

# Sobre la investigación en ingeniería

*Asdrúbal Valencia Giraldo\**

## Resumen

El artículo muestra que la investigación en ingeniería no sólo es factible sino urgente y necesaria. Indica la dinámica de la investigación en ingeniería y los factores que la condicionan, y se comparan los de un país desarrollado con el caso colombiano. Presenta el tipo de investigación en ingeniería que se da en Colombia, qué es el Sistema Nacional de Innovación y qué líneas propone. Puntualiza que hay otros temas que la ingeniería debe investigar con sus métodos, los cuales también se describen.

----- *Palabras clave:* investigación, ingeniería, innovación tecnológica, desarrollo tecnológico, desarrollo económico y social, Sistema Nacional de Innovación.

## Abstract

In this paper it is shown that engineering research is not only possible but also urgent and necessary. Engineering research dynamics is indicated as well as its determinant factors, which are compared for a developed country and for Colombia. Type and lines of engineering research proposed by the National Innovation System are presented. It is also indicated that there are other methods and themes that engineering should research with its methods, which are also described.

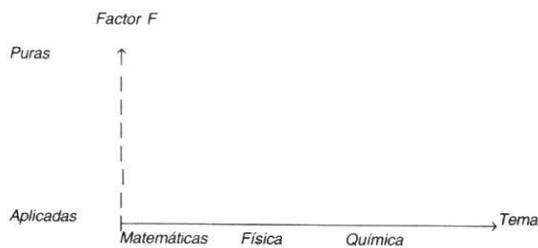
----- *Key words:* research, engineering, technological innovation, technological development, economic and social development, National Innovation System.

---

\* Profesor Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. [avalen@udea.edu.co](mailto:avalen@udea.edu.co).

## 1. Introducción

En 1971, B. E. Noltingk, un físico de los Laboratorios de la Central de Investigación Eléctrica de Leatherhead, Surrey, Inglaterra, en su libro *El arte de aprender a investigar*, clasificaba los trabajos investigativos mediante un punto en un sistema de coordenadas, como se muestra en la figura 1. El eje  $X$  abarca toda la lista de los temas científicos. La coordenada  $Y$  es la medida en que la investigación es más bien pura que aplicada y recibe el nombre de factor  $F$ . El autor señalaba que, por supuesto, existen algunas facetas prohibidas: la aeronáutica pura, por ejemplo, es virtualmente una contradicción en los términos.



**Figura 1** Descripción de la investigación científica con base en dos coordenadas [1]

Con la anterior descripción en mente, el mencionado autor decía que:

La ingeniería no es ciencia, su función fundamental consiste en utilizar de un modo sistemático los descubrimientos hechos por la ciencia, sin embargo, en los valores inferiores del factor  $F$ , se encuentra una gran masa de lo que podría denominarse *Investigación en ingeniería*. Claro que puede argüirse que unos estudios de ingeniería no capacitan a un hombre para la investigación; dichos estudios están destinados a engendrar en él un respeto por las fórmulas del pasado y un saludable conservadurismo basado en la comprensión clara de sus responsabilidades. Se podría sugerir malignamente que la preocupación por la investigación es una prueba de desequilibrio en la formación de un ingeniero. Una cantidad sorprendente de las investigaciones realizadas en los departamentos de ingeniería de las universidades podría muy bien realizarse en los departamentos de física. Pero sería ir demasiado lejos insistir en que toda la investigación relacionada con la ingeniería la deberían realizar los físicos y químicos por cuenta de los ingenieros. En algunos grandes pro-

gramas de obras públicas, el trasfondo tecnológico es de tal importancia que un investigador con un conocimiento completo del mismo puede salir airoso de su cometido mucho mejor que otro que sólo esté concentrado en los puntos fundamentales. Y como es natural, existen muchos que a sí mismos se llaman ingenieros, los cuales en su profesión han combinado gran parte de la formación y muchos de los puntos de vista del hombre de ciencia puro.

...Se observa que la investigación en ingeniería es necesariamente menos fundamental. Sin embargo, un título de ingeniero abre, a quien lo posee, las puertas de una gran variedad de ocupaciones, desde actividades rigurosamente prácticas y de corto plazo que guían obras públicas al día, pasando por muchos cargos administrativos, hasta investigaciones muy amplias, a largo plazo. Tal vez será obrar noblemente si se dice que en un mundo ideal los ingenieros se concentrarían más en la dirección de las dos primeras actividades, dejando la investigación cada vez más para los científicos básicos [1].

Estos conceptos, expuestos hace treinta años, no son compartidos por la mayoría de los científicos actuales, pues la línea divisoria entre la ciencia y la tecnología es cada vez más difusa. Si embargo, en ellos está presente la mayoría de los prejuicios que se tienen sobre los ingenieros y la investigación que realizan, y su espíritu sigue vigente en nuestro país, debido, sobre todo, a circunstancias históricas, y así ha sido reconocido explícitamente [2], prueba de ello es el carácter profesionalizante que exhiben la mayoría de las escuelas de ingeniería nacionales, los escasos programas de maestría y doctorado en ingeniería existentes en Colombia [3] y la participación limitada de la ingeniería nacional en los sistemas de Ciencia y Tecnología y de Innovación [4].

Por todo lo anterior es pertinente hacer algunas anotaciones sobre por qué se debe investigar en ingeniería y cuáles son los ámbitos de esa investigación.

## 2. La dinámica de la investigación en ingeniería

La investigación científica se puede definir como una serie de etapas a través de las cuales se busca el conocimiento mediante la aplicación de ciertos métodos y principios [5].

Las diferencias entre la investigación empírica y la científica son el método y la técnica. La investigación en ingeniería es, necesariamente, una mezcla de las dos, puesto que ella es arte y es ciencia, se nutre por igual de ésta, de la tecnología y de la técnica empírica. En cierta medida es verdad lo que afirma Noltingk, la investigación en ingeniería es aplicada, sin embargo, en su proceso, muchas veces es necesario dilucidar cuestiones que llevan a indagaciones sobre temas básicos, así no se pierda de vista que los resultados deben llevar a la innovación tecnológica. En este contexto, al resultado de la investigación se le llama invento o desarrollo, según el caso. En ello hay que subrayar la importancia de cuatro factores principales: el progreso científico, la invención, la innovación y el crecimiento o progreso económico, pues la convergencia de éstos constituye la coincidencia final entre el progreso tecnológico y el progreso económico.

Pueden repartirse estas vinculaciones en dos grupos: progreso científico-invento-innovación y invento-innovación-crecimiento.

Se pueden constatar múltiples combinaciones. En efecto, es posible partir, para explicar un fenómeno, o bien de una de las extremidades o bien del punto medio, con difusión en los dos sentidos. Tómese un ejemplo inglés del siglo XVII. Es, en parte, bajo la presión del progreso científico que Watt realiza sus primeros descubrimientos. Pero después es un industrial, un gran industrial, Boulton, quien le ofrece la asociación que le permitirá poner a punto su segundo juego de invenciones [6].

El segundo caso se da naturalmente en la medida en que la invención y el progreso científico no están claramente relacionados. Entonces, lo que impulsa al empresario a innovar, a inventar por tanto, es su creencia en que la presión de las necesidades va a ser más fuerte. Como bien se ve, en un caso el término intermedio es el invento, en el otro la innovación. En el primer tipo de nexo es la técnica la que hace de motor, en el segundo es la economía.

Si el invento es el término intermedio, ello equivale a decir que no puede realizarse sin, por un

lado, una presión, y, por otro, un punto de convergencia. Es decir, en la medida en que el progreso científico ha llegado a un nivel tal que posibilita un invento, puede haber presión de la ciencia sobre la técnica. Pero el invento no será realizable concretamente más que en la medida en que concuerde con una necesidad, económica, social o de cualquier otro orden; es decir, en tanto sea deseable la invención. Y, a la inversa, la presión de una necesidad cualquiera, es decir, la necesidad de una innovación, solamente puede conducir a la invención si hay convergencia entre la técnica y la ciencia.

Los nexos entre los tres últimos elementos son más difíciles de concebir. Aquí el término intermedio es la innovación. El sentido de las presiones y el nivel de las convergencias son más difíciles de situar. Parece que la presión proviene, sobre todo, de las necesidades de crecimiento, sea para acelerar la introducción de un nuevo sistema técnico, sea para poner remedio a algunas distorsiones del progreso técnico, del sistema económico o del sistema social. Una empresa se funda para difundir unos inventos y trata también de impulsar el progreso técnico. Contratando a Watt, la empresa subordina la invención a la innovación. El papel de la ciencia es menor, en el sentido de que se trata, sobre todo, de utilizar un caudal de invenciones preexistentes: lo que importa es la coordinación, y también la necesidad de coherencia, la cual suscitará, a veces, invenciones nuevas.

Esta digresión permite comprender la dinámica de la investigación en ingeniería en nuestro país, en ella faltan (o son incipientes) elementos de los mencionados, o no se dan las convergencias necesarias. Ello permite también comprender los esfuerzos de Colciencias y su Sistema Nacional de Innovación, SNIC. Queda claro, entonces, que una cosa es hablar de investigación en ingeniería en los países del primer mundo y otra cosa muy distinta en una sociedad como la colombiana. En el primer caso la naturaleza de los sistemas productivos, de servicios, académico y de ciencia y tecnología, permiten todas las interacciones posibles. En el segundo caso las múltiples carencias

dificultan las relaciones, y la investigación en ingeniería resulta ser un reflejo de la sociedad donde se da.

### 3. La investigación en ingeniería en el país

Señala Eugenio Betancourt en un documento de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería:

Al contemplar el panorama de la investigación en la ingeniería nacional se encuentran muchos tipos, categorías, niveles de profundidad y compromiso. Para caracterizar la investigación que se realiza en Colombia, se definen dos categorías mayores en las cuales se puede incluir toda la experiencia investigativa de las instituciones nacionales, a saber:

1. Investigación general, entendida en un sentido muy amplio, es aquella que contiene alguna creatividad, alguna iniciativa, algún aporte académico o de laboratorio, alguna nueva idea.
2. Investigación especializada, cuyo objeto es la generación de nuevos conocimientos, de nuevos materiales, de nuevos modelos [7].

Esta propuesta de categorización, completa o no, es un buen principio para agrupar la incipiente investigación que lleva a cabo la ingeniería nacional.

#### 3.1 La investigación general

Lo que Betancourt denomina investigación general o de amplio espectro, sin duda tendrá contradictores, muchos puristas no la considerarán siquiera investigación. En ella se incluyen, de manera amplia, a) los ensayos y seminarios de estudiantes y profesores, de tipo académico y experimental; b) los trabajos de grado, cada vez con mayores elementos creativos y el apropiado uso del *hardware* y el *software*; c) las asesorías, estudios técnicos e investigaciones que realizan las facultades de ingeniería, que incluyen no sólo destrezas y ensayos rutinarios sino también sistematización del conocimiento y obtención de resultados nuevos; d) las innovaciones y desarrollos que, en sus procesos, logran las empresas, y que van desde pequeñas mejoras hasta grandes innovaciones tecnológicas, mercadeables en el mundo.

Como afirma el mencionado autor, en todo esto hay alguna chispa creativa, alguna investigación, así sea elemental, alguna innovación rescatable. Esta etapa incipiente de la investigación es necesaria en el medio, porque es el caldo de cultivo a partir del cual se puede desarrollar una investigación de mayor profundidad y compromiso.

A pesar de todas las críticas, este nivel de investigación no es despreciable en absoluto y los currículos deben buscar la manera de potenciarlo, porque es de esta manera como los estudiantes de pregrado pueden aproximarse a la investigación ligada al conocimiento y a la realidad y pueden interactuar con las empresas; además, es el camino por el que los ingenieros sin entrenamiento en investigación, pueden encarar los problemas de la investigación, la innovación y la gestión tecnológica.

El problema radica en que muchas instituciones apenas llegan hasta este nivel, sin que el proceso genere ni los investigadores ni las investigaciones que les permitan pasar al otro tipo de investigación, la llamada investigación especializada.

#### 3.2 La investigación especializada

Este tipo de investigación se da en el país en casi todos los temas que se trabajan en el mundo: ingeniería básica, materiales, biotecnología, procesos, energía, informática, electrónica, reconversión industrial, gestión tecnológica, etc. Sin embargo, como se anotó atrás, debido a la dislocación de nuestra sociedad las consecuencias rescatables de estas investigaciones son contadas, son escasas las que se traducen en patentes internacionales o en innovaciones tecnológicas nacionales. Esto es así porque la innovación tecnológica va más allá de la investigación y el desarrollo, y consiste en la transformación de una idea en un producto vendible, nuevo o mejorado, o en un proceso operativo en la industria o en los servicios.

La innovación tecnológica comprende, por tanto, todas aquellas etapas científicas, técnicas, comerciales y financieras, necesarias para la comer-

cialización con éxito de productos nuevos o con mejores características, la utilización comercial de nuevos o mejores procesos y equipos, o la introducción de un nuevo servicio [8]. Las últimas etapas son la gran falla en nuestro proceso investigativo, de ahí el énfasis de Colciencias por instaurar el Sistema Nacional de Innovación, dentro del cual debería inscribirse la investigación en ingeniería.

### **3.3 El Sistema Nacional de Innovación en Colombia (SNIC)**

El SNIC, institucionalizado por una decisión del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en junio de 1995, se concibe como:

Un modelo colectivo o interactivo de aprendizaje, acumulación y apropiación del conocimiento, en el que intervienen los diferentes agentes ligados con el desarrollo tecnológico y con la producción y comercialización de bienes y servicios, dentro de un proceso de búsqueda permanente de la competitividad sostenible y de mejoramiento de la calidad de vida de la población [9].

En el SNIC se identifican cinco componentes básicos; a) los actores y los usuarios de la innovación, b) las redes de innovación para el aprendizaje, c) los programas estratégicos aplicados en áreas y sectores sociales o productivos prioritarios, d) la infraestructura institucional para la investigación y la prestación de los servicios tecnológicos y e) los instrumentos de financiamiento de la innovación [10].

Las líneas de acción prioritarias del SNIC son:

- a. El fomento de cadenas productivas con alto impacto social, como la innovación en educación, la innovación en servicios de salud para la población y la innovación para la recreación y el deporte.
- b. La defensa de los actuales sectores productivos amenazados por la competencia externa, como son, principalmente, textiles y confecciones, siderurgia, metalmecánica y automotriz, industria papelera y artes gráficas, cuero, calzado, fabricación de maquinaria no eléctrica y productos químicos.

- c. Impulso a la creación y consolidación de empresas de nuevas tecnologías, generadoras de empleo altamente calificado, en especial, en biotecnología, informática y software, microelectrónica, nuevos materiales, química fina, telecomunicaciones, energía y bienes de capital.
- d. Industrialización de los recursos naturales con tecnologías limpias, como es la industrialización del agua, la industrialización de la biodiversidad, la industrialización de los recursos marinos, la industrialización de los recursos forestales y la cadena productiva del ecoturismo.

Esta agenda indica, de manera precisa, cuáles son los temas que el estado considera pertinentes en cuanto a la innovación, e indica, a quienes investigan en ingeniería, las grandes líneas en que debería inscribirse su quehacer.

### **4. El ámbito de la investigación en ingeniería**

Como se ha anotado en otras oportunidades, hay un problema no resuelto en la ingeniería –que tiene fundamentación científica, tecnológica, técnica y sociohumanística– y es que la tecnología no puede reducirse ni a la capacidad inventora ni a la mera aplicación de los conocimientos científicos. Ella se produce a través de la cooperación coordinadora de los ingenieros (y en ciertos casos también de los científicos) quienes, en virtud de su conocimiento y capacidad especializados, logran que un producto tecnológico llegue a la madurez de su producción por medio de un continuado proceso de construcción y desarrollo [11].

Como bien lo anotan Bernal y Morales

La ingeniería es una actividad creativa, que integra elementos del conocimiento científico y tecnológico con aspectos gerenciales y empresariales, a fin de adoptar soluciones novedosas a problemas existentes o de aprovechar oportunidades que mejoren la productividad de la sociedad, en un marco de globalización. En este nuevo escenario mundial de interacción de las sociedades y las comunidades, la ingeniería ha sufrido, también, una transformación

fundamental a una concepción centrada en las habilidades y actitudes, para la innovación a partir del dominio de tecnologías genéricas y métodos de apropiación y generación de conocimiento, que establecen capacidades en los grupos de ingeniería para modelar y simular la realidad de los procesos productivos, de una manera creativa y novedosa. Este enfoque de la ingeniería requiere de habilidades individuales pero, sobre todo, de altas capacidades de trabajo y de pensamiento de equipo interdisciplinario [12].

La anterior premisa deja claro que el campo de acción de la ingeniería está tan cercano a la ciencia pura como a las ciencias sociales y que el trabajo de investigación ya no es de personajes sino de grupos. Éstos, realizan todo tipo de investigaciones en los países desarrollados, en los más variados campos; bastaría recordar que el Proyecto Manhattan (para producir la bomba atómica) fue, por sobre todo, un proyecto de ingeniería y que, más que los físicos, son los ingenieros los que tratan de resolver los actuales problemas prácticos que plantea la fusión nuclear. Lo mismo puede decirse en la robótica, la genética, los nuevos materiales, la química fina, la astronáutica, etc. Hoy en día es casi indescriptible el amplio espectro de las investigaciones que acomete la ingeniería en unión con otras disciplinas.

De otro lado, ya se mencionaron los campos prioritarios para la investigación en ingeniería en Colombia, fijados por el SNIC; pues una de las tareas de la ingeniería es lograr la inserción, sin demasiados traumatismos, de la revolución científica y tecnológica en un país del tercer mundo como éste. Sin embargo, aparte de la competitividad, la investigación en ingeniería no puede olvidar las necesidades apremiantes de los moradores de Colombia y lo imperativa que es su participación en la generación y apropiación del conocimiento para ser aplicado en el sector público, sobre todo en los regionales.

Un ejemplo de lo anterior es el presentado por el doctor Rafael Bras en relación con el tren urbano de San Juan de Puerto Rico, que es un sistema de subterráneo o metro. Su primera fase comprende 17,2 km de vías y 16 estaciones, con un costo superior a mil millones de dólares. El sistema empezará operaciones en el año 2001... En

una relación contractual única, la compañía que sirve de administradora general, incluye a la Universidad de Puerto Rico y al MIT como subcontratistas. Las dos universidades en conjunto, y en estrecha colaboración con los administradores del proyecto, están obligadas a educar todos los años a un grupo de estudiantes de cada universidad en todos los aspectos del proyecto: desde la tecnología de control de trenes, hasta el financiamiento del proyecto y el urbanismo.

Entre los propósitos de esta aproximación está el de promover la investigación en todas las temas relacionados con el desarrollo del tren urbano... Se proyecta que para el año 2001, al comienzo de las operaciones, más de cien estudiantes de la Universidad de Puerto Rico tengan conocimiento total del sistema. Así, la productividad de este grupo, en beneficio del país, probablemente excederá los beneficios directos del propio sistema de transporte [13]. Nótese la diferencia con el metro de Medellín, que fue construido a espaldas de la ingeniería nacional. Piénsese que si esta experiencia y estos conocimientos e iniciativas de los participantes se lograran en todas las grandes obras que se contratan llave en mano, se daría un gran paso en la investigación, apropiación e innovación tecnológica, tan caras al país.

Además de lo relacionado con el sector productivo, los ingenieros nacionales deben investigar en temas como el de la sismicidad, desde la geología hasta los materiales y los sistemas de construcción. En este mismo orden de ideas hay temas tan centrales como los del agua, la patología de las ciudades, los sistemas viales, la conservación de los recursos, etc., que no necesariamente son prioritarios en el SINC, pero que deben dar respuesta a las necesidades apremiantes de los colombianos más desprotegidos.

En resumen, no sólo hay muchas tareas investigativas para los ingenieros, sino que la ingeniería nacional está en la obligación de realizarlas. Todas ellas caen en el ámbito de la investigación ingenieril por el método con que deben llevarse a cabo.

## 5. El método ingenieril

En sentido general, se dice que un ingeniero usa el siguiente método de trabajo:

- a. Determina especificaciones
- b. Hace un estudio de factibilidad
- c. Realiza una búsqueda de información
- d. Desarrolla conceptos alternos de diseño
- e. Selecciona el diseño más promisorio
- f. Implementa un modelo matemático o físico
- g. Determina la relación entre las dimensiones y los materiales del producto
- h. Optimiza el diseño
- i. Evalúa el diseño optimizado, mediante análisis minuciosos del modelo matemático o por ensayo de los modelos físicos
- j. Comunica las decisiones de diseño al personal de producción
- k. Controla la producción
- l. Interviene en las ventas y el servicio
- m. Analiza las fallas y retroalimenta el diseño y la fabricación

Este proceder es válido no solamente para el diseño de un nuevo producto o proceso, sino para la operación, procesamiento o mantenimiento de cualquier sistema [14]. Además, en este método, literales c a i, está ya el germen de la investigación necesaria en el caso de proyectos complejos, problemas nuevos o necesidades sentidas. Como consecuencia de esto, cualquiera que sea el modelo o esquema que se vaya a utilizar en un proyecto de investigación en ingeniería, hay varias fases comunes al proceso de investigación, que pueden ser resumidas de la siguiente forma:

- a. Planteamiento del problema. Es la definición del objeto de estudio, sus alcances y limitaciones.
- b. Marco teórico. Con base en la búsqueda de información y los antecedentes, se fundamenta la teoría que sustentará la investigación.
- c. Formulación de hipótesis y definición de variables. Establece la respuesta tentativa al pro-

blema y las relaciones causales entre el fenómeno y las partes, con la consecuente operatividad de las variables.

- d. Comprobación de la hipótesis. Se aplican técnicas de evaluación matemática o fisicoquímica de los resultados experimentales, la revisión de la información e investigaciones de campo, con el fin de verificar la hipótesis.
- e. Análisis e informe de los resultados. Es el estudio de la información mediante procedimientos estadísticos e interpretación de resultados. Se elaboran conclusiones y se redacta el informe [15].

Este esquema, que puede ser más o menos completo, muestra los derroteros que sigue el proceso investigativo en ingeniería, el cual, como ya se indicó, puede ser parte de un proyecto de ingeniería o sus resultados se pueden convertir en éste. En tal caso el proyecto llega a ser realmente un instrumento de desarrollo y comprende otras etapas como:

- a. Estudio de mercado.
- b. Localización del proyecto.
- c. Elementos del estudio técnico.
- d. Determinación de costos y análisis de la sensibilidad económica.
- e. La estructura financiera del proyecto.
- f. Estructura legal y administrativa del proyecto.
- g. La evaluación financiera [16].

Todo esto da una visión del ámbito en que se mueve la investigación en ingeniería, siempre ligada a la eficacia, a los condicionamientos socioeconómicos y al logro de impactos cada vez más exigentes, presiones muy diferentes a las que se ejercen sobre la investigación pura, pues la ciencia busca explicar el mundo, en tanto que la ingeniería busca modelarlo.

## Conclusiones

- a. La investigación en ingeniería no sólo es posible sino urgente y necesaria.

- b. El ámbito de la investigación en ingeniería es de una enorme amplitud y va desde las ciencias básicas, pasa por las económicas y administrativas e interactúa con las socio-humanísticas.
  - c. En el país se dan varios niveles de investigación y todos deben estimularse. Este estímulo es responsabilidad no sólo del sector académico y científico, sino también del sector empresarial y del estado.
  - d. El SNIC ha tratado no sólo de indicar las líneas de investigación para la ingeniería de Colombia, sino también de crear los mecanismos de interacción y financiamiento para que ella llegue a producir la innovación tecnológica y el desarrollo económico. Sin embargo su dimensión económica es demasiado limitada.
  - e. Además de los temas señalados por el SNIC, hay otros que son de prioridad social y son también responsabilidad de la ingeniería.
  - f. Cuando la ingeniería investiga no desvirtúa su esencia, al contrario, la reafirma al buscar impactos acordes con sus métodos y eficacia.
  - g. En resumen, en el mundo actual y en un país como Colombia no se concibe una ingeniería que no investigue, por un lado, para lograr la inserción en la revolución tecnológica mundial, y por otro, para lograr por medio de tecnología el desarrollo y la independencia económica propia, aprovechando los recursos.
- 3. Vélez, M., J. I. y J. Salazar C.. "La ingeniería colombiana y la educación". En: *Memorias Seminario Ingeniería, Investigación y Sociedad*, Quirama. 1998. pp. 65.
  - 4. Bernal, P., Campo E. y Álvaro Morales T. "La ingeniería colombiana y su papel en la investigación y la tecnología". En: *Memorias Seminario Ingeniería, Investigación y Sociedad*, Quirama. 1998. pp. 95.
  - 5. Tecla, Alberto y Garza, Alberto. *Teoría, métodos y técnicas de la investigación*. México. Ediciones de Cultura Popular. 1979.
  - 6. Gille, Bertrand. *Introducción a la historia de las técnicas*. Barcelona. Marcombo. 1999.
  - 7. Betancourt, Eugenio E. "La investigación en ingeniería". En: *Memorias XIV Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería*. Cali. ACOFI. 1994. pp. 147.
  - 8. Ruiz González, Manuel y Enrique Mandado Pérez. *La innovación tecnológica y su gestión*. Barcelona. Marcombo. 1989. pp. 14.
  - 9. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. *Política Nacional de Desarrollo e Innovación Tecnológica*. Bogotá. CNYCT. Junio. 1995.
  - 10. Chaparro, Fernando. *Sistema Nacional de Innovación: Nuevo Escenario de la Competitividad*. Bogotá. Colciencias. 1998.
  - 11. Valencia, A. *Op. cit.*, pp. 20.
  - 12. Bernal, P., Campo E. y Álvaro Morales T.. *Op. cit.* pp. 102.
  - 13. Bras, Rafael. "Observaciones sobre la relación gobierno, academia e industria". En: *Memorias Seminario Ingeniería, Investigación y Sociedad*, Quirama. 1998. pp. 27.
  - 14. Valencia, Asdrúbal. "El ingeniero frente a la ética y la técnica". En: *Revista Facultad de Ingeniería*. Medellín. U. de A. No. 10. Agosto. 1995. pp. 89.
  - 15. Münch, L. y Ernesto Ángeles. *Métodos y Técnicas de investigación para administración e ingeniería*. México. Trillas. 1988. pp. 31.
  - 16. Erossa M. Victoria E. *Proyectos de Inversión en Ingeniería*. México. Limusa. 1998.

## Referencias

- 1. Noltingk, B. E. *El arte de aprender a investigar*. Barcelona. Editorial Iberia. 1971, pp. 22.
- 2. Valencia, Asdrúbal. "¿Está la ingeniería en una encrucijada?". En: *Memorias Seminario Ingeniería, Investigación y Sociedad*, Quirama. 1998. pp. 15.

# **CENTRO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES Y DE INGENIERÍA**

## **SERVICIOS EN INVESTIGACIÓN, ASESORÍA Y CONSULTORÍA**

Sistema de información geográfica

Control de calidad de aguas

Estudios de suelos

Planes de manejo ambiental

Ordenamiento territorial

Estudios de declaración de impacto ambiental

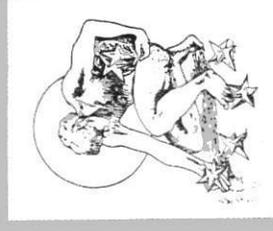
Servicios de laboratorio

Estudios de optimización de procesos, ahorro de energía  
y reutilización de desechos



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3



CIUDAD UNIVERSITARIA, calle 67 No. 53-108  
Facultad de Ingeniería-Bloque 21, oficinas 103-105  
Teléfonos 210 55 10, 210 55 09. Fax 211 90 28  
e-mail: [cia@jaibana.udea.edu.co](mailto:cia@jaibana.udea.edu.co)

## INSTRUCCIONES PARA QUIENES DESEEN PUBLICAR ARTÍCULOS EN LA REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA

1. Presentar, en español, trabajos inéditos.
2. Los artículos no deben exceder de veinticinco páginas en tamaño carta y a doble espacio.
3. Se debe acompañar el artículo con un resumen, abstract, no mayor de quince renglones, en español e inglés, y una lista de palabras clave.
4. Se solicita la colaboración de los autores para la ambientación del artículo, mediante el aporte de fotografías e ilustraciones para acompañarlo, y la indicación de los cuerpos de texto que deban resaltarse.
5. Informar los datos del autor: nombre, número de fax o correo electrónico, nombre de la institución donde labora y cargo o función que desempeña, para el reconocimiento de los créditos respectivos.
6. Entregar una copia impresa del artículo, digitado en Word 95, y el disquete correspondiente debidamente marcado.
7. Instrucciones especiales para la digitación:
  - a) El texto debe digitarse sin formato, en letra Times New Roman de 12 puntos.
  - b) Los párrafos se alinean a la izquierda, sin justificación, sin dejar espacio entre los consecutivos y sin partir las palabras.
  - c) No dejar más de un espacio entre palabras; después de coma, punto y coma, dos puntos, paréntesis y punto y seguido, se debe dejar un solo espacio.
  - d) No incluir saltos de página o finales de sección.
  - e) Los guiones tipográficos deben ser largos y tocar la palabra adjunta: —, pero el que se usa entre palabras y números es el del teclado, y sin dejar espacios, ejemplo: físico-químico, 1999-2000.
  - f) Los títulos se digitan como un párrafo cualquiera, antecediéndolos de los símbolos #0, #1, #2, de acuerdo con su nivel jerárquico; el #0 es para el de mayor importancia.
  - g) Las ecuaciones se levantan en el procesador incluido en Word, en letra Times New Roman de 12 puntos.
  - h) Los símbolos de las constantes, variables y funciones, en letras latinas o griegas, incluidos en las ecuaciones, deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva.
  - i) Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino usar letra cursiva.
  - j) Los pies de las figuras se digitan como un párrafo ordinario.
  - k) No se presentan cuadros sino tablas y éstas no incluyen formatos.
  - l) Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto; y los millares y millones con un punto.
  - m) Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional, SI.
  - n) No usar colores ni en gráficos ni en figuras.

8. Las citas, referencias bibliográficas y hemerografías se incluyen al final del artículo, en la siguiente forma:
  - a. Las referencias bibliográficas y notas deben numerarse en forma ascendente, de acuerdo con su aparición en el texto, e incluir el apellido y el nombre del autor, el título de la obra en cursiva, el lugar de edición, la editorial, el año de edición y las páginas de referencia. Ejemplo:
    1. Foucault, Michael. *Un diálogo sobre el poder*. Madrid. Alianza. 1981. p. 135.
  - b. Presentar las referencias hemerográficas en el siguiente orden: el apellido y el nombre del autor, el título del artículo entre comillas, el nombre de la revista o periódico en cursiva, el volumen, el número, el lugar de edición, la fecha de publicación y las páginas de referencia. Ejemplo:
    2. Salcedo, Salomón. "Política agrícola y maíz en México: hacia el libre comercio norteamericano". En: *Comercio Exterior*. Vol. 43. No. 4. México D. F. Abril, 1993.
  - c. En caso de que las referencias bibliográficas o las hemerográficas tengan más de dos autores, se debe usar la forma siguiente: el nombre del autor que aparezca en la publicación en primer lugar, seguido de la expresión *et al.* (que significa "y otros") en cursiva y se continúa con los datos ya explicados para la bibliografía y la hemerografía.
  - d. En caso de una referencia tomada de Internet se debe escribir el nombre del URL del sitio.
  - e. El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, mediante un número entre corchetes, al nivel del texto y separado de la palabra anterior por un espacio. En la misma forma se enumeran, al final, las referencias o bibliografías.
9. Evitar las notas de pie de página; en caso de que sean muy necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.
10. Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis, y en lo subsecuente se escribe sólo la sigla o abreviatura respectiva.
11. Por tratarse de una publicación con arbitraje, la revista recibe, revisa y envía los trabajos al Comité Editorial, el cual aprueba su publicación con base en el concepto de pares evaluadores especializados
12. Los originales recibidos se conservan como parte del archivo de la revista.
12. Como derechos de autor se reconocen tres ejemplares de la revista, que se envían a cada autor.
14. Favor enviar la colaboración a:

Revista Facultad de Ingeniería  
Universidad de Antioquia  
Ciudad Universitaria, Bloque 18, oficina 141  
Teléfonos: 210 55 43 – 210 55 74  
e-mail: revista.ingenieria@udea.edu.co

# **CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA CESET**

## **VISIÓN**

El Centro de Extensión Académica de la Facultad de Ingeniería, continuará siendo una dependencia especializada en el ofrecimiento de programas de educación permanente y capacitación en los campos de la ingeniería y áreas afines. En el año 2001 contará con aulas, oficinas y demás elementos apropiados para la eficiente prestación de sus servicios. Utilizará los más avanzados recursos técnicos y pedagógicos, tales como los de informática, telecomunicaciones, multimedia y educación semipresencial y será reconocido nacionalmente por la excelencia académica y administrativa.

## **MISIÓN**

Prestar apoyo a todos aquellos que en la Facultad quieran desarrollar actividades de extensión, pero específicamente podemos desglosarla en:

- Fomentar, canalizar y apoyar todas las actividades extracurriculares de la Facultad de Ingeniería, que contribuyan al cumplimiento de la misión de la Universidad de Antioquia, en lo relativo a la extensión académica.
- Propender a la actualización y capacitación de los profesionales de la ingeniería y áreas afines.
- Propiciar la proyección de la Facultad de Ingeniería, así como la capacitación y actualización de sus empleados no docentes y docentes.
- Centralizar los recursos necesarios para realizar las actividades de extensión académica y de proyección de la Facultad, con el propósito de presentar ante la comunidad una institución capaz de garantizar servicios de óptima calidad.

# REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA

## CUPÓN DE SUSCRIPCIÓN

Suscripción y factura a nombre de: \_\_\_\_\_

Dirección de envío: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

Residencia: \_\_\_\_\_ Oficina: \_\_\_\_\_

Ciudad: \_\_\_\_\_ País: \_\_\_\_\_

Correo Electrónico: \_\_\_\_\_

Suscripción a partir del número: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Cheque No. \_\_\_\_\_ Banco: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_

### Valor de la suscripción: (4 números):

\* Colombia: ..... \$ 20.000

\* América Latina: ..... US\$ 85

\* Norteamérica y Europa: ..... US\$ 117

### IMPORTANTE:

Todo pago se hace a nombre de: Universidad de Antioquia CIA, Centro de Costo 8703.

Para su comodidad, usted puede cancelar en cheque y enviarlo al apartado aéreo: 1226 o consignar el valor de la suscripción en la cuenta nacional N° 180-1077-9 del Banco Popular, en cualquier oficina del país, a nombre de la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA -CIA-, centro de costo 8703.

Si usted paga por este sistema, debe sacar una fotocopia del recibo de consignación y enviarla junto con la suscripción.

NOTA: Los precios en dólares incluyen el valor del correo y la transferencia.

Correspondencia, canje y suscripciones: REVISTA FACULTAD DE INGENIERIA  
Universidad de Antioquia A.A.1226 Teléfono: 210 55 43 – 2 10 55 40 Fax: 263 82 82  
Medellín –Colombia, Suramérica