas, con lo que disminuyó considerablemente la explo-



**Figura 3.** Distribución del uso del asfalto base

tación de las canteras, con ventajas económicas y de protección del ambiente. Además, se vienen adelantando programas de rehabilitación de la red vial, usando la técnica de reciclaje *in situ*, y programas de mantenimiento empleando lechadas asfálticas.

La red vial de Ecopetrol, administrada a través de su Distrito de producción de El Centro, con sede en Barrancabermeja, constituye una fuente importante de demanda de E.A., si se tiene en cuenta que su participación en el consumo de este producto ha representado cerca de un 30% de la producción total anual de los últimos tres años. Las E.A. son empleadas para el mantenimiento de 1.300 km de vías que comunican las instalaciones con los campos de producción de la concesión de Mares (Barrancabermeja), Casabe (Yondó, Antioquia) y Cantagallo (Bolívar).

En la construcción y el mantenimiento de las pistas y vías internas de los aeropuertos del país, desde 1981 la Aeronáutica Civil ha adelantado programas de mantenimiento, adecuación y pavimentación de las pistas, áreas de plataforma, zonas de taxeo y vías internas, usando lechadas asfálticas y mezclas densas en frío. Dentro de estas experiencias se destacan el aeropuerto de San Andrés, en el cual se aplicó recientemente (1994-1995) una lechada asfáltica para su mantenimiento, el aeropuerto de Quibdó, que fue pavimentado en 1983 empleando mezcla densa en frío elaborada *in situ* y el aeropuerto de Maicao, en el cual se practicó el reciclaje en frío de la carpeta asfáltica con aplicación de una lechada asfáltica.

Resulta difícil cuantificar la participación que han tenido las técnicas de pavimentación en frío con E.A. en las redes viales departamentales y municipales. En los departamentos del Quindío y Boyacá se han adelantado programas de pavimentación y mantenimiento de la red vial aplicando tratamientos superficiales con agregados en un volumen importante. La Secretaría de Obras Públicas de Cundinamarca ha realizado algunas experiencias con E.A. en la estabilización de bases, así como en la aplicación de mezclas densas y tratamientos superficiales. A nivel regional o municipal, se destaca la pavimetación de una vía rural en la Mesa de los Santos, departamento de Santander, específicamente en la carretera La Punta-Los Santos, sector La Punta-El Granero; allí se colocaron, sobre una subbase granular de 20 cm, 7 cm de base asfáltica, arena-emulsión, y 1 cm de lechada asfáltica, para conformar una estructura de pavimento que representó una economía hasta del 36% frente a la alternativa que consistía en una capa de subbase de 10 cm, 15 cm de material de base y 5 cm de concreto asfáltico. La estructura del pavimento empleada en el proyecto de la Mesa de los San-

tos, subbase, base estabilizada arena-emulsión y lechada asfáltica como superficie de rodadura, ha sido planteada como una alternativa económica para la pavimentación de vías rurales.

***Los tipos de E.A. que se producen en Colombia, salvo contadas excepciones, son emulsiones de tipo catiónico.***

## **PRINCIPALES TIPOS DE APLICACIONES CON E.A.; TENDENCIAS OBSERVADAS EN COLOMBIA**

### **1. Tratamientos superficiales con agregados**

En el estudio *Emulsiones asfálticas en Colombia*, desarrollado por la Escuela Colombiana de Ingeniería en 1989,

dentro de los usos de las E.A. en pavimentación, se concibieron los tratamientos superficiales multicapa, con empleo de agregados, como una de las aplicaciones que presentaba un panorama más despejado en el campo de los pavimentos económicos para tránsitos ligeros a medios e, incluso, tránsitos pesados donde se contemplara la construcción por etapas.



**CEDIEL**  
**INGENIEROS**  
**ASOCIADOS LTDA**

## **INTERVENTORIA GERENCIA DE OBRA ASESORIAS**

Transv. 18B No. 97 - 32  
Teléfono: 256 16 76  
Santafé de Bogotá, Colombia

El Ministerio de Obras Públicas le dio un impulso adecuado a esta tecnología y en departamentos como Boyacá y Quindío se ha extendido su uso en la construcción y conservación de la red vial que éstos administran. Sin embargo, de acuerdo con lo expresado por los productores de E.A., este tipo de aplicación ha mostrado una tendencia decreciente en vez de desarrollarse en las proporciones esperadas.

## 2. Lechadas asfálticas (Slurry Seal)

En el caso de las lechadas asfálticas, se está observando un aumento de su aplicación para el mantenimiento preventivo de las superficies de pavimentos de vías urbanas y aeropuertos y para la construcción de superficies de rodadura sobre bases granulares competentes o bases estabilizadas en vías de tránsito ligero de zonas rurales. Las lechadas asfálticas se vienen aplicando en Colombia desde 1981. Las obras realizadas han propiciado el desarrollo de una tecnología propia, relativa a materiales, agregados y E.A., así como de procesos constructivos. En la fabricación de las lechadas se han empleado tanto agregados procedentes de trituración, que son los recomendados por las normas del Ministerio de Obras, como arenas naturales con las cuales se han tenido experiencias positivas. Las E.A. se han desarrollado, por su parte, para lograr la aplicación de la lechada en condiciones favorables y permitir una rápida apertura al tráfico. Dentro de las obras realizadas aplicando lechadas asfálticas se destacan las carreteras San Isidro-El Crucero, Belalcázar-San Isidro (Caldas), Ibagué-Alvarado, Barrancabermeja-Llanito, San Juan del Cesar, troncal del Caribe (municipio de Mai-cao) y Sogamoso-Yopal.

## 3. Estabilizaciones y reciclaje

En las estabilizaciones de gravas arenosas y arenas, y en la elaboración de mezclas grava-emulsión, obtenidas especialmente a partir de materiales

***El desarrollo continuo y creciente de la tecnología de E.A. ha permitido que se fabriquen a voluntad (...) atendiendo el compromiso de adaptarlas a los materiales pétreos, condiciones climáticas y exigencias de aplicación y comportamiento en obra.***

provenientes de reciclaje, se ha tenido la mayor participación de las E.A. durante los últimos años en Colombia. Estas mezclas son atractivas desde el punto de vista económico debido a que se elaboran con áridos naturales de bajo costo de procesamiento, o a partir de materiales provenientes del reciclaje de carpetas asfálticas y bases granulares.

La necesidad de rehabilitar un volumen alto de carreteras que conforman las redes viales nacionales y departamentales y de vías urbanas aprovechando los recursos disponibles, sumada a los requerimientos de emprender nuevas construcciones empleando alternativas económicas, justifica, en cierta manera, la tendencia creciente de estas tecnologías observada en los últimos años.

En ciudades como Bogotá y Medellín y en proyectos de nivel nacional como la troncal del Magdalena, la transversal del Caribe y las carreteras Medellín-Puerto Triunfo, sector el Santuario-La Piñuela, El Mango-La Cauca, La Cauca-La

Draga (Porce II), Los Patios- La Calera-Sopó-Briceño, Medellín-Puerto Valdivia, sector Bello-río Nechí, etc., se han adelantado programas de rehabilitación o construcción de pavimentos contemplando el uso de estas tecnologías.

En los proyectos de estabilizaciones y reciclaje ejecutados con E.A. se han logrado ventajas económicas frente a las alternativas convencionales. Ejemplo de lo anterior se tiene en la nueva carretera Cartagena-Barranquilla, donde el uso de una base estabilizada arena-emulsión, en sustitución de la base granular de triturado contemplada en los diseños originales, significó ahorros de aproximadamente el 25%. En la carretera Cali- Cartago, sector Buga-Tuluá, usando la técnica de reciclaje en sustitución de la construcción de una base negra, se alcanzaron economías del orden de un 45%. En la recuperación de la estructura del pavimento de la calle 140 de Bogotá se lograron ahorros del orden del 30% usando la técnica de reciclaje, frente a la alternativa consistente en la excavación y remoción de la carpeta asfáltica y la capa granular, y la colocación de capas asfálticas nuevas.

## 4. Mezclas abiertas y mezclas densas en frío

Las experiencias del empleo de mezclas abiertas y mezclas densas en Colombia, han sido bastante limitadas. Esta circunstancia puede obedecer principalmente a tres razones:

- La infraestructura y la experiencia de los pavimentadores asfálticos de gran tamaño del país están centradas en los concretos asfálticos en caliente elaborados en planta.

- La creencia, aún prevaleciente en Colombia, de que los aglomerados asfálticos en frío no ofrecen una calidad comparable a la de los concretos asfálticos elaborados en planta, en caliente.

***La red vial de Bogotá está conformada por cerca de 10.000 km de vías-carril pavimentadas.***

- La falta de interés y voluntad de las entidades gestoras de obras de pavimentación en impulsar su desarrollo.

Además de las bondades técnicas reconocidas de este tipo de mezclas, es importante resaltar la ventaja económica representada por menores costos para su producción *in situ* o en plantas fijas o camineras. Una planta de mezcla en frío puede ser instalada con un mínimo de equipamiento, en comparación con el equipo requerido por la mayoría de instalaciones de plantas fijas para mezclas en caliente. Por ejemplo, un equipo muy simple, como puede ser una hormigonera, resulta útil en obras de poco tamaño para la fabricación de todo tipo de mezclas. Se adiciona a esta ventaja un manejo sencillo que permite un rápido desmantelamiento y frecuentes cambios de producción. En la actualidad Colombia cuenta con más de 20 plantas para la fabricación de mezclas en frío, distribuidas en diferentes regiones del país.

Las mezclas abiertas en frío, con E.A., debido a su facilidad de fabricación, puesta en obra y posibilidad de almacenamiento, son consideradas como un elemento valioso para la construcción, rehabilitación y conservación viales. Infortunadamente este tipo de aplicación no ha tenido desarrollo ni provecho eficiente. Frente a las mezclas densas, las mezclas abiertas en frío con E.A. pueden ser una solución apropiada para la pavimentación de carreteras localizadas en zonas de alta pluviosidad, como son las que se encuentran en una gran parte del territorio colombiano.

Las mezclas densas en frío, con E.A., comparadas con las mezclas abiertas, han mostrado en Colombia un panorama más amplio de aplicación. Sin embargo, su empleo ha estado orientado principalmente a la pavimentación de aeropuertos y el mantenimiento de vías en trabajos de parcheo. Se cuenta con muy limitadas experiencias en la construcción de carpetas de rodadura; la más significativa ha sido la desarrollada en la carretera Sogamoso-Yopal. Otros ejemplos de pavimentación con mezclas densas en frío se han dado en las vías Quinchía-Irra, sector Quinchía-Naranjal, Santa Ana-Guática y en la vía Venecia-Cabrera.

## CONCLUSIONES

- Colombia cuenta con una capacidad instalada para la producción de E.A. que asciende a 285.000 toneladas anuales. La demanda actual de este producto constituye un 40% de la capacidad instalada y consume un 16% de la producción nacional de asfalto sólido, generada ésta en su totalidad por Ecopetrol. Las E.A. que se producen son esencialmente las catiónicas, y dentro de éstas las emulsiones de rotura lenta, CRL-1, son las que tienen mayor participación.

- El Ministerio de Transporte y Ecopetrol son las entidades que consumen el mayor volumen de E.A. para desarrollar y mantener las redes viales a su cargo. En Bogotá y Mede-

llín la participación de las tecnologías en frío con E.A., especialmente para el mantenimiento y adecuación de las estructuras de pavimento, ha comenzado a percibirse de manera más significativa.

- Muchas de las experiencias recopiladas en el país han demostrado que las soluciones que involucran técnicas en frío con E.A., bajo ciertas condiciones, son más económicas que otras alternativas de pavimentación y, con la aplicación de las tecnologías vigentes, comparables con las soluciones en caliente.

- En los últimos cuatro años algunas aplicaciones de las E.A. se han desarrollado en un volumen importante. Sin embargo, dicho desarrollo sería mayor si existiesen programas adecuados de construcción y mantenimiento vial, así como un ambiente más favorable para la implantación de nuevas tecnologías.

- La necesidad de rehabilitar un volumen alto de carreteras nacionales y de redes viales de grandes ciudades, racionalizando los recursos y conservando el ambiente, ha posicionado a las técnicas de reciclaje en frío en un lugar importante dentro de las diferentes aplicaciones de las E.A. en Colombia. Las estabilizaciones de suelos y materiales naturales seleccionados, con bajos costos de procesamiento, constituyen otra aplicación en la que se ha logrado recopilar experiencias interesantes desde el punto de vista técnico y económico. Para el mantenimiento de carreteras, campo en el cual históricamente se ha carecido de programas adecuados, la tecnología apunta hacia un mayor uso de las lechadas asfálticas.

- La difusión del conocimiento y el "saber cómo" (*know how*) no ha resultado suficiente en este proceso de adaptación o transferencia de la tecnología de las E.A. en Colombia. Para su uso racional e intensivo se requiere una actitud positiva hacia la innovación técnica por parte de las entidades gestoras de los proyectos de pavimentación, así como la tecnificación de la administración de las redes viales.



Proyectistas Civiles Asociados Ltda.

## Diseño



# Estructural

Cra. 10 No. 93-51,  
Telefax: 6-10-42-00 - 2-18-76-04  
2-18-77-03 - 2-57-02-25 - 6-10-37-57  
Santaafé de Bogotá, D.C. Colombia

## Remoción de algas con cloruro férrico

Ing. Sandra Y. Piñeros S.\* e Ing. Jairo A. Romero Rojas\*\*

\* Magister en Ingeniería Ambiental, Ing. de Control Ambiental CPF-BP.

\*\* I.C., MEEE., profesor asociado Universidad Nacional de Colombia, profesor Escuela Colombiana de Ingeniería.

### INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas o estanques de estabilización es de uso muy corriente, ya que sus bajos costos de operación y mantenimiento ofrecen una ventaja económica notoria sobre otros métodos de tratamiento. En los efluentes de lagunas de estabilización, la presencia de algas puede incrementar la concentración de sólidos suspendidos a valores que sobrepasan los límites exigidos, en ocasiones, para afluentes a ríos, lagos o embalses. En esas circunstancias, la remoción adicional de algas puede ser necesaria, para lo cual se han utilizado métodos como la coagulación, la filtración, la flotación, la centrifugación, la precipitación, el intercambio iónico y la vibración ultrasónica.

Autores como Shindala y Stewart, Tenney, Golueke, Oswald, McGarry, Al-Layla y Middlebrooks, Dryden y Stern, entre otros, han estudiado el tratamiento químico de efluentes de lagunas de estabilización con alumbre, polielectrolitos y  $H_2SO_4$ . Aunque el uso del cloruro férrico como coagulante se remonta a 1910, no se conocen experiencias suficientes de su efectividad para depuración de efluentes de aguas residuales tratadas mediante lagunas de estabilización<sup>1</sup>.

En este artículo se presentan los resultados de un estudio experimental adelantado para valorar y evaluar la

eficiencia del cloruro férrico como coagulante de la biomasa algal y de los sólidos del efluente de una laguna de estabilización.

### METODOLOGÍA

La evaluación se adelantó mediante 41 ensayos de jarras realizados sobre 25 muestras del efluente de la laguna de estabilización del municipio de Zipaquirá, Zipa 1, en el período de junio a septiembre de 1994.

Todos los ensayos se ejecutaron de acuerdo con los procedimientos recomendados en el *Standard Methods*<sup>2</sup>. Los ensayos de jarras se realizaron para encontrar la dosis óptima de cloruro férrico, el pH óptimo de coagulación y las condiciones más

apropiadas de mezcla y sedimentación. Para las condiciones óptimas de tratamiento se determinó la eficiencia de remoción en cada uno de los parámetros de interés, así como la calidad del agua tratada. La valoración del contenido de algas se hizo con base en la determinación de clorofila a, suponiendo que la clorofila a constituye un 1.5% de la masa seca orgánica de las algas y calculando la concentración por la expresión:

$$\text{Biomasa algal (mg/m}^3\text{)} = \text{clorofila a (mg/m}^3\text{)} \times 67$$

### RESULTADOS

#### Características del efluente

Los resultados de la caracterización del efluente de la laguna de estabilización se presentan en la Tabla 1. Los promedios son de 35 análisis de turbiedad, color, pH, sólidos suspendidos, alcalinidad y clorofila a, así

Tabla 1  
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL EFLUENTE DE LA LAGUNA FACULTATIVA ZIPA 1

Parámetro	Valores promedio	Intervalo observado	Desviación estándar
Alcalinidad (mg/L- $CaCO_3$ )	94	90 - 100	4
pH	8	7.0 - 10.5	1
Turbiedad (UNT)	64	35 - 85	16
Color aparente (UC)	83	60 - 100	9
Sólidos suspendidos (mg/L)	89	56 - 122	18
Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	303	98 - 392	59
Biomasa algal (g/m <sup>3</sup> )	20	7 - 26	4
DQOT (mg/L)	123	104 - 146	16
DQOS (mg/L)	68	24 - 99	27
NTK (mg/L)	9	8 - 11	1.5
P <sub>total</sub> (mg/L)	12	11 - 13	10
Coliformes totales (NMP/100mL)	$4.28 \times 10^5$	$1.36 \times 10^5$ - $1.2 \times 10^6$	$3.9 \times 10^5$

como para 6 análisis de demanda química de oxígeno total, DQOT, demanda química de oxígeno soluble, DQOS, nitrógeno total Kjeldhal, NTK, fósforo total,  $P_{total}$ , y coliformes totales. Dichos resultados se encuentran dentro de los valores típicos para este tipo de efluentes, con una concentración relativamente alta de sólidos suspendidos, 89 mg/L en promedio, valor superior al límite, generalmente exigible en tratamiento mediante lagunas, de 65 mg/L<sup>3</sup>. Lo anterior se debe a la presencia de biomasa algal, la cual se refleja principalmente en los 20 g/m de algas y en el contenido de turbiedad del agua, 64 UNT. El agua efluente de la laguna facultativa es alcalina, con pH igual a 8 en promedio, turbia, coloreada, con concentración de DQOS menor de 99 mg/L y relación DQOT/NTK/ $P_{total}$  igual a 10,0,75/1.

### Condiciones óptimas de tratamiento

Las concentraciones promedio de turbiedad, color, sólidos suspendidos y biomasa algal del agua tratada, por diferentes dosis de cloruro férrico, se pueden observar en las figuras 1 y 2. Los resultados, resumidos en estas figuras, indican que una dosis de 85 mg/L de cloruro férrico permite obtener concentraciones mínimas de turbiedad, color, sólidos suspendidos y biomasa algal en el agua tratada.

La influencia de la velocidad de mezcla lenta, en términos del gradiente de velocidad para la dosis óptima de 85 mg/L de cloruro férrico, sobre la turbiedad, el color, los sólidos suspendidos y la biomasa algal, se visualiza en las figuras 3 y 4, las cuales indican que el gradiente óptimo de velocidad, para floculación, es de 27s<sup>-1</sup>. Con

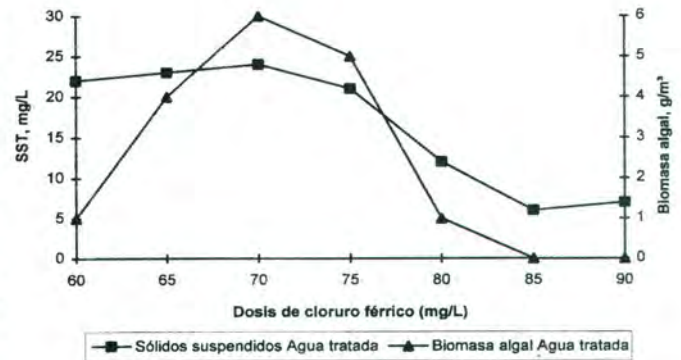


Figura 2. Sólidos suspendidos y biomasa algal contra dosis de cloruro férrico para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos

este gradiente se obtienen valores mínimos de turbiedad, color, sólidos suspendidos y biomasa algal.

Finalmente, en las figuras 5 y 6, se presentan los resultados del tratamiento con una dosis de 85 mg/L de cloruro férrico, gradiente de velocidad de 27s<sup>-1</sup> y diferentes condiciones de pH. Mediante estos ensayos, como se deduce de las figuras 5 y 6, se concluye que el pH óptimo de coagulación es igual a 7,0 y que se obtienen resultados aceptables ampliamente en el intervalo de pH de 7,0 a 7,5.

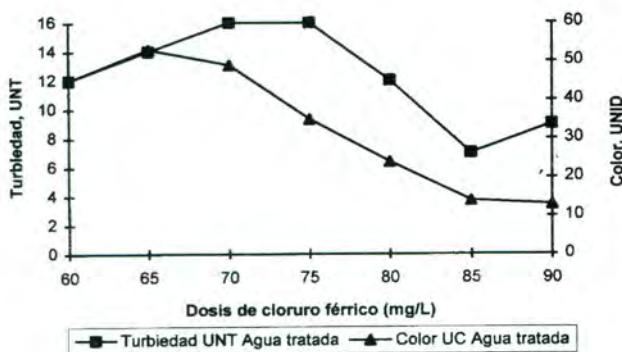


Figura 1. Turbiedad y color contra dosis de cloruro férrico para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos

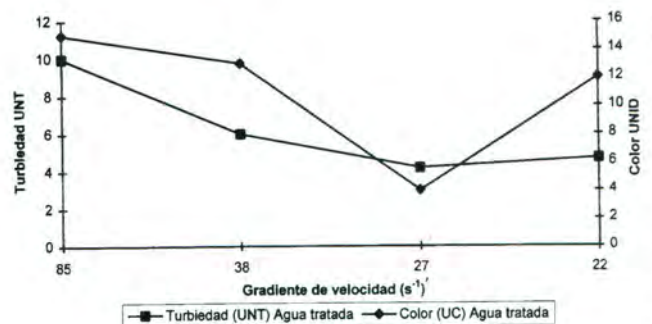
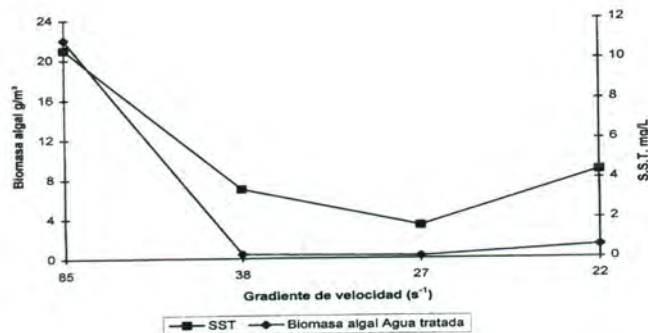
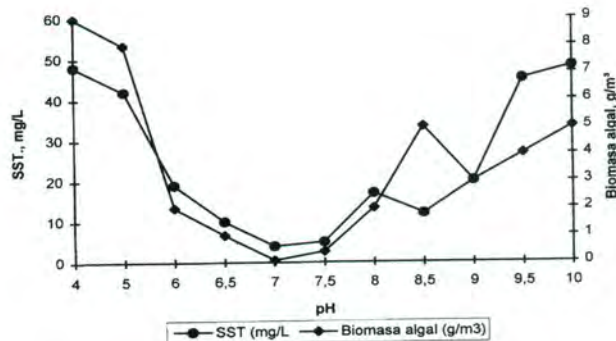


Figura 3. Turbiedad y color contra gradientes de velocidad para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos - Dosis de cloruro férrico = 85 mg/L



**Figura 4.** Sólidos suspendidos y biomasa algal contra gradientes de velocidad para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos - Dosis de cloruro férrico = 85 mg/L

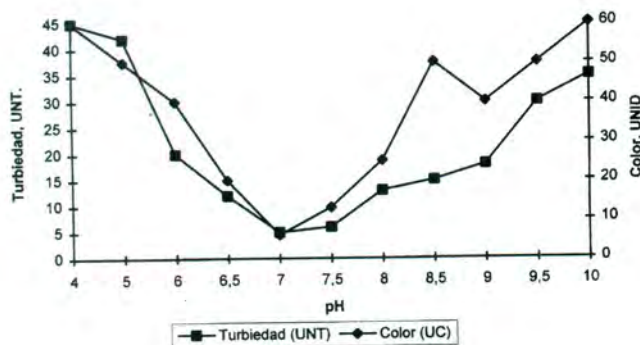


**Figura 6.** Sólidos suspendidos y biomasa algal contra pH para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos - Dosis de cloruro férrico = 85 mg/L - Gradiente de velocidad = 27 s<sup>-1</sup>

En los resultados se incluye, además, un período óptimo de sedimentación porque durante la experimentación se observó que por lapsos de asentamiento mayores de una hora ocurre resuspensión y flotación del *floc* formado. La cantidad producida de lodo, en promedio, fue aproximadamente igual al 10%, en volumen, del agua tratada.

Las condiciones óptimas de tratamiento encontradas, con base en los 41 ensayos de jarras realizados, fueron las siguientes:

Período de mezcla rápida	=	1 minuto
Dosis de cloruro férrico	=	85 mg/L
Período de mezcla lenta	=	10 minutos
Gradiente de velocidad	=	27 s <sup>-1</sup>
Número de Camp	=	16.200
pH	=	7.0
Período de sedimentación	=	30 minutos



**Figura 5.** Turbiedad y color contra pH para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos - Dosis de cloruro férrico = 85 mg/L - Gradiente de velocidad = 27 s<sup>-1</sup>

## Características del agua tratada

Las características promedio del agua tratada con cloruro férrico se resumen en la Tabla 2. Como puede deducirse de la observación de dichos valores, el agua tratada es de calidad superior a la de cualquier efluente secundario convencional, con excepción del contenido de coliformes totales.

Los porcentajes obtenidos de remoción promedio, en los parámetros evaluados, en el tratamiento por coagulación mediante cloruro férrico, del efluente de la laguna facultativa de Zipaquirá, Zipa 1, fueron:

Biomasa algal	=	98%
Sólidos suspendidos	=	94%
Color	=	92%
Turbiedad	=	91%
DQOT	=	75%
DQOS	=	87%
NTK	=	55%
Fósforo total	=	77%
Coliformes totales	=	78%



**Tabla 2**  
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA TRATADA

Parámetro	Valores promedio	Intervalo observado	Desviación estándar
Alcalinidad (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	37	16 - 50	10
Turbiedad (UNT)	6	2 - 25	4
Color aparente (UC)	7	0 - 40	9
Sólidos suspendidos (mg/L)	6	0 - 26	5
Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	5	0 - 46.4	12
Biomasa algal (g/m <sup>3</sup> )	0.34	0 - 3.1	1
DQOT (mg/L)	31	14 - 70	19
DQOS (mg/L)	8.4	4 - 13	2
NTK (mg/L)	4.0	3 - 5	0.4
P <sub>total</sub> (mg/L)	123.0	2 - 4	0.8
Coliformes totales (NMP/100mL)	1.66x10 <sup>5</sup>	1.3x10 <sup>4</sup> - 5.1x10 <sup>5</sup>	2.0x10 <sup>5</sup>

Las eficiencias de remoción logradas indican la efectividad del tratamiento por coagulación seleccionado, en este tipo de efluente, y su aplicabilidad para la obtención de una calidad mucho mejor que la alcanzada por los procesos de tratamiento secundario convencionales.

## CONCLUSIONES

La remoción de biomasa algal y sólidos suspendidos, turbiedad, color, DQO, NTK, fósforo total y coliformes totales del efluente de la laguna facultativa de Zipaquirá, Zipa 1, mediante coagulación con cloruro férrico,

co, floculación y sedimentación, es eficiente a nivel de laboratorio y permite adaptar el agua a exigencias de calidad que sobrepasan los requerimientos convencionales para efluentes típicos de lagunas de estabilización como los de la planta de tratamiento mencionada.

## REFERENCIAS

<sup>1</sup> PIÑEROS S. Y., *Optimización de efluentes de lagunas de estabilización mediante remoción de algas con cloruro férrico*, tesis para Magister en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1995.

<sup>2</sup> APHA, AWWA, WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17<sup>a</sup> ed., 1989.

<sup>3</sup> ROMERO R. J. A., *Acuitratamiento por lagunas de estabilización*, 2da. edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, julio de 1995.



**Ferretería**

**PEGASO'S 170 LTDA**

**CEMENTO**  
**GRAVILLA**  
**ARENA**  
**BLOQUE**  
**HIERRO**

**FERRETERIA EN GENERAL**

Autopista Norte 167 A - 55  
Tels: 6705041- 6741162  
Fax: 6717232

## CONSTRUCTORES CIVILES INGENIEROS LTDA C.C.I. Ltda.

- › OBRAS CIVILES
- › CARRETERAS
- › MONTAJES
- › ESTRUCTURAS
- › URBANISMO

Cra. 31 No. 95 - 99  
Tels.: 226 87 12 - 611 17 85  
Fax: (91) 618 17 05 Santafé de Bogotá

## Aprovechamiento de cenizas residuales de centrales carboeléctricas

Ing. Álvaro Infante Zapata

Ingeniero Consultor, Lee e Infante Ltda., profesor de Generación Térmica, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.

### INTRODUCCIÓN

**D**urante los próximos doce años, para evitar el riesgo de un nuevo apagón, el país deberá instalar alrededor de 8000 MW de potencia, de los cuales entre 4000 y 5000 MW deberán ser en térmicas, ya que de todos es conocido que ninguna de las centrales hidroeléctricas que figuran en el plan de expansión del sector eléctrico podrá entrar en servicio durante lo que resta del presente siglo.

Aunque la solución de generar electricidad con base en gas natural es económica (a los precios subsidiados actuales del gas) y de instalación rápida, como se ha demostrado con las plantas de Ecopetrol de Yumbo, Guanday y Ocoa, la planta de Proeléctrica en Mamonal, y especialmente la Termoeléctrica de Las Flores I en Barranquilla, que genera 150 MW con turbina de gas en ciclo combinado con un factor de disponibilidad superior al 95% y cuyos primeros 100 MW en ciclo simple fueron puestos en servicio a los cinco meses de suscrito el contrato de compra-venta de energía, deberíamos considerar estos ejemplos como soluciones de emergencia pero no como una respuesta definitiva a las necesidades del país para tratar de mejorar la proporción de generación térmica/hidráulica. El gas natural es un recurso limitado que debería dedicarse a abastecer el mer-

cado residencial, substituyendo así parte del consumo de energía eléctrica en la cocción de alimentos y el calentamiento de agua.

Las reservas probadas de carbón con que cuenta el país, por el contrario, pueden ser suficientes para abastecer la demanda de energía durante tres o cuatro siglos de manera económica y confiable en carboeléctricas que pueden tener una vida útil superior a los cuarenta años, como lo demuestran plantas generadoras como las de Paz de Río, Termopaipa I, Termozipa I, etc.

Si se considera que los carbones colombianos, especialmente los del interior del país (Cundinamarca, Boyacá, Antioquia), se explotan a costo muy bajo, comparados con carbones de otros países, es de especial importancia analizar no solamente las ventajas económicas que se derivan de su uso sino también las repercusiones que las centrales carboeléctricas pueden tener sobre el medio ambiente, así como las soluciones que en países más desarrollados se han adoptado para hacerlas compatibles con las normas más estrictas

de calidad del aire, y, más aun, para un aprovechamiento rentable de los subproductos de la combustión del carbón.

### CARACTERÍSTICAS Y DISPOSICIÓN ACTUAL DE LAS CENIZAS

Los componentes sólidos no combustibles inherentes al carbón y que son de difícil separación en los procesos de beneficio constituyen las cenizas. Según la calidad del carbón, el tipo de minería, el grado de separación previo a la combustión y el tipo de caldera, tales cenizas representan un porcentaje variable del total del carbón quemado. En promedio, los carbones que se utilizan en las plantas carboeléctricas colombianas tienen un contenido del 10 al 12% de ceniza, aunque para fines de diseño normalmente se usan valores un poco superiores. Un análisis típico de las cenizas del carbón que se utiliza en Termozipa mostró que algo más del 90% lo constituyen sílice y óxidos de aluminio. El resto lo constituyen óxidos de hierro, sodio, potasio, calcio, magnesio y titanio.

Deben distinguirse dos tipos principa-

*Las reservas probadas de carbón con que cuenta el país pueden ser suficientes para abastecer la demanda de energía durante tres o cuatro siglos de manera económica y confiable en carboeléctricas que pueden tener una vida útil superior a los cuarenta años...*

les de ceniza producida en una caldera: la ceniza de fondo del hogar y la ceniza volante (*fly ash*). En las calderas modernas el carbón es finamente pulverizado e inyectado al hogar junto con el aire de combustión. Durante el proceso de la combustión las cenizas se separan y, en las calderas de fondo seco, las más usadas en el país, aproximadamente un 15 a 20% caen, en estado sólido, al fondo de la caldera, de donde son removidas en forma de escoria, con una granulometría entre 0.1 y 30 mm. El resto, o sea entre 80 y 85%, está formado por partículas de tamaño entre 0.5 y 200 micras y es arrastrado junto con los gases de la combustión. Las técnicas modernas de separación de cenizas volantes, que se puede realizar con filtros de mangas o con precipitadores electrostáticos, logran eficiencias superiores al 99%, con lo cual se cumplen plenamente las normas de calidad del aire. Sin embargo, la dificultad surge en la disposición o utilización de las cenizas recolectadas.

Aunque algunas carboeléctricas del país, tales como Termoyumbo y Termotajero han logrado disponer de sus cenizas suministrándolas al sector cementero, plantas como Termozipa y Termopaipa han venido acumulando a través de los años cantidades considerables en los patios de ceniza, en lotes de terreno de elevado costo, con los consecuentes problemas ecológicos causados por el arrastre de las partículas por la lluvia y el viento.

Para tener una idea de la magnitud del problema, puede decirse que una unidad de 150 MW, operando con base en carbón de 6500 kcal/kg y con un factor de planta de 0.85 (Termopaipa IV, por ejemplo), consume anualmente alrededor de 400.000 toneladas de carbón. Si el carbón utilizado tiene un contenido promedio de cenizas del 10%, la producción de éstas será de 40.000 toneladas anuales, de las cuales más de 30.000 serán cenizas volantes.

## UTILIZACIÓN DE LAS CENIZAS

Aunque en la actualidad se han desarrollado técnicas para la utilización de las cenizas del carbón, su aprovechamiento es bajo, aun en países industrializados. Sin embargo, su capacidad para substituir otros materiales, y el mejoramiento del entorno ambiental al poder dar uso a estos residuos, han hecho que se haya aumentado la investigación y experimentación con diferentes utilidades.

## Construcción de vías

La utilización más directa y sencilla de las cenizas del carbón, bien sea en su estado original, en forma de mezclas bituminosas, o en mezclas con cemento o cal, es posible en la construcción de vías, en bases, subbases, capas de rodadura y terraplenes. En Bogotá se han hecho algunos ensayos con éxito en la construcción de terraplenes de acceso a los puentes de intersección de vías arterias. Uno de ellos fue la utilización de cenizas de Termozipa en el puente de la calle 26 con Avenida 30, en el cual se utilizaron 6000 metros cúbicos para los terraplenes. Una ventaja adicional de la ceniza volante, además de su bajo costo, que se reduce prácticamente al cargue, transporte y descargue, es su baja densidad (0.9 a 1.2 toneladas por metro cúbico), o sea aproximadamente la mitad de la del recebo, lo cual permite construir terraplenes de mayor altura sobre suelos de baja capacidad portante.

***Las técnicas modernas de separación de cenizas volantes, que se puede realizar con filtros de mangas o con precipitadores electrostáticos, logran eficiencias superiores al 99%, con lo cual se cumplen plenamente las normas de calidad del aire.***

## Cementos

La utilización de la ceniza en la producción de cemento ha sido ampliamente estudiada y probada. Aunque su adición al *clinker*, que se hace en proporción hasta del 20%, representa un considerable ahorro de energía, ya que se reduce la extracción de minerales, trituración y molienda, la operación de mezcla con

otros componentes para lograr la composición química adecuada puede ser difícil debido a las posibles variaciones de las propiedades fisicoquímicas de la ceniza. Este aspecto es de importancia cuando la ceniza contiene porcentajes elevados de inquemados.





## Concretos

Debido a sus características puzolánicas, la ceniza volante tiene la propiedad de que, mezclada con un reactivo como la cal y en combinación con agua, forma una especie de mortero capaz de endurecerse. Al suplementar el cemento con ceniza volante hasta en un 20%, no solamente se tiene una importante ventaja económica sino que se obtienen concretos de baja densidad que han sido utilizados en construcciones masivas, tales como pavimentación de vías, pistas de aeropuertos y presas, y aun en edificios. Por otra parte, el uso de ceniza reduce el consumo de agua para la mezcla y mejora su fluidez, facilitando su instalación por bombeo. Además, se reduce la generación de calor durante el fraguado y se mejora tanto la impermeabilidad del concreto terminado como la calidad del acabado. Si se considera que, debido a su baja densidad hay economía no solamente en las estructuras en sí sino también en los fundamentos, pilotajes y estructuras de soporte, se estima que se pueden lograr ahorros de 20 a 40% en las obras de concreto.

## Agregados para concretos aligerados

Utilizando la ceniza volante como materia prima, combinada con arcilla o con aglutinantes, tales como aceites minerales, y calentada a una temperatura de 1000 °C, se pueden producir microesferas de muy baja densidad.

Estos gránulos sinterizados son utilizados como agregados para concretos que mantienen sus características de resistencia mecánica, pero que tienen muy baja densidad, con los correspondientes ahorros en fundamentos y estructuras.

## Fabricación de ladrillos y bloques para la construcción

Existen varios procesos básicos para la producción de materiales de construcción, utilizando mezclas de cenizas, cemento, cal y arcilla, entre ellos:

- Mezcla de cenizas con arcilla sujeta a un proceso de cocción a 1000 °C para la producción de ladrillos. Por este procedimiento es posible fabricar ladrillos con un contenido de ceniza que puede ir desde un mínimo de 20 a 25% hasta un máximo de 80 a 90%. El proceso que se utiliza para producir ladrillos con arcilla corriente y bajo contenido de cenizas no difiere mucho del proceso tradicional, mientras que para ladrillos de alto contenido de ceniza se requiere un proceso más complicado. Las grandes ventajas de estos ladrillos son su bajo peso (aproximadamente 2/3 de los tradicionales), sus

mejores propiedades aislantes y el hecho de que mantienen la misma resistencia mecánica.

- Mezcla húmeda de ceniza con cal y cemento y secado a temperatura ambiente (o en horno de baja temperatura simplemente para acelerar el endurecimiento). Con este sistema se pueden producir en frío (o a temperaturas relativamente bajas) ladrillos de formas y tamaños normalizados mucho más livianos que los tradicionales. Además de ladrillos, por este sistema se fabrican paneles, tuberías, etc. de excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico y de baja densidad (0.7-0.8 kg/dm<sup>3</sup>). Las propiedades mecánicas dependen del contenido de ceniza. De acuerdo con el uso que se les de, la proporción de ceniza puede variar entre el 20 y el 80%.

- Mezcla húmeda de cenizas con cal o con cal más cemento, a la cual se agregan sustancias que, en contacto con la cal y el agua, se gasifican originando un producto final poroso y muy liviano. En estos productos se usa entre un 80 y un 90% de cenizas, y se obtienen una densidad final de 0.4 a 0.5 kg/dm<sup>3</sup> y una conductividad térmica del 25% de la de los ladrillos convencionales. En Estados Unidos y en Inglaterra se usa ampliamente este material para paneles divisorios en edificios.

***La utilización más directa y sencilla de las cenizas del carbón, bien sea en su estado original, en forma de mezclas bituminosas, o en mezclas con cemento o cal, es posible en la construcción de vías, en bases, subbases, capas de rodadura y terraplenes.***

- Mezcla de ceniza volante, ceniza de fondo de caldera y cal, prensada en forma de ladrillo y endurecida en un autoclave al vapor, a una temperatura de 200 °C y una presión de 16 atmósferas. La firma STEAG de Alemania opera en sus instalaciones de la Central Térmica de Lünen una fábrica de ladrillo de este tipo que produce anualmente 43 millones de unidades.

## Cerámica

Las cenizas volantes, junto con los residuos granulados, pueden ser utilizadas en la industria cerámica para la producción de materiales de construcción mezclándolas con otros elementos para disminuir y desensibilizar la mezcla, así como para mejorar la maleabilidad y reducir los desperdicios. Además, el uso de cenizas disminuye la cantidad de agua requerida, con lo cual se reduce el período de secado y el consumo de combustible en los hornos.



del terreno y aun substituir fertilizantes químicos inorgánicos.

## CONCLUSIONES

A pesar de que las carboeléctricas han sido tradicionalmente consideradas instalaciones contaminantes, lo anteriormente expuesto nos demuestra que son muchas las posibilidades de aprovechar el mayor residuo, que son las cenizas, reduciendo el impacto ambiental a un mínimo. Es muy arriesgado decir cuál de los sistemas sería el más

## Usos agrícolas

Las cenizas del carbón son usadas en el sector agrícola debido a sus propiedades fisicoquímicas, entre ellas:

- La insolubilidad de un gran porcentaje de sus componentes, lo cual las hace similares a la arena.
- La solubilidad de los óxidos alcalinos así como la de las tierras alcalinas (Na, K, Mg, Ca).

La consistencia arenosa hace adecuada su mezcla con arenas arcillosas infértiles. En el norte de Francia se han adecuado con éxito terrenos para el cultivo de remolacha de azúcar, papa y maíz, simplemente esparciendo la ceniza sobre los cultivos. En la sabana de Bogotá los cultivadores de flores también han utilizado cenizas de carbón para mejorar sus cultivos. Además, los elementos solubles de la ceniza pueden modificar parte del contenido ácido

adecuado en el caso de nuestras centrales, tanto desde el punto de vista técnico como del económico, ya que cada caso específico requiere analizar cuidadosamente las características fisicoquímicas de las cenizas, los costos de su almacenamiento, manejo y transporte, la inversión requerida para el proceso proyectado y, muy especialmente, el mercado de las cenizas, bien en su estado original o en forma de productos para la industria de la construcción.

Teniendo en mente que en los próximos años deberemos instalar al menos 1500 MW de generación por carbón, esto equivale a decir que la producción de cenizas en las carboeléctricas se aumentará en 400.000 toneladas anuales. Es importante comenzar con una instalación piloto, Paipa IV por ejemplo, para ir resolviendo los problemas de organización, producción y comercialización, así como eventuales dificultades institucionales y de aceptación del producto. ▽



**ConConcreto S.A.**

## CONSTRUYENDO FUTURO CON SENTIDO HUMANO

Medellín Cra. 42 No. 75-125 (Itagüí) Autopista Sur Conmutador: (94) 2812977

Santa Fe de Bogotá Cra. 6. No. 115 - 65 Of.: 308F Conmutador (91) 6202166

Cali Cra. 100 No. 16 -20 Edif. Av. 100 Conmutador (92) 3331222

# Foro Alta Tecnología en Informática y Telecomunicaciones

Ing. Hugo Fernando Valderrama Sánchez

**Ingeniero de Sistemas y Computación, Universidad de los Andes; Master en Administración de Empresas con especialidad en Finanzas, Universidad de La Salle. Recibió la formación ejecutiva para Presidentes de Empresa en la Universidad de Harvard y en el Instituto de Alta Dirección Ejecutiva de la Universidad de la Sabana. Funcionario de la IBM de Colombia por más de 15 años, socio fundador de ACIS (Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas). Actualmente es el presidente de NCR Colombia S.A.**

**E**n Colombia, como en la mayoría de países, existen muchos actores en el escenario de la informática y de las telecomunicaciones, lo cual hace, en general, muy compleja su interacción, muy dispersos sus resultados y muy especializada e independiente su actividad. Por otro lado, es evidente que el país ha llegado tarde o no ha sabido explotar suficientemente las oportunidades ofrecidas por las diferentes eras de actividad económica, como pudieron haber sido las de la más reciente y conocida, la era industrial, en la cual no necesariamente entramos o fuimos exitosos.



En la era de las comunicaciones y la informática, Colombia tiene la oportunidad de acelerar su progreso y colocarse a nivel de los países más avanzados, si logramos manejar con sabiduría y con agilidad nuestra vinculación a las tecnologías que ahora están al alcance de un país como el nuestro.

Sin embargo, la decisión de tecnificar el país para volverlo poderoso, mediante el uso de las herramientas que necesitamos para enfrentar el siglo XXI, implica lograr un consenso en algunos aspectos básicos, sobre los cuales cada quien opina de manera diferente.

En el campo de la informática y las telecomunicaciones en Colombia existen más de una docena de gremios y asociaciones, válidas y especializadas, para un mercado que no supera los

1000 millones de dólares y que, como cosa curiosa, es tan pequeño todavía que ni siquiera merece atención independiente en las cifras estadísticas del país. Los bancos y las instituciones financieras en Colombia tienen una sola asociación y representan en negocios para el país más de veinte veces lo que produce el sector informático y de comunicaciones. Es evidente, por estos últimos datos, que Colombia tiene un apreciable atraso tecnológico y que la industria de la alta tecnología parece no ser más importante para el país que el consumo de una sola línea de gaseosas, la cual puede vender el doble o el triple de

lo que se mercadea en alta tecnología en el país por año.

El Foro Alta Tecnología en Informática y Telecomunicaciones se creó con el fin de motivar y facilitar el intercambio de ideas y opiniones, así como la comunicación fluida y sencilla entre los diferentes actores de la alta tecnología, permitiendo así identificar con facilidad sus diferencias al igual que los puntos comunes. Sobre esta base se podría trabajar en conjunto para sacar adelante las soluciones de proble-

---

***En la era de las comunicaciones y la informática Colombia tiene la oportunidad de acelerar su progreso y colocarse a nivel de los países más avanzados, si logramos manejar con sabiduría y con agilidad nuestra vinculación a las tecnologías que ahora están al alcance de un país como el nuestro.***

---

mas o iniciativas que a la larga van a servir para agilizar el crecimiento tecnológico del país y multiplicar la industria por dos o por tres, "destrancando los trancones" que la obstaculizan.

El Foro Alta Tecnología en Informática y Telecomunicaciones no es un gremio sino un espacio que aglutina a todos los involucrados en la alta tecnología: el gobierno (con sus entidades y ministerios relacionados con la industria), la academia, los proveedores de *hardware*, los proveedores de *software*, los proveedores de servicios, los consultores, las asociaciones y gremios de informática y comunicaciones, los comerciantes y, en fin, todos los que en una u otra forma trabajan, analizan, estudian o viven para o con la alta tecnología.

La iniciativa del Foro Alta Tecnología, en el cual estarán todos los actores involucrados trabajando en vivo para contribuir a sacar el país adelante, producirá para todos ganancias indudables y evidentes en muy corto plazo.

Para resumir, a continuación transcribimos la misión del Foro Alta Tecnología:

## MISIÓN DEL FORO ALTA TECNOLOGÍA EN INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES

Establecer un espacio donde los diferentes sectores de la alta tecnología en lo relacionado con la informática y las comunicaciones, como proveedores de equipos, proveedores de *software*, proveedores de información, el gobier-

no como ente regulador, el Congreso como ente legislador, el Poder Público como ente controlador, las asociaciones especializadas, los consultores, las universidades y los usuarios de la informática y las comunicaciones, interactúen para:

1. Debatir inquietudes, ideas y planes, identificando intereses comunes y generando grupos de acción que faciliten la contribución de la tecnología al desarrollo nacional.
2. Conocer y aceptar las diferencias para respetarlas.
3. Acelerar el crecimiento del sector



CUBIDES MUÑOZ LTDA.  
Ingenieros Constructores  
S.C.I. A.C.I.C.

Cra. 13A No. 91-26  
Tels. 236-0261 • 236-0285  
Fax. 218-7042  
Santafé de Bogotá D.C.

## MESA REDONDA

# La enseñanza de las matemáticas en la ingeniería

## PONENTES

**Jaime I. Lesmes Camacho.** Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia; matemático, Universidad Nacional; doctor en matemáticas, Universidad de Francfort, Alemania. Ha sido profesor de la Universidad Nacional y profesor e investigador del Instituto de Matemática Pura y Aplicada de Río de Janeiro, Brasil. Desde 1980 se halla vinculado a la Universidad de los Andes, en donde actualmente es profesor titular.

**Carlos Javier Ruiz Salguero.** Matemático, Universidad Nacional de Colombia; D.E.A. en matemáticas puras y doctor en ciencias con especialidad en matemáticas, Universidad de Lille, Francia. Ha sido profesor de la Universidad Nacional desde 1971 hasta la fecha; investigador en topología desde 1964 y profesor en el posgrado de matemáticas de la Universidad Nacional.

**Jairo A. Charris.** Ingeniero químico, Universidad Nacional de Colombia; matemático, Universidad Nacional; M.S., University of Chicago; Ph.D., Arizona State University. Ha sido profesor de la Universidad Nacional desde 1962 hasta la fecha; director de la carrera de matemáticas y director de la Unidad de investigación; profesor visitante de la Arizona State University y de la University of South Florida.

**Ernesto Acosta Gempeler.** Matemático, Universidad Nacional de Colombia; magíster en matemáticas, Universidad del Valle; Ph.D. en matemáticas, Universidad de Cornell. Ha sido profesor de las universidades de Sucre, Nacional, del Valle, Javeriana y Cornell durante diversos períodos desde 1979; actualmente es profesor asociado de tiempo completo de la Universidad Nacional, vinculación iniciada en 1993.

**Arturo Ramírez Montúfar.** Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia. Fue rector de la Universidad Nacional entre 1960 y 1962, en cuyas facultades de Ingeniería, Química y Matemáticas ha sido profesor y desempeñado cargos como los de secretario, miembro de consejos directivos y decano. También ha ejercido la docencia en las universidades del Rosario, Gran Colombia, La Salle y Militar. Actualmente es miembro del Consejo Directivo y profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

**Isabel Carlota López Arango.** Matemática, Universidad Nacional de Colombia. Ha sido profesora de la Universidad de los Andes, de la Universidad Nacional y de la Escuela Colombiana de Ingeniería desde 1979 hasta la fecha. Fue directora de la Revista de la Escuela y en la actualidad es miembro del Consejo Editorial



*De izquierda a derecha aparecen los doctores: Jaime Lesmes, Arturo Ramírez, Jairo Charris, Eduardo Silva, Carlos Ruiz, Ernesto Acosta y Carlota López.*





## INTRODUCCIÓN Y RESUMEN

Una vez más la Escuela Colombiana de Ingeniería se ha constituido en foro para la discusión de los grandes problemas de la formación de los ingenieros y de las condiciones del ejercicio de esta profesión, problemas que, de muchas maneras, inciden en el desarrollo tecnológico y productivo del país.

En esta ocasión fueron convocados a una mesa redonda sobre el tema de la enseñanza de las matemáticas en la ingeniería seis de las personalidades más experimentadas y representativas en los aspectos académicos y científicos de esta materia.

El día 13 de agosto de 1996, con la actuación como moderador del Dr. Eduardo Silva, rector de la ECI, los ponentes invitados, doctores Arturo Ramírez Montúfar, Jaime Lesmes, Jairo Charris, Carlos Ruiz, Ernesto Acosta y Carlota López, ante un auditorio de profesores y estudiantes, expusieron sus opiniones y plantearon soluciones con respecto al siguiente cuestionario que fue sometido a su consideración:

- ¿Las matemáticas se deben enseñar como una disciplina intelectual o como una herramienta para solucionar problemas de ingeniería?
- ¿Qué metodología sugiere?
- ¿Qué cambios implicaría su propuesta con respecto a la metodología actual?
- ¿El plan de estudios actual de matemáticas para ingeniería es correcto o hay que cambiar su alcance aumentándolo o disminuyéndolo?
- ¿Qué problemas detecta para el aprendizaje de las matemáticas?
- ¿Cómo fomentar el interés por las matemáticas en los estudiantes de ingeniería?

La participación de los ponentes invitados y las preguntas del público

presente estuvieron a la altura de la importancia del tema, así como de la ambiciosa pretensión de su examen. Esto se puede palpar en la transcripción de los principales apartes de las exposiciones que se consignan en esta publicación.

Al evaluar el desarrollo del debate quedan en el ambiente planteamientos y apreciaciones que revelan la verdad de lo que está ocurriendo en la enseñanza de las matemáticas en la ingeniería, y que exigen iniciativas de cambio y adecuación por parte de los diversos actores, particularmente los responsables de la educación secundaria, los profesores de matemáticas y de materias relacionadas con aquellas, las universidades y las autoridades educativas del Estado.

En los siguientes enunciados se condensan las principales conclusiones de la mesa redonda:

- Se observa una muy deficiente calidad académica de los bachilleres que ingresan a la universidad, no sólo en matemáticas sino en el desarrollo de las habilidades de percepción, raciocinio y técnicas de aprendizaje.
- Cierta noción de esterilidad y de que las matemáticas constituyen un requisito-obstáculo dentro del programa de ingeniería, hacen que en muchos estudiantes prime la preocupación por "pasar" sobre el interés constructivo de "aprender".
- Con frecuencia se encuentran profesores cuyo desempeño es apático y rutinizado, hasta el punto de acabar con cualquier posibilidad de motivación de sus estudiantes hacia el aprendizaje de las matemáticas.
- El poco llamado de atención sobre la interacción con materias que tienen correlación natural, por ejem-

plo la física, impide que el proceso de aprendizaje se enriquezca con el factor de aplicación de las rutinas teóricas a los problemas prácticos.

Y al avanzar hacia las propuestas de solución, las exposiciones convergen a algunos puntos de especial interés:

- No es conducente la dicotomía de las matemáticas en disciplina intelectual pura y en recurso de aplicación a la solución de problemas de ingeniería. Lo que se impone es la integración ponderada de estos dos principios de utilidad.

- Más que atiborrar de fórmulas y ejercicios básicos, se debe insistir en el conocimiento, la fijación de los conceptos, el papel que desempeñan las matemáticas, y en el desarrollo de habilidades de comprensión y análisis para desarrollar la capacidad de "pensar".

- Es indispensable que la enseñanza esté abierta a la utilización de los nuevos recursos tecnológicos y científicos (computadores y otros sistemas), aunque se debe evitar la inconsciencia con respecto a sus principios de funcionamiento y a sus limitaciones.

- La metodología y la actitud del profesor deben generar factores de motivación entre los estudiantes para efectos de lo que se puede considerar el aprendizaje básico de las matemáticas en ingeniería. Luego, y en concordancia con las facilidades y vocaciones de individuos y grupos, se desarrollarán incentivos y espacios especiales como los cursos de extensión, los clubes de matemáticas y los cursos de honor.





## DR. JAIME LESMES

**A**gradezco la invitación que me ha hecho la Escuela y muy especialmente mi amigo, el doctor Silva. En lugar de contestar puntualmente las preguntas de la encuesta he preferido exponer una serie de reflexiones que vengo haciendo sobre estos temas hace bastante tiempo; estas reflexiones son fruto de 16 años. Desde que volví a Colombia siempre he dictado cursos en ingeniería, casi sin excepción los últimos semestres; la amistad que me une a muchos colegas ingenieros en ejercicio ha dado lugar a conversaciones con ellos sobre estos asuntos y, también, obviamente, he tenido muy interesantes vivencias como matemático profesional. De todo ello se han nutrido estas reflexiones.

Otra aclaración que quiero hacer es que cuando hablo tengo en mente una institución ideal -tal vez lo que yo digo es, como algunos dicen, música celestial, o sea algo demasiado idealizado-; sin embargo, creo que es una meta que nos deberíamos fijar, hacia la cual deben ir las cosas. Pienso en una institución completamente comprometida con la obligación social de formar profesionales idóneos, sin ninguna concesión para demagogias y facilismos.

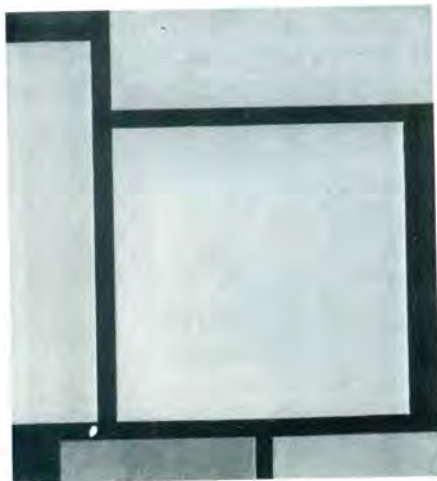
En cuanto al primer punto, que plantea el dilema de si las matemáticas deben enseñarse como disciplina intelectual o como herramienta para resolver problemas de ingeniería, el doctor Silva se me anticipó; ambos aspectos son válidos y no se excluyen mutuamente; al contrario, se complementan.

Veamos la matemática como disciplina de formación. La matemática bien enseñada y bien aprendida, bien asimilada, induce actitudes de razonamiento, actitudes de claridad mental en la formulación de problemas y en su solución. Se debe ver claramente qué es lo que se quiere obtener, de qué medios se dispone, con qué se cuenta cuando se comienza a trabajar en un problema determinado; se aprende a asumir responsabilidades en el sentido

de que el estudiante resuelva un problema no porque esté en un libro, no porque esté en un manual, sino que lo haga por su cuenta y luego pase al tablero y delante de sus compañeros defienda su solución. Veo también el aspecto de la habilidad para construir modelos matemáticos; esto comienza con situaciones muy sencillas, muy básicas; se hacen abstracciones de situaciones totalmente idealizadas, que, obviamente, nunca se presentan en la práctica, pero precisamente se trata de un ejercicio. Por ahí se va comenzando y es un proceso paulatino que lleva años en desarrollarse hasta llegar, con los conocimientos teóricos y técnicos correspondientes, a poder formular modelos matemáticos para situaciones mucho más complejas y más sofisticadas, ya dentro del ejercicio de la profesión o de la investigación.

Sobre estas consideraciones que acabo de hacer deduzco algunas consecuencias sobre la metodología que se ha de aplicar en la enseñanza. No quiero entrar en detalle, y creo que no venga al caso, pero, acorde con lo que dije anteriormente, creo que se debe dar énfasis a la comprensión de los conceptos básicos, que deben estar claros. Las reglas deben exponerse claramente y cuando se proceda, digamos, a formular teoremas, deducir pequeñas teorías, si la prueba de un teorema o de una regla o de un procedimiento está al alcance de los estudiantes, si sigue un camino natural, aun si implica algunos sacrificios para el alcance de los estudiantes, debe hacerse. Si se trata ya de teoremas abstrusos, útiles en el sentido de que su enunciado es sencillo y se aplica pero cuya prueba es abstrusa y va a los fundamentos mismos del análisis, sencillamente se omite y queda claro que se omite. En esto quiero ser muy claro: pretender construir rigurosamente la teoría matemática está fuera de lugar; no se trata de eso sino de tener los conceptos fundamentales claros, saberlos manejar con una comprensión a la vez intuitiva y razonada, porque de todas maneras no se puede perder de vista que en último lugar la matemática es una herramienta para el ingeniero.

Se debe dar una gran importancia a los problemas que exijan pensar. Claro está que los ejercicios rutinarios también son muy importantes; es un entrenamiento que se debe adquirir. Se deben asimilar las reglas mecánicas; esta asimilación puede parecer tediosa —al fin y al cabo nada se gana gratuitamente—, pero una vez que se ha incorporado, que se ha asimilado por la persona, esto es un factor que también influye muy positivamente en la habilidad para resolver problemas posteriormente. Quien conoce un procedimiento muy bien, obviamente piensa en él; quien no lo conoce jamás va a pensar en aplicarlo. Es imposible.



*La pintura, maravillosa forma de expresión de la humanidad, constituye uno de los lenguajes con mayor capacidad de abstracción.*

*Piet Mondrian, principal exponente del Arte abstracto, junto con Delauny y Kandinsky.*

*Piet Mondrian, 1921. Composition.*



Creo también que en las pruebas y evaluaciones se debe dar una gran importancia a la resolución de problemas, problemas nuevos en el sentido de que midan la capacidad de raciocinio del estudiante, no su memorización; no problemas que ya se vieron en la clase y están resueltos. Claro que eso también se pregunta pero, repito, es indispensable que se vea si la persona asimiló y puede manejar los conceptos y las reglas fundamentales.

Sobre los planes de estudio yo sólo conozco el detalle de la universidad donde trabajo, la Universidad de los Andes, y creo que tal vez lo podemos hablar en la discusión posterior. Algo diré de eso más adelante al hablar de las fallas que he detectado, en mi opinión, en el aprendizaje. Una sugerencia sobre los planes, una idea que me parece muy buena, es mantener un comité en el cual no solamente debe haber profesores de matemática sino también de física y de las materias profesionales de ingeniería. Este comité se reúne periódicamente y examina continuamente los problemas que se presentan en los cursos de matemáticas, específicamente para el ciclo de ingeniería. Obviamente la

composición del comité no tiene por qué ser rígida cuando se trate de materias que solamente se enseñan en alguna rama específica de la ingeniería, pues en tal caso se invitará a una persona a opinar autorizadamente sobre ello; esto lo hemos ensayado y nos ha dado muy buenos resultados.

Sobre problemas detectados en el aprendizaje, acá tal vez yo pueda ser muy conservador; lo que voy a decir puede parecer perogrullesco pero es lo que mi experiencia me ha enseñado. En primer lugar, las bases deficientes son lo más grave; es el problema más extendido de todos: la formación básica deficiente. En segundo lugar está la falta de disciplina y de trabajo por parte del estudiante. En tercer lugar hay ineptitud, irresponsabilidad, por parte de los profesores; eso también aparece e influye negativamente. Y en cuarto lugar, algo que también sucede es la mala calidad de los textos. Estas son las principales fallas que he visto, pero sólo voy a explayarme un poco en la primera. Me parece la más grave de

todas la deficiencia de bases; creo que no soy exagerado al decir lo siguiente: si uno analiza las fallas que encuentra en los estudiantes, éstas, con una gran frecuencia, se remontan a cuestiones que se dejaron de aprender

en la escuela primaria y que a veces ya son irre recuperables; no es raro encontrar estudiantes que no saben leer, es decir, que carecen de la capacidad para entender la lectura; esto es un defecto que uno encuentra con mucha frecuencia.

Igual ocurre con otras cuestiones de aritmética elemental, manejo de nociones simples de geometría, etcétera, para no hablar ya de materias que se supone se vieron en la secundaria. Entonces, ¿cómo se reflejaría esto sobre la educación universitaria de calidad? Tal vez sea antipático lo que voy a decir: en primer lugar se requiere un cuidadoso proceso de selección en la admisión; si hay un caso irrecuperable no es problema nuestro; digámoslo así. Segundo, una vez que se tiene un buen proceso de admisión, creo que se deben diseñar muy bien unos

*La matemática bien enseñada y bien aprendida, bien asimilada, induce actitudes de razonamiento, actitudes de claridad mental en la formulación de problemas y en su solución.*

## Eficiencia con

# PROCESION

### Sistema Integrado de Presupuesto Programación y Control de Proyectos

 salazar  
ferro  
Ingenieros s.a.

Cra. 53B No. 124-43  
Tel.: 253 0720  
Santafé de Bogotá, D.C.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA  
Autopista Norte Km. 13 Tesl.: 676 0077 - 676 0372  
A.A. 14520 Santafé de Bogotá, D.C.



cursos remediales, no para todos los estudiantes sino mediante un proceso de selección; algunos los tomarán, otros no. Estos cursos remediales deben, sobre todo, reforzar y enseñar cuando no se tengan lo que yo he dado en llamar la estructura general matemática; eso se entiende que son conocimientos generales que todo el mundo debería tener y frecuentemente no se tienen.

Respecto al último punto, sobre el fomento del interés por las matemáticas en los estudiantes de ingeniería, tengo algunas sugerencias:

Primero, es indispensable tener un profesorado de calidad; esto crea mucho interés y es muy motivador.

Segundo, debe existir interacción con otros cursos de formación básica, especialmente con los cursos de física.

Algo que yo he notado y que causa preocupación frecuentemente es que hay un divorcio entre los cursos de cálculo y los cursos de física, siendo que la fuente principal del problema del cálculo, tanto histórica como simbióticamente, actualmente es la física. Sería ideal que el profesor de cálculo, cuando aparece un problema de física, explicara algo de la física, y que el profesor de física, cuando aparece un problema en el cual hay que usar métodos de cálculo, explicara un poco ese método de cálculo.

Otro punto, y en esto apelo a mis colegas profesores de las materias ya avanzadas de ingeniería, es, en estas

***Pretender construir rigurosamente la teoría matemática está fuera de lugar; no se trata de eso sino de tener los conceptos fundamentales claros...***

materias, enseñar bien el fundamento teórico utilizando las herramientas de la matemática y de la física; o sea, borrar en el estudiante la impresión que muchos tienen, de que se va a aprender una colección de fórmulas y de tablas, pues se trata de entrar un poco en la fundamentación; y en eso, como digo, las herramientas indispensables son estas dos materias básicas.

Otro punto, que va más a los colegas profesores de matemáticas, es algo que en la universidad también nos ha dado un buen resultado: crear clubes de matemáticas, es decir, reuniones periódicas con estudiantes, en las cuales se propongan problemas elementales pero no fáciles, que constituyen verdaderos desafíos intelectuales; y poner premios u otras recompensas para las mejores soluciones. Finalmente, algo a lo cual aludí acá Eduardo: planificar. Esto es posible cuando uno conoce a sus estudiantes; la oferta de cursos avanzados de matemáticas electivos, que sirvan para preparar también estudiantes de ingeniería que quieran hacer posgrados avanzados o dedicarse posteriormente a la investigación

## DR. JAIRO CHARRIS

**C**on la presentación que hizo Jaime, con las ideas básicas, todos estamos de acuerdo. Este proceso, para que sea útil a un ingeniero tiene que ser muy claro en los conceptos básicos. No es posible, como pretenden muchos estudiantes, hacer omisión de los conceptos básicos, pues eso francamente los va a retardar en su aprendizaje y les va a costar mucho trabajo. Pero suele surgir una especie de miedo a enfrentarse a algo que posiblemente es difícil; entonces se cree que es más fácil empezar a resolver problemas y eso va a crear líos más tarde. Por otra parte, muchos libros de cálculo, cálculo en general de matemáticas, están diseñados con eso en mente; no son claros en los conceptos básicos; citan un concepto, dan un ejemplo y proponen un ejercicio; lo resuelven y luego dan 10 ó 20 ejercicios iguales. Uno debe tener mucho cuidado con eso pues es algo difícil de manejar. Yo, con mis hijas en el colegio, me doy cuenta, por ejemplo, que siguen el libro de Baldor, que es un libro bueno; pero si se trata de enseñarles a factorizar, no tengo tiempo de explicarles qué

es la factorización, porque tienen 40 ó 50 ejercicios. Es evidente que eso depende de leyes básicas y de ciertos principios y no dispongo de tiempo para hacer esos ejercicios; entonces se presenta ese conflicto.

Por otra parte, veo que este es un problema difícil para el profesor de matemáticas. Insisto en los conceptos básicos, pues se puede entrar en conflicto con los estudiantes, porque el estudiante empieza a preguntar que de dónde se está sacando eso, que eso no está en el libro y después a él le va a quedar muy difícil, por ejemplo, encontrar las fuentes. Esto le crea a uno problemas; es un asunto difícil de resolver en la práctica. Otra cosa que yo observaría es esto: los programas de cálculo, en general de matemáticas hoy día, tienden a absorber cada vez más material, no sólo material nuevo matemático sino que dentro del mismo programa hay que enseñar al estudiante más o menos cómo se maneja el computador, cómo el computador lo puede ayudar a hacer sus gráficas, cómo el computador le puede sugerir cuáles son los cortes de plano con la superficie que él trata de determinar, etcétera.



Pero eso requiere tiempo y ese tiempo implica sacrificio en algún aspecto; a

lo mejor hay que, ciertamente, olvidar una presentación clara de los conceptos básicos por tratar de estar explicando ésto, lo cual, en mi concepto, va en detrimento del estudiante. Es un conflicto práctico que se le presenta a uno; no es posible

hacer las dos cosas bien, y eso no parece que sea fácil de solucionar porque los cursos de matemáticas están restringidos a lo sumo al cuarto y quinto semestre, o hay la tendencia de restringirlos a eso, y de ahí en adelante no se quiere saber nada más de matemáticas.

Otro conflicto práctico que se presenta es que en realidad, a mí me parece, que muchos ingenieros no saben exactamente lo que quieren de sus estudiantes. Ellos, por ejemplo, le dicen a uno: enséñeles a manejar estos paquetes pues eso es suficiente para lo que necesitamos del estudiante. La experiencia que yo tengo es un poco rara pero creo que se aplica a la carrera básica de ingeniería—en realidad yo no trabajo mucho en ingeniería; muy de vez en cuando me toca enseñar cursos en ingeniería, pero en cambio me ha tocado asesorar varias tesis de maestría en ingeniería—, después de que yo he logrado entender cuál es el problema de ingeniería que ellos tienen y cuáles son las preguntas matemáticas que tienen, lo cual para mí no siempre es fácil, necesito a veces quince días, un mes, lo cual me desespera pero creo que les da su fruto después. He notado que los problemas que tenían eran muy sencillos, si hubieran tenido tiempo en sus cursos,

por ejemplo, de ecuaciones diferenciales parciales elementales, de asimilar cuáles son los problemas reales que hay detrás de una ecuación diferencial, por qué son importantes las condiciones de frontera, etcétera. Ellos no saben eso, no lo saben; tienen que

resolver sus problemas, saben que en ese problema hay que establecer una ecuación diferencial que al fin y al cabo sale por diversos procedimientos, analogías de modelos existentes, etcétera. Llegan finalmente a que sus modelos satisfacen más o

menos su necesidad; luego, cuando ya tienen la ecuación, se imaginan cuáles son las condiciones de frontera, suministran esos datos al computador y tratan de que el paquete se los resuelva. Pero resulta que el problema que han planteado rápidamente va por encima de la capacidad del paquete y entonces ahí es donde necesitan consultar un matemático. El problema es que el estudiante no ha establecido bien las condiciones de frontera; no sabía la importancia que tienen las condiciones de frontera en la determinación de si la solución son series de senos o series de cosenos; y el computador no lo puede ayudar. Entonces, se presenta ese tipo de problemas prácticos. Eso me

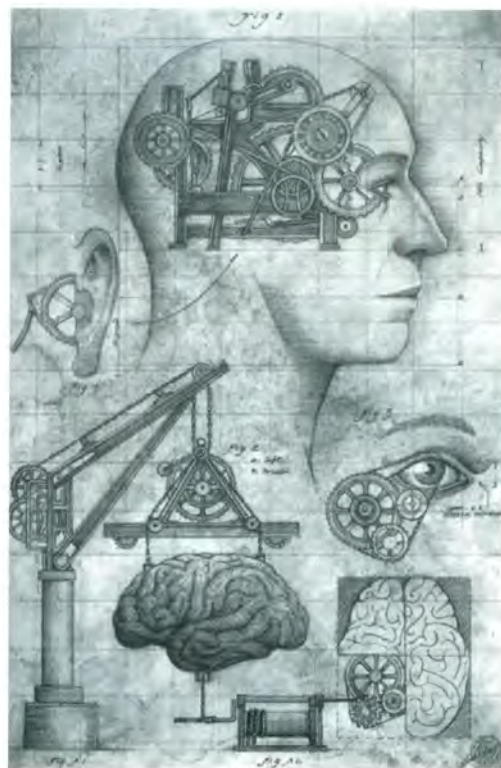
ocurrió en una de las tesis; en otra me enfrenté con cosas un poquito más sofisticadas pero igualmente elementales. Eran problemas de ortogonalidad pero ya en espacio y dimensiones infinitas, como las que se presentan en la serie de Fourier, pero no exactamente con series de Fourier sino con funciones un poco más complicadas, esencialmente con funciones de Bessel y cosas de esas. Si él quería resolver el problema de ingeniería que tenía, fue mi conclusión, debía tener un conocimiento muy bueno de funciones de Bessel. Inobjetablemente. Me tocó enseñarle funciones de Bessel para que pudiera entender de qué se trataba; y después de seis meses, porque no le podía dedicar mucho tiempo, él empezó a entender su problema y en un año o más fue capaz de resolverlo.

Ahora, ¿por qué digo que esto afecta la carrera básica? La razón es la siguiente: es que en los cursos de posgrado en ingeniería no se enseña matemáticas; se supone que la matemática que el ingeniero ha adquirido en sus estudios básicos es suficiente.

***En los cursos de posgrado en ingeniería no se enseña matemáticas; se supone que la matemática que el ingeniero ha adquirido en sus estudios básicos es suficiente.***

*Las matemáticas son necesarias para formar el pensamiento.*

*Fundamentales para formar la persona que necesita ser el ingeniero.*





Estoy refiriéndome, por ejemplo, al curso especial de matemáticas para ingenieros; es un curso terrible, es un curso que cobija funciones de una variable compleja, transformada de Laplace y aplicaciones a las ecuaciones diferenciales ordinarias, series de Fourier y aplicaciones a las ecuaciones diferenciales parciales, problema de contorno, transformada de Fourier

y aplicaciones a las ecuaciones diferenciales parciales. Ese es un curso, a mí me parece, cuyo único oficio es decirles a los estudiantes que existen esas cosas, que hay una transformada de Fourier, que hay una transformada de Laplace y una serie de Fourier. Pero para ellos es imposible haber asimilado absolutamente nada en ese curso, porque cada una de las cosas

que se tratan es delicada y requiere tiempo para su asimilación.

Por otra parte, además de todo ese programa hay que enseñarle a manejar problemas de ese tipo mediante el computador y mediante la serie de paquetes que hay, de modo que yo en realidad no entiendo cómo pueda hacerse. Estando completamente de acuerdo con Jaime en que es necesario que los conceptos fundamentales se les expliquen a los estudiantes en forma clara y precisa, es necesario sugerirles problemas en los cursos elementales de matemáticas que los hagan pensar; es necesario darles problemas de rutina; en todo eso estamos de acuerdo pero, además, yo quiero insistir en que es necesario enseñarles a manejar estos paquetes modernos y eso crea un conflicto de tiempo que a mí me parece muy difícil de resolver, a no ser que las carreras de ingeniería quieran abrirse un poco más hacia las matemáticas, si lo consideran importante. Y para mí lo es, porque cuando se trata de escribir sus tesis tienen necesariamente que recurrir a los matemáticos porque ellos no poseen la claridad necesaria para hacerlo. Bueno, pero para eso estamos los matemáticos, ¿no?

Eso es lo que básicamente quería decir; no es más. Estoy totalmente de acuerdo con lo que dijo Jaime; yo había llegado a las mismas conclusiones. Creo que sería incapaz de expresarlas de la manera tan clara y precisa como él lo ha hecho. De modo que no insisto más en eso; solamente en estos aspectos prácticos del problema

**Las comparaciones no son odiosas,  
son necesarias**

**TUBERIA DE CONCRETO TITAN®**

**la mejor selección**



Tubo rígido TITAN® de 60 cm. de diámetro por 2 m. de longitud, bajo carga de 11.5 toneladas, sin soporte lateral.

**1. Más resistente**

que cualquier otro producto en competencia.  
Fabricada con hormigón de 350 Kg/cm<sup>2</sup>.

**2. Mayor durabilidad y rigidez**

Hormigón denso y homogéneo, que no sufre de acartonamiento ni degradación en sus propiedades mecánicas. Mantiene su circularidad en condiciones de trabajo.

**3. Juntas estancas y flexibles**

La fabricación en posición "campana abajo" asegura medidas exactas y el ajuste del empaque de caucho en la junta.

**4. Mayor economía**

Por su bajo costo inicial, su rendimiento hidráulico y su larga vida útil.

**Tubería sin refuerzo** en diámetros desde 15 cm. hasta 100 cm. según Norma ICONTEC 1022 (ASTM C14)

**Tubería reforzada** en diámetros desde 60 cm. hasta 130 cm. según Norma ICONTEC 401 (ASTM C76).



**TITAN®**

**MANUFACTURAS DE CEMENTO S.A.**

DEPARTAMENTO DE ASESORIA TECNICA Y VENTAS

Autopista Medellín, km 1,5 al occidente de Uniabastos, entrada frente a Motorcol

Tels.: (9186) 41234 y 43734 Fax (9186) 43726



## DR. CARLOS RUIZ

**E**n realidad esta es una charla que no debe ir dirigida sólo a personas sumamente competentes, como son algunos profesores que están aquí. Hay que crear en el estudiante un espíritu diferente. La matemática es un plato sumamente fino y sería, por lo menos insensato, que se lo sirviéramos mal a unos jóvenes que ponen la confianza en nosotros. No sería conveniente para los estudiantes mantener la idea de una matemática además de fea, inútil y, sobre todo, nociva; sólo porque al estudiante le gusta más una cosa fácil, para tratar de salir adelante y obtener un título y cuanto por éste le pagarán. La tarea del maestro es como la de un padre: a pesar de que duela, tiene que imponerse, tiene que asumir una posición fuerte porque uno en el fondo no está tratando simplemente de formar ingenieros, físicos y químicos; uno está tratando de formar hombres, y en ese sentido debe tener un comportamiento sano, tiene que ser trascendente, tiene que buscar sobre todo que el estudiante se encuentre a sí mismo. No solamente que se encuentre a sí mismo sino que logre apreciarse profundamente y llegar a la conclusión de que él es el mejor compañero que va a tener en su vida; para hacerse acompañar bien, él tiene que formarse bien, y ese es un punto importante.

Me parece que la frase “¿Las matemáticas se deben enseñar como una disciplina intelectual o como una herramienta para solucionar problemas de ingeniería?” tiene de entrada un error, pues nos pregunta si se debe enseñar la matemática de una u otra manera. En el fondo lo que la persona tiene que hacer es un esfuerzo por aprender bien, quizá a pesar de sus maestros. Los maestros entran en un momento diferente; uno es maestro de uno mismo, es lo que uno logra explicarse, lo que mejor sabe.



Vincent van Gogh escribía a su hermano Theo: “No encuentro un maestro como Rembrandt en el manejo de la luz y la sombra”.

Rembrandt, hacia 1665. Autorretrato.

Cuando la persona logra explicarse cosas, se encuentra con una persona sumamente interesante que ella misma desconoce. El tema de la matemática o de la física no es sino comitiva para discutir sobre eso, para tener de qué hablar. Pero, de todas maneras, después de que lo pongan no lo puede tratar mal, porque no vale la pena ponerse en semejante trabajo para ir a tratar mal algo que es casi perfecto, que es el *sumum* del pensamiento humano.

Antes las ciencias crecieron porque los hombres tenían de por sí esa dimensión, tenían esa talla, eran capaces de hacer esas cosas. Imponérselas a un joven para que las haga mal es casi un crimen. Y si el joven trata de deformar las cosas para tener un cartón, esa es una insensatez porque es malograr lo que la humanidad ha trabajado durante tanto tiempo, con tanta seriedad, con tanto sufrimiento, dejando muchas cosas; lo que se ha hecho, entre otras co-

## SERVICIOS Y ASESORIAS EN EL AREA DE ALIMENTACION

# Top Catering L.T.D.A.

◆ Administramos la cafetería de estudiantes de la Escuela Colombiana de Ingeniería ◆

Calle 126 No. 6-28 ○ Tels.: 215 36 72 - 215 64 31 - 620 95 07 ○ Fax 215 86 11 ○ Santafé de Bogotá, D.C.



sas, para que los otros se puedan sentir bien y no se puede servir de ellos si no saben aprender. La frase podría leerse de otra manera. La frase inicial es: "¿Las matemáticas se deben enseñar como una disciplina intelectual o como una herramienta para solucionar problemas de ingeniería?" Yo creo que la frase debería ser otra: "Las matemáticas se deben aprender como una disciplina intelectual para que puedan servir como una herramienta para solucionar problemas de ingeniería".

Las matemáticas pueden presentarse, como decía Jaime, en forma selectiva, o pueden presentarse de otra manera, con unos cursos especiales de estudiantes regulares. Voy a decir el nombre de esos cursos aunque tal

nombre me parece muy molesto: son los cursos de honor. Esa es una denominación que les da un aire especial, un aire bueno a las escuelas técnicas: los cursos de honor. Los cursos de honor presuponen un cierto hecho; en esos cursos no pueden entrar sino estudiantes de honor, tienen que habérselo ganado; la escuela tiene que estar completamente convencida de que esos estudiantes se lo merecen. Eso crea, naturalmente, cierta situación chocante, de que hay estudiantes que no están en los puestos de honor y otros que sí lo están. Pero si logramos vencer ese miedo a que haya una élite, los cursos de honor se prestan (ya tengo experiencia en eso) para hacer una matemática mucho más rápida

***Uno en el fondo no está tratando simplemente de formar ingenieros, físicos y químicos; uno está tratando de formar hombres, y en ese sentido debe tener un comportamiento sano, tiene que ser trascendente, tiene que buscar, sobre todo, que el estudiante se encuentre a sí mismo.***

da y más profunda. Por ejemplo, en la Universidad Javeriana los estudiantes están realmente participando de lo que está sucediendo. Otra idea que hemos escuchado es la de diferentes cursos de modelos matemáticos en ingeniería. Yo lo había pensado proponer, pero ya lo dijo el doctor Jaime. Algo que sí ha tenido éxito en Colombia son las olimpiadas matemáticas, formando jóvenes estudiantes de bachillerato que se han presentado a esas olimpiadas y que han obtenido magníficos puestos. Yo tuve uno en la Universidad Javeriana con importantes premios internacionales.

En las matemáticas internacionales, contrariamente a lo que sucede con los deportes, estos muchachos han obtenido medallas de oro, medallas de plata y medalla de bronce en las olimpiadas de matemáticas



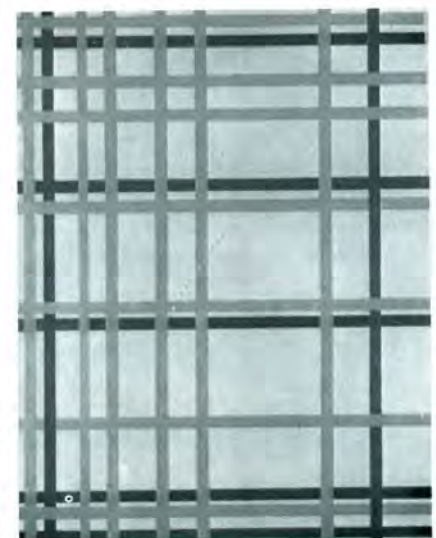
## DR. ERNESTO ACOSTA

Yo quiero resaltar un punto: el hecho de conocer un paquete de computadores no es suficiente para resolver el problema. No basta meter los datos en un computador y soltar otra cantidad de datos; la persona tiene que saber qué quieren decir esos datos. No se pueden utilizar esos datos directamente para levantar un puente, porque hay que interpretarlos, hay que saber qué quieren decir esos datos. En cuanto a cuestiones de los contenidos de los cursos, eso es un problema muy difícil para nosotros, matemáticos que hemos entrado en el campo de la enseñanza; es tan difícil como si un estudiante o un ingeniero que quiera resolver un problema de

ingeniería, tuviera que diseñar un curso en ingeniería. Eso es un problema para los maestros y es un problema que tenemos que resolver nosotros mismos con la formación que hemos tenido. No podemos buscar un método; no hay métodos para enseñar. Entonces, uno tiene que buscar de su formación para tratar de resolver ese problema, es un problema que uno nota cuando se encuentra con uno de esos cursos.

El problema fundamental cuando se llega a enseñar cursos de ingeniería por primera vez, cuando ya se ha graduado en matemáticas, se origina en que uno no tiene muchos contactos con los problemas de la ingeniería. Para los profesores de matemáticas que no hemos tenido contacto directo

*Piet Mondrian, 1942.  
New York City I.*







con la ingeniería, es un problema muchísimo más difícil de abordar.

Hay una dificultad adicional que también ya se comentó. Antes, en la ingeniería, no había álgebra lineal, por ejemplo; se enseñaba álgebra y trigonometría, simplemente. Ahora hay que ver la cantidad de matemáticas que tenemos encima, la cantidad de herramientas que hay ahora para afrontar los problemas de ingeniería. Ahora precisamente está el análisis de Fourier; no solamente está la teoría de las ecuaciones de las derivadas parciales; ya el doctor Ruiz nos ha mostrado un libro de teoría de distribuciones, y se está esperando usar herramientas cada vez más sofisticadas. Entonces, el problema que tenemos que afrontar es cuáles de esas herramientas tenemos que enseñar. Y esto no lo podemos resolver en diez minutos, en media hora o en hora y media en este auditorio. Es tal la cantidad de herramientas de matemáticas, que yo creo que si un ingeniero quisiera usarlas todas tendría que ser matemático primero que todo; tendría que hacer una carrera de matemáticas y después especializarse en ingeniería. Creo que éste no sería el punto. La cuestión es que cuando se diseña un currículo hay que tener en cuenta que en un curso no se pueden incluir todas las herramientas, como sucede

con el curso de matemáticas especiales; porque el curso de matemáticas especiales son tres cursos muy difíciles en uno, que son: teoría de variable compleja, análisis de Fourier y ecuaciones de derivadas parciales. Para que un matemático aprenda eso necesita por lo menos año y medio o dos años; entonces, no se puede tratar de que en un semestre un estudiante pueda entender cuáles son los métodos básicos, cuáles son los problemas fundamentales en cada una de esas teorías, porque son teorías demasiado profundas. De todas maneras, siempre los profesores de matemáticas, cuando entramos a diseñar cursos de ingeniería, tenemos ese problema fundamental. Yo creo que es indispensable, como lo dijo Jaime, que haya un contacto con los ingenieros, con los físicos y las diferentes áreas que tienen que ver con la enseñanza de los cursos de ingeniería. ¿Por qué? Porque un matemático solo no va a poder resolver el asunto; tiene que consultar con el ingeniero, tiene que saber, tiene que tener cierto contacto para saber qué tipo de problemas son los que tienen que resolver los ingenieros, para saber qué tipo de orien-

tación se les puede dar a los estudiantes.

Algo que hay que abordar rápidamente es la cuestión de exceso de contenido de ciertos cursos de ingeniería. Ahora, una idea que yo tengo es que mucho de ese contenido se refiere a técnicas de cálculo. Estas técnicas de cálculo se pueden llevar, se pueden hacer muy rápidamente, con

las herramientas tecnológicas que tenemos en este momento: con los computadores.

Muchos cálculos los pueden hacer los computadores y mucho espacio se le puede dejar a la parte de enseñar a pensar, es decir, dejarle a la tecnología que haga los cálculos y no enseñar tanta formula para hacer cálculo. Si tene-

mos la herramienta, usémosla; está el computador, hay que usarlo para que haga los cálculos. Y, entonces, ¿qué enseñamos? Enseñamos a pensar, no enseñaremos técnicas, o sea métodos para calcular integrales de no sé qué tipo para poder resolver un problema; esto hay que dejárselo a las herramientas que tenemos en los computadores.

Eso deja otro problema abierto que ha mencionado Jaime: hay que aprender a usar los paquetes de los computadores; cómo se usa este paquete para resolver tales y tales problemas. Si ese paquete no puede resolver un cierto tipo de problemas, cómo se puede modificarlo. Ese es un problema mucho más difícil; es muy distinto cuando uno ya tiene los programas armados y les mete uno o dos datos y obtiene los resultados, pero ¿qué pasa cuando uno le mete los datos y el computador se vuelve loco? Entonces resulta que posiblemente hay que modificar el paquete, y para

*Es tal la cantidad de herramientas de matemáticas, que yo creo que si un ingeniero quisiera usarlas todas tendría que ser matemático primero que todo, hacer una carrera de matemáticas y después especializarse en ingeniería.*



**JORVAL CIA. LTDA.**  
Ingeniería Eléctrica Representaciones



**GROUPE SCHNEIDER**  
Merlin Gerin Square D Telemecanique

Automatización industrial - Productos electrónicos de control y potencia - Subestaciones - Líneas Redes - Montajes industriales

Calle 72 No. 24-16/20 - Tels.: 231 84 20 - 264 09 32 - 240 67 79 - 630 00 49  
Telefax: 225 87 20 - Santafé de Bogotá, D.C.



modificar el paquete hay que saber de qué se trata; hay que aprender otras cosas; fuera de matemáticas hay que aprender la parte de los computadores. Ese es otro problema al cual nos estamos enfrentando los profesores.

De todas maneras lo que yo quiero decir, de acuerdo con mi experiencia diseñando cursos no solamente en ingeniería sino en otras áreas, es que no hay un método para enseñar. Simplemente, uno tiene cierto tipo de formación y tiene que echar mano de esa formación para resolver el problema que tiene enfrente. Que sea un ingeniero que tiene que construir un puente, ese es el problema que éste

tiene que resolver; ha de tener una formación para hacer ese puente, para que no se le caiga; y nosotros como profesores de matemáticas tenemos una cierta formación, tenemos un problema enfrente de nosotros; es un curso de matemáticas y tenemos que afrontarlo de la mejor manera como podamos hacerlo. Esto es lo que quería agregar fuera de lo que han dicho los demás profesores



## DRA. CARLOTA LÓPEZ

Una de las cosas que debemos tener claras hoy en día es que el perfil del estudiante actual es completamente diferente del perfil del estudiante de ingeniería de hace 30 años. A la persona que entraba a estudiar ingeniería hace 30 años le preguntaban por qué quería estudiar ingeniería, y decía: porque me gustan las matemáticas. Entonces la única opción era estudiar ingeniería porque no veía como estudiar matemáticas. Hoy en día las personas a quienes les gus-

tan las matemáticas entran a estudiar matemáticas. Yo creo que es básico lo que estaba diciendo el doctor Carlos: que el estudiante debe aprender a querer un poquito las matemáticas. Porque sin amarlas, son un requisito más para los ingenieros; antes era un motivo para estudiar ingeniería, hoy en día simplemente son un requisito. ¿Cómo motivarlos? Esa sí es una pregunta bien complicada. Estoy de acuerdo también con el doctor Ruiz en que cuando uno ama lo que está enseñando muy posiblemente puede transmitirlo realmente en cada clase,

con ejemplo, creando el profesor las matemáticas para que el estudiante aprenda a crearlas. También estoy de acuerdo con que realmente lo de enseñar no es una frase correcta; estoy de acuerdo con una frase que dice que cuando se le enseña algo a una persona se le impide que ésta lo aprenda, porque la única manera de aprender es creando y construyendo.

Que los cursos de matemáticas enseñen a pensar, que pongan al estudiante básicamente a pensar. Todos han dicho que priman los conceptos. Se le pide al estudiante: dígame 17 funciones continuas, y las escribe. ¿Qué es una función continua?, y la define en una fórmula inmensa; y se le dice: dígame "en cristiano" qué es una función continua... cero respuestas en cosas tan sencillas como esa. Entonces, yo creo que es muy importante trabajar menos en la mecánica y mucho más en los conceptos. Porque si les enseñamos a pensar, la mecánica sale por sí sola. Les cuento que nadie tiene la herramienta que dicen tener. Hoy debemos tener en cuenta



*Desde los cinco años los niños están jugando con el computador y el nintendo. Los profesores pueden diseñar problemas creativos y motivantes utilizando estas herramientas.*



que hay nuevas herramientas; en esto también ha cambiado la ingeniería. Hace 30 años no había ni calculadoras ni computadores; actualmente tenemos calculadoras y computadores y no podemos abstraernos a eso; no podemos decir no. Muchas veces los profesores decimos no; es porque no sabemos utilizarlas; y de ahí no salimos y no estamos dispuestos a aprender. Pero tenemos que ser conscientes que para un estudiante de ingeniería de hoy el caso del computador es una motivación. Desde los cinco años están jugando con el nintendo y el computador de la casa y les gusta mucho más trabajar con el computador; y uno puede diseñar problemas realmente creativos y motivantes utilizando esas herramientas. No necesariamente se tiene que seguir con el lápiz y el papel; se puede utilizar la herramienta del

computador, sólo hay que utilizarla con mucho cuidado, por lo que estaba diciendo: enseñarlos a pensar para que usen inteligentemente la calculadora y el computador, porque el problema no es que los usen, sino que no los usen inteligentemente. Entonces, si podemos enseñarles a usarlos inteligentemente, eso ya es un paso.

***El estudiante debe aprender a querer un poquito las matemáticas. Porque sin amarlas, son un requisito más para los ingenieros.***

Eso de las cantidades de matemáticas que se enseñan en ingeniería es un punto muy difícil. Creo que son muchas y muy poquitas al mismo tiempo. En muchos cursos vemos que hay mucha materia en un tercio. ¿Qué pasa? Que se pierde tiempo en enseñar muchas cosas que no enseñan nada. Salen aprendiendo nada. Terminan, como dice el doctor Ruiz, una gran cantidad de estudiantes de ingeniería diciendo una cantidad de cosas sin tener idea de lo que quieren

decir. Se sienten importantísimos porque ya se saben el nombre, pero en el fondo no tienen conceptos. Yo pienso que los cursos sí podrían tener menos cantidad pero con mucho más fondo. Y si hemos logrado crear ese amor de los estudiantes por las matemáticas, entonces ellos van a buscar otros cursos y es ahí donde estoy de acuerdo en que debería haber electivas técnicas matemáticas. No a todos los ingenieros les gustan las matemáticas; no a todos tienen que gustarles. Un grupo selecto que ha logrado amar las matemáticas va pidiendo más cursos. Y en esas electivas de matemáticas se puede dictar todo eso de que estaban hablando Jaime y Ernesto. Aquí, por ejemplo, no tenemos las matemáticas especiales pero se pueden crear cursos de electivas técnicas matemáticas precisamente para todos aquellos a los que realmente logramos despertar inquietudes. Me parecería muy triste que, si empezamos a trabajar en esta línea, después de cinco semestres viéramos que nadie quiere electivas técnicas matemáticas. Eso querrá decir que lo estamos haciendo muy mal, porque no hemos logrado infundir lo que queremos.

En cuanto a la metodología estoy de acuerdo con todos. Yo creo que hay tantas metodologías como profesores, incluso como estudiantes. Por lo menos a mí me ha sucedido en mis cursos. Sucede que de un semestre a otro debo cambiar la metodología porque el grupo así lo pide. Es muy difícil dar la metodología exacta para dictar cursos de matemáticas; eso depende de cada profesor y de cada estudiante o grupo de estudiantes y es muy difícil sacar un manual práctico para dictar clases de matemáticas. Hay que enseñarlos a pensar; si saben pensar y tienen unos conceptos claros, pues tendrán las herramientas y las podrán utilizar fácilmente

Volvíamos a ser la NCR Renovada, Moderna y con liderazgo en

## Sistemas de Información y Redes de Comunicaciones

- \* Cajeros Automáticos
- \* Servidores UNIX/NT
- \* Puntos de Venta
- \* Scanners
- \* Procesadores de Documentos Bancarios
- \* Comunicación en Redes
- \* Servicios de Consultoría\*
- \* Soporte de Mantenimiento

Somos Líderes en Colaborar  
directamente en el Crecimiento  
y Éxito de nuestros clientes.



**NCR**

Colombia S.A.

Carrera 37 N° 30 - 20

Conmutador 368 55 11

Fax 337 99 53

Santafé de Bogotá, D.C.



**DR. ARTURO RAMÍREZ**

**A**quí, en esta reunión, se encuentran varios discípulos míos que realmente me asustan, como el doctor Jaime, el doctor Charris. Muchos quieren que lo que yo pudiera decir, con la experiencia que he adquirido, sea mucho; pero en realidad no lo es. Tengo sí muchos años, demasiados años para estar todavía aquí vivo.

Los niños, cuando son pequeños necesitan juegos, no conocimientos; necesitan saber formar círculos con otros niños para cantar y establecer ciertos juegos. Cuando pasan del preescolar a un estudio superior no necesitan nada de eso. El profesor necesita entonces algo que se llama la pedagogía. La pedagogía, que es un instrumento para enseñar a aprender y se lleva seis años, seis largos años de bachillerato empleando esta herramienta de la pedagogía para enseñar a aprender. De manera que cuando el estudiante llega a nuestra universidad debe saber eso: aprender.

Yo recuerdo que cuando el doctor Santos Acosta creó la Universidad Nacional, establecieron una condición para el ingreso: saber leer y escribir. Después la suprimieron, porque era una condición tonta. Pero yo la considero sabia; sabia, viendo lo que viene ahora. Los estudiantes

entran aquí sin saber leer ni escribir y se encuentra uno con ese inconveniente fundamental. Muchas veces, cuando uno oye una pregunta, pide que se la concreten. En tal caso yo pasaba al estudiante al tablero para que me la escribiera: "escriba lo que preguntó". Nadie es capaz de hacerlo, nadie. No saben escribir; y eso es fundamental. De manera que cuando se llega a la universidad se supone que ya no se necesita la pedagogía; entonces, ¿qué se necesita? Lo que ha dicho el doctor Acosta, por ejemplo: saber enseñar a pensar; eso es fundamental en la universidad. Enseñar a pensar. Y ¿cómo lo logra el profesor? El profesor lo puede lograr estudiando cada vez más y presentando su clase en una forma clara, y sabiendo cada día más. Y el papel de la universidad o de la institución

***Yo recuerdo que cuando el doctor Santos Acosta creó la Universidad Nacional, establecieron una condición para el ingreso: saber leer y escribir. Después la suprimieron, porque era una condición tonta. Pero yo la considero sabia; sabia, viendo lo que viene ahora.***

donde el profesor trabaja es el de facilitar esa disposición del profesor a estudiar. Por ejemplo, aquí sería conveniente que la universidad facilitara salones de estudio. Tenemos un salón que se llama salón de profesores, pero es un salón para fumar, para echar chistes, para conversar. Eso también es importante para el profesor, pero lo esencial es tener un salón de estudio que nos dé la universidad. Pero, sobre todo, que se entienda que el profesor está para enseñar a pensar, fundamentalmente.

En cuanto a la necesidad de la matemática en el ejercicio profesional, esto puede considerarse como muy relativo. Es fundamental para formar la persona que necesita ser el ingeniero, pero, en realidad, yo tengo esta experiencia: en mis largos años solamente he visto un caso en que un profesor resolviera una integral. Otro caso puedo darlo con nombres propios: una vez el alcalde de Bogotá, el doctor Gaitán Cortés, y el jefe de Planeación, el doctor Rivera Farfán, me pidieron que les ayudara a trabajar una derivada. Esos han sido los únicos casos, en mis largos años, en que he visto la resolución de una derivada y la de una integral. Eso puede espantar a los estudiantes: que ellos puedan pensar que ni la derivada, ni la integral, ni el cálculo se necesitan para nada. No, se necesitan fundamentalmente, se necesitan para formar la persona y para formar el pensamiento; el pensamiento que necesita el ingeniero, que es lo fundamental. Ruego me perdonen por decir estas trivialidades. Finalmente, termino con una frase que leí hace algunos días y que me puso a pensar: "La experiencia no enseña nada, absolutamente nada"  $\smile$





## PONENCIA DEL DR. JAIME LESMES

Quiero presentar mi intervención en la forma de una serie de reflexiones, más que en la de respuestas puntuales a cada una de las preguntas formuladas.

Estas reflexiones son fruto de la experiencia de más de 16 años en la enseñanza de cursos de matemáticas para estudiantes de ingeniería, de conversaciones y relaciones de amistad con ingenieros en ejercicio y de mis propias vivencias como matemático profesional.

También aclaro que en todas estas consideraciones estoy teniendo en mente un criterio de excelencia en la formación de los ingenieros, esto es, estoy pensando en facultades que se empeñen en cumplir a cabalidad su compromiso de entregar a la sociedad profesionales idóneos, sin concesiones a facilismos ni demagogias.

1. Se plantea el dilema de si las matemáticas deben enseñarse como una disciplina intelectual o como una herramienta para resolver problemas de ingeniería. Mi opinión es: ambos aspectos son válidos e importantes y no solamente no se contradicen, sino que se complementan.

La formación matemática debe inducir en el educando el hábito del razonamiento y la actitud de afrontar problemas con claridad mental: entender qué se quiere obtener, con qué se cuenta y de qué medios se dispone; desarrollar la capacidad de plantear soluciones en términos precisos; no aceptar acríticamente afirmaciones que van apareciendo, así estén revestidas de aparente autoridad (o sea, "no tragar entero"), y muy importante: ser intelectualmente honesto.

Por otro lado, es claro que se debe aprender paulatinamente a construir modelos matemáticos, esto es, a abstraer lo importante o lo esencial en una situación dada, formularla de manera precisa y reconocer el marco general o "teórico" dentro del cual se sitúa, analizarla y sacar las consecuencias correspondientes e interpretar el resultado en términos de la situación concreta de la cual se partió. Este aprendizaje es un pro-

cedimiento gradual, que a partir de la asimilación de procesos sencillos y muy simplificados, va extendiéndose a situaciones cada vez más sofisticadas y complejas.

2. Las consideraciones anteriores sugieren entonces algunas pautas para la metodología de la enseñanza de las matemáticas para los estudiantes de ingeniería.

Desde un comienzo, los conceptos básicos deben estar claros y manejarse de acuerdo con reglas claramente enunciadas; no se trata, ni de lejos, de pretender que se aprenda todo el aparato matemático riguroso, que estaría aquí completamente fuera de lugar, sino de aprender a manejar con claridad los conceptos y métodos, efectuando las pruebas o demostraciones cuando éstas sigan un camino natural, o que al menos sea

entendible y asimilable por los estudiantes, y en el caso de teoremas útiles pero de demostración muy difícil o abstrusa, hacer que los enunciados sean entendidos con propiedad y que quede explícito que se omite la prueba.

Debe darse gran importancia a la resolución de problemas que exijan pensar, pero también deben hacerse ejercicios rutinarios para asimilar las reglas "mecánicas" fundamentales; la asimilación de estas reglas crea refle-

jos mentales que, a su vez, proporcionan mayor facilidad para visualizar la solución de los problemas.

En las evaluaciones debe darse un peso significativo a la resolución de problemas "nuevos" en el sentido de que midan la capacidad de raciocinio del estudiante, y no se reduzcan a simples memorizaciones.

Por lo demás, creo que no es aconsejable tratar de forzar una metodología uniforme, sino que deben fijarse unas pautas y dejar cierta flexibilidad para que cada profesor desarrolle su propio estilo.

3. Sobre los planes actuales de estudio: solamente conozco en detalle el de la universidad en la cual trabajo y, por lo demás, considero un poco fuera de lugar entrar a hacer un análisis pormenorizado de esos planes. Más tarde, al hablar de las dificultades en el aprendizaje, volveré sobre el tema. Por ahora, quiero únicamente expresar mi opinión sobre la conveniencia de mantener un comité, que ojalá cuente con la participación de profesores de física y de materias profesionales

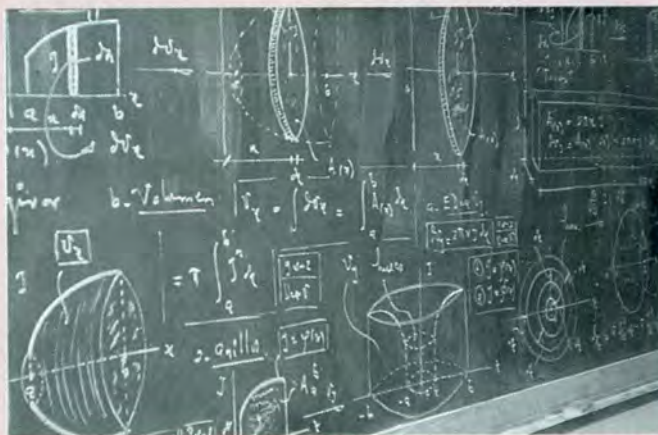


Foto del tabero de una clase del Dr. Manuel Casabianca, profesor de cálculo de la ECI.



de ingeniería, que sesione con regularidad y esté encargado de considerar y discutir los problemas que se presenten en los cursos de matemáticas para ingeniería, ampliándolo *ad hoc*, si fuere el caso, cuando se trate de disciplinas matemáticas dirigidas específicamente a alguna rama particular de la ingeniería. Uno de los aspectos más delicados, importantes e interesantes es la incorporación de los recursos computacionales a los cursos básicos de matemáticas.

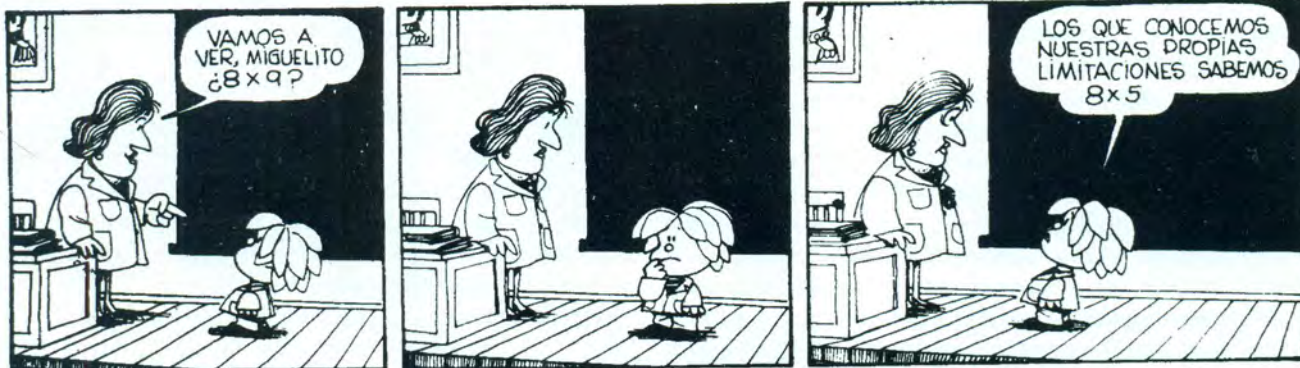
4. Los problemas que he detectado en el aprendizaje de las matemáticas provienen principalmente de cuatro fuentes, cuya enumeración puede parecer perogrullesca:

- Bases deficientes: es el más grave, pues es el más marcado y también el más difícil de remediar;
- Falta de disciplina y de trabajo por parte del estudiante;
- Ineptitud y/o irresponsabilidad por parte del profesor;
- Mala calidad de los textos.

En gracia de la debida brevedad, solamente me explayaré un poco sobre el primer punto, a saber, la deficiencia de bases. Este es un problema grave y frecuente; no exagero al decir que cuando se analizan las fallas de los estudiantes y, no solamente de ellos, la mayoría de las veces se remontan a conocimientos que se dejaron de adquirir en la primaria, comenzando no raras veces por la capacidad para comprender lo que se lee. Una educación universitaria de calidad debe comenzar, entonces, por una cuidadosa selección en el proceso de admisiones. Luego, es procedente mantener

cursos “remediales” y decidir mediante una clasificación quiénes deben tomarlos. Estos cursos deben estar cuidadosamente diseñados para proporcionar o reforzar la “cultura general matemática”.

5. Finalmente, sobre el fomento del interés por las matemáticas en los estudiantes de ingeniería, opino lo siguiente: es indispensable tener un profesorado de calidad; debe existir interacción con otros cursos de formación básica, muy especialmente con los de física; en la enseñanza de las materias avanzadas de ingeniería debe darse la importancia debida a la fundamentación teórica, mediante el empleo efectivo de las matemáticas y la física como herramientas básicas, asumiendo una actitud “investigativa” y evitando limitarse a dar colecciones de tablas y fórmulas, o sea, como se dice en el argot estudiantil, “el recetario de cocina”. Por otro lado, y esto ya cae dentro de la órbita de la iniciativa de los profesores de matemáticas, también es muy positiva la organización de “clubes de matemáticas” en donde se propongan y discutan problemas relativamente elementales, pero que constituyan desafíos, estimulando con premios las mejores soluciones. Y, por último, la oferta de cursos electivos sobre temas avanzados de matemáticas que, además de su interés intrínseco, sean útiles para aquellos estudiantes que tengan el propósito de seguir estudios avanzados de postgrado y eventualmente dedicarse a la investigación seria. ▽





## PONENCIA DEL DR. CARLOS RUIZ

### Comentarios sobre el tema de reflexión

**S**e ha propuesto, como primer tema de reflexión, el siguiente:

“¿Las matemáticas se deben enseñar como una disciplina intelectual o como una herramienta para solucionar problemas de ingeniería?”

Las dos cosas no son incompatibles. La siguiente frase, reformada, no parece un desacierto:

Las matemáticas se deben enseñar como una disciplina intelectual para que puedan servir como una herramienta para solucionar problemas en ingeniería.

Y no estaríamos lejos de la siguiente:

Las matemáticas se deben enseñar como una disciplina intelectual para que puedan servir.

El observador desprevenido presiente que la formación del ingeniero se inició resolviendo problemas específicos. Y podría imaginar que un maestro ingeniero formaba a sus aprendices mostrándoles cómo solucionar él mismo ciertos problemas, transmitiéndoles las soluciones que aprendió de sus maestros e incitándolos a que propusieran soluciones. Dentro de ese contexto uno se pregunta en qué momento aparece, en la Escuela de Ingeniería, la costumbre de segregar los cursos de matemáticas de las actividades propias del aprendizaje de ingeniería y presentarlos como un entrenamiento previo indispensable.

Porque ese paso histórico necesariamente tiene que traer sus consecuencias. Y una de esas consecuencias ha sido que se pierda el sabor —y con él, el interés— de lo que se hace. La otra, que no haya contacto entre el maestro de un curso avanzado de ingeniería y aquel de un curso de matemáticas.

La pregunta inicial, en el fondo, trata de alertar más bien sobre esta dislocación. Pero descubre *ex profeso* una forma de pensar muy extendida: que la matemática que resulta de la práctica de la ingeniería, no llega a ser una disciplina intelectual. Lo que la historia

muestra es todo lo contrario. Esa matemática, salida de las necesidades, ha sido útil y fructuosa, se ha dejado codificar y reescribir y, a pesar de haber nacido para solucionar problemas específicos, ha demostrado que se puede aplicar en otros lugares, insospechados. Pero, sobre todo, ha sido punto de partida para iniciar investigaciones nuevas hasta el punto que la matemática que hoy se llama “aplicada” no es ni la sombra de lo que se denominó así en épocas pasadas.

No nos parece exagerar al afirmar que la matemática sólo puede ser una disciplina intelectual: ya sea cuando se la extrae, ya cuando se la refina; cuando se la escribe para que su consulta sea certera y útil;

cuando se la aplica en la solución de problemas nuevos. Inclusive cuando se muestra cómo se usa en el tratamiento de problemas de rutina. Otra cosa, claro está, es que la persona pueda pensar que está haciendo matemáticas por el solo hecho de encontrarse con fórmulas y con números.

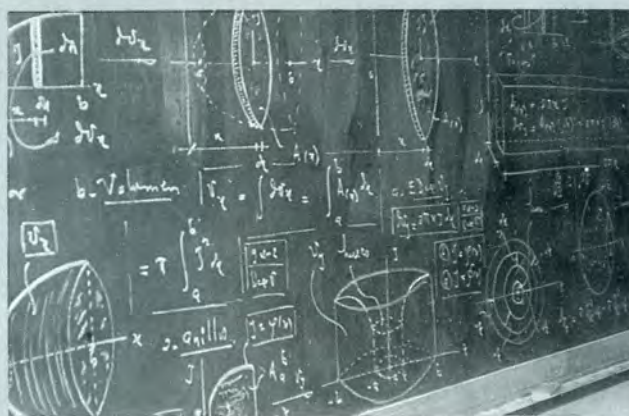
Por más pragmático que uno quiera presentarse hay ciertas cosas y hechos

que no puede negar. Por ejemplo, que una persona con capacidad de razonamiento representa un buen haber en una empresa que necesite pensadores y analistas. Las actividades que se puedan desarrollar en el proceso de formación de profesionales y que aumenten su capacidad de razonamiento estarían por esa razón justificadas. Siempre y cuando no sean demasiado onerosas.

Las matemáticas se prestan para crear hábitos de razonamiento y serían ideales en cualquier escuela de formación si no fueran tan difíciles. Pero no siempre que una institución se ve forzada a hacerlas aparecer en el currículo —valga como ejemplo el bachillerato— se utilizan para crear esos hábitos. Es un desliz común y corriente confundirlas con los cálculos. Y es una tentación para los educadores reducirlas a la actividad.

### Comentario sobre la metodología

Los cambios que se hagan en la metodología no pueden ser grandes. Además, no se pueden cambiar los métodos sin cambiar a las personas que los aplican. Yo no estoy convencido de que el defecto en los procesos de formación provenga específicamente de los





maestros. Hay una tendencia de la sociedad a centrar en ellos el proceso de aprendizaje. La frase que nos ocupa lo revela: “Emplea el verbo ‘enseñar’ en vez del verbo ‘aprender’”. Una persona que haya pasado once años “aprendiendo” debería ser un experto en hacerlo. Y no nos digamos mentiras: ¡no lo es!

El verdadero cambio se logrará cuando el estudiante aprenda mejor.

Problemas que se detectan en el aprendizaje

1. Los hechos aprendidos a lo largo del bachillerato no tienen una estructura;
2. Los estudiantes no tienen memoria matemática;
3. El estudiante no tiene el hábito de redactar el trabajo realizado;
4. Las matemáticas para ingenieros se aprenden (y se enseñan) con

ejercicios graduados. El bachillerato no enseña al estudiante a hacer ejercicios;

5. El estudiante que sale del bachillerato colombiano no tiene el hábito de razonamiento abstracto;
6. Es muy amplio el número de temas que se trata y en consecuencia la profundidad de cada tema no logra mostrar su trascendencia.

Cómo fomentar el interés por las matemáticas

1. En ciertos estudiantes –en los que ya hay un cierto interés– es conveniente aprovechar su capacidad realizando cursos de honor. En los que los temas son mucho más profundos y el nivel de exi-

gencia, en consecuencia, es mayor;

2. Crear, dentro de la Escuela, una Olimpiada Matemática;
3. Establecer un sistema de publicaciones que muestre el inmenso trabajo que realizan –semestre a semestre– los profesores de los cursos de matemáticas;
4. Invitar dentro de los cursos a profesionales que puedan mostrar de qué manera fueron trascendentes las matemáticas;
5. Dar ejemplo a los estudiantes, mostrando entre los maestros un interés especial por las matemáticas ↴

**E**l Dr. Eduardo Sarmiento Palacio, asistente a la mesa redonda, expresó los siguientes conceptos sobre el tema:

- Nuestro sistema de enseñanza de las matemáticas es represivo.

- No hay estímulos para los estudiantes. No sólo acá; en Estados Unidos también ocurre.

- Es preocupante, por ejemplo, que en la Universidad de los Andes, sólo se gradúa un estudiante de física y uno de matemáticas por semestre. Aquí debe tener algo que ver el sistema represivo.

- Cuando se acaban las matemáticas obligatorias en el programa académico ya nadie quiere saber acerca del tema.

- Estoy de acuerdo con el Dr. Ramírez en que la gran mayoría de los ingenieros no necesitan matemáticas ni física; pero sí se necesitan unos ingenieros de punta, con sólidos conocimientos en esas disciplinas, que puedan avanzar en la investigación, que puedan llegar a los posgrados, que puedan hacer las lecturas más recientes y avanzadas sobre las matemáticas y la física. Que tendrán posibilidad de desarrollar investigaciones y de transmitir esa ciencia a los demás. Creo

que debe elevarse el nivel de los profesores de matemáticas.

- Hay una tendencia generalizada a decir que las matemáticas son muy interesantes pero que no sirven para nada. Se dice: “Apréndase la fórmula que con eso ya tiene”. Hay un proceso de descrédito de las matemáticas por parte de los mismos profesores prácticos.

- No se necesita que todos los ingenieros sean fuertes en matemáticas, pero si se ponen a todos en el mismo curso de matemáticas, nunca van a existir en Colombia los ingenieros de punta. Entonces, ¿cómo han hecho los norteamericanos para resolver este problema? Tienen un curso de matemáticas fáciles, otro de matemáticas más difíciles, un curso variable real fácil y uno difícil.

Así, a través de ese mecanismo de las opciones se elimina la represión en el sentido de que el estudiante va escogiendo libremente, de acuerdo con lo que puede; y luego, hacia adelante. Habría la opción de tomar los cursos más teóricos y otros que se reducen únicamente a las fórmulas. Creo que eso es entrar en el aspecto de motivación y de proyección de las matemáticas ↴



Por Luz Stella Millán Grajales

## “La matemática es el lenguaje del conocimiento en ciencias exactas”

Entrevista con los doctores

GERMÁN SANTOS GRANADOS y JAVIER BOTERO ÁLVAREZ

GERMÁN SANTOS GRANADOS  
Ingeniero civil, Escuela  
Colombiana de Ingeniería,  
MsC y PhD en Ingeniería,  
Ciencia y Mecánica de  
Virginia Polytechnic Institute  
and State University. Ha sido  
Vicerrector de la Escuela  
Colombiana de Ingeniería,  
Director Fundador de la  
Revista de la E.C.I. y miembro  
del Consejo Editorial de la  
revista. Actualmente es profesor  
titular e investigador de la  
misma institución.

JAVIER BOTERO ÁLVAREZ  
Ingeniero civil, Escuela  
Colombiana de Ingeniería,  
PhD en física, Louisiana State  
University, Baton Rouge,  
Estados Unidos. Investigador  
posdoctoral: Física Atómica,  
Universidad Estatal de  
Louisiana; fusión catalizada  
por muones, estructura de  
sistemas de tres partículas,  
Fundación Alexander von  
Humbolt, Universidad de  
Freiburg, Alemania.  
Investigador asociado: colisiones  
atómicas y moleculares,  
Universidad de Tennessee y  
Laboratorio Nacional de Oak  
Ridge. Físico atómico,  
Organismo Internacional de  
Energía Atómica, Viena,  
Austria. Actualmente es  
director del Centro de  
Investigación y Estudios  
Especiales y profesor de la  
Escuela Colombiana de  
Ingeniería.

Luz Stella Millán:  
*¿Qué es la matemática? ¿Es una  
disciplina independiente o una  
herramienta?  
¿Ha transformado el pensamiento  
matemático a la humanidad?*

Javier Botero: La matemática es  
mucho más que una herramienta, es  
una forma de expresión, y hasta  
ahora, la única forma conocida para  
expresar de forma objetiva los  
fenómenos  
naturales.

La matemática va  
más allá de  
números, es toda  
una formulación,  
es crear un  
modelo abstracto  
de la naturaleza.  
Se necesita la  
matemática desde  
que se toma la  
información, se procesa y resuelve.  
La matemática es el lenguaje de  
cierta clase de ideas. Cualquier tipo  
de conocimiento en ciencias exactas  
necesita de ella para ser expresado y  
trabajado. El papel de las  
matemáticas en la física ha suscitado  
siempre una discusión interesante,  
el cual ha sido tratado durante  
mucho tiempo. Alguna vez escuché  
tal vez la mejor definición de la  
matemática: “El lenguaje del  
conocimiento en ciencias exactas”.

Germán Santos: Aunque los  
conocimientos científicos también  
se pueden expresar de una forma  
verbal, sin simbolismos  
matemáticos.

J.B.: Sí y no. No es suficiente.  
Yo creo que en buena parte allí  
nació la matemática. De crear una  
forma de expresión, o del lenguaje  
para una descripción más exacta,  
reproducible y objetiva del  
conocimiento en las ciencias  
exactas. El lenguaje de las palabras  
es más subjetivo, y con frecuencia  
menos exacto.

*¿Qué es la matemática?  
¿Es una disciplina  
independiente o una  
herramienta?  
¿Ha transformado el  
pensamiento matemático  
a la humanidad?*

L.S.M.: La  
construcción del  
lenguaje es  
finalmente un acto  
de elaboración del  
pensamiento y  
conduce a lo  
abstracto y a la  
matemática  
como tal.

J.B.:  
Exactamente. Un  
lenguaje poseedor de condiciones  
bastante especiales.

*El hombre no ha mantenido una  
relación aparentemente consciente o  
“cotidiana” con la matemática. En el  
universo los seres y sus objetos están  
perfectamente calculados y diseñados,  
con la estética propia de la naturaleza.  
¿Porque este precepto de orden,  
clasificación y conducción ha sido  
olvidado por el hombre corriente y  
dejado en manos de los “genios y  
sabios”, causando miedo y distanciando  
a la gente de la ciencia matemática?  
¿La humanidad se ha planteado una  
estética de la matemática?*

G.S.: Ocurre que muchas veces lo que llamamos hacer matemáticas se limita a aspectos de procedimientos puramente operativos, a seguir algoritmos. La actividad matemática de hacer modelos mentales de situaciones y de fenómenos físicos, que es mucho más interesante, se olvida.

J.B.: Quizá este aspecto hace mucha falta en la enseñanza de las matemáticas. En la matemática, como decía Germán, se enseña más la parte operativa. Obviamente debe tener esta componente, pero tiene mucho más.

*Una frase bien construida, debe estar matemáticamente elaborada. La literatura universal está complejamente tejida bajo estos parámetros y reglas.*

J.B.: Igual ocurre con la matemática. No creo que la gente se haya olvidado de ella. En la enseñanza de las matemáticas lo que se debe lograr es una apropiación del lenguaje y los conceptos. Una cultura permeada de un concepto matemático para trabajar.

*¿Cómo analizar esta parte operativa con respecto a la ingeniería o a la enseñanza de las ciencias que permiten verla no únicamente operativa?*

J.B.: Es complicadísimo. Yo creo que no hay una sola respuesta a esta pregunta. Si la matemática se enseña como se hace con el lenguaje, mostrando además las aplicaciones de lo que se puede hacer con ella, su belleza y gran utilidad, olvidándonos del "coco" que representa para algunas personas, quizás resultaría mejor.

Otra alternativa es presentar la matemática como modelo.

Las matemáticas son la única forma de construir, definir y analizar modelos objetivos y reproducibles de la naturaleza, de eso trata la ingeniería.

G.S.: En ingeniería la formación matemática se encuentra en los primeros semestres. Cuando se llega a los cursos más avanzados, donde se requiere modelar y solucionar problemas prácticos, las herramientas y conceptos sofisticados aprendidos muchas veces se dejan de lado. Se evitan las integrales dobles, el cálculo vectorial y las ecuaciones diferenciales, sin caer en la cuenta que su uso simplifica y facilita el concentrarse más en los conceptos que en los procedimientos. En particular yo trato de utilizar el cálculo vectorial y matemática avanzada en mi curso de Mecánica de Fluidos, para que el estudiante se dé cuenta cómo utilizar la matemática que ha aprendido en la modelación de problemas.

*¿Esta modalidad la ha empleado en cursos especiales avanzados o especiales como se planteó en el Foro?*

G.S.: No, el curso mencionado por el Dr. Carlos

Ruiz en el foro es una electiva matemática que estoy dictando este semestre: Modelos Matemáticos. Está todavía en su etapa experimental. La idea es que el estudiante seleccione un problema de ingeniería y él de manera personal y muy activa cree un modelo matemático de la situación, siendo muy consciente de las simplificaciones y supuestos que hace.

A continuación, el estudiante debe llegar a la solución del problema, mediante métodos



Dr. Javier Botero Álvarez

numéricos y estudiar la influencia de los diferentes parámetros que ha utilizado. Así mismo, criticar los supuestos y de pronto liberar hipótesis para formular modelos más completos y analizarlos de nuevo.

*¿Qué tipo de modelo matemático aprendemos en Colombia desde el preescolar? ¿Por qué presenta tan tremendas fallas en cuanto a la comprensión del texto escrito de los problemas?*

J.B.: El sistema de enseñanza ha cambiado mucho desde que yo estudié. Se han desarrollado nuevos modelos de tipo constructivista, que he tenido la oportunidad de observar en mis hijas. En este modelo el niño llega al conocimiento casi por sí solo. No se trata de la explicación de un teorema por parte del profesor, el niño debe llegar a elaborar él mismo la respuesta. Esta modalidad presenta puntos muy favorables, especialmente en matemáticas. El sistema me parece muy acertado, especialmente en comparación con el tradicional, en el cual el estudiante termina con frecuencia pensando que lo más importante son las fórmulas, reemplazar los valores y obtener una respuesta numérica, ojalá aplicando sólo una regla de tres, sin tener que razonar,

***Las matemáticas son la única forma de construir, definir y analizar modelos objetivos y reproducibles de la naturaleza, de eso trata la ingeniería.***

plantear y elaborar un análisis de los problemas.

*¿Cómo cambiar este modelo hacia otro que implique aprender a pensar? En ocasiones es crítica la disposición personal del*

*profesor de matemática, no se transmite con amor. Muchas veces se elige el estudio de las artes y las ciencias sociales porque la matemática causa verdadero pánico.*

G.S.: Lo primero es cambiar muchas creencias de los profesores y mejorar su conocimiento en diversas áreas, sobre todo, exponerlos a los nuevos desarrollos tecnológicos y confrontar sus ideas acerca de la enseñanza de las matemáticas.

J.B.: Es importante anotar que las ciencias exactas no tienen que ser las más atractivas, las más populares. Lo importante realmente es que quienes las elijan, lo hagan con gusto. El querer muchas veces logra más que el solo poder. Con frecuencia los estudiantes llegan a las matemáticas sin saber lo que realmente son. Hay desinformación. Esto ocurre también con las ingenierías y la física.

*¿Existe un modelo matemático apropiado para la ingeniería? ¿Estamos trabajando con el más eficiente?*

J.B.: Francamente creo que no, por varias razones. Los cuatro primeros semestres son intensivos en matemáticas, con frecuencia sin presentar mucho las aplicaciones y la belleza, el fondo, mientras que después del quinto semestre poco se usan. Esto es un error, puesto que en las materias más avanzadas se podría demostrar su utilización y eficiencia. Además, no se utilizan

todas las herramientas disponibles para su enseñanza.

***Toda persona tiene una cierta capacidad de razonamiento abstracto; si trata de hacer matemática, lo logra.***

*Citemos algunas no utilizadas.*

J.B.: Todo tipo de ayudas didácticas, el computador, programas existentes hoy en día como

“Mathematica” y “Matlab”, que ayudan a la abstracción. Estas herramientas ayudan a entender en forma más clara los conceptos abstractos.

*¿Es la matemática la única ciencia con posibilidad de llegar a la “verdad”?*

J.B.: Obviamente no. La matemática es el lenguaje del conocimiento sobre las ciencias exactas, pero no todo son ciencias exactas. Así como no todo se puede describir de la mejor manera con palabras, tampoco todo se puede describir de la mejor manera con números o con expresiones matemáticas.

*Dr. Santos, ¿cómo definiría a un matemático?*

G.S.: Es alguien que utiliza las matemáticas, mediante un modelo, para descubrir parte del mundo físico que nos rodea.

En cierta medida todos somos matemáticos y queremos describir lo que nos rodea. El matemático es una persona que posee más herramientas para

dar un modelo más apropiado de la naturaleza; coincido con Javier en que si uno quiere hacerse una idea de cómo es el mundo real, la forma más objetiva es la matemática.

*¿Podría pensarse que la matemática es fundamentalmente una vivencia?*

J.B.: Insisto en que la matemática es fundamentalmente una vivencia, en el sentido en que es un medio de expresión, una forma de comunicación; así debe enseñarse.

*Pensemos en el ser humano cuando empieza a comprender la matemática, a través del reconocimiento del espacio, cuando el bebé pierde su forma corporal de pequeño, se levanta y empieza a recorrer el espacio que lo rodea, descubre cuánto espacio tiene, y hace comprensión de las ideas. ¿Podría resultar para ustedes ésto el proceso matemático?*

J.B.: Sí, sobre todo cuando trata de cuantificar, el niño se inventa los números. Porque los números son uno de los grandes inventos de la humanidad, una de las más grandes abstracciones, y una de las más útiles. Además, es un invento muy curioso, en el sentido de que los números tienen una cantidad de propiedades, muchas de las cuales están todavía siendo descubiertas. El concepto de infinito, las propiedades de los números primos, y muchas otras conjeturas interesantes.

G.S.: Es una muestra interesante de cómo se manejan conceptos como objeto. Se elaboran en una situación y se trasladan y aplican en

otra. Se van enriqueciendo las estructuras mentales y desarrollando conceptos matemáticos más profundos.

***Albert Einstein dijo que toda ley física debía poder ser formulada en forma simple y “bella”.***

*Piaget califica la construcción del pensamiento en varias etapas hasta llegar al pensamiento abstracto. El concepto matemático nace en una etapa en que los niños muy pequeños utilizan objetos, para lanzarlos y desaparecerlos, hasta que existe el*

*recuerdo de ese objeto que acabó de desaparecer, que tiene forma, color, medida, y del que además posee una referencia afectiva en la mayoría de los casos...*

J.B.: La formulación de una imagen del mundo es fundamentalmente un proceso de abstracción; luego viene la cuantificación de una u otra forma: este es el origen de la matemática. Realmente, es un proceso bien bonito el de la abstracción. A los niños muchas veces se les trunca ese proceso con reglas, como por ejemplo el aprendizaje de la tabla de multiplicar de memoria, sin presentarla como una abstracción; los niños tardan mucho, si es que lo logran, en ver lo que hay detrás de ella.

G.S.: Aunque también es importante desarrollar los aspectos cualitativos. Entender la diferencia entre una recta y una función cuadrática sin ningún número ni fórmula. Como un objeto con cualidades intrínsecas. Saber cuándo es mejor representar este objeto en forma gráfica, tabular, simbólica o incluso verbal.

*¿Para ustedes los números tienen cualidades por sí solos?*

J.B.: Los números son admirables; por el hecho de inventarse la humanidad una forma de contar, aparece toda una cantidad de propiedades y conceptos abstractos; ¿partiendo de qué? Simplemente de contar.

G.S.: Con los números se pueden hacer conjeturas y buscar generalizaciones. Realmente es interesante que algunas conjeturas todavía no se hayan probado.

*¿La matemática es una ciencia abierta, o para un exclusivo número de*

*personas? En círculos sociales y académicos generalmente el matemático es el genio, y sólo puede hablar con determinado número de personas; el ideal sería que la matemática fuese de dominio público. ¿Qué ocurre al respecto?*

G.S.: En un principio la matemática es abierta a todo el mundo. Todos hacemos modelos matemáticos del mundo físico. Varía el grado de elaboración y sofisticación de los conceptos matemáticos utilizados. Muchas veces los "matemáticos" utilizan conceptos muy elaborados y complejos para el común de la gente que hace que sus modelos mentales se discutan solamente en un círculo muy pequeño.



Doctores Germán Santos Granados y Javier Botero Álvarez

J.B.: Yo diría que es más bien por una capacidad de razonamiento abstracto, en parte adquirida y en parte genética; por ejemplo, por más que me guste la música, si yo me siento al piano, soy incapaz de tocar una pieza por simple que sea; y al tratar de componer, pues menos; y pintando, tampoco. En cambio, un texto matemático lo puedo entender mejor. Son simplemente aptitudes. Claro que toda persona tiene una cierta capacidad de razonamiento

abstracto, que si trata de hacer matemáticas, lo logra.

*¿Qué escuelas y matemáticos admiran?*

J.B.: Von Newman, físico y gran matemático. Fue uno de los padres de los computadores, una persona de muy amplio conocimiento, y una capacidad matemática impresionante.

G.S.: Prefiero las matemáticas del siglo dieciocho. Me gusta, por ejemplo Euler, quien mediante modelos matemáticos simples dio fundamento teórico a muchas áreas de la ingeniería y en particular de la mecánica de fluidos. Además hizo considerables adelantos en la teoría de las ecuaciones diferenciales y en el cálculo de variaciones.

*¿Qué modelos matemáticos son aplicables a los problemas sociales que ustedes conozcan?*

J.B.: Una parte importante muy utilizada es el manejo estadístico y probabilístico.

G.S.: Realmente en economía se usan muchos modelos matemáticos. Además de lo mencionado por Javier, está la optimización y últimamente está de moda la teoría de la complejidad.

J.B.: Los sistemas en que intervienen muchas variables tienen un comportamiento similar en muchos sentidos, a estos sistemas se les llaman sistemas complejos. En el caso social, cada persona es una variable, que además no es muy predecible. Para tratar este tipo de sistemas las matemáticas tienen que desarrollarse aún más.

G.S.: Lo interesante no es tanto que intervengan muchas variables como un gran sistema lineal, sino en la interacción no lineal entre las variables.

*¿Son buenos los mecanismos de evaluación para la investigación?*

G.S.: El mejor mecanismo que se tiene es el de evaluación por pares. A mi modo de ver funciona muy bien.

J.B.: En este mecanismo los pares son escogidos con diferente distribución geográfica y escuelas de pensamiento; en muchos casos son internacionales. Este sistema se utiliza realmente en todo el mundo.

*¿Cómo podrían integrar una relación matemática-estética?*

J.B.: Albert Einstein dijo que toda ley física debía poder ser formulada en forma simple y "bella". La belleza en las matemáticas está reflejada en la simplicidad y lo compacto de una formulación. Los grandes paradigmas en física han sido precisamente tomar unas teorías y formulaciones dispersas, y formular una ecuación de tres o cuatro términos para cubrirla totalmente. Un ejemplo típico son las ecuaciones de Maxwell que agrupan todas las leyes de la electricidad y el magnetismo.

*Pensemos en un gran pintor como Rembrandt que, sin tener conocimientos sobre el comportamiento de la luz y la sombra, hubiese trabajado de tal forma. Igualmente en la pintura moderna cuya relación con la matemática es total en muchos casos, para citar por ejemplo a Escher, -geometría pura-, o Klee, -modelos matemáticos excepcionales-...*

G.S.: Con Escher pensemos en el infinito, el punto de fuga y el absurdo.

*¿Proponen un modelo pedagógico para la enseñanza de la matemática?*

G.S.: La enseñanza de las matemáticas ha sido relativamente exitosa. Tal vez, introducir una participación más activa del estudiante y utilizar nuevas tecnologías. Sin embargo, esto no es sencillo. Los cambios en

educación son difíciles. En la misma ECI hemos hecho cambios, aunque uno se da cuenta después de los años que las cosas siguen prácticamente iguales.

J.B.: Yo creo que lo más importante es la formación de grupos de trabajo que van a liderar el cambio. No se puede proponer un cambio, e imponerlo, porque eso no resulta; los mismos profesores deben irse convenciendo de los nuevos tipos de pedagogía. Ya

Germán lo inició hace un tiempo con un grupo de profesores de precálculo, y ese pequeño grupo está consciente que enseñar matemáticas es mucho más que enseñar teoremas. En Colombia particularmente hay que apoyar esas iniciativas y desarrollarlas, para lograr su propagación.

Otro problema particular de la Escuela es que los profesores no disponen de mucho tiempo, en el sentido de que la mayor parte de los profesores de matemáticas tienen una carga académica alta o son catedráticos; esto obviamente no les da mucho tiempo para pensar y estudiar métodos nuevos. Debemos propiciar un ambiente favorable, para que este cambio se produzca.

*¿Podríamos ver la didáctica de la matemática finalmente como una cofradía de amigos, encaminándola a una especie de tertulia amorosa?*

G.S.: En la universidad no nos preocupamos por aprender a enseñar. No se discuten nuevos métodos pedagógicos. Es una paradoja: la actividad principal de los profesores no se cuestiona.

J.B.: En el pasado reciente, las grandes universidades del mundo se preocupaban más por tener grandes

investigadores, que buenos transmisores del conocimiento. Hoy eso tiende a cambiar; está muy bien que un profesor sea un gran investigador, pero a su vez debe ser el mejor instructor y transmisor de conocimientos. El ambiente y las condiciones deben crearse para que ésto se presente. Se requiere un apoyo institucional grandé. Debemos aprender a enseñar.

*Sobre el uso de textos, ¿qué pueden anotar?*

J.B.:

Francamente creo que el uso de un texto particular es irrelevante. En física, por ejemplo, el texto es más una ayuda para el estudiante. Obviamente depende del profesor y de qué tanto siga el texto.

G.S.: El profesor elige qué y cómo enseñar, basado en los textos. Sin embargo, en muchos casos los objetivos y tópicos particulares cambian permanentemente debido a presiones de nuevas tecnologías y hallazgos. En ese momento los textos no sirven. También en los textos se encuentran metodologías y enfoques desarrollados por profesores distinguidos que pueden resultar muy interesantes y de gran ayuda.

*¿Qué es lo que más le gusta de las matemáticas?*

G.S.: Me gusta el que se puedan crear modelos matemáticos que coincidan con la realidad física, con grado de detalle realmente impresionante, y que estos modelos se puedan aplicar para conseguir un mejor nivel de vida. Aunque también me gusta que la matemática muchas veces no es tan exacta y formal, y se puede experimentar con ella.

***En la universidad no nos preocupamos por aprender a enseñar. No se discuten nuevos métodos pedagógicos. Es una paradoja: la actividad principal de los profesores no se cuestiona.***