

INTELIGENCIA ARTIFICIAL, CREATIVIDAD E INVESTIGACIÓN

Luis Carlos Torres Soler¹

Investigador del grupo COMPLEXUS-UN.

Abstract

The creativity requires motivation, an access to knowledge, an ability to correctly formulate research problems and to define a comprehensive problem space. It also requires an ability to reduce the corresponding search space by using methodological knowledge. The article discusses the types and the role of knowledge involved in scientific research, types of creativity, the dimensions of scientific research, examines the elements of creativity through a series of basic cognitive and computational concepts.

Key Word: Creativity, Research, Intelligence.

Resumen

La creatividad requiere motivación, acceso al conocimiento, habilidades para formular problemas a investigar y para definir comprensivamente el espacio de un problema. Se requieren habilidades para reducir la búsqueda correspondiente en el espacio usando conocimiento metodológicamente. El artículo discute los tipos y las reglas del conocimiento involucrado en la búsqueda científica, tipos de creatividad, las dimensiones de la investigación científica, examina los elementos del pensamiento creativo en una serie de conceptos básicos cognitivos y computacionales.

Palabras clave: Creatividad, Investigación, Inteligencia.

¹ Matemático, MSc. Ingeniería de Sistemas, M.A. Ciencias de la Educación. Profesor Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia. E-mail: lctorress@unal.edu.co

Introducción

Erróneamente se considera la creatividad como algo especial, como algo que poseen sólo artistas, músicos, actores y en especial los niños y científicos. Se considera algo sobrenatural, algo que poseen personas especiales. No es así, todos la poseemos pero no se desarrolla en su potencialidad o poco a poco se pierde por falta de motivación e interés personal o entornos que favorezcan su potenciación.

La creatividad es un factor de estudio para la inteligencia artificial. Particularmente, la creatividad científica, aquella que caracteriza a los científicos. El fundamento de la inteligencia artificial es desarrollar mecanismos que faciliten a los computadores mostrar características que indiquen inteligencia. Existen algunas interrelaciones entre creatividad e inteligencia; aunque la una no depende de la otra, sin embargo, son complemento. El proceso científico con creatividad hace parte de investigaciones en inteligencia artificial.² En el siglo XX, un gran número de ideas creativas de la mano de procesos investigativos han dado origen a descubrimientos científicos. En particular en el avance la computación.

Hoy día se trabaja con métodos convencionales de la ciencia para solucionar problemas o entender misterios y hechos inexplorables; no siempre ha sido posible poderlos tratar por una serie de procesos estandar; ha sido necesario desarrollar procesos creativos o introducir la creatividad en los procesos para determinar algunos mínimos elementos.³ Se modelan procesos computacionales que son capaces de realizar pinturas, poesías, partituras, planeación, toma de decisiones, demostración

² ¿Qué características poseen las personas que trabajando en investigación científica llegan a producir conocimiento que facilita el desarrollo de productos creativos?

³ Sin embargo, existen situaciones (sistemas) que requieren de propuestas teóricas y metodológicas para enfrentar la complejidad que encierra: infinidad de interrelaciones, propiedades emergentes, recursividad, autoorganización y la producción de resultados para conservar la organización (autopoiesis)

de teoremas,...Se llaman sistemas inteligentes.

Algunos estudios en inteligencia artificial introducen nuevos métodos para el estudio de la creatividad artificial, se exploran qué procesos computacionales son necesarios involucrar para simular el comportamiento del ser humano. Igualmente se trabaja extendiendo algunos enfoques planteados y se discuten desde la perspectiva científica, como: ¿la creatividad puede ser realidad en el contexto computacional? ¿Cómo modelar la creatividad? ¿Qué interrelaciones tiene una mente creativa? Sin embargo, los trabajos establecen puntos básicos: los elementos de la creatividad científica, los descubrimientos científicos y la creatividad construyen y destruyen, interrelaciones entre la inteligencia, la creatividad y las dimensiones de la investigación científica.

Varios son los conceptos de creatividad, y están conectados de diferentes formas según los contextos, de acuerdo al conocimiento adquirido, habilidades que se posean y capacidades para procesarlo en una dinámica establecida por el orden y el desorden.

La creatividad en la ciencia

Creatividad e inteligencia son conceptos encadenados, en el ser humano, de tal forma que la existencia de uno es medida para el otro. Por tanto, al buscar claridad en uno, obligatoriamente, se involucra el otro. Se define inteligencia en términos de *búsqueda*, como la potencia para encontrar la solución a un problema en un gran espacio. También se define en términos de *ensamblaje de conocimiento*. De acuerdo a esto, un sistema es inteligente si tendrá la habilidad de ensamblar el conocimiento necesario de acuerdo al comportamiento requerido para solucionar tareas complejas. Se define creatividad como la capacidad y actitud para generar ideas nuevas y comunicarlas o, la capacidad de buscar soluciones a problemas complejos de una manera en que nadie se atrevía. Así un sistema será creativo si soluciona problemas sin tener definido un proceso, considerando puntos de vista

diferentes a la estructura general planteada por la ciencia computacional: algoritmos.

Se distingue creatividad científica de otros tipos de creatividad tales como artística, lógico-matemática o literaria. En general, la creatividad envuelve nuevos mecanismos o métodos, la construcción de un nuevo modelo de la realidad (una hipótesis o una teoría) o un nuevo producto. Esto último usualmente se manifiesta así mismo como un trabajo científico o un nuevo enfoque, y el término creatividad es normalmente asociado con ello. Por tanto, cuando se habla de creatividad científica, se debe entender con ésta perspectiva. La creatividad depende del conocimiento que se posee, de la experiencia y de habilidades del individuo. Los niños genios, no estarían en el ámbito creativo, pero para algunos se consideran como tales.

La creatividad científica puede ser investigada a través de conceptos básicos cognitivos y computacionales, como:

- a. Motivación por la investigación.
- b. Habilidad para formular problemas de investigación en un área del conocimiento.
- c. Habilidad para crear un espacio comprensivo para la investigación de la solución de un problema.
- d. Habilidad para inducir e implementar heurísticas para reducir el espacio de investigación.
- e. Paciencia para la búsqueda exhaustiva en la solución de un problema.
- f. Actitud de innovación sobre el tema el tratar.

La motivación por la investigación toca requerimientos de creatividad científica. Existe interacción entre las estructuras de conceptos y la motivación por el desarrollo científico. Varios tipos de motivación humana estudian los psicólogos, encontrándose en el trabajo relaciones entre estructura de conceptos y motivación científica. Varios hechos indican que la actividad científica se tiene al buscar solucionar problemas o mirar los entornos de una manera diferente. Es decir, con creatividad.

En la investigación científica, el tener amplio conocimiento es necesario para formular problemas para la investigación científica, para crear y comprender el espacio de búsqueda, para reducir el espacio de búsqueda e investigar para que la solución sea aceptable de acuerdo a los recursos (costo, tiempo, lógicos, humanos y físicos).⁴ La correcta formulación de problemas de investigación requiere de una amplia estructura conceptual en el campo objeto de estudio. De entender la complejidad existente en el entorno donde se ha de desarrollar la investigación. De potenciar el pensamiento creativo para plantear soluciones novedosas o con un nuevo enfoque. La creatividad científica puede cambiar la estructura para formular problemas de investigación, en algunos casos, esos cambios involucran los conceptos y principios fundamentales necesarios, en otros casos, es la estructuración de ideas con otra mirada.

La creatividad científica se exhibe por sí sola durante el cumplimiento de una serie de tareas de la misma investigación. Diferentes tipos de conocimiento se usan en tales tareas. Diferentes estrategias creativas e inteligentes deben establecerse para llevar a feliz término la investigación.

La creatividad como habilidad exige producir muchas ideas (fluidez), cambiarlas cuando no funcionan (flexibilidad), organizarlas, elaborarlas, enriquecerlas y ejecutarlas cuando se requiere establecer soluciones eficaces (elaboración) y que sean novedosas (originalidad).

El conocimiento en la investigación

La investigación es una de las actividades humanas más complejas,⁵ que hace que el ser

⁴ El punto de partida de la investigación científica no es siempre la teoría; en algunos casos, ésta tiene su origen en la puesta en escena del conocimiento en escenarios ocupacionales. De la misma manera, muchos problemas que dan origen a procesos de investigación en ámbitos ocupacionales parten de planteamientos teóricos desarrollados en las disciplinas, pero también puede nacer de eventos o situaciones palpables..

⁵ Involucra interacciones que favorecen o desfavorecen

humano desarrolle sus capacidades y requiere usar diferentes tipos de conocimiento: general y específico. El conocimiento necesario para la investigación científica puede dividirse en cuatro tipos:

- a. Conocimiento de sentido común.
- b. Conocimiento técnico
- c. Conocimiento teórico
- d. Conocimiento metodológico.

El conocimiento de sentido común es simple, general, no se sale del contexto y relativamente no estructurado acerca del mundo. Hechos como "El agua es líquida", "el papel aviva el fuego", "el mar es salado" son ejemplos de conocimiento de sentido común.

El conocimiento técnico es aquel acerca de instrumentos, métodos y procesos. Cómo reparar un carro, cómo controlar una celda solar, cómo volar un aeroplano,... pueden considerarse de este tipo de conocimiento. Teóricamente la experiencia ayuda, pero no siempre es esencial para adquirir este tipo de conocimiento. El conocimiento técnico puede ser descriptivo y prescriptivo.

El conocimiento teórico es estructurado, describe conocimiento acerca del mundo, envuelve clasificación y numerosas hipótesis interrelacionadas. Ejemplos del conocimiento teórico son los procedimientos médicos y las teorías en la física, la matemática o la genética.

El conocimiento metodológico, de otra forma, es exclusivamente prescriptivo; puede ser representado como un conjunto de reglas condición-acción.⁶ El conocimiento metodológico incluye conocimiento acerca de cómo distinguir entre fenómenos científicos interesantes y no interesantes, cómo escoger entre metas alternativas, las estrategias y los

con el proceso, conocimiento, experiencias, diferentes actores que provienen de diferentes contextos, situaciones de orden y desorden; la producción de elementos que van a hacer posible una organización (autopoiesis), la continua autoorganización de ideas, proyectos y procesos metodológicos.

⁶ Buen número de sistemas inteligentes están basados en reglas de condición-acción.

métodos durante la investigación científica, cómo diseñar experimentos, cómo formular hipótesis y, cómo generalizar, cuestionar y evaluar. Es el mayor tipo de conocimiento para establecer diferencias entre investigación científica y no científica.

Las reglas en la investigación, realmente son métodos extralógicos o generalizaciones inductivas, abductivas o por abstracción y analogías. No hay reglas de inferencia a partir de un conocimiento teórico. Las reglas se usan frecuentemente en la formulación de estados de un problema, para la restricción de grandes espacios de búsqueda, y la formulación de hipótesis durante la actividad de investigación científica.

El conocimiento teórico ayuda a reducir de alguna forma los espacios de búsqueda o en la formulación de restricciones en la investigación científica. El conocimiento que se requiere para construir un computador cuántico es totalmente teórico, quizá hay muchos procesos que se podrían establecer en un conocimiento metodológico, pero aun no es posible del todo porque existen algunos procesos indefinidos. Igualmente, sucede que el conocimiento para construir sistemas inteligentes es totalmente teórico, muchos procesos de percepción y cognición no poseen un conocimiento metodológico, sin embargo, se buscan construir. La investigación acerca de la complejidad de los sistemas está en ámbitos de las hipótesis, existen modelos (formalización) pero sólo teóricos porque la complejidad está entre lo dinámico y lo caótico, es decir, los modelos son atemporales, sirven en tiempos específicos.

En algunos casos un descubrimiento lleva a otros descubrimientos. Un caso: analizar y entender cómo el ser humano almacena la información se plantean nuevos métodos de almacenamiento de información en los computadores.⁷

⁷ Algunas investigaciones de inteligencia artificial se fundamentan en representar, almacenar y procesar conocimiento en computadores.

Algunos descubrimientos tienen realmente un fuerte razonamiento analógico ligado a la abstracción y abducción. Por ejemplo, las redes neuronales artificiales. Otra interesante analogía es la investigación al emplear algoritmos genéticos para innovar en el diseño.

La creatividad y los descubrimientos

La creatividad científica puede ser examinada en relación al alcance de la investigación en la cual un descubrimiento ocurre. Los descubrimientos científicos pueden clasificarse en: 1) Lógicos-matemáticos, 2) Formales, 3) Teóricos y, 4) Empíricos. Esta clasificación se toma a partir de la categorización del conocimiento descriptivo, y refleja los tipos de conocimiento usados en investigación científica. Estos tipos de conocimiento buscan modelarse (representar) en el computador cuando se construyen sistemas inteligentes.

De acuerdo a esta clasificación, los descubrimientos lógico-matemáticos toman lugar, como su nombre lo sugiere, en el dominio abstracto de la lógica y la matemática. Algunos de los primeros sistemas en IA tales como LogicTheorist fue construido a partir del descubrimiento de modelos lógico-matemáticos y fue diseñado para probar teoremas en lógica. Otros modelos computacionales más recientes, aparecen como un ejemplo sucesivo de descubrimientos matemáticos y otros han servido para hallar nuevos descubrimientos. La característica de los descubrimientos lógicos matemáticos es que, en principio, no se requiere experimentación u observación. Se requiere conocimiento del dominio de la matemática, excepto para transferir procesos analógicos en algunos casos.

El descubrimiento formal tiene lugar en el dominio formal involucrando entidades abstractas, sus clases y propiedades. El descubrimiento formal requiere conocimiento lógico matemático como conocimiento base, y conocimiento formal para inferencia deductiva.

El descubrimiento teórico requiere

conocimiento de este tipo, formal y lógico matemático, en general, resulta del análisis y la síntesis teórica. Algunos modelos computacionales se caracterizan como sistemas descubridores de conceptos, de esta forma, son cerrados como modelos de descubrimiento formal. Otros se emplean en el análisis teórico por descubrimiento. En la historia de la ciencia hay importantes descubrimientos o invenciones teóricas tales como las ecuaciones de Maxwell y las transformaciones de Einstein-Lorenz. Hoy día, modelos de computadores moleculares o cuánticos, como sistemas para la programación evolutiva.

Los descubrimientos empíricos han llevado a formalizar un buen número de modelos computacionales que permiten investigar y razonar sobre varios aspectos. Este tipo de descubrimiento requiere experimentar y observar datos, así como poseer conocimiento lógico matemático y formal. El conocimiento teórico no ha sido un requisito indispensable para el descubrimiento empírico en la historia de la ciencia, pero sí es necesario en la moderna investigación empírica. Como por ejemplo, para hallar un superconductor; formalizar el computador cuántico o para desarrollar vida artificial.

Los sistemas de descubrimiento empírico pueden ser divididos en dos clases principales las cuales son modelos formales y simbólicos, aunque esta distinción en algunos casos es irrelevante; igual sucede con la investigación cualitativa y cuantitativa.

La investigación científica

La investigación en lo computacional está supeditada por estudios filosóficos y metodológicos convencionales. Sin embargo, la tradición filosófica convencional determina la estructura del conocimiento científico y enfatiza en la evaluación de leyes y teorías, mientras lo computacional se dirige al proceso del pensamiento científico y enfatiza en descubrimientos científicos incluyendo las actividades de evaluación de datos, teoría de información y experimentación.

Lo computacional de la ciencia concierne no solamente con el planteamiento de hipótesis, testeo y verificación, los cuales han sido principalmente concertados de un estudio convencional de la ciencia, sino también a una serie de otros aspectos. En la investigación científica existen amplias tareas totalmente diferentes: formulación y selección de metas de investigación, definición de tareas, acumulación de conocimiento, organización del conocimiento, selección de estrategias, métodos, herramientas y técnicas; proponer experimentos, diseñar experimentos y selección de materiales para los experimentos, conducción de experimentos; colección de datos, evaluación de datos, formación de hipótesis, revisión y determinación de teorías, control de metas de satisfacción, proyectar lo producido, o reevaluar los conceptos en los que van encaminadas las investigaciones científicas.

Cualquiera de esas tareas concierne a actividades que requieren planeación, clasificación y evaluación (Para proveer una idea acerca de la diversidad de actividades que se involucran en estas tareas de investigación). Buenos resultados se miden en términos de los objetivos de la investigación (serían: formulación de metas de investigación científica, escogencia entre metas formuladas, estrategias propuestas, experimentos propuestos y formulación de hipótesis).

Las metas generales de la investigación podrían ser: desarrollo del fenómeno, estudio del fenómeno y aportes para la mejora de procesos. Los científicos creativos utilizan reglas generales para formular esas metas: enfocar la atención a problemas y fenómenos que han sido poco explorados o inexplorados. Sin embargo, tales problemas poseen implicaciones importantes al ser investigados. Por ejemplo, ¿por qué la luna tiene muchos cráteres en áreas particulares?, ¿podría haber vida no dependiente del carbono y/o oxígeno?, ¿cuál es el proceso de un pensamiento creativo?, ¿la creatividad se puede desarrollar computacionalmente?, ¿cuál es la metodología

para la investigación cualitativa?, problemas que quizás no tienen interés para muchos. De otra forma, se investiga para entender algunos fenómenos: ¿cuándo ocurre un proceso creativo?, ¿cómo se aprende?, ¿qué es inteligencia?, ¿cuál es el proceso eficiente para la investigación?

Algunos problemas de investigación científica pueden relacionarse con desarrollos tecnológicos. El almacenamiento del conocimiento por parte del ser humano motiva a los estudiosos de la inteligencia artificial a determinar mecanismos que faciliten al computador almacenar conocimiento de manera autónoma. Sin embargo, el interés a sí mismo no es suficiente criterio como fenómeno que atrae la atención de científicos creativos. Las metas de la investigación deben formularse para ser realizables.

No es usual que, en ciertos fenómenos, se formulen metas alternativas en la investigación científica. Para estos casos, la selección de la meta a hallar se realiza a través de otras tareas investigativas. Los científicos usan varios criterios de selección al decidir cuál es el problema fundamental. Interés, importancia, materiales y herramientas tecnológicas necesarias, restricciones económicas, recursos humanos y de tiempo, son algunas de las métricas que afectan la decisión. Decisión que llegará a tener resultados satisfactorios con inteligencia creativa. Podría verse, que algunos de estos elementos están en conflicto con otras, así los científicos requieren por lo menos algo de creatividad, que es la posibilidad de realizar alguna clasificación antes de decidir plantear los procesos adecuados.

El seleccionar estrategias investigativas es muy importante para desarrollar las tareas que lleven a la meta. La selección de estrategias depende del tipo de meta de investigación. Si la meta es explorar un cierto fenómeno, debe revisarse el conocimiento y el análisis teórico existente. De otra forma, si la meta es estudiar un fenómeno, entonces hay que considerar necesariamente la experimentación

y la observación. Si se selecciona experimentación, entonces hay que definir el proceso necesario.

Por ejemplo, si la meta de investigación es estudiar las propiedades de una sustancia (conductividad eléctrica), habrán varias estrategias alternativas:

Si meta es la propiedad P y un proceso S muestra P entonces aplicar experimentos a S .

Si meta es la propiedad P y la propiedad Q está positivamente relacionada con P y un proceso S muestra Q entonces aplicar experimentos a S .

Si meta tiene la propiedad P y la propiedad Q tiene efectos negativos E sobre P entonces aplicar experimentos para reducir o eliminar E .

Una vez se seleccione la estrategia de experimentación, el científico debe decidir el proceso relevante y las técnicas adecuadas para llevar a cabo la estrategia empleando toda su creatividad e inteligencia. También debe decidir sobre los materiales para los experimentos, clasificar dichos materiales y determinar un conjunto de parámetros para determinar la viabilidad de los sucesos, costo y riesgos relativos, y seleccionar los mejores materiales.

Los experimentos científicos requieren ser diseñados y conducidos de acuerdo a ciertos procedimientos y fases. Deben definirse parámetros experimentales, realizar test, recolectar los datos y medir los valores de los parámetros. Los datos se evalúan sin violar condiciones del experimento. Después de evaluar los datos, se formulan las hipótesis.

La formulación de hipótesis es una de las tareas importantes de la investigación científica. A pesar del hecho que ha existido un consenso de la filosofía de la ciencia en el tiempo, aun permanecen aspectos de descubrimiento científico que son detalles necesarios para una investigación.

Varias hipótesis, de manera heurística, se construyen para ser utilizadas en el trabajo

científico. Algunas de esas heurísticas son:

Si el valor de una propiedad P cambia con el valor de otra propiedad Q entonces P y Q están relacionadas.

Si un proceso x no cambia un conjunto de parámetros experimental es P_1, \dots, P_m y x cambia los parámetros Q_1, \dots, Q_n entonces P_1, \dots, P_m y Q_1, \dots, Q_n son independientes.

Si un proceso x se espera que realce una propiedad P de una substancia M y lo esperado no da lugar entonces hay otra propiedad Q que obstaculiza el efecto.

La mayoría de estas heurísticas son generales, mientras que algunas están en un dominio específico. Dos ejemplos son los siguientes:

Si un cambio en una estructura S_1 violentamente disminuye una propiedad P y el cambio lleva a la desaparición de alguna estructura S_2 entonces P juega un papel importante en S_1 .

Si dos componentes M_1 y M_2 tienen gran lazo en una estructura en un amplio dominio entonces M_1 y M_2 tienen similar conducción de propiedades dentro del dominio.

Estas son algunos ejemplos de reglas de formación de hipótesis usadas en un dominio especial de una disciplina. No se discutirán aquí los métodos y reglas usadas en verificación de hipótesis y revisión de teoría por razones de espacio. Sin embargo, para considerar los métodos y reglas usadas en varios campos de la ciencia, desde las ciencias físicas a las ciencias humanas, y sobre un buen conjunto de tareas en cada una de ellas, se pueden visualizar las dimensiones de la investigación científica y el requerimiento de la creatividad científica para llevarla a feliz término.

La diversidad de tareas de investigación interrelacionadas son suficientes para mostrar que, no todos los descubrimientos científicos han sido por procedimientos lógicos o procesos en que son el producto de una relaciones complejas involucradas en la llamada investigación científica. La creatividad científica puede estar en cualquier actividad de la investigación. Cada proceso o

etapa en la investigación científica puede ser un proceso creativo. Un ejemplo extremo puede ser: considerar el diseño, construcción y operación de un prototipo, donde la investigación envuelve experimentos de proposición y diseño, escenarios esperados, conducción de experimentos, colección de datos, evaluación de datos, formulación y verificación de hipótesis y, revisión de teorías entre otras.

El enfoque convencional filosófico ignora la multiplicidad de tareas y actividades involucradas en cuestiones científicas. Esto es porque, a mayor detalle y esmerado examen y análisis de la ciencia se necesita que sea enfocado por el estudio convencional de la ciencia. El enfoque computacional provee conceptos necesarios y métodos para un estudio mediante simulaciones completas.

Conclusiones

Para modelar la creatividad en el computador se requiere investigarla dentro de un ambiente natural, es decir, dentro de los procesos de investigación científica y descubrimientos. Convencionalmente la filosofía de la ciencia, probablemente por algunas limitaciones fijadas, (ha) ignora (do) un gran conjunto de aspectos acerca de la misma ciencia.

La creatividad científica muestra así mismo la forma de descubrir científicamente, la cual a su vez, es el producto de una serie compleja de tareas llamada investigación científica. Entonces, un estudio comprensivo de los descubrimientos requiere un amplio conjunto de conceptos para una investigación detallada y sistemática. Recientes desarrollos en lo computacional proveen paradigmas que cambian conceptos. Esos conceptos se introducen con mayor detalle, especialmente para definir la creatividad científica.

Para la creatividad se deben examinar reglas con el conocimiento que ha hecho posible los descubrimientos dentro de las dimensiones de la investigación científica. Una investigación sistemática de la creatividad científica no podrá ser conducida sin considerar las

múltiples tareas en la investigación y observando a los científicos durante sus actividades.

Es importante para el desarrollo de la inteligencia artificial construir procesos en el computador que faciliten al sistema inteligente ser creativo, para ello se requiere de la investigación y sobre todo de creatividad.

La investigación requiere de creatividad e inteligencia para hallar problemas que lleve a un desarrollo científico.

Referencias

Boden Margaret (1990). *The creative mind*. Sphere Books, London.

Boden Margaret (Comp.) (1994). *Filosofía de*

la inteligencia artificial. FCE, México.

Langley P., Simon H., Bradshaw G., Zykwow J. (1987). *Scientific discovery: Exploration of the creative processes*. MIT Press.

Shrager J., Langley P. Eds. (1990). *Computational models of scientific discovery and theory formation*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.

Thagard P. (1988). *Computational philosophy of science*. MIT Press, Cambridge, MA.

Torres Luis C. (2002). *Lógica e Inteligencia (artificial)*. Unidad de publicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.