

# El Razonamiento Lógico como Requisito Funcional en Ingeniería

**Edgar Serna M.**

Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM, Medellín, Colombia, *edgarserna@itm.edu.co*

**Giovanny Flórez O.**

Corporación Universitaria Remington, CUR, Medellín, Colombia, *giovanny.florez@remington.edu.co*

## ABSTRACT

In a generalized form is accepted that the work of the engineers is mainly to detect, recognize and solve problems, but most educational systems and related thematic content seem to ignore the need to train students to develop logical reasoning, and thus respond appropriately to this requirement. This article takes a tour of the concepts of logic, abstraction, problem solving and logical reasoning, and analyzed and described as a functional necessity of engineering and its professional application, taking into account the requirements of the current Society Information and Knowledge and making a tight connection to the learning processes of current and future engineers.

**Keywords:** Logic, engineering, logical reasoning, problem solving.

## RESUMEN

De forma generalizada se acepta que el trabajo de los ingenieros consiste fundamentalmente en detectar, reconocer y resolver problemas, pero la mayoría de sistemas *educativos* y contenidos temáticos relacionados parecen desconocer la necesidad de formar a los estudiantes para que desarrollen un razonamiento lógico, y de esta forma puedan responder apropiadamente a este requerimiento. En este artículo se hace un recorrido por los conceptos de lógica, abstracción, resolución de problemas y razonamiento lógico, y se analizan y describen como una necesidad funcional de la ingeniería y de su aplicación profesional, teniendo en cuenta las exigencias de la actual Sociedad de la Información y el Conocimiento y haciendo una relación ajustada a los procesos formativos de los actuales y futuros ingenieros.

**Palabras clave:** Lógica, ingeniería, razonamiento lógico, resolución de problemas.

## 1. INTRODUCCIÓN

De forma generalizada se acepta que el trabajo de los ingenieros consiste fundamentalmente en detectar, reconocer y resolver problemas. Pero en este siglo, cuando la evolución social ha llevado a la humanidad a la Sociedad de la Información y el Conocimiento, esta función también se ha convertido en parte integral de la labor de la mayoría de profesionales. Los seres humanos conviven en medio de problemas, desde los más simples hasta los más complejos, y cuando se reúnen en conglomerados sociales se incrementa su complejidad. Esta sociedad, más que nunca antes en la historia, enfrenta complicados desafíos que debe comprender, analizar y solucionar para asegurar su supervivencia y proyectar la de la siguiente (Gellatly, 1986).

Para atender a estos requerimientos los sistemas de formación deben mantener una continua comunicación con la realidad, con el objetivo de preparar a los futuros profesionales para que se desempeñen adecuadamente cuanto les corresponda vivirla. Este objetivo tiene una característica básica: la necesidad de desarrollar un pensamiento lógico y una adecuada interpretación abstracta para lograr la resolución eficiente y efectiva de esos problemas. En la formación de ingenieros para el siglo XXI esta necesidad es un componente básico, porque su desempeño estará regido ampliamente por una adecuada interpretación del problema, antes que le presenten una solución.

La práctica ingenieril se puede describir como la solución óptima y práctica de problemas físicos, mediante el análisis lógico, sistemático e integral de los hechos científicos. Sin embargo, el número, la complejidad y la falta de claridad de los mismos, es tan amplio que para lograrlo se debe adicionar el juicio y la invariabilidad. Estos componentes hacen parte activa de la intuición personal, la cual se considera como un arte relacionado enteramente con las ciencias de la lógica y la abstracción. El juicio es un componente bien reconocido de la práctica de la ingeniería, porque la eficiencia y efectividad de las soluciones que se proponen también dependen de una serie de factores intangibles.

La ingeniería es un campo de las ciencias aplicadas que descansa sobre las bases de la matemática, la física y la química. Para lograr que su trabajo responda a las necesidades sociales, sus profesionales deben adquirir una comprensión amplia y funcional de los procesos, además de un adecuado dominio de las habilidades técnicas (Hakkarainen et al., 2004; Moss et al., 2006). Entre muchas otras habilidades deben lograr una comprensión profunda de los conceptos abstractos, desarrollar la capacidad de pensamiento algorítmico y un razonamiento lógico adecuado (Eckerdal and Berglund, 2005; Faux, 2006). Diversos estudios indican que la habilidad de razonamiento lógico no es independiente de la capacidad intelectual general, y que los estudiantes que razonan lógicamente y resuelven adecuadamente los problemas tienden a obtener mejores resultados en cualquier materia científica (Johnson and Lawson, 1998; Capizzo et al., 2006). Por lo tanto, la formación en ingeniería, como área científica, debe incluir a la lógica, la abstracción, la matemática y la resolución de problemas en todos los niveles, y porque como profesionales se espera que dominen y apliquen el pensamiento lógico. Paradójicamente, pocos programas en el mundo atienden adecuadamente esta necesidad formativa (Moss et al., 2006).

Los ingenieros deben desarrollar la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva para alcanzar ese pensamiento, porque el objetivo formativo, al igual que con los científicos, es que sean lógicos y sistemáticos en su razonamiento. Sin embargo, nuevamente, casi ninguno de los modelos *educativos* actuales incluye estas cuestiones en sus procesos. El éxito de la ingeniería del siglo XXI depende en gran medida de que los estudiantes hayan convivido desde los primeros niveles formativos con la lógica y el razonamiento lógico, para que puedan potencializarlos y aplicarlos adecuadamente. Desarrollar esta capacidad no es un proceso de último momento antes de ser profesional; el proceso debe iniciar desde la escuela e ir madurando en la misma medida que se incrementa el nivel de formación y la exigencia de los problemas.

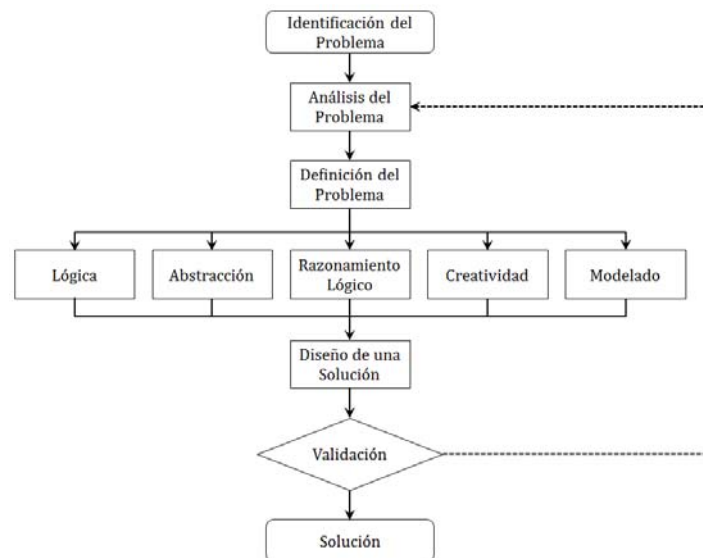
## 2. LA NECESIDAD DE LA LÓGICA EN LA FORMACIÓN INGENIERIL

Los procesos formativos en la mayoría de instituciones están sobrecargados de información, que los profesores reproducen generalmente desde un texto determinado. Esto no aporta al objetivo formacional de desarrollar un razonamiento lógico en los estudiantes, porque *aprenden*, o mejor se saturan, con una cantidad de fórmulas y conceptos cuya aplicabilidad es casi inexistente. De esta forma se capacitan para resolver tareas repetitivas y problemas simples, pero no desarrollan un razonamiento para solucionar lógicamente problemas con algún grado de complejidad, porque este tipo de contextos no se trabaja en el aula, aunque se tenga los conocimientos necesarios para hacerlo. Por ejemplo, un estudiante de ingeniería asiste a varios cursos de matemática en su proceso formativo, pero debido a que el currículo no está integrado, las fórmulas y conceptos que *aprende* no tienen ningún valor cuando se le presentan problemas que necesitan integración de éstas y otras áreas del programa (Pólya, 1948).

Entonces, se requiere procesos formativos que involucren a la lógica de forma paralela e integradora a lo largo y ancho del currículo. En ingeniería, el conocimiento sin aplicación práctica no es más que, como lo llaman los mismos estudiantes, *relleno* académico para complementar los créditos. Los problemas de este siglo necesitan soluciones innovadoras, creativas y retadoras, pero será posible en la medida que se *enseñe* lógica de manera diferente y tomando el razonamiento lógico, que por naturaleza poseen los estudiantes, para potencializarlo mediante procesos experimentales, prácticos e integradores, pero, sobre todo, que sean posibles de aplicar en la vida real. La situación es crítica, pero no desesperada. A partir de los experimentos de Susanna Epp (1996), si se modifican un poco los procesos educativos, se podría cambiar radicalmente el nivel de comprensión y de razonamiento. En su investigación les solicitó a los estudiantes no sólo resolver sus ejercicios, sino que además le añadieran breves observaciones a los mismos. Inicialmente esos comentarios eran opiniones para los profesores,

porque se relacionaban con que los estudiantes no entendían el material, pero posteriormente se convirtieron en la base para diseñar procesos de interpretación y comprensión que podían utilizar cuando estudiaban solos. Los resultados fueron bastante alentadores, porque los estudiantes que participaron se convirtieron en críticos lógicos, aún con su propio trabajo y el de los compañeros.

La formación adecuada en lógica permite desarrollar y aplicar procesos de creatividad. Esta relación se puede comprender mediante una comparación entre el funcionamiento del cerebro, durante el proceso de pensamiento, y el de un computador al calcular (Gazzaniga, 2002). Cuando una persona piensa almacena sus recuerdos como información relacionada, de la misma forma que un computador almacena datos en archivos para su posterior recuperación. Cuando se necesita alguna información, tanto el cerebro como el computador, buscan los datos en los archivos almacenados y los ordenan lógicamente para convertirlos en información, y si recopilan nuevos datos los asignan fácilmente al archivo correspondiente. La cuestión se complica cuando los datos requeridos no se encuentran almacenados, o están corruptos. El computador se limitará a informar que no encuentra información relacionada, o que no puede procesarla por algún error de hardware o software; por el contrario, el cerebro recurre a la capacidad creativa para correlacionar, combinar, mezclar, probar, abstraer y representar los datos desde otros archivos, e intentará responder a la solicitud aplicando un algoritmo como el que se presenta en la Figura 1. Claro está, para lograrlo la persona necesita haber recibido una adecuada formación en lógica, de lo contrario responderá cual simple computador: *eso no me lo enseñaron*.



**Figura 1. Capacidad creativa para solucionar problemas**

Resolver problemas lógicamente es un proceso de búsqueda a través de datos conocidos, a los que se adiciona información para complementar el archivo básico en ese tema en particular. Por ejemplo, el cerebro para resolver un problema matemático, aplicando razonamiento lógico, primero busca en el archivo *cómo aplicar matemáticas*, hasta que encuentre la información relacionada con el problema, pero si no encuentra la información, ese mismo razonamiento lo orienta a hacer ciencia para buscarla y descubrirla, y de esta forma llenará el vacío que tiene en los archivos. Este proceso se logra porque la persona se ha formado en lógica y ha desarrollado un razonamiento que le permite seguir o construir un camino mediante pasos cuidadosamente estructurados, y asegurándose de que cada uno se apoye firmemente en el conocimiento anterior (Eckerdal and Berglund, 2005).

Las habilidades y los principios ingenieriles con los que se forma a los ingenieros se deben presentar a través de procesos lógicamente relacionados, y no puede ser una cuestión de último momento, es decir, en la universidad, es un proceso integral que comienza desde la escuela y que se va desarrollando en la medida que el estudiante progresa en su formación. En la formación superior se termina de estructurar a través de aplicaciones más sofisticadas, pero si el estudiante todavía no ha desarrollado esa capacidad, lo más seguro es que opte por abandonar la carrera y buscar otra en la que no sea tan evidente esa falencia (Gellatly, 1986). Esto se debe a que

gran parte del trabajo de los ingenieros requiere cálculos y análisis, tareas que dependen ampliamente del razonamiento lógico, por lo tanto, estos profesionales deben ser lógicos para tener éxito.

### 3. EL RAZONAMIENTO LÓGICO

Este razonamiento es uno de los conceptos del aprendizaje que suele ser más difícil de alcanzar (Haygood and Bourne, 1968), y es un proceso racional del cerebro a través del cual las personas llegan a conclusiones *correctas*. Esto se logra a través de la lógica y de una relación racional entre los diferentes factores que intervienen en cada situación determinada. El razonamiento lógico depende esencialmente de la habilidad para estructurar y formular procedimientos lógicos y de aplicar procesos inferenciales con un lenguaje preciso (Carrol, 1964).

Existe una relación entre los conceptos de razonamiento y pensamiento lógico, que Smith (1992) describe en los resultados de sus investigaciones. Él considera al razonamiento como una definición común de pensar, que a veces se utiliza como sinónimo en el significado general de la palabra *pensamiento*. Además, explica que a veces el razonamiento se utiliza para: 1) justificar una conclusión a la que se ha llegado y 2) convencer a alguien de que acepte una conclusión; esto implica que el término se podría utilizar para hablar del pasado, como en la primera categoría, o del futuro, como en la segunda categoría. Smith hace hincapié en que los pensamientos o acciones pueden estar fuertemente atados mediante *cadena de razonamiento*, las cuales hacen las veces de enlaces. Sin embargo, afirma que la habilidad de razonar viene con la comprensión acerca de lo que se está tratando de razonar, para lo cual se requiere capacidad lógica para interrelacionar ambas cuestiones.

Nigel (2002) considera que el razonamiento lógico puede permitir la construcción de argumentos eficaces como respuesta a los problemas. Las personas que pertenecen a culturas diferentes pueden llegar a conclusiones disímiles, porque razonan diferente (Gellatly, 1986; Smith, 1992). Pero Smith afirma que esa diferencia no es porque pertenezcan a diferentes culturas y tengan diferentes niveles de habilidad, sino porque tienen diferentes visiones del mundo debido a como han sido formadas. Porque la cultura es la forma de racionalizar el mundo, pero la capacidad lógico-interpretativa es la forma como se interviene.

En ocasiones las profesiones pueden generar diferencias en el razonamiento lógico (Smith, 1992), por ejemplo, los ingenieros podrían razonar diferente a los médicos y a los filósofos; e incluso dentro de la misma profesión los razonamientos pueden variar, debido a la posición desde la cual se razona. Esto lo investiga Smith y llega a la conclusión de que estas diferencias tienen como base una serie de factores, entre los que se incluye la cultura, los valores, los roles, las tareas y las personalidades, pero sobre todo, la capacidad de comprender los problemas mediante razonamiento lógico. Sin embargo, cuando lo lógico genera conflictos con los valores individuales, usualmente éstos suelen triunfar, porque son más fuertes que la lógica; aunque no suele suceder muy a menudo porque las personas provienen de diferentes procesos formativos y por tanto razonan diferente. Smith sostiene que lo único que las personas deben desarrollar mejor que la lógica debería ser los valores y el sentido común, pero actualmente parece que la formación se orientara a utilizarlos para anularla.

Los valores y el sentido común son consecuencia de la experiencia que acumulan las personas, y por tanto crean inferencias y desacuerdos en el razonamiento lógico, en parte debido a los diferentes puntos de vista que tienen para tomar decisiones y llegar a conclusiones, y que son el resultado de formulaciones acerca del mundo que no están gobernadas por las reglas de la lógica (Smith, 1992). Sin embargo, el hecho de aceptar una conclusión es de por sí un enfoque de razonamiento. Aunque Smith enfatiza que la lógica no puede ser un principio rector detrás de todas las decisiones y conclusiones acerca de mundo, Baron (1994) sugiere que sería más útil si le diera un papel más relevante en el razonamiento lógico cotidiano, es decir, que lo ideal fuera poner a funcionar el cerebro antes que la boca. Esto sería de mucho valor para un ingeniero, porque si se le forma para razonar lógicamente, seguramente aplicará el proceso de la Figura 1 antes de atreverse a presentar una solución a los problemas cotidianos.

La lógica se debería incluir desde las primeras etapas del proceso formativo de todos los estudiantes. Utilizar sencillas relaciones lógicas para expresar el uso de algunas expresiones simples, que les permita relacionar la lógica con las actividades y diálogos cotidianos. Convendría estructurar un sistema lógico elemental inmerso en el currículo, de tal manera que los estudiantes comiencen a desarrollar o potencializar su capacidad lógico-

interpretativa desde edad temprana (Wason and Johnson-Laird, 1972). Pero esta es una cuestión que parece no tienen en cuenta los actuales *sistemas de educación*, en los que prima cuestiones como los valores los cuales, aunque importantes y necesarios, no tienen importe si no se comprenden racionalmente. Formar en y desarrollar el pensamiento lógico debe ser un objetivo bien planificado. Los ingenieros, por ejemplo, lo necesitan para tomar decisiones que les permita solucionar problemas sociales, para lo que investigadores como Wason y Johnson-Laird (1972) han propuesto métodos simples mediante descripciones lógicas, que aunque sofisticados pueden ser relevantes como simples relaciones lógicas en los diálogos o actividades cotidianas de los estudiantes. Estas propuestas se deberían tener en cuenta, porque animan a la simplicidad y le dan relevancia a la lógica en los contextos cotidianos de los procesos formativos, además, se podrían utilizar para desarrollar el pensamiento lógico en los estudiantes, claro está a través de actividades que despierten su interés.

### **3.1 RAZONAMIENTO Y LÓGICA**

La lógica se refiere a la formalización de las leyes del pensamiento y se centra en la formulación de teorías normativas que describen la forma en que las personas deberían pensar. La psicología cognitiva también se ocupa del pensamiento, pero se centra casi exclusivamente en las teorías descriptivas que estudian cómo piensan las personas en la práctica, sin importar si es o no correcto. Estas dos teorías se han desarrollado mayoritariamente de forma aislada y sin una relación directa reconocida, sin embargo, en los últimos años los psicólogos han desarrollado la teoría de los procesos duales, que se comprenden como la combinación de teorías descriptivas y normativas (Basak et al., 2008). Por su parte, las teorías descriptivas tradicionales se centran en el pensamiento intuitivo, el cual es asociativo, automático, paralelo y subconsciente, mientras que las normativas, por el contrario, se centran en el pensamiento deliberativo, el cual se basa en normas, requiere esfuerzo, y es serial y consciente. De acuerdo con estos principios se puede argumentar que la lógica es una cuestión relacionada con los procesos duales, debido a que combina el pensamiento intuitivo y el deliberativo, pero no sólo se refiere a pensar en abstracto, también simboliza los pensamientos representados en forma de oraciones, y al pensamiento como la manipulación de afirmaciones para generar nuevos pensamientos. Por lo que la lógica, vista desde esta perspectiva, se puede considerar la formalización del lenguaje del pensamiento humano (Dahlin et al., 2008).

La lógica y el razonamiento son habilidades cognitivas a través de las cuales se llega a conclusiones sólidas para tomar decisiones y resolver problemas en la vida cotidiana. Las personas llegan a ellas con base en el procesamiento de la información que reciben a través de los sentidos. Pero, a pesar de que constantemente aplican ambas habilidades, muchas veces ni siquiera son conscientes de que lo hacen. Al recibir estímulos y aplicar la lógica para llegar a conclusiones correctas, están realizando la tarea mental de razonamiento, sin embargo, a diferencia de las decisiones instintivas, es decir, las que se realizan sobre la base de respuestas emocionales, el razonamiento cognitivo suele requerir mayores tiempos de respuesta (DeWall et al., 2008).

La lógica y el razonamiento están estrechamente vinculados y con frecuencia trabajan juntos para ayudarles a las personas a *funcionar* correctamente. Sin estos dos componentes cognitivos fundamentales, conducir racionalmente sus vidas sería muy difícil (Dahlin et al., 2008). Por otro lado, ambos hacen parte y son necesarios en los procesos mentales que los ingenieros aplican para solucionar problemas, y dado que su entorno está constantemente bombardeado con estímulos complejos que involucran numerosas características variables, deben desarrollar la capacidad lógico-interpretativa para responder a estas exigencias. La formación en estos conceptos les ayudará a desarrollar la habilidad necesaria para enfrentar esos entornos dinámicos, es decir, los ingenieros necesitan formación en lógica y en otros conceptos, que les permitan desarrollar razonamiento lógico para identificar y comprender los problemas, pero también para presentarles soluciones. Cuando logran ese desarrollo adquieren la capacidad de combinar múltiples procesos cognitivos, como la memoria, la atención, la velocidad de procesamiento y la flexibilidad, que necesitan para reconocer patrones, sacar conclusiones y tomar decisiones (Sorel and Pennequin, 2008).

### **3.2 RAZONAMIENTO LÓGICO Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

Resolver problemas en ingeniería puede ser divertido pero también puede ayudar a determinar la dirección de esta carrera, porque en ese proceso los estudiantes deben poner a prueba su lógica y habilidades de razonamiento (Hall, 1976). Alcanzar un pensamiento crítico fuerte y unas habilidades de razonamiento lógico adecuadas les

ayudará a tomar mejores decisiones y a resolver problemas con mayor eficacia. En cualquier caso, cuando los ingenieros se enfrentan a problemas deben estar lo suficientemente preparados, haber desarrollado su sentido común y habilidades para distinguir entre evidencias buenas y malas (Kline and Delia, 1990), y ser capaces de extraer conclusiones lógicas a partir de ellas:

- Las cuestiones que ponen a prueba el sentido común a menudo se presentan con escenarios de toma de decisiones. Aunque la situación puede ser ajena al ingeniero y las preguntas pueden parecer complicadas, puede encontrar la respuesta al recordar cómo dividir un problema en sus partes, y pensar lógicamente acerca de la situación. El sentido común es una característica importante que deben desarrollar estos profesionales, y a menudo se representa como un instinto ante una situación a la que responde con lo primero que le ofrezca el razonamiento. Pero conscientemente genera un proceso que le recuerda lo que es correcto y lo que es incorrecto, por lo que es conveniente que aprenda también a escuchar esta parte.
- Las pruebas de lógica deductiva a menudo miden las habilidades de razonamiento inductivo, por lo que son útiles para evaluar si una evidencia fuerte de un argumento deductivo es creíble y razonable.
- Muchos de los contextos a los que se enfrentan los ingenieros ponen a prueba sus habilidades de razonamiento, y en algunos casos necesitarán sacar conclusiones desde las evidencias. Una habilidad necesaria para responder a esto es la de asegurar una respuesta correcta mediante el proceso de eliminación. Dada las evidencias que ofrecen los contextos debe ser capaz de eliminar automáticamente algunas de las posibles respuestas.

#### **4. IMPORTANCIA DEL RAZONAMIENTO LÓGICO EN INGENIERÍA**

En general, la toma de decisiones involucra el mecanismo sensorial, la percepción, la cognición y la expresión de resultados en el cerebro (Hall, 1976). A menudo sienten, perciben, piensan, recuerdan y razonan de manera adaptativa consciente e inconsciente. A menudo, cuando los ingenieros se enfrentan a problemas o situaciones en la vida diaria, donde deben tomar una decisión, necesitan aplicar la lógica y el razonamiento lógico para alcanzar los resultados deseados, por lo que es importante que sus procesos formativos estén permeados por procesos orientados a desarrollar ambas capacidades.

Generalmente la lógica se basa en la deducción, que es un método de inferencia exacta, que trata de un estudio de razonamiento correcto conformado por lenguaje y razonamiento (Kline and Delia, 1990). Por otro lado, el razonamiento lógico implica decidir qué hacer para lograr éxito a partir de la emisión de una intención. Esta decisión se estructura mediante un conjunto de acciones viables, un conjunto de restricciones y un conjunto de posibles caminos a tomar, y la decisión consiste en encontrar la mejor secuencia de eventos, que sean admisibles y aceptables, y de acciones que permitan pasar de la intención a la acción. Cada paso entre el pensamiento y la acción se debe realizar con lógica y razonamiento lógico para alcanzar los mejores resultados, pero a menudo se aplica el sentido común para la toma de decisiones. El sentido común determina qué hacer, independientemente de lo que se piensa, y es un factor clave para el actuar de los ingenieros, porque aunque la base de sus decisiones siempre será la lógica, es probable que les ayude a enfrentar la complejidad del mundo real, además, les proporciona un acceso directo y rápido a la toma de decisiones críticas.

Otra asunto es cuando estos profesionales se enfrentan con cuestiones morales, ante las cuales muchas veces deben actuar por instinto y detenerse a razonar sobre qué hacer, ante lo cual sus acciones serán más consistentes con sus pensamientos. Frente a circunstancias difíciles o de alta importancia normalmente tienen tres posibilidades para tomar decisiones: 1) que las circunstancias de la situación sean comparables a otras que han enfrentado, 2) que el problema sea diferente de los anteriores y 3) que algunas cuestiones de la situación ya hayan sido tratadas con éxito. En cualquiera de ellas el ingeniero debe combinar los éxitos previos para producir los resultados deseados y solucionar la situación presente; pero como no puede ser especialista en cada situación necesita aplicar razonamiento lógico para proceder (Sorel and Pennequin, 2008). Otros aspectos importantes para el razonamiento lógico son:

- La lógica filosófica: dada su influencia en la vida de las personas y sus contribuciones para la solución general de problemas. Entre otras cosas ayuda a analizar los conceptos, las definiciones, las discusiones y los

problemas mismos, y contribuye a la capacidad de organizar ideas y cuestiones relacionadas con cada situación.

- Las habilidades de comunicación: porque de la forma cómo se expresa una persona depende en gran medida que otros comprendan la solución que describe. Las ideas se deben presentar a través de argumentos bien contruidos, y sistemáticos y razonados.
- Poder de persuasión: para lo que es necesario aprender a construir y defender los propios puntos de vista y para apreciar las posiciones que compiten, e indicar con firmeza porque se consideran como la mejor alternativa.
- Habilidades de escritura: lo que se logra mediante lógica y razonamiento en la realización de escritura interpretativa y argumentativa, retratando detalles de ejemplos concretos.

George Boole escribió su obra con el objetivo investigar las leyes fundamentales de las operaciones de la mente, por las cuales el razonamiento se lleva a cabo, y les dio expresión en el lenguaje simbólico del cálculo; además, creía que el razonamiento humano se guiaba por la lógica formal (Braverman, 1972). Esta visión de la lógica se remonta a Aristóteles, quien creó la lógica modal y de silogismos, e introdujo la calificación necesaria y posible a las premisas (Hintikka, 1996). Hasta hace poco la comprensión de un sistema eficaz de toma de decisiones se basaba en la lógica formal y la estadística, pero Braverman opinaba que una situación de decisión real, sin importar su nivel de complejidad, se podía descomponer mediante un proceso de reducción en sus partes constitutivas a cualquier nivel de detalle, y que la suma de las soluciones a cada componente individual daría como resultado la solución general, lo que se logra mediante una aplicación continua de razonamiento lógico.

Por otra parte, la hipótesis científica de que las personas tienen lógica inherente como base para el pensamiento racional, fue fuertemente influenciada por los escritos de Piaget y Inhelder (1969), sin embargo, una serie de estudios posteriores demostraron que la realidad es diferente. Las falacias lógicas son comunes y despiertan un interés permanente debido a que el razonamiento humano es propenso a ellas (Hintikka, 1996; Richardson, 1998). Los hallazgos en varios experimentos de razonamiento lógico demuestran que a menudo las personas cometen errores lógicos y sacan conclusiones innecesarias, pero plausibles, con base en sus creencias. La obra de Kahneman et al. (1982) respalda la opinión de que el razonamiento lógico viola sistemáticamente las normas para el razonamiento estadístico, ignorando, entre otras cosas, las tasas de base, el tamaño de la muestra y las correlaciones. En su investigación tuvieron en cuenta el razonamiento probabilístico bayesiano como criterio normativo para que un agente sea perfectamente racional, y encontraron que los humanos están sistemáticamente a la altura de la norma, con lo que concluyeron que, al parecer, el hombre no es un bayesiano conservador: no es un bayesiano en absoluto.

Richardson (Richardson, 1998) afirma que los estudios de toma de decisiones formales deben ser reemplazados por la racionalidad limitada, porque de esta manera se elimina la complejidad de las situaciones del mundo real. Un ingeniero sin formación en lógica tiene dificultades para desarrollar el razonamiento lógico, y por tanto tendrá dificultades para aislar una tarea específica de razonamiento desde su entorno y se concentrará básicamente en las premisas dadas. Evans (2002) afirma que por defecto el modo para el razonamiento lógico es pragmático y no deductivo o analítico, y que las personas tienden a seleccionar alternativas creíbles, es decir, a elegir algo que sería plausible en el mundo real en lugar de seguir las reglas razonadas lógicamente.

El razonamiento lógico, como componente central cognitivo, depende de las teorías de la comprensión, de la memoria, del aprendizaje, de la percepción visual, de la planificación, de la resolución de problemas y de la toma de decisiones (Damasio, 2003). De acuerdo con esta investigación, el cerebro tiene dos caminos complementarios para la toma de decisiones: 1) uno para el razonamiento y 2) otro para la activación inmediata de experiencias emocionales previas en situaciones semejantes. El segundo es una especie de reacción a una *sensación visceral*, que activa una señal emocional para aumentar la eficiencia del proceso de razonamiento y hacer el proceso más rápido. La diferencia en la forma como los ingenieros llevan a cabo estos procesos y como lo hacen otros profesionales es que en la mayoría de situaciones no pueden obrar por instinto, porque no lo pueden considerar como un sustituto para el razonamiento verdadero, aunque éste tome una ruta más larga. Cuando la situación requiere una respuesta el cerebro le pide imágenes relacionadas con la situación y las opciones para la acción, y de

esta forma se podrá anticipar a los resultados futuros mediante representaciones abstractas, y mediante estrategias de razonamiento lógico operará sobre ese conocimiento para producir una decisión.

Naturalmente, la dificultad en el razonamiento lógico para resolver problemas depende de factores distintos a los mecanismos de razonamiento *per se*. Si un ingeniero no logra comprender el planteamiento del problema, no entenderá la tarea que se supone debe realizar y no podrá estructurar ni formular una solución adecuada, porque sus respuestas no reflejarán un proceso de razonamiento correcto. Varias dificultades metodológicas se observan en estos procesos, pero se ha demostrado que una adecuada formación le permitiría superar esta especie de aislamiento (Rips, 1998).

Es difícil llevar a cabo algo no natural, como el razonamiento deductivo, porque la persona tiene que hacer caso omiso de los pensamientos más normales y adherirse a un caso restringido. Los ingenieros, como otros científicos, deben estar mejor preparados para pensar en sistemas restringidos y artificiales. Mortimer y Wertsch (2003) explican que el lenguaje científico tiene una gramática diferente, y que uno de los problemas por los que estudiantes no logran desarrollar un razonamiento lógico adecuado es porque son reacios al cambio y no aceptan modificar su lenguaje natural por el discurso teórico utilizado por los profesores. Por otro lado, un estudio demostró que las habilidades de argumentación dependen en gran medida de la formación en lógica, porque los sistemas *educativos* parecen concentrarse en diferentes aspectos de la capacidad de análisis y olvidan las de abstracción y de modelamiento (Marttunen et al., 2003).

El cerebro humano tiene cierta capacidad para el razonamiento lógico, pero primero necesita potencializar y en algunos casos desarrollar la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva (Tenopir and King, 2004), especialmente en las profesiones cuyo centro de actividad es la resolución de problemas, como la ingeniería. En la Tabla 1 se presenta una adaptación de la taxonomía de Bloom al desarrollo del razonamiento lógico que deben poseer los ingenieros. El logro de estas habilidades y capacidades debe ser el objetivo de los currículos en ingeniería.

**Tabla 1. Adaptación de la taxonomía de Bloom al desarrollo del razonamiento lógico**

Habilidad de	Capacidad para
Conocimiento	Recoger, describir, identificar, listar, mostrar, contar, tabular, definir, examinar, etiquetar nombrar, recontar, citar, enumerar, partir, leer, registrar, reproducir, copiar, seleccionar. Como fechas, eventos, lugares, vocabulario, ideas clave, partes de un diagrama,...
Comprensión	Asociar, comparar, distinguir, ampliar, interpretar, predecir, diferenciar, contrastar, describir, discutir, estimar, grupo, resumir, ordenar, citar, convertir, explicar, parafrasear, reafirmar, rastrear. Como encontrar significados, transferir e interpretar hechos, inferir causas y consecuencias,...
Aplicación	Aplicar, clasificar, cambiar, ilustrar, resolver, demostrar, calcular, completar, resolver, modificar, mostrar, experimentar, relacionar, descubrir, actuar, administrar, articular, trazar, recoger, computar, construir, determinar, desarrollar, establecer, preparar, producir, reportar, enseñar, transferir, utilizar. Como utilizar información en nuevas situaciones, resolver problemas,...
Análisis	Analizar, organizar, conectar, dividir, inferir, separar, clasificar, comparar, contrastar, explicar, seleccionar, ordenar, desglosar, correlacionar, diagramar, discriminar, enfocar, ilustrar, perfilar, priorizar, subdividir, señalar, priorizar. Como reconocer y explicar patrones y significados, consultar partes y totalidades,...
Síntesis	Combinar, componer, generalizar, modificar, inventar, planear, sustituir, crear, formular, integrar, reorganizar, diseñar, especular, reescribir, adaptar, anticipar, colaborar, compilar, idear, expresar, facilitar, reforzar, estructurar, sustituir, intervenir, negociar, reorganizar, validar. Como discutir <i>qué pasaría</i> ante una situación, crear nuevas ideas, predecir y sacar conclusiones,...
Evaluación	Evaluar, comparar, decidir, discriminar, medir, clasificar, probar, convencer, concluir, explicar, graduar, juzgar, resumir, apoyar, evaluar, criticar, defender, persuadir, justificar, replantear. Como hacer recomendaciones, evaluar valores y tomar decisiones, criticar ideas,...
Dominio afectivo	Aceptar, intentar, desafiar, defender, disputar, unir, juzgar, contribuir, alabar, preguntar, accionar, apoyar, colaborar. Este dominio se refleja en las relaciones interpersonales, las emociones, las actitudes y los valores.

## 5. CONCLUSIONES



El análisis realizado en este trabajo revela que los estudiantes de ingeniería, a pesar de poseer entrenamiento formal en lógica matemática, frecuentemente aplican un razonamiento pragmático cuando de resolver problemas se trata. La preferencia por este razonamiento plantea cierta preocupación sobre su capacidad para tomar buenas decisiones en la vida laboral. Debido a que en el razonamiento cotidiano de estos profesionales se requieren estrictos requisitos lógicos, los contenidos curriculares se deben estructurar con el objetivo de desarrollar en ellos una lógica diferenciadora, porque en las decisiones profesionales de ingeniería es necesario respetar una serie de reglas lógicas.

La necesidad del razonamiento lógico en la vida profesional de los ingenieros lleva a la conclusión de que la lógica y el pensamiento sistemático se deben enfatizar en la su formación. Los ingenieros deben ser capaces de seleccionar de manera adecuada un razonamiento lógico para cada situación, y de alternar entre el razonamiento cotidiano, el formal y riguroso, y la solución creativa y heurística de los problemas. Por todo esto es necesario desarrollar en ellos una buena capacidad para reflexionar acerca de las funciones cognitivas y de las habilidades meta-cognitivas. Por lo tanto, el objetivo de desarrollar la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva necesita ser abordado explícitamente en los planes de estudio.

Este análisis también indica que el lenguaje afecta más de lo esperado la capacidad de razonamiento lógico formal de los ingenieros. El resultado sugiere que el lenguaje como medio de estudio tiene un efecto más fuerte en el aprendizaje de la ciencia y la ingeniería de lo que se cree comúnmente. Si este hallazgo se confirma con estudios posteriores, se deberá prestar mayor atención a la forma como se capacita en lectura y escritura en general. Sin embargo, se necesitan más estudios para confirmar y explicar en qué medida las influencias lingüísticas influyen el desarrollo del razonamiento lógico.

La lógica y el razonamiento lógico son importantes en la formación y el desarrollo profesional de los ingenieros. En ninguna otra área del conocimiento, a excepción de las Ciencias Básicas, es tan necesaria este tipo de formación, porque a través de su adecuado desarrollo serán capaces de ampliar la gama de cosas que conocen y comprenden, de propiciar el auto-conocimiento, de comprender los problemas y de presentar soluciones eficientes y eficaces a los problemas cotidianos. Por lo tanto, los sistemas educativos y los programas curriculares deberán darle la importancia que se merecen, e incluirlas de forma relacional en los currículos. De esta manera será posible que los futuros ingenieros puedan resolver adecuadamente los complicados problemas de la sociedad del siglo XXI.

## REFERENCIAS

- Gellatly, A. (1986). "Skill at reasoning". In Gellatly, A. (Ed.), *The Skilful Mind: an Introduction to Cognitive Psychology*. Milton Keynes, Open University Press, pp. 159-170.
- Moss, J., Kotovsky, K. and Cagan, J. (2006). "The role of functionality in the mental representations of engineering students: Some differences in the early stages of expertise". *Cogn. Sci.*, Vol. 30, pp. 65-93.
- Hakkarainen, K., Palonen, T., Paavola, S. and Lehtinen, E. (2004). *Communities of Networked Expertise. Professional and Educational Perspectives*. Elsevier, Oxford, U.K.
- Faux, R. (2006). "Impact of preprogramming course curriculum on learning in the first programming course". *IEEE Trans. Educ.*, Vol. 49, No. 1, pp. 11-16.
- Eckerdal, A. and Berglund, A. (2005). "What does it take to learn 'Programming thinking'?" *Proc. 1st Int. Computing Education Research Workshop*, Seattle, WA, pp. 135-142.
- Johnson, M. and Lawson, A. (1998). "What are the relative effects of reasoning ability and prior knowledge on biology achievement in expository and inquiry classes?" *Res. Sci. Teach.*, Vol. 35, pp. 89-103.
- Capizzo, M., Nuzzo, S. and Zarcone, M. (2006). "The impact of the pre-instructional cognitive profile on learning gain and final exam of physics courses: A case study". *Eur. J. Eng. Educ.*, Vol. 31, pp. 717-727.
- Pólya, G. (1948). *How to solve it, A new aspect of mathematical method*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Epp, S. (1996). "A Cognitive Approach to Teaching Logic and Proof". In *DIMACS Symposium on Teaching Logic and Reasoning in an Illogical World*. Rutgers University, Piscataway, New Jersey.
- Gazzaniga, M.S. (2002). "The split brain revisited". *Sci. Amer.*, Vol. 12, pp. 27-31.

- Haygood, R.C. and Bourne, L.E. (1968). "Attribute and rule-learning aspects of conceptual behavior". In Wason, P.C. and Johnson-Laird, P.N. (Eds.), *Thinking And Reasoning*. Penguin Books, Middlesex, pp. 234-259.
- Carrol, J.B. (1964). *Language And Thought*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Smith, F. (1992). *To Think*. Routledge, London.
- Nigel, B. (2002). "Dovetailing language and context: teaching balanced argument in legal problem answer writing". *English for Specific Purposes*, Vol. 21, No. 4, pp. 321-345.
- Baron, J. (1994). *Thinking and Deciding*. CUP, Cambridge.
- Wason, P.C. and Johnson-Laird, P.N. (1972). *Psychology Of Reasoning: Structure and Content*. B.T. Batsford LTD., London.
- Basak, C., Boot, W.R., Voss, M.W. and Kramer, A.F. (2008). "Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults?" *Psychology and Aging*, Vol. 23, No. 4, pp. 765-77.
- Dahlin, E., Nyberg, L., Bäckman, L. and Neely, A.S. (2008). "Plasticity of executive functioning in young and older adults: Immediate training gains, transfer, and long-term maintenance". *Psychology and Aging*, Vol. 23, No. 4, pp. 720-30.
- DeWall, C.N., Baumeister, R.F. and Masicampo, E.J. (2008). "Evidence that logical reasoning depends on conscious processing". *Consciousness and Cognition*, Vol. 17, No. 3, pp. 628-45.
- Sorel, O. and Pennequin, V. (2008). "Aging of the Planning process: The role of executive functioning". *Brain and Cognition*, Vol. 66, No. 2, pp. 196-201.
- Hall, E.T. (1976). *Beyond Culture*. Doubleday, New York.
- Kline, S.L. and Delia, J.G. (1990). "Reasoning about communication and communicative skill". In Jones, B.F. and Idol, L. (Eds.), *Dimensions Of Thinking And Cognitive Instruction*. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, pp. 177-209.
- Braverman, J.D. (1972). *Probability, Logic, and Management Decisions*. McGraw-Hill, New York.
- Hintikka, J. (1996). "Inquiry as inquiry: A logic of scientific discovery". *Jaakko Hintikka Selected Papers*. Dordrecht, The Netherlands, Vol. 5.
- Piaget, J. and Inhelder, B. (1969). *The Psychology of the Child*. Basic Books, New York.
- Richardson, R.C. (1998). "Heuristics and satisficing". In W. Bechtel and G. Graham (Eds.), *A Companion to Cognitive Science*, Oxford. Blackwell, U.K., pp. 566-575.
- Kahneman, D., Slovic, P. and Tversky, A. (1982). *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge Univ. Press, U.K.
- Evans, J.S. (2002). "Logic and human reasoning: An assessment of the deduction paradigm". *Psych. Bul.*, Vol. 128, pp. 978-996.
- Damasio, A. (2003). *Looking for Spinoza. Joy, Sorrow and the Feeling Brain*. Vintage/Random House, London.
- Rips, L. (1998). "Reasoning". In W. Bechtel and G. Graham (Eds.), *A Companion to Cognitive Science*. Blackwell, Oxford, pp. 299-305.
- Mortimer, E. and Wertsch, J. (2003). "The architecture and dynamics of intersubjectivity in science classrooms". *Mind. Culture. Act.*, Vol. 10, pp. 230-244.
- Marttunen, M., Laurinen, L., Litosseliti, L. and Lund, K. (2003). "Comparison of argumentation skills among secondary school students in Finland, France and the United Kingdom". *Proc. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Conf. Intercultural Education*. Jyväskylä, Finland.
- Tenopir, C. and King, D.W. (2004). *Communication Patterns of Engineers*. IEEE Press, Piscataway, USA.

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*