 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ANÁLISIS A LA NECESIDAD DE LA LÓGICA EN LA FORMACIÓN Y EL EJERCICIO PROFESIONAL DE LOS INGENIEROS

Fabi Jackson López Daza

FACULTAD DE INGENIERÍAS
Ingeniería de Sistemas

Director
Prof. Edgar Serna M.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Febrero 2016

RESUMEN

El desempeño profesional de los ingenieros se relaciona directamente con resolver problemas, y para lograrlo deben aplicar procesos en los cuales requieren utilizar en alto grado la lógica. Pero, aunque la mayoría se esfuerza por alcanzar una comprensión adecuada del contexto del problema y del problema mismo, algunos no lo logran en los niveles que cada uno requiere, por lo que sus soluciones son menos eficientes y eficaces que las que otros ingenieros presentan. Esas diferencias puede deberse a muchas causas, entre ellas una aplicación inadecuada, equivocada o inexistente de la lógica. La intención de este trabajo es analizar la necesidad de la lógica en el proceso formativo de los ingenieros, y comprender su relación con la solución que ellos presentan a los problemas, porque en la mayoría de ocasiones estas soluciones marcan la diferencia entre países desarrollados y en vía de desarrollo.

Palabras clave: Ingeniería, lógica, destrezas, resolución de problemas.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. MARCO TEÓRICO	6
3. METODOLOGÍA.....	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
5. CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS	25
APÉNDICE (Artículo científico).....	28

1. INTRODUCCIÓN

La lógica es un amplio campo del conocimiento relacionado con todos los aspectos del razonamiento. Como tal, es fundamental para las disciplinas relacionadas con las Ciencias Computacionales, las Matemáticas, la Filosofía, la Lingüística y la Ingeniería. Mientras que el conocimiento científico se obtiene mediante la experimentación y la observación, el matemático se logra aplicando el razonamiento para probar teoremas. En matemáticas, la lógica se desarrolla a partir de lenguajes simbólicos, que se utilizan para expresar sentencias acerca de las propiedades de un sistema matemático y para identificar patrones de razonamiento correcto (Wang, 1993). Esto lleva a potencializar nuevos métodos para desarrollar el conocimiento matemático y para clarificar la naturaleza de las pruebas y la deducción. Además, es importante para estudiar las bases de las matemáticas, que se utilizan para investigar los axiomas y principios básicos que subyacen al universo de los objetos matemáticos. En las Ciencias Computacionales, el rol de la lógica se comprara al que juegan el cálculo y las ecuaciones diferenciales en la Física y la Ingeniería. Proporciona las herramientas técnicas necesarias para modelar sistemas y comprender su construcción. El razonamiento formalizado acerca de los programas de computador se utiliza para especificar lógicamente su comportamiento esperado y para demostrar su exactitud (McInerny, 2004). Los programas se pueden ver a sí mismos como pruebas en un sistema lógico apropiado.

Por su parte, la ingeniería se ha definido de muchas maneras pero siempre con un punto en común: en el que la práctica ingenieril se beneficia del producto final de la investigación científica, que excluye la faceta artística y confina a la ingeniería en una forma donde las dinámicas filosóficas, lógicas y científicas no juegan un papel importante. Pero, las innovaciones, ideas y descripciones que genera la ingeniería conducen al diseño y la planificación inteligente de la ciencia, por lo que deben incluir ingredientes filosóficos y lógicos, como antorchas que iluminan la estructuración de mejores concepciones e hipótesis, lo mismo que la imaginación artística y sus implementaciones. Por eso es que los planes de estudios en la formación en ingeniería

deben hacer hincapié en la importancia de la filosofía, la lógica y la ciencia (Serna, 2015). Sin estas bases, los ingenieros se vuelven adictos a las soluciones de casos de estudio y a utilizar el software correspondiente para formular y seguir fases en la resolución de los problemas. Así se convierten en operarios y de esta forma no aplican sus capacidades creativas para proponer mejoras o desarrollar innovaciones. La filosofía de la ciencia le proporciona dinamismo a la inteligencia creativa y al ingenio de los ingenieros, y potencializa o desarrolla su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva (Serna, 2015). Por eso es necesario formar en lógica a los ingenieros de este siglo (De Poel y Goldberg, 2010).

En este artículo se presenta un análisis a la necesidad de la lógica en la formación y el ejercicio profesional de los ingenieros. Debido a que actualmente existe una marejada de oferta de programas con el *apellido* ingeniería, hay que aclarar que cuando en el contenido se habla de carreras ingenieriles, se está haciendo referencia a las que *realmente* se pueden considerar como tal, y no a *especialidades* que muchos quieren denominar ingenierías. Porque el hecho de que un programa tenga un porcentaje muy alto de Ciencias Básicas, especialmente de Matemáticas, no lo convierte *mágicamente* en ingeniería. Se necesita una justificación sólida que lo sustente como una rama de la disciplina ingenieril, que lo ubique en un contexto ajeno a las carreras existentes y que le demuestre a la sociedad la necesidad de capacitar profesionales en el mismo. Pero la mayor parte de los que se ofrecen como ingenierías no pasan de ser sub-productos de los establecidos desde hace mucho tiempo.

2. MARCO TEÓRICO

La *lógica* se concibe como el estudio sistemático formal de los principios de la inferencia válida y el razonamiento correcto, una ciencia que se utiliza en la mayoría de las actividades intelectuales pero que se estudia y aplica principalmente en áreas como la Ingeniería, la Filosofía, la Psicología, las Matemáticas y las Ciencias Computacionales. Su importancia radica en que ayuda a razonar correctamente (Popkin y Stroll, 1993).

Entender el nivel de comprensión de la lógica y el alcance y las limitaciones de dominio que los niños y adultos alcanzan de ella es evidente para cualquier teoría cognitiva del desarrollo. Trabajos recientes en psicolingüística y neurociencia hacen hincapié en la complejidad de la gramática y la semántica del lenguaje y han dado un impulso adicional para la búsqueda de esa comprensión. En la década de los 60, varios investigadores discutieron tal nivel de comprensión y, sin tratar de revisar esta literatura en detalle, es posible citar a Piaget (1957), Inhelder y Matalon (1960), Hill (1961), McLaughlin (1963), Inhelder y Piaget (1964), Furth y Youniss (1965), Suppes (1965), Youniss y Furth (1964) y Rantala (1982). Sin embargo, ninguno de estos estudios reportó en qué medida los niños y adultos comprenden el significado lógico de la temática investigada, no definen adecuadamente la situación experimental aplicada y no proyectan el uso de los resultados para proponer cambios en los procesos formativos. Por lo que es necesario desarrollar una teoría mejor acerca del comportamiento de los niños y los adultos, lo mismo que de los cambios que requiere ese comportamiento. Asimismo, en la medida que las edades de la población se incrementan, se requiere información mucho más detallada acerca de sus hábitos lingüísticos y comprensión de la lógica a aplicar. Mediante dos experimentos estrechamente relacionados Suppes y Feldman (1969) determinaron en qué medida los niños de edad pre-escolar comprendían el significado de los conectores lógicos y de la lógica misma, con lo que contribuyeron a la acumulación de información sistemática.

Por otro lado, los seres humanos están equipados con un poderoso cerebro que los dota de conciencia y reflexión, pero una creciente tendencia en psicología cuestiona los beneficios de esa conciencia (Lieberman et al, 2002). A este respecto, DeWall, Baumeister y Masicampo (2008) aplican cuatro estudios en los que sugieren que la conciencia, como sistema de procesamiento reflexivo, es importante para desarrollar la lógica, y aportan evidencias de que el sistema de procesamiento reflexivo también *ayuda*. Presentaron la hipótesis de que el razonamiento lógico depende en gran medida del procesamiento consciente, y propusieron que

la forma de probar esta teoría sería lograr que las manipulaciones afecten sólo a uno u otro de los dos sistemas de procesamiento, dejando al otro intacto.

Halpern y Pucella (2011) examinaron cuatro enfoques para abordar el problema de la omnisciencia lógica y su potencial aplicabilidad: 1) el razonamiento sintáctico (Eberle, 1974; Moore y Hendrix, 1979; Konolige, 1986), 2) el razonamiento consiente (Fagin y Halpern, 1987), 3) el conocimiento algorítmico (Halpern, Moses y Vardi, 1994) y 4) el de los mundos imposibles (Rantala, 1982). Aunque para algunos investigadores estos enfoques poseen el mismo nivel de expresividad y pueden capturar todos los estados epistémicos, otros demuestran lo contrario. El objetivo de la investigación de Halpern y Pucella fue hacer frente a la omnisciencia lógica, es decir, a cómo elegir un enfoque y construir un modelo apropiado. Concluyeron que el enfoque de mundos imposibles es *especialmente adecuado* para representar un punto de vista subjetivo del mundo.

En este contexto, los profesionales enfrentan diversos problemas y situaciones críticas a las que deben presentar soluciones, lo que les exige mantener una actitud intrépida y un pensamiento dispuesto para enfrentar esos retos y para dilucidar inquietudes, por lo que existe un efecto disposicional relacionado con las actitudes, las motivaciones, los compromisos y las formas de pensamiento de las personas. De esta manera puede existir una aversión a la complejidad y a los temas problemáticos, sobre los cuales no se desea disponer de una reflexión analítica ni lógica (Carretero y Asensio, 2008). En este sentido se resalta el papel del deseo y las emociones, como la curiosidad, el amor y la verdad, que guían el pensamiento y el raciocinio en el quehacer profesional. Todo esto señala la importancia de la lógica en el desempeño humano en el mundo, porque las personas necesitan poner en escena su *capacidad lógica* en función de la solución de problemas, y su *capacidad propositiva y evaluativa* para crear diseños y planes, que se deben materializar de acuerdo con unos ideales y necesidades sociales (Urbanski, 2011). Un tipo de pensamiento en acción les permitirá representar la realidad externa y actuar de manera eficiente, recursiva e ingeniosa sobre ella. Posiblemente la conjugación de factores experienciales, internos, emocionales y contingentes, les proporcionará una adecuada aplicación de la lógica en su labor creadora y pensante.

3. METODOLOGÍA

La metodología para realizar este proyecto consiste en analizar la perspectiva de varios autores influyentes acerca de la necesidad de la lógica en la ingeniería; para lograrlo se plantean las siguientes fases:

1. Determinar los autores para el análisis
2. Estructurar una definición amplia y aceptada para lógica
3. Definir los criterios para determinar la importancia y aplicabilidad de la lógica
4. Vincular en un informe el análisis al pensamiento de los autores desde su relación con los criterios determinados.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Metas	1	2	3	4	5
1. Determinar y seleccionar autores	X				
2. Estructurar la definición necesaria	X				
3. Definir los criterios		X			
4. Diseñar y presentar el informe		X	X	X	X

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el pasado, para planificar, diseñar, construir, mantener y operar las obras de ingeniería, los ingenieros desarrollaban habilidades artísticas prácticas y creativas innovadoras por medio de la filosofía, la estética y las inferencias lógicas, e incluso lingüísticamente, sin ningún tipo de ecuaciones matemáticas. Más tarde, los sistemas de educación y los planes de estudios los llevaron sistemáticamente a alejarse de estas habilidades y capacidades, y los orientaron a inclinarse con mayor énfasis en métodos analíticos y numéricos que conducen a inferencias deductivas regulares y clásicas, como soluciones estándar. Aunque la inteligencia y las capacidades analíticas son ingredientes indispensables para un sistema de producción, aplicar reglas claras y duras no proporciona bases creativas en la formación en ingeniería (Davis, 2005). Esta disciplina se puede considerar como un grupo de especialidades de la civilización, que se establece para ocuparse de un conjunto de áreas de conocimiento interconectadas y para el desarrollo o potencialización de habilidades, destrezas y capacidades propias de una formación en lógica y abstracción (*Por lo menos en ramas que se puedan considerar verdaderas ingenierías*). Durante la evolución de estas actividades de conceptualización, diseño imaginativo y generación de ideas, se deben tomar acciones conjuntas mediante trabajo en equipo, que se pueden conseguir solamente mediante la consideración de principios filosóficos, lógicos y científicos (De Poel y Goldberg, 2010). Actualmente, se puede decir que en la enseñanza y en los planes de estudios de la ingeniería no existe la filosofía de la misma. Pero, debido a una interpretación imprecisa del pensamiento filosófico en el dominio ingenieril, se refiere a pensar en la ingeniería y en la tecnología como disciplinas distintas (Scharff y Dusek, 2003). La realidad es que existen interferencias ocasionales entre ambas, mediante las cuales se transfieren aspectos filosóficos en el pensamiento de la ingeniería debido a que algunas carreras (*de ingeniería real*) tienen participación activa en el desarrollo de los avances tecnológicos, tal como se evidenció en el desarrollo de la bomba atómica. Algunos pueden afirmar que no hay necesidad de incluir estos principios en la ingeniería, ya que por defecto están inmersos en la filosofía de la tecnología. Pero esto no es aceptable

debido a que los principios filosóficos, como la lógica, les ofrecen grandes beneficios a los ingenieros para el desarrollo de productos finales para la ciencia. Debido a una formación ineficiente en principios filosóficos y lógicos, la mayoría de los estudiantes de ingeniería en el mundo no puede escribir informes o artículos apropiados, y porque los fundamentos lógicos matemáticos son los que tienen poder en su formación (Vermaas, 2010).

Los programas de ingeniería cubren muchas de las actividades y necesidades humanas, por lo que es necesario sustentarlos en bases sólidas de razonamiento creativo, de tal forma que sus productos sean racionales y útiles para la sociedad. Pero, como lo han notado diversos autores (Taylor, 1975; Goldmann, 1990, 2004; Grimson, 2007; Serna y Zapata, 2014; Serna, 2015), desde hace tiempo estas carreras se han alejado de la filosofía básica, para orientar sus planes de estudios a inferir a través de principios lógicos en forma de ecuaciones matemáticas simbólicas finales, que sólo ayudan a educar ingenieros capacitados en cálculo. Aunque los productos finales de las investigaciones científicas en forma de ecuaciones, formulaciones, algoritmos y software son productos importantes para las carreras ingenieriles, sin sus expresiones lógicas y verbales no sería posible comunicarlos, por lo menos, entre las mismas disciplinas de ingeniería. Además, incluso ni los llamados *expertos* son capaces de *digerir* esas explicaciones lingüísticas. Con el fin de eliminar este tipo de situaciones rígidas y proporcionar un dominio para la discusión lingüística común para todos estos puntos de vista, la rama de la filosofía de la ciencia para la ingeniería, y su actividad posterior: la lógica, propone re-comenzar a incluirla en los planes de estudios y orientar a los ingenieros hacia aspectos filosóficos de la ingeniería (De Poel y Goldberg, 2010). Esto se debe que los principios de ingeniería avanzada, basados en el razonamiento filosófico y las inferencias lógicas, están obligados a jugar un papel significativo en las actividades de la ingeniería en este siglo. Estos ingredientes son necesarios para ofrecer soluciones creativas e innovadoras a los problemas actuales y futuros, mediante actividades de investigación y desarrollo ingenieril.

Los desarrollos de la ingeniería siempre han sido las piedras angulares sobre las cuales se sustenta el crecimiento y desarrollo de las civilizaciones y de la armonía social (Sen, 2012). Pero, como se mencionó antes, mientras que para desarrollar estas estructuras

los ingenieros requieren estar formados con mayor énfasis en filosofía, estética y lógica, los sistemas de educación sistemáticamente las fueron alejando para profundizar en métodos analíticos y numéricos. En los actuales planes de estudios de esta disciplina, la filosofía y la ingeniería parecen estar en conflicto, porque la primera ha sido expulsada casi completamente de los mismos (*a excepción de unos pocos profesores que todavía tienen mente abierta para tratar estos temas en sus cursos*). Entonces, ¿cómo se puede esperar que los ingenieros incorporen en sus desarrollos profesionales los aspectos artísticos, tecnológicos y humanitarios que requieren? Un ingeniero puede tener apreciaciones, disposiciones e incluso aplicaciones de acuerdo con sus pensamientos filosóficos individuales, pero no es una tendencia general en la formación en ingeniería de todo el mundo (Wallenheimer, 2003). En las últimas décadas, se buscó incorporar la ética en los programas de ingeniería como un área de la filosofía (Davis, 2005), sin embargo, otras ramas, tales como la lógica, la ontología, la metafísica, la epistemología y la estética, aunque también juegan un papel esencial en muchos de los aspectos y pensamientos ingenieriles, todavía no son tenidas en cuenta.

Los aspectos de la filosofía en la ingeniería pueden conducir a un modo de inferencia racional a través de los principios de la lógica. Aunque en los planes de estudios han estado presentes desde hace tiempo las cuestiones de la lógica aristotélica y la lógica simbólica, últimamente temas como la automatización y el modelado se trabajan bajo las reglas de lógica difusa. Pero, aunque están orientadas por principios matemáticos, se espera que su influencia incremente gradualmente en otras aplicaciones ingenieriles a través de estudios innovadores tecnológicos relacionados con la filosofía de la ingeniería. Debido a que las disciplinas de la ingeniería se entienden como carreras cuando el producto acabado de la ciencia se utiliza para desarrollar soluciones a problemas prácticos, directamente implica que esta área del conocimiento no es una tarea científica, aunque la ciencia está al servicio de la ingeniería (Goldmann, 2004).

LA INGENIERÍA

En ingeniería, los pensamientos están relacionados con cuestiones metafísicas y ontológicas, tales como imaginación, descripción y visualización de cierto problema a lo largo de una ruta de solución. Por lo tanto, se requieren interpretaciones e inferencias

filosóficas y lógicas para estructurar una solución definitiva, de entre las muchas alternativas que conducen a un efectivo proceso de toma de decisiones. Estos ingredientes filosóficos en la ingeniería son relativamente raros, comparados con la metodología, la epistemología, la ética y la estética (Scharff y Dusek, 2003). Un terreno común entre ingenieros y filósofos incluye estos temas, además de la epistemología, la metodología y la ontología. Durante décadas, estos dos grupos de especializaciones han mostrado intereses común únicamente sobre la ética, y desde hace muchos siglos en la estética, pero no en las otras cuestiones. Tal vez, la primera impresión en ambas especializaciones es hacia la idea que tienen los demás en el sentido de que sus intereses son diferentes. Pero, siempre y cuando se trate de cuestiones lingüísticas, el ejercicio profesional de los ingenieros se desplaza hacia el dominio filosófico, a fin de incrementar su capacidad para llegar a conclusiones significativas acerca de los problemas y antes de definir soluciones numéricas (Vermaas, 2010). Junto con la comprensión lingüística pre-ensamblada (filosófica y lógica), cualquier formulación o ecuación aparece como una cuestión de actividad dinámica a nombre del ingeniero.

Entre las muchas y diversas definiciones de ingeniería, se ha propuesto que consiste en la aplicación creativa de principios científicos para diseñar o desarrollar estructuras, máquinas, aparatos o procesos de fabricación, o en obras donde se utilizan por separado o en combinación; o para construirlos u operarlos con pleno conocimiento del diseño; o para predecir su comportamiento bajo condiciones específicas de operación; todo con respeto por los aspectos funcionales, económicos, operativos y de seguridad a la vida y la propiedad previstos con anterioridad (ECPD, 1982). Otros afirman que los ingenieros se deben capacitar para estructurar, presentar y desarrollar resoluciones a los problemas, utilizando sus habilidades, destrezas y capacidades además de los conocimientos desde otras áreas del conocimiento (Serna, 2013). Para lograrlo, deben haber desarrollado o potencializado:

- Pensamiento verbal y lingüístico (Filosofía)
- Razonamiento lógico (Lógica)
- Aplicación de principios metodológicos (Ciencia)
- Aprovechamiento de las formulaciones matemáticas (Matemáticas)
- Utilizar razonamiento aproximado (Lógica)
- Experiencias profesionales (Práctica)

El objetivo final de todo esto es encontrar la mejor solución: rápida, sencilla, económica y óptima. En el pasado, los ingenieros, sin la educación determinista y sistemática de estos días, eran capaces de ponderar estas habilidades de diferentes formas hasta alcanzar ese objetivo. Pero, la ingeniería ha caído en la trampa generalizada de la lectura de formulaciones y el software listo, sin el razonamiento suficiente (Grimson, 2007). Se ha convertido en una tarea mecánica para resolver problemas de acuerdo con normas, principios, algoritmos, metodologías, software y modelos pre-establecidos. Ha perdido la flexibilidad que ofrecen las habilidades mencionadas y continúa trabajando en los límites entre la ciencia y las matemáticas que surgen de las actividades científicas (Sen, 2012). De esta manera, la ingeniería se convirtió en una rama de las matemáticas aplicadas y las aplicaciones directas de los productos científicos. Los ingenieros comenzaron a correr detrás de modelos matemáticos para solucionar problemas, que solamente permiten analizar y probar posibles soluciones. Y, cuando no se pueden obtener una solución conveniente, tratan de acomodar una de las metodologías disponibles para adaptar la salida deseada con los parámetros del modelo. Esa estandarización en la ingeniería conduce a conceptos clásicos estancados y pasivos que hacen olvidar la importancia de la lógica y el razonamiento, donde los principios científicos se aplican para la conversión y conservación óptima de los recursos naturales en las estructuras, máquinas, productos, sistemas y procesos para el beneficio de la humanidad (Meijers, 2009).

Muchos afirman que los ingenieros no pueden ser científicos, lo cual es cierto porque han sido formados sin el conocimiento de los principios filosóficos del pensamiento y sus puntos de vista críticos sólo dependen de las proposiciones científicas y matemáticas. Para un ingeniero convertirse en científico debe facultarse con los principios de la filosofía y las proposiciones lógicas que conducen a las inferencias racionales. Además, el ejercicio de la ingeniería exige filosofía, lógica y significados lingüísticos, principios que cubren vagamente los planes de estudios y los sistemas de educación actualmente (Serna, 2015a). Pero sí están llenos de formulaciones numéricas, símbolos, ecuaciones y software. El primero, y muchas veces único, contacto intensivo de ingenieros con los principios de la lógica es cuando escriben software, donde incluso un ligero error lógico provoca errores y el producto no genera resultados

correctos. La depuración de cualquier desarrollo software requiere más principios lógicos que cálculos numéricos.

La definición filosófica de la ingeniería no puede ser aceptable por sí misma, pero las actividades ingenieriles serían más productivas si se entremezclaran con aspectos filosóficos. En términos generales, la ingeniería se puede definir más como un arte y como la capacidad de hacer que los recursos naturales estén disponibles para el servicio humano, después de combinar los efectos de la filosofía, la lógica y las inferencias científicas. Estas dos palabras, capacidad y arte, solamente pueden explicarse filosóficamente. Las teorías científicas y los resultados son producidos por científicos y como usuarios finales de esos productos, los ingenieros no pueden ser científicos; pero, a través de los principios de la filosofía de la ciencia pueden entrar en estrecho contacto con los científicos. Después de todo, los científicos facultados con filosofía de la ciencia y cualquier ingeniero en la misma condición con la filosofía de la ingeniería, pueden encontrar puntos comunes de discusión y de análisis (Grimson, 2007). Por desgracia, sin la filosofía de la ingeniería, los ingenieros se limitan solamente a las aplicaciones restrictivas de los resultados científicos. Con el fin de evitar esta situación, deben desarrollar o potencializar una facultad de pensamientos filosóficos, además de implementaciones éticas y estéticas. Concentrándose especialmente en la lógica junto con el análisis de las funciones técnicas (Vermaas, 2010).

En general, la filosofía, la ciencia y la ingeniería tienen como objetivo fines prácticos. Buscarlos no estimula reflexiones filosóficas sino reglas prácticas de pensamiento. La adquisición de conocimientos es un componente integral de la ingeniería, lo cual puede lograrse a través de investigaciones científicas teóricas. Por esta razón, muchas teorías de la física, la química, la biología, la mecánica y las Ciencias Computacionales, entre otras, pueden ser desarrolladas solamente en laboratorios de ingeniería, que generan datos experimentales para futuras investigaciones con profundidad científica. Por eso es que muchas teorías científicas, que buscan conocimiento acerca de las actividades ingenieriles involucradas, sin duda deberían ser de interés para los filósofos, y viceversa. Se han formulado diversas preguntas acerca de cómo los productos físicos de la ingeniería pueden ayudar a adquirir el conocimiento del mundo (Hacking, 1967): ¿cuál es exactamente el papel de los objetos fabricados en la búsqueda de

conocimiento? ¿Qué grado de fiabilidad tienen? Estas son cuestiones que solamente encuentran respuestas desde la filosofía. La ingeniería puede ser vista como la entrega de conocimientos mediante una ruta mucho más directa que como lo hace la ciencia. Pero en filosofía hay una distinción entre *saber qué* y *saber cómo*. Una persona puede saber que la isla de Cuba se encuentra en el mar Caribe, además de saber cómo conducir un auto. Esta importante distinción está oscurecida por la simple palabra *conocimiento*, y, cuando se toma en consideración, es evidente que los ingenieros tratan de adquirir conocimiento a toda costa.

La ingeniería se ocupa de *know-how*. Los ingenieros saben cómo construir un puente que va a soportar el tráfico y cómo construir un acelerador de partículas para llevar a cabo los experimentos. Este último tipo de conocimientos representa el conocimiento en relación con algunas de las características más fundamentales de la naturaleza. Como consecuencia, la ingeniería produce conocimiento de gran valor sobre cómo controlar los materiales y procesos para lograr los resultados deseados. Es una manera de llegar a la naturaleza de las cosas (un viaje de descubrimientos tanto como ciencia). Por lo tanto, la ingeniería es un estudio de caso útil para que los filósofos se pregunten sobre el estado del conocimiento humano.

LA LÓGICA

De acuerdo con Aristóteles y Kant, la lógica es la ciencia de la demostración y el método para alcanzar la verdad. Se puede concebir como la capacidad que tiene un individuo en su cerebro para razonar sobre las diferentes situaciones que enfrenta día a día, por lo que tiene relación directa con diferentes ramas de la ciencia y el conocimiento, tales como matemáticas, psicología, Ciencias Computacionales, filosofía e ingeniería. También puede ser interpretada como la ciencia en la que se establece cómo debe actuar el pensamiento y la razón del ser humano para establecer el criterio de una verdad con base en investigaciones (Wallenheimer, 2003). Para razonar y desarrollar el pensamiento lógico se debe potencializar la creatividad y adquirir un modo diferente de ver las cosas en el mundo. Los individuos que desarrollan la lógica son creativos y poseen cualidades para el trabajo en equipo y el pensamiento crítico, y la creatividad se define como la capacidad de crear nuevas cosas para solucionar problemas o preguntas

generales de la vida diaria. Sin embargo, las ideas que surgen del pensamiento creativo se deben ordenar para poder alcanzar el mejor escenario, y es en este contexto donde se encuentra la relación entre la lógica y la creatividad (McInerny, 2004).

Para los ingenieros, la lógica es un instrumento para desarrollar el ejercicio de razonar y reflexionar sobre diferentes ideas y relacionar estudios aparentemente sin conexión: Inteligencia Artificial, razonamiento lógico, teorías de razonamiento, entre otros. Con el fin de buscar la mejor forma de ejecutar una acción, el ingeniero investiga, desarrolla y establece escenarios para separar lo correcto de lo incorrecto. La lógica ayuda a pensar correctamente y muchos la consideran, más que una ciencia, un arte para entrenar el cerebro y para desarrollar facultades cognitivas cada vez mejores. Además, es un elemento básico en la aplicación de ideas creativas. Taylor (1975) afirma que la creatividad se percibe como una jerarquía de cinco niveles:

1. Expresiva, como la capacidad de desarrollar ideas únicas
2. Técnica. Aptitud para crear productos con habilidades consumadas
3. Inventiva. Capacidad de asignar nuevos usos a los objetos de manera ingeniosa
4. Innovadora. Habilidad para pensar en nuevas soluciones a problemas establecidos
5. Emergente. Destreza para incorporar supuestos subyacentes y principios abstractos

Para ser creativas, las personas deben tener fluidez y alcanzar respuestas e ideas de manera inmediata y flexible, de tal forma que puedan modificar información o cambiar la perspectiva de algo, teniendo originalidad en las respuestas y elaborando ideas con detalles y novedosas, para que finalmente se materialicen en un producto sólido. El trabajo en equipo es fundamental, porque permite abrir la mente a nuevas ideas, nuevos puntos de vista, asumir riesgos, ser tolerantes y tener capacidad de debate (Serna y Polo, 2014). Para ser creativo se parte de un problema o pregunta sobre algo que se desea resolver, además de estar capacitado para reformular cada situación. Esto es posible en personas que han alcanzado un adecuado desarrollo lógico-interpretativo, que solamente se alcanza a través de procesos formativos en los que la lógica juega un papel fundamental (Serna, 2015). La creatividad se puede ver afectada por situaciones emocionales o motivacionales. Por eso, si el ingeniero tiene algún tipo de problema puede que su creatividad no sea la adecuada. Además, debe tener autoestima y no dejarse influenciar por las adversidades y ser capaz de hacerse sentir y oír con base en

argumentos sólidos y soportados. Muchas soluciones creativas se logran luego de un descanso por fuera del problema, porque de esta forma se despejan los pensamientos y se pueden evaluar todas soluciones posibles y las ideas estructuradas. Así es más fácil organizar los pasos para implementar acciones que conduzcan a la solución deseada. Aquí es donde cobra importancia la lógica como el estudio de las reglas del pensamiento correcto. Porque se concentra en los principios que guían el pensamiento racional y la discusión, debido a que su concepto más fundamental es el del argumento. Este concepto se debe distinguir de la discusión, observado como un debate o un desacuerdo entre diferentes personas. El concepto lógico de argumento es un conjunto de declaraciones donde una de ellas es la conclusión y las otras son las premisas, que soportan la primera. En otras palabras, es una declaración junto con la evidencia que la soporta (Suppes, 1957). Estas son algunas de las razones por las que la lógica juega un papel clave en la ciencia, porque es uno de los conceptos subyacentes que trascienden el dominio del discurso. Si no existe una discusión racional acerca de las diferentes posiciones, se deben utilizar las reglas de la lógica, las cuales no especifican el contenido de los estados, sino que indican cómo organizar las declaraciones lógicamente (Wallenheimer, 2003).

Tradicionalmente, la lógica se estudia como una rama de la filosofía, junto con la gramática y la retórica. Pero, desde mediados del siglo XIX, la lógica formal se convirtió en el fundamento de las matemáticas (Whitehead y Russell, 1967). Por otro lado, el desarrollo de la lógica formal y su aplicación en la maquinaria de la computación se considera como el fundamento de las Ciencias Computacionales. Serna y Polo (2014) argumentan que la ingeniería, junto con las matemáticas y las Ciencias Computacionales, forman un triángulo de disciplinas que, en la actualidad, viven y actúan de forma independiente, aunque se necesitan y complementan. Desde el punto de vista de la ingeniería, Serna y Zapata (2014) afirman que las matemáticas proporcionan métodos teóricos subyacentes y metodologías, mientras que las Ciencias Computacionales proporcionan, entre otras, las herramientas de modelado y simulación necesarias para el diseño ingenieril. Los puntos principales del trabajo del profesor Serna (2013, 2015) son que la lógica, con muchas de sus ramas, es un antepasado de la ingeniería; que el pensamiento lógico es fundamental para una

enseñanza exitosa de la ingeniería; que se precisa desarrollar una capacidad lógico-interpretativa y abstractiva para, poco a poco, estructurar un constantemente pensamiento lógico, desde la primaria (clases de lógica) y hasta desarrollar un razonamiento lógico y matemático en los estudios superiores.

La cuestión es que *lógica* es una palabra simple aunque su definición no es posible sin discusiones, por lo que no es sencillo llegar a una definición clara y amplia. Entre quienes desarrollan e investigan el concepto existen diferencias significativas y muchos ni siquiera intentan proporcionar una definición, por lo tanto, en la literatura este tema sigue siendo vago. Algunas definiciones simples de lógica que se pueden encontrar en la literatura son:

- Es una herramienta para distinguir entre lo verdadero y lo falso (Averroes, 1126-1198)
- Es el arte de conducir bien la razón del saber de las cosas (Antoine Arnauld 1616-1698)
- Es utilizar correctamente la razón en la investigación de la verdad (Watts, 1725)
- Es tanto la ciencia como el arte del razonamiento (Whately, 1826)
- Es la ciencia de las leyes del pensamiento discursivo (McCosh, 1870)
- Es la ciencia de las leyes más generales de la verdad (Frege, 1897)
- Es la ciencia de las operaciones del entendimiento que están al servicio de la estimación de las pruebas (Mill, 1904).
- Es la ciencia que dirige las operaciones de la mente en la consecución de la verdad (Joyce 1908).
- Es la rama de la filosofía que se ocupa de analizar los patrones de razonamiento, por el cual se llega a una conclusión a partir de un conjunto de premisas (Collins English Dictionary)
- Es el estudio sistemático formal de los principios de la inferencia válida y el razonamiento correcto (Penguin Encyclopedia)
- Es un arte cuya función es dirigir la razón para que no se incurra en error en la forma de inferir o saber (Poinset, 1955).
- Es la ciencia del razonamiento que enseña la forma de investigar una verdad desconocida en relación con una tesis (Kilwardby, 1978).

En general, la lógica ayuda a reducir las inferencias sobre cualquier fenómeno con un lenguaje natural, y el producto final es en forma de información lingüística y

conocimiento. El desarrollo de la lógica y sus principios se han originado en varias culturas antiguas, pero, a pesar que Aristóteles la estableció como disciplina, quien estableció sus fundamentos nítidos fue el filósofo musulmán Averroes, quien la define como una herramienta para distinguir entre lo verdadero y lo falso. En general, la lógica puede implicar dos patrones de razonamiento: en las formas inductivas (análisis) y en las deductivas (síntesis), con los que toma un objeto y examina en detalle sus partes componentes. El razonamiento inductivo conduce a conclusiones generales a partir de ejemplos específicos como conjunto, mientras que el razonamiento deductivo extrae conclusiones a partir de definiciones y axiomas, que considera como partes que se pueden combinar para formar un todo (Wallenheimer, 2003).

En resumen, se puede decir que la lógica genera como producto pensamientos correctos y sistemáticos (Sen, 2012), pero, por cuestiones lógicas, primero es necesario tener un tema, hecho o fenómeno para poder generar esos pensamientos sobre la base del mismo, y luego una comunicación con otras personas a través de un lenguaje. La lógica requiere comunicación y sobre todo, un lenguaje, y para lograr una adecuada información se deben cumplir las reglas gramaticales del mismo, que constituyen el conjunto de reglas lingüísticas. Por otro lado, las reglas gramaticales teóricas no son útiles sin usos prácticos. Si la lógica se piensa sin gramática no se llegará a conclusiones beneficiosas, sino a jergas y problemas diversos. En el habla cotidiana, no importan las reglas gramaticales porque están automáticamente en la memoria, pero, en un trabajo científico o ingenieril, ese automatismo no es válido. Hay que razonar el conocimiento a través de los pensamientos y reflejar sus significados en el discurso, y luego reflexionar profundamente sobre las diversas interpretaciones y posibles relaciones (Sen, 2014). Se debe tener en cuenta que en la ciencia no hay dificultades, sino que una lógica simple y un razonamiento crítico conducen al nivel científico.

INGENIERÍA Y LÓGICA

Para los propósitos de este artículo, los conceptos de la lógica y la ingeniería se deben interpretar liberalmente. La ingeniería se relaciona con hacer y construir cosas en general, que dan cuenta de un propósito preconcebido. La lógica es la esfera de la verdad *a priori* formal mediante razonamiento estructurado, que abarca a las

matemáticas y que es crucial para la ingeniería, debido a que apoya la construcción y explotación de los modelos abstractos o matemáticos. La ingeniería se concibe como una disciplina cada vez más dominada por técnicas de modelado, que permiten la construcción y evaluación de un diseño antes de la fabricación física de su implementación. El contenido intelectual cada vez más dominante en ella es la resolución de problemas, por lo que sus profesionales requieren desarrollar una lógica práctica. Las revoluciones científicas e ingenieriles se han logrado después de una aplicación efectiva de las reglas lógicas, y a fin de tener éxito en este tipo de estudios innovadores, esas reglas deben ser deducidas para una manipulación más eficaz del conocimiento y la información.

Durante siglos, la lógica clásica propuesta por Aristóteles ha jugado un papel principal en muchas inferencias filosóficas y metodologías científicas, y ha proporcionado teorías expresivas efectivas y simples bien desarrolladas. Inicialmente, en los aspectos de la ingeniería se refirió como *ingeniería lógica*, debido a que también se aceptó que un ingeniero era una persona que diseña, hace, o pone en uso práctico (Davidson, Seaton y Simpson, 1994). Pero, las tareas de razonamiento de los ingenieros se pueden lograr mediante buenos lenguajes formales, porque tienen una sintaxis y una semántica precisas. Estas tareas son importantes cuando hay inferencias y por lo tanto se requiere una condición adicional en la noción de lenguaje formal, es decir, se debe proporcionar un cálculo que defina algún tipo de relación de consecuencia.

La mente tiene diferentes conocimientos y formas de generar información, entre las cuales la inferencia racional es la que se puede derivar de la arena filosófica de los pensamientos, razonando hacia la identificación de relaciones entre causas y resultados finales. El medio más primitivo, y eficaz, de tales derivaciones son los principios lógicos. Los ingenieros, sin la formación adecuada en lógica, no son capaces de identificar fácilmente, racional o experimentalmente, las relaciones mutuas entre más de dos variables: la causa (antecedente, entrada) y el resultado (consecuente, salida). Por eso es que para comprender la relación entre la lógica y la ingeniería es necesario formular dos preguntas fundamentales. 1) la primera se refiere a la proporcionalidad: ¿la relación entre las dos variables es directa o indirectamente proporcional? Esto es importante para el ejercicio profesional de los ingenieros porque se trata es de resolver

problemas, y este tipo de relación se puede lograr intuitivamente después razonar a la luz de la información disponible y establecida por los principios lógicos. Por eso es que la respuesta a la pregunta proporciona el tipo de relación requerida para el contexto de la situación-problema.

La segunda es averiguar si ¿esa relación es lineal o no-lineal? que, en muchos casos, puede no ser respondida correctamente por el pensamiento lógico racional. En tales casos, la experimentación, ya sea en el laboratorio, en el campo o mediante observaciones, proporciona el tipo necesario de la relación. A lo largo de la historia de la ciencia y la ingeniería, las leyes científicas casi siempre se relacionan de manera muy sencilla, y por tanto, todas indican linealidad, aunque pueden tener comportamientos no-lineales. Las leyes de Newton, Hooke, Hubble, Ohm, Fick y Fourier aparecen en forma de una linealidad que expresa la relación entre dos variables, una dependiente y otra independiente. Con el fin de ajustarlas a condiciones aplicables en la ingeniería, los investigadores plantean hipótesis o restricciones en sus aplicaciones, por lo que un punto importante en todas las leyes y formulaciones de la ingeniería, es que las variables se consideran de manera integral. Esto equivale a decir que se visualizan como un todo, sin ninguna sub-degradación. La importancia de cultivar el desarrollo de la capacidad de pensamiento lógico en los ingenieros ha sido fuertemente subrayada por diversos autores en filosofía (Cosmides, 1989; Oslapas, 1993; Wright, 1994; Sen, 2014). Muchas empresas incluyen pruebas de aptitud lógica para el ingreso a un empleo, por lo que la capacidad de pensamiento lógico se utiliza como criterio en las decisiones de admisión en las universidades. Y esta habilidad es necesaria en el ejercicio profesional ingenieril, porque de otra manera los ingenieros no podrían hacerse a una idea lógica de los problemas.

En relación con este tema, Taylor, Einstein e Infeld (1938), afirman que, en muchas ocasiones, formular el problema es más importante que su solución, y que esto puede ser simplemente una cuestión de habilidad matemática o experimental. Pero, desde la razón de ser de la ingeniería siempre se piensa en producir, crear y hacer cosas innovadoras, que aporten al desarrollo y automatización de diversas actividades. Esa forma de pensar se inicia desde el surgimiento de una idea, que, al aplicar los principios lógicos, es posible unir cada pieza como en un rompecabezas, para realizar esos

desarrollos. En muchos casos, el ingeniero realiza nuevos desarrollos, porque puede partir del hecho de cuestionar algo ya existente y pensar en otras formas cómo mejorarlo o construirlo. Estos profesionales piensan de esa forma porque su cerebro concatena ideas continuamente y puede analizar el problema desde diferentes puntos de vista. De esta manera, aplican los principios de la lógica para buscar posibles soluciones, y encuadran sus pensamientos en un orden correcto que los lleva finalmente a encontrar una solución. Por eso es que los ingenieros deben estar expuestos a un aprendizaje continuo y al desarrollo o potencialización de su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva, porque de esta forma se capacitan para estructurar opciones y generar ideas desde los primeros semestres de su carrera (Serna, 2015). Para Zadeh (1973), cuando el estudiante desarrolla esta capacidad, enlaza conclusiones y condiciones de forma lógica, algo parecido al trabajo en Inteligencia Artificial para mejorar la eficiencia del razonamiento automatizado, aunque guardando las proporciones.

El mundo de hoy les exige a los profesionales de la ingeniería tener un sentido de análisis y de razonamiento cada vez más profundo cuando se enfrentan a una problemática. Por eso es que un ingeniero debe hacer uso de la ciencia y la lógica para analizar, modelar y construir escenarios para el desarrollo de soluciones. Sin embargo, estas habilidades no se desarrollan solamente con fórmulas o modelos matemáticos, porque tienen una relación directa con el razonamiento lógico, que se constituye en la base mental con la que el ingeniero evalúa los modelos propuestos y analiza las estimaciones y resultados para comprobar sus teorías. Lamentablemente, en las universidades, los planes de estudios no tienen el nivel ni la profundidad para una formación y aplicación efectiva de la lógica, que les ayude a los estudiantes a desarrollar su razonamiento y a experimentar la aplicación en los problemas reales.

5. CONCLUSIONES

El trabajo de los ingenieros consiste en aplicar conocimiento para la resolución de problemas, que en este siglo presentan altos niveles de complejidad. Por eso es que los planes de estudios en sus diferentes disciplinas se deben apropiarse de los principios de la lógica, porque de otra forma no estarán en capacidad de ser buenos solucionadores. No se puede negar que la visión lógico-matemática es importante, pero se debe reconocer que no es la única que requieren estos profesionales. Porque las soluciones que proponen se enmarcan en situaciones en las que, mayoritariamente, se involucran seres humanos, y comprenderlas desde una visión solamente matemática no les brinda la posibilidad de adelantarse a situaciones que ni ésta ni los computadores son capaces de predecir.

Otra cuestión referida en este artículo es acerca de las verdaderas ingenierías. Resulta que las universidades se han propuesto abrir programas que ofrecen el título de ingenieros a sus profesionales, que sustentan con planes de estudios saturados de Ciencias Básicas. Pero en este siglo, cuando el conocimiento se ha dividido en muchas especialidades, la respuesta no es ofrecer carreras para cubrir cada pequeño apartado del mismo. Como en la medicina, la ingeniería se ha llenado de especialidades, no de profesiones. Esto quiere decir que sin la sociedad necesita un ingeniero en un área de conocimiento específica, la respuesta no debería ser abrir un programa ingenieril como respuesta. La solución lógica es tomar la ingeniería más relacionada y ofrecer una especialidad a sus profesionales para cubrir esa necesidad. Si en medicina se procediera así, las universidades podrían tener en este momento más de 100 programas de medicina diferentes, pero, por el contrario, solamente existe uno con una amplia cantidad de especialidades que responden a las demandas sociales y científicas.

Por otro lado, para los autores consultados es extraño lo que pasa en algún momento en los sistemas de educación, porque inicialmente la lógica y la filosofía eran componentes básicos de los planes de estudios de los programas de ingeniería y luego fueron retirados de los mismos. Aunque sin llegar a afirmar que *todo tiempo*

pasado fue mejor, otros pensadores y la misma sociedad se preguntan ¿por qué las soluciones que presentaban los ingenieros de entonces eran más eficientes y efectivas de las que se entregan hoy? Esto no quiere decir que los problemas de la ingeniería actual se solucionen con integrar los principios de la lógica en los planes de estudios de las ingenierías, porque los factores que se deben tener en cuenta son muchos. Pero los autores estamos convencidos que hacerlo serviría enormemente. Los ingenieros deben desarrollar o potencializar su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva, y esto se logra si tienen formación en los principios básicos de la lógica. Porque son las herramientas que les permitirán alcanzar el razonamiento lógico suficiente para analizar, comprender, modelar y comunicar sus interpretaciones a los problemas, y para estructurar una solución fiable y acorde con las necesidades sociales.

REFERENCIAS

- Carretero, M. y Asensio, M. (2008). *Psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza Editorial.
- Cosmides, L. (1989). The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? *Studies with the Wason selection task*. *Cognition* 31, pp. 187-276.
- Davidson, G., Seaton, M y Simpson, J. (1994). *The Wordsworth concise English dictionary*. Wordsworth reference. Hertfordshire: Wordsworth Editions Ltd.
- Davis, M. (2005). *Thinking like an engineer - Studies in the ethics of a profession*. New York: Oxford University Press.
- De Poel, I. y Goldberg, D. (2010). *Philosophy and engineering - An emerging agenda*. Dordrecht: Springer.
- DeWall, C.; Baumeister, R. y Masicampo, E. (2008). Evidence that logical reasoning depends on conscious processing. *Consciousness and Cognition* 17, pp. 628-645.
- Eberle, R. (1974). A logic of believing, knowing and inferring. *Synthese* 26, pp. 356-382.
- ECPD (1982). *Encyclopedia of Science and Technology*. Engineers' Council for Professional Development and Canons of ethics for engineers. USA: McGraw-Hill.
- Fagin, R. y Halpern, J. (1987). Belief, awareness, and limited reasoning. *Artificial Intelligence* 34, pp. 39-76.
- Furth, H. y Youniss, J. (1965). The influence of language and experience on discovery and use of logical symbols. *British Journal of Psychology*, Vol. 56, No. 4, pp. 381-390.
- Goldmann, S. (1990). *Philosophy, engineering and western culture*. In Durbin, P. (Ed.), *Broad and narrow interpretation of philosophy of technology* (pp. 125-152). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Goldmann, S. (2004). Why we need a philosophy of engineering: A work in progress. *Interdisciplinary Science Review* 29(2), pp. 163-176.
- Grimson, W. (2007). *Engineering - An inherently philosophical enterprise*. In Cristensen, S., Meganck, M. y Delahousse, B. (Eds.), *Philosophy in engineering* (pp. 89-102). Aarhus: Academica.
- Hacking, I. (1967). Slightly more realistic personal probability. *Philosophy of Science* 34(4), pp. 311-325.
- Halpern, J. y Pucella, R. (2011). Dealing with logical omniscience: Expressiveness and pragmatics. *Artificial Intelligence* 175, pp. 220-235.
- Halpern, J.; Moses, Y. y Vardi, M., (1994). Algorithmic knowledge. In 5th Conference on Theoretical Aspects of Reasoning about Knowledge, TARK'94 (pp. 255-266). San Jose, California. USA.
- Hill, S. (1961). *A study of the logical abilities of children*. Unpublished doctoral dissertation, Stanford University, 1961.
- Inhelder, B. y Matalon, B. (1960). The study of problem solving and thinking. In P. Mussen (Ed.), *Handbook of research methods in child development*. New York: Wiley, pp. 421-455.

- Inhelder, B. y Piaget, J. (1964). *The early growth of logic in the child: Classification and seriation*. New York: Harper and Row.
- Kilwardby, R. (1978). *Commentaries on the Isagoge, Praedicamenta, Peri Hermeneias, Liber Sex Principiorum, and Liber divisionum*. In Lewry, P. (Ed.), *Robert Kilwardby's writings on the Logica Vetus studied with regard to their teaching and method*. PhD dissertation, University of Oxford.
- Konolige, K. (1986). *A Deduction Model of Belief*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Lieberman et al. (2002). *Reflection and Reflexion: A Social Cognitive Neuroscience Approach to Attributional Inference*. *Advances in Experimental Social Psychology* 34, pp. 199-249.
- McInerney, D. (2004). *Being Logical*. New York: Random House.
- McLaughlin, G. (1963). *PsychOlogic: A possible alternative to Piaget's formulation*. *British Journal of Educational Psychology*, Vol. 33, No. 1, pp. 61-67.
- Meijers, A. (2009). *Philosophy of technology and engineering sciences - Handbook of the philosophy of science*. USA: Elsevier.
- Moore, R. y G. Hendrix (1979). *Computational models of beliefs and the semantics of belief sentences*. Technical Note 187. Menlo Park: SRI International.
- Oslapas, A. (1993). *Beyond brainstorming: Creative problem-solving techniques*. *Proceedings Frontiers in Education Conference* (pp. 55-65). Washington, USA.
- Piaget, J. (1957). *Logic and psychology*. New York: Basic Books.
- Poinsot, J. (1955). *The material logic of John of St. Thomas*. Chicago: University of Chicago Press.
- Popkin, R. y Stroll, A. (1993). *Philosophy Made Simple*. UK: Random House Digital, Inc.
- Rantala, V. (1982). *Impossible world's semantics and logical omniscience*. *Acta Philosophica Fennica* 35, pp. 18-24.
- Scharff, R. y Dusek, V. (2003). *Philosophy of technology: The technological condition*. Ananthology. Oxford: Blackwell Publishing.
- Sen, Z. (2012). *Engineering science and philosophy*. *International Research Journal of Engineering Science, Technology and Innovation* 1(1), pp. 14-25.
- Sen, Z. (2014). *Philosophical, logical and scientific perspectives in engineering*. London: Springer.
- Serna, M.E. (2013). *Logic in Computer Science*. *Revista Educación en Ingeniería* 8(15), pp. 62-68.
- Serna, M.E. (2015). *La capacidad lógico-interpretativa y abstractiva*. Medellín: Fondo Editorial ITM.
- Serna, M.E. (2015a). *Por qué falla el sistema de educación*. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Serna, M.E. y Polo, J.A. (2014). *Logic and abstraction in engineering education: A necessary relationship*. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología* XV(2), pp. 299-310.
- Serna, M.E. y Zapata, A.F. (2014). *Approach to Logic and Abstraction in the Engineering Training*. *Revista Internacional de Educacion y Aprendizaje* 2(1), pp. 35-47.
- Suppes, P. (1957). *Introduction to Logic*. New York: D. van Nostrand Company.

- Suppes, P. (1965). On the behavioral foundations of mathematical concepts. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, Vol. 30, No. 1, pp. 60-96.
- Suppes, P. y Feldman, S. (1969). Young Children's Comprehension of Logical Connectives. *Journal of Experimental Child Psychology*, Vol. 12, No. 3, pp. 304-317.
- Taylor, A., Einstein, A. y Infeld, L. (1938). *The evolution of physics: The Growth of ideas from early concepts to relativity and quanta*. New York: Simon and Schuster.
- Taylor, I (1975). An emerging view of creative actions. In Taylor, I. y Getzels, J. (Eds.), *Perspectives in Creativity*. Chicago: Aldine.
- Urbanski, M. (2011). Logic and Cognition: Two Faces of Psychologism. *Logic and Logical Philosophy* 20, pp. 175-185.
- Vermaas, P. (2010). Focusing philosophy of engineering: Analysis of technical functions and beyond. In Van de Poel, I. y Goldberg, D. (Eds), *Philosophy and engineering - An emerging agenda* (pp. 61-73). USA: Springer.
- Wallenheimer, T. (2003). *Logic that works*. USA: Kendall Hunt Publishing Company.
- Wang, H. (1993). *Popular lectures on mathematical logic*. New York: Dover Publications.
- Whitehead, A. y Russell, B. (1967). *Principia Mathematica*. UK: Cambridge University Press.
- Wright, P. (1994). *Introduction to engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Youniss, J. y Furth, M. G. (1964). Attainment and transfer of logical connectives in children. *Journal of Educational Psychology*, Vol. 55, No. 6, pp.357-361.
- Zadeh, L. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics SMC-3(1)*. Pp. 28-44.

APÉNDICE (Artículo científico)

La lógica en la formación y el ejercicio profesional de los ingenieros

Logic in the training and practice of engineers

Edgar Serna M., Fabi López D.

Resumen

Para resolver los problemas complejos y complicados de la sociedad actual, los ingenieros deben desarrollar o potencializar su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva. Esto se debe a que en su ejercicio profesional deben analizar, comprender, modelar y comunicar esos problemas, que son actividades mentales y prácticas en la que el razonamiento lógico juega un papel esencial. Pero, de forma generalizada, la formación de ingenieros está dominada exclusivamente por los principios matemáticos y de operación de herramientas software, construidas para realizar interpretaciones y presentar soluciones. En este artículo se analiza y sustenta la necesidad de incluir la lógica en los planes de estudios de las disciplinas ingenieriles (verdaderas ingenierías), para que los profesionales puedan presentar soluciones fiables a los problemas reales.

Palabras clave: Resolución de problemas, ingenio, razonamiento lógico, creatividad.

Abstract

Keywords: Problem-solving, wit, logical reasoning, creativity.

INTRODUCCIÓN

La lógica es un amplio campo del conocimiento relacionado con todos los aspectos del razonamiento. Como tal, es fundamental para las disciplinas relacionadas con las Ciencias Computacionales, las Matemáticas, la Filosofía, la Lingüística y la Ingeniería. Mientras que el conocimiento científico se obtiene mediante la experimentación y la observación, el matemático se logra aplicando el razonamiento para probar teoremas. En matemáticas, la lógica se desarrolla a partir de lenguajes simbólicos, que se utilizan para expresar sentencias acerca de las propiedades de un sistema matemático y para identificar patrones de razonamiento correcto (Wang, 1993). Esto lleva a potencializar nuevos métodos para desarrollar el conocimiento matemático y para clarificar la naturaleza de las pruebas y la deducción. Además, es importante para estudiar las bases de las matemáticas, que se utilizan para investigar los axiomas y principios básicos que subyacen al universo de los objetos matemáticos. En las Ciencias Computacionales, el rol de la lógica se comprara al que juegan el cálculo y las ecuaciones diferenciales en la Física y la Ingeniería. Proporciona las herramientas técnicas necesarias para modelar sistemas y comprender su construcción. El razonamiento formalizado acerca de los programas de computador se utiliza para especificar lógicamente su comportamiento esperado y para demostrar su exactitud (McInerny, 2004). Los programas se pueden ver a sí mismos como pruebas en un sistema lógico apropiado.

Por su parte, la ingeniería se ha definido de muchas maneras pero siempre con un punto en común: en el que la práctica ingenieril se beneficia del producto final de la investigación científica, que excluye la faceta artística y confina a la ingeniería en una forma donde las dinámicas filosóficas, lógicas y científicas no juegan un papel importante. Pero, las

innovaciones, ideas y descripciones que genera la ingeniería conducen al diseño y la planificación inteligente de la ciencia, por lo que deben incluir ingredientes filosóficos y lógicos, como antorchas que iluminan la estructuración de mejores concepciones e hipótesis, lo mismo que la imaginación artística y sus implementaciones. Por eso es que los planes de estudios en la formación en ingeniería deben hacer hincapié en la importancia de la filosofía, la lógica y la ciencia (Serna, 2015). Sin estas bases, los ingenieros se vuelven adictos a las soluciones de casos de estudio y a utilizar el software correspondiente para formular y seguir fases en la resolución de los problemas. Así se convierten en operarios y de esta forma no aplican sus capacidades creativas para proponer mejoras o desarrollar innovaciones. La filosofía de la ciencia le proporciona dinamismo a la inteligencia creativa y al ingenio de los ingenieros, y potencializa o desarrolla su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva (Serna, 2015). Por eso es necesario formar en lógica a los ingenieros de este siglo (De Poel y Goldberg, 2010).

En este artículo se presenta un análisis a la necesidad de la lógica en la formación y el ejercicio profesional de los ingenieros. Debido a que actualmente existe una marejada de oferta de programas con el *apellido* ingeniería, hay que aclarar que cuando en el contenido se habla de carreras ingenieriles, se está haciendo referencia a las que *realmente* se pueden considerar como tal, y no a *especialidades* que muchos quieren denominar ingenierías. Porque el hecho de que un programa tenga un porcentaje muy alto de Ciencias Básicas, especialmente de Matemáticas, no lo convierte *mágicamente* en ingeniería. Se necesita una justificación sólida que lo sustente como una rama de la disciplina ingenieril, que lo ubique en un contexto ajeno a las carreras existentes y que le demuestre a la sociedad la necesidad de capacitar profesionales en el mismo. Pero la mayor parte de los que se ofrecen como ingenierías no pasan de ser sub-productos de los establecidos desde hace mucho tiempo.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

En el pasado, para planificar, diseñar, construir, mantener y operar las obras de ingeniería, los ingenieros desarrollaban habilidades artísticas prácticas y creativas innovadoras por medio de la filosofía, la estética y las inferencias lógicas, e incluso lingüísticamente, sin ningún tipo de ecuaciones matemáticas. Más tarde, los sistemas de educación y los planes de estudios los llevaron sistemáticamente a alejarse de estas habilidades y capacidades, y los orientaron a inclinarse con mayor énfasis en métodos analíticos y numéricos que conducen a inferencias deductivas regulares y clásicas, como soluciones estándar. Aunque la inteligencia y las capacidades analíticas son ingredientes indispensables para un sistema de producción, aplicar reglas claras y duras no proporciona bases creativas en la formación en ingeniería (Davis, 2005). Esta disciplina se puede considerar como un grupo de especialidades de la civilización, que se establece para ocuparse de un conjunto de áreas de conocimiento interconectadas y para el desarrollo o potencialización de habilidades, destrezas y capacidades propias de una formación en lógica y abstracción (*Por lo menos en ramas que se puedan considerar verdaderas ingenierías*). Durante la evolución de estas actividades de conceptualización, diseño imaginativo y generación de ideas, se deben tomar acciones conjuntas mediante trabajo en equipo, que se pueden conseguir solamente mediante la consideración de principios filosóficos, lógicos y científicos (De Poel y Goldberg, 2010).

Actualmente, se puede decir que en la enseñanza y en los planes de estudios de la ingeniería no existe la filosofía de la misma. Pero, debido a una interpretación imprecisa del pensamiento filosófico en el dominio ingenieril, se refiere a pensar en la ingeniería y en la tecnología como disciplinas distintas (Scharff y Dusek, 2003). La realidad es que existen interferencias ocasionales entre ambas, mediante las cuales se transfieren aspectos filosóficos en el pensamiento de la ingeniería debido a que algunas carreras (*de ingeniería real*) tienen

participación activa en el desarrollo de los avances tecnológicos, tal como se evidenció en el desarrollo de la bomba atómica. Algunos pueden afirmar que no hay necesidad de incluir estos principios en la ingeniería, ya que por defecto están inmersos en la filosofía de la tecnología. Pero esto no es aceptable debido a que los principios filosóficos, como la lógica, les ofrecen grandes beneficios a los ingenieros para el desarrollo de productos finales para la ciencia. Debido a una formación ineficiente en principios filosóficos y lógicos, la mayoría de los estudiantes de ingeniería en el mundo no puede escribir informes o artículos apropiados, y porque los fundamentos lógicos matemáticos son los que tienen poder en su formación (Vermaas, 2010).

Los programas de ingeniería cubren muchas de las actividades y necesidades humanas, por lo que es necesario sustentarlos en bases sólidas de razonamiento creativo, de tal forma que sus productos sean racionales y útiles para la sociedad. Pero, como lo han notado diversos autores (Taylor, 1975; Goldmann, 1990, 2004; Grimson, 2007; Serna y Zapata, 2014; Serna, 2015), desde hace tiempo estas carreras se han alejado de la filosofía básica, para orientar sus planes de estudios a inferir a través de principios lógicos en forma de ecuaciones matemáticas simbólicas finales, que sólo ayudan a educar ingenieros capacitados en cálculo. Aunque los productos finales de las investigaciones científicas en forma de ecuaciones, formulaciones, algoritmos y software son productos importantes para las carreras ingenieriles, sin sus expresiones lógicas y verbales no sería posible comunicarlos, por lo menos, entre las mismas disciplinas de ingeniería. Además, incluso ni los llamados *expertos* son capaces de *digerir* esas explicaciones lingüísticas. Con el fin de eliminar este tipo de situaciones rígidas y proporcionar un dominio para la discusión lingüística común para todos estos puntos de vista, la rama de la filosofía de la ciencia para la ingeniería, y su actividad posterior: la lógica, propone re-comenzar a incluirla en los planes de estudios y orientar a los ingenieros hacia aspectos filosóficos de la ingeniería (De Poel y Goldberg, 2010). Esto se debe que los principios de ingeniería avanzada, basados en el razonamiento filosófico y las inferencias lógicas, están obligados a jugar un papel significativo en las actividades de la ingeniería en este siglo. Estos ingredientes son necesarios para ofrecer soluciones creativas e innovadoras a los problemas actuales y futuros, mediante actividades de investigación y desarrollo ingenieril.

Los desarrollos de la ingeniería siempre han sido las piedras angulares sobre las cuales se sustenta el crecimiento y desarrollo de las civilizaciones y de la armonía social (Sen, 2012). Pero, como se mencionó antes, mientras que para desarrollar estas estructuras los ingenieros requieren estar formados con mayor énfasis en filosofía, estética y lógica, los sistemas de educación sistemáticamente las fueron alejando para profundizar en métodos analíticos y numéricos. En los actuales planes de estudios de esta disciplina, la filosofía y la ingeniería parecen estar en conflicto, porque la primera ha sido expulsada casi completamente de los mismos (*a excepción de unos pocos profesores que todavía tienen mente abierta para tratar estos temas en sus cursos*). Entonces, ¿cómo se puede esperar que los ingenieros incorporen en sus desarrollos profesionales los aspectos artísticos, tecnológicos y humanitarios que requieren? Un ingeniero puede tener apreciaciones, disposiciones e incluso aplicaciones de acuerdo con sus pensamientos filosóficos individuales, pero no es una tendencia general en la formación en ingeniería de todo el mundo (Wallenheimer, 2003). En las últimas décadas, se buscó incorporar la ética en los programas de ingeniería como un área de la filosofía (Davis, 2005), sin embargo, otras ramas, tales como la lógica, la ontología, la metafísica, la epistemología y la estética, aunque también juegan un papel esencial en muchos de los aspectos y pensamientos ingenieriles, todavía no son tenidas en cuenta.

Los aspectos de la filosofía en la ingeniería pueden conducir a un modo de inferencia racional a través de los principios de la lógica. Aunque en los planes de estudios han estado presentes desde hace tiempo las cuestiones de la lógica aristotélica y la lógica simbólica, últimamente temas como la automatización y el modelado se trabajan bajo las reglas de lógica difusa. Pero, aunque están orientadas por principios matemáticos, se espera que su influencia incremente gradualmente en otras aplicaciones ingenieriles a través de estudios innovadores tecnológicos relacionados con la filosofía de la ingeniería. Debido a que las disciplinas de la ingeniería se entienden como carreras cuando el producto acabado de la ciencia se utiliza para desarrollar soluciones a problemas prácticos, directamente implica que esta área del conocimiento no es una tarea científica, aunque la ciencia está al servicio de la ingeniería (Goldmann, 2004).

LA INGENIERÍA

En ingeniería, los pensamientos están relacionados con cuestiones metafísicas y ontológicas, tales como imaginación, descripción y visualización de cierto problema a lo largo de una ruta de solución. Por lo tanto, se requieren interpretaciones e inferencias filosóficas y lógicas para estructurar una solución definitiva, de entre las muchas alternativas que conducen a un efectivo proceso de toma de decisiones. Estos ingredientes filosóficos en la ingeniería son relativamente raros, comparados con la metodología, la epistemología, la ética y la estética (Scharff y Dusek, 2003). Un terreno común entre ingenieros y filósofos incluye estos temas, además de la epistemología, la metodología y la ontología. Durante décadas, estos dos grupos de especializaciones han mostrado intereses común únicamente sobre la ética, y desde hace muchos siglos en la estética, pero no en las otras cuestiones. Tal vez, la primera impresión en ambas especializaciones es hacia la idea que tienen los demás en el sentido de que sus intereses son diferentes. Pero, siempre y cuando se trate de cuestiones lingüísticas, el ejercicio profesional de los ingenieros se desplaza hacia el dominio filosófico, a fin de incrementar su capacidad para llegar a conclusiones significativas acerca de los problemas y antes de definir soluciones numéricas (Vermaas, 2010). Junto con la comprensión lingüística pre-ensamblada (filosófica y lógica), cualquier formulación o ecuación aparece como una cuestión de actividad dinámica a nombre del ingeniero.

Entre las muchas y diversas definiciones de ingeniería, se ha propuesto que consiste en la aplicación creativa de principios científicos para diseñar o desarrollar estructuras, máquinas, aparatos o procesos de fabricación, o en obras donde se utilizan por separado o en combinación; o para construirlos u operarlos con pleno conocimiento del diseño; o para predecir su comportamiento bajo condiciones específicas de operación; todo con respeto por los aspectos funcionales, económicos, operativos y de seguridad a la vida y la propiedad previstos con anterioridad (ECPD, 1982). Otros afirman que los ingenieros se deben capacitar para estructurar, presentar y desarrollar resoluciones a los problemas, utilizando sus habilidades, destrezas y capacidades además de los conocimientos desde otras áreas del conocimiento (Serna, 2013). Para lograrlo, deben haber desarrollado o potencializado:

- Pensamiento verbal y lingüístico (Filosofía)
- Razonamiento lógico (Lógica)
- Aplicación de principios metodológicos (Ciencia)
- Aprovechamiento de las formulaciones matemáticas (Matemáticas)
- Utilizar razonamiento aproximado (Lógica)
- Experiencias profesionales (Práctica)

El objetivo final de todo esto es encontrar la mejor solución: rápida, sencilla, económica y óptima. En el pasado, los ingenieros, sin la educación determinista y sistemática de estos días,

eran capaces de ponderar estas habilidades de diferentes formas hasta alcanzar ese objetivo. Pero, la ingeniería ha caído en la trampa generalizada de la lectura de formulaciones y el software listo, sin el razonamiento suficiente (Grimson, 2007). Se ha convertido en una tarea mecánica para resolver problemas de acuerdo con normas, principios, algoritmos, metodologías, software y modelos pre-establecidos. Ha perdido la flexibilidad que ofrecen las habilidades mencionadas y continúa trabajando en los límites entre la ciencia y las matemáticas que surgen de las actividades científicas (Sen, 2012). De esta manera, la ingeniería se convirtió en una rama de las matemáticas aplicadas y las aplicaciones directas de los productos científicos. Los ingenieros comenzaron a correr detrás de modelos matemáticos para solucionar problemas, que solamente permiten analizar y probar posibles soluciones. Y, cuando no se pueden obtener una solución conveniente, tratan de acomodar una de las metodologías disponibles para adaptar la salida deseada con los parámetros del modelo. Esa estandarización en la ingeniería conduce a conceptos clásicos estancados y pasivos que hacen olvidar la importancia de la lógica y el razonamiento, donde los principios científicos se aplican para la conversión y conservación óptima de los recursos naturales en las estructuras, máquinas, productos, sistemas y procesos para el beneficio de la humanidad (Meijers, 2009).

Muchos afirman que los ingenieros no pueden ser científicos, lo cual es cierto porque han sido formados sin el conocimiento de los principios filosóficos del pensamiento y sus puntos de vista críticos sólo dependen de las proposiciones científicas y matemáticas. Para un ingeniero convertirse en científico debe facultarse con los principios de la filosofía y las proposiciones lógicas que conducen a las inferencias racionales. Además, el ejercicio de la ingeniería exige filosofía, lógica y significados lingüísticos, principios que cubren vagamente los planes de estudios y los sistemas de educación actualmente (Serna, 2015a). Pero sí están llenos de formulaciones numéricas, símbolos, ecuaciones y software. El primero, y muchas veces único, contacto intensivo de ingenieros con los principios de la lógica es cuando escriben software, donde incluso un ligero error lógico provoca errores y el producto no genera resultados correctos. La depuración de cualquier desarrollo software requiere más principios lógicos que cálculos numéricos.

La definición filosófica de la ingeniería no puede ser aceptable por sí misma, pero las actividades ingenieriles serían más productivas si se entremezclaran con aspectos filosóficos. En términos generales, la ingeniería se puede definir más como un arte y como la capacidad de hacer que los recursos naturales estén disponibles para el servicio humano, después de combinar los efectos de la filosofía, la lógica y las inferencias científicas. Estas dos palabras, capacidad y arte, solamente pueden explicarse filosóficamente. Las teorías científicas y los resultados son producidos por científicos y como usuarios finales de esos productos, los ingenieros no pueden ser científicos; pero, a través de los principios de la filosofía de la ciencia pueden entrar en estrecho contacto con los científicos. Después de todo, los científicos facultados con filosofía de la ciencia y cualquier ingeniero en la misma condición con la filosofía de la ingeniería, pueden encontrar puntos comunes de discusión y de análisis (Grimson, 2007). Por desgracia, sin la filosofía de la ingeniería, los ingenieros se limitan solamente a las aplicaciones restrictivas de los resultados científicos. Con el fin de evitar esta situación, deben desarrollar o potencializar una facultad de pensamientos filosóficos, además de implementaciones éticas y estéticas. Concentrándose especialmente en la lógica junto con el análisis de las funciones técnicas (Vermaas, 2010).

En general, la filosofía, la ciencia y la ingeniería tienen como objetivo fines prácticos. Buscarlos no estimula reflexiones filosóficas sino reglas prácticas de pensamiento. La adquisición de conocimientos es un componente integral de la ingeniería, lo cual puede lograrse a través de

investigaciones científicas teóricas. Por esta razón, muchas teorías de la física, la química, la biología, la mecánica y las Ciencias Computacionales, entre otras, pueden ser desarrolladas solamente en laboratorios de ingeniería, que generan datos experimentales para futuras investigaciones con profundidad científica. Por eso es que muchas teorías científicas, que buscan conocimiento acerca de las actividades ingenieriles involucradas, sin duda deberían ser de interés para los filósofos, y viceversa. Se han formulado diversas preguntas acerca de cómo los productos físicos de la ingeniería pueden ayudar a adquirir el conocimiento del mundo (Hacking, 1967): ¿cuál es exactamente el papel de los objetos fabricados en la búsqueda de conocimiento? ¿Qué grado de fiabilidad tienen? Estas son cuestiones que solamente encuentran respuestas desde la filosofía. La ingeniería puede ser vista como la entrega de conocimientos mediante una ruta mucho más directa que como lo hace la ciencia. Pero en filosofía hay una distinción entre *saber qué* y *saber cómo*. Una persona puede saber que la isla de Cuba se encuentra en el mar Caribe, además de saber cómo conducir un auto. Esta importante distinción está oscurecida por la simple palabra *conocimiento*, y, cuando se toma en consideración, es evidente que los ingenieros tratan de adquirir conocimiento a toda costa.

La ingeniería se ocupa de *know-how*. Los ingenieros saben cómo construir un puente que va a soportar el tráfico y cómo construir un acelerador de partículas para llevar a cabo los experimentos. Este último tipo de conocimientos representa el conocimiento en relación con algunas de las características más fundamentales de la naturaleza. Como consecuencia, la ingeniería produce conocimiento de gran valor sobre cómo controlar los materiales y procesos para lograr los resultados deseados. Es una manera de llegar a la naturaleza de las cosas (un viaje de descubrimientos tanto como ciencia). Por lo tanto, la ingeniería es un estudio de caso útil para que los filósofos se pregunten sobre el estado del conocimiento humano.

LA LÓGICA

De acuerdo con Aristóteles y Kant, la lógica es la ciencia de la demostración y el método para alcanzar la verdad. Se puede concebir como la capacidad que tiene un individuo en su cerebro para razonar sobre las diferentes situaciones que enfrenta día a día, por lo que tiene relación directa con diferentes ramas de la ciencia y el conocimiento, tales como matemáticas, psicología, Ciencias Computacionales, filosofía e ingeniería. También puede ser interpretada como la ciencia en la que se establece cómo debe actuar el pensamiento y la razón del ser humano para establecer el criterio de una verdad con base en investigaciones (Wallenheimer, 2003). Para razonar y desarrollar el pensamiento lógico se debe potencializar la creatividad y adquirir un modo diferente de ver las cosas en el mundo. Los individuos que desarrollan la lógica son creativos y poseen cualidades para el trabajo en equipo y el pensamiento crítico, y la creatividad se define como la capacidad de crear nuevas cosas para solucionar problemas o preguntas generales de la vida diaria. Sin embargo, las ideas que surgen del pensamiento creativo se deben ordenar para poder alcanzar el mejor escenario, y es en este contexto donde se encuentra la relación entre la lógica y la creatividad (McInerny, 2004).

Para los ingenieros, la lógica es un instrumento para desarrollar el ejercicio de razonar y reflexionar sobre diferentes ideas y relacionar estudios aparentemente sin conexión: Inteligencia Artificial, razonamiento lógico, teorías de razonamiento, entre otros. Con el fin de buscar la mejor forma de ejecutar una acción, el ingeniero investiga, desarrolla y establece escenarios para separar lo correcto de lo incorrecto. La lógica ayuda a pensar correctamente y muchos la consideran, más que una ciencia, un arte para entrenar el cerebro y para desarrollar facultades cognitivas cada vez mejores. Además, es un elemento básico en la aplicación de ideas creativas. Taylor (1975) afirma que la creatividad se percibe como una jerarquía de cinco niveles:

1. Expresiva, como la capacidad de desarrollar ideas únicas
2. Técnica. Aptitud para crear productos con habilidades consumadas
3. Inventiva. Capacidad de asignar nuevos usos a los objetos de manera ingeniosa
4. Innovadora. Habilidad para pensar en nuevas soluciones a problemas establecidos
5. Emergente. Destreza para incorporar supuestos subyacentes y principios abstractos

Para ser creativas, las personas deben tener fluidez y alcanzar respuestas e ideas de manera inmediata y flexible, de tal forma que puedan modificar información o cambiar la perspectiva de algo, teniendo originalidad en las respuestas y elaborando ideas con detalles y novedosas, para que finalmente se materialicen en un producto sólido. El trabajo en equipo es fundamental, porque permite abrir la mente a nuevas ideas, nuevos puntos de vista, asumir riesgos, ser tolerantes y tener capacidad de debate (Serna y Polo, 2014). Para ser creativo se parte de un problema o pregunta sobre algo que se desea resolver, además de estar capacitado para reformular cada situación. Esto es posible en personas que han alcanzado un adecuado desarrollo lógico-interpretativo, que solamente se alcanza a través de procesos formativos en los que la lógica juega un papel fundamental (Serna, 2015). La creatividad se puede ver afectada por situaciones emocionales o motivacionales. Por eso, si el ingeniero tiene algún tipo de problema puede que su creatividad no sea la adecuada. Además, debe tener autoestima y no dejarse influenciar por las adversidades y ser capaz de hacerse sentir y oír con base en argumentos sólidos y soportados. Muchas soluciones creativas se logran luego de un descanso por fuera del problema, porque de esta forma se despejan los pensamientos y se pueden evaluar todas soluciones posibles y las ideas estructuradas. Así es más fácil organizar los pasos para implementar acciones que conduzcan a la solución deseada.

Aquí es donde cobra importancia la lógica como el estudio de las reglas del pensamiento correcto. Porque se concentra en los principios que guían el pensamiento racional y la discusión, debido a que su concepto más fundamental es el del argumento. Este concepto se debe distinguir de la discusión, observado como un debate o un desacuerdo entre diferentes personas. El concepto lógico de argumento es un conjunto de declaraciones donde una de ellas es la conclusión y las otras son las premisas, que soportan la primera. En otras palabras, es una declaración junto con la evidencia que la soporta (Suppes, 1957). Estas son algunas de las razones por las que la lógica juega un papel clave en la ciencia, porque es uno de los conceptos subyacentes que trascienden el dominio del discurso. Si no existe una discusión racional acerca de las diferentes posiciones, se deben utilizar las reglas de la lógica, las cuales no especifican el contenido de los estados, sino que indican cómo organizar las declaraciones lógicamente (Wallenheimer, 2003).

Tradicionalmente, la lógica se estudia como una rama de la filosofía, junto con la gramática y la retórica. Pero, desde mediados del siglo XIX, la lógica formal se convirtió en el fundamento de las matemáticas (Whitehead y Russell, 1967). Por otro lado, el desarrollo de la lógica formal y su aplicación en la maquinaria de la computación se considera como el fundamento de las Ciencias Computacionales. Serna y Polo (2014) argumentan que la ingeniería, junto con las matemáticas y las Ciencias Computacionales, forman un triángulo de disciplinas que, en la actualidad, viven y actúan de forma independiente, aunque se necesitan y complementan. Desde el punto de vista de la ingeniería, Serna y Zapata (2014) afirman que las matemáticas proporcionan métodos teóricos subyacentes y metodologías, mientras que las Ciencias Computacionales proporcionan, entre otras, las herramientas de modelado y simulación necesarias para el diseño ingenieril. Los puntos principales del trabajo del profesor Serna (2013, 2015) son que la lógica, con muchas de sus ramas, es un antepasado de la ingeniería; que

el pensamiento lógico es fundamental para una enseñanza exitosa de la ingeniería; que se precisa desarrollar una capacidad lógico-interpretativa y abstractiva para, poco a poco, estructurar un constantemente pensamiento lógico, desde la primaria (clases de lógica) y hasta desarrollar un razonamiento lógico y matemático en los estudios superiores.

La cuestión es que *lógica* es una palabra simple aunque su definición no es posible sin discusiones, por lo que no es sencillo llegar a una definición clara y amplia. Entre quienes desarrollan e investigan el concepto existen diferencias significativas y muchos ni siquiera intentan proporcionar una definición, por lo tanto, en la literatura este tema sigue siendo vago. Algunas definiciones simples de lógica que se pueden encontrar en la literatura son:

- Es una herramienta para distinguir entre lo verdadero y lo falso (Averroes, 1126-1198)
- Es el arte de conducir bien la razón del saber de las cosas (Antoine Arnauld 1616-1698)
- Es utilizar correctamente la razón en la investigación de la verdad (Watts, 1725)
- Es tanto la ciencia como el arte del razonamiento (Whately, 1826)
- Es la ciencia de las leyes del pensamiento discursivo (McCosh, 1870)
- Es la ciencia de las leyes más generales de la verdad (Frege, 1897)
- Es la ciencia de las operaciones del entendimiento que están al servicio de la estimación de las pruebas (Mill, 1904).
- Es la ciencia que dirige las operaciones de la mente en la consecución de la verdad (Joyce 1908).
- Es la rama de la filosofía que se ocupa de analizar los patrones de razonamiento, por el cual se llega a una conclusión a partir de un conjunto de premisas (Collins English Dictionary)
- Es el estudio sistemático formal de los principios de la inferencia válida y el razonamiento correcto (Penguin Encyclopedia)
- Es un arte cuya función es dirigir la razón para que no se incurra en error en la forma de inferir o saber (Poincaré, 1955).
- Es la ciencia del razonamiento que enseña la forma de investigar una verdad desconocida en relación con una tesis (Kilwardby, 1978).

En general, la lógica ayuda a reducir las inferencias sobre cualquier fenómeno con un lenguaje natural, y el producto final es en forma de información lingüística y conocimiento. El desarrollo de la lógica y sus principios se han originado en varias culturas antiguas, pero, a pesar que Aristóteles la estableció como disciplina, quien estableció sus fundamentos nítidos fue el filósofo musulmán Averroes, quien la define como una herramienta para distinguir entre lo verdadero y lo falso. En general, la lógica puede implicar dos patrones de razonamiento: en las formas inductivas (análisis) y en las deductivas (síntesis), con los que toma un objeto y examina en detalle sus partes componentes. El razonamiento inductivo conduce a conclusiones generales a partir de ejemplos específicos como conjunto, mientras que el razonamiento deductivo extrae conclusiones a partir de definiciones y axiomas, que considera como partes que se pueden combinar para formar un todo (Wallenheimer, 2003).

En resumen, se puede decir que la lógica genera como producto pensamientos correctos y sistemáticos (Sen, 2012), pero, por cuestiones lógicas, primero es necesario tener un tema, hecho o fenómeno para poder generar esos pensamientos sobre la base del mismo, y luego una comunicación con otras personas a través de un lenguaje. La lógica requiere comunicación y sobre todo, un lenguaje, y para lograr una adecuada información se deben cumplir las reglas gramaticales del mismo, que constituyen el conjunto de reglas lingüísticas. Por otro lado, las reglas gramaticales teóricas no son útiles sin usos prácticos. Si la lógica se piensa sin gramática no se llegará a conclusiones beneficiosas, sino a jergas y problemas diversos. En el habla

cotidiana, no importan las reglas gramaticales porque están automáticamente en la memoria, pero, en un trabajo científico o ingenieril, ese automatismo no es válido. Hay que razonar el conocimiento a través de los pensamientos y reflejar sus significados en el discurso, y luego reflexionar profundamente sobre las diversas interpretaciones y posibles relaciones (Sen, 2014). Se debe tener en cuenta que en la ciencia no hay dificultades, sino que una lógica simple y un razonamiento crítico conducen al nivel científico.

INGENIERÍA Y LÓGICA

Para los propósitos de este artículo, los conceptos de la lógica y la ingeniería se deben interpretar liberalmente. La ingeniería se relaciona con hacer y construir cosas en general, que dan cuenta de un propósito preconcebido. La lógica es la esfera de la verdad *a priori* formal mediante razonamiento estructurado, que abarca a las matemáticas y que es crucial para la ingeniería, debido a que apoya la construcción y explotación de los modelos abstractos o matemáticos. La ingeniería se concibe como una disciplina cada vez más dominada por técnicas de modelado, que permiten la construcción y evaluación de un diseño antes de la fabricación física de su implementación. El contenido intelectual cada vez más dominante en ella es la resolución de problemas, por lo que sus profesionales requieren desarrollar una lógica práctica. Las revoluciones científicas e ingenieriles se han logrado después de una aplicación efectiva de las reglas lógicas, y a fin de tener éxito en este tipo de estudios innovadores, esas reglas deben ser deducidas para una manipulación más eficaz del conocimiento y la información.

Durante siglos, la lógica clásica propuesta por Aristóteles ha jugado un papel principal en muchas inferencias filosóficas y metodologías científicas, y ha proporcionado teorías expresivas efectivas y simples bien desarrolladas. Inicialmente, en los aspectos de la ingeniería se refirió como *ingeniería lógica*, debido a que también se aceptó que un ingeniero era una persona que diseña, hace, o pone en uso práctico (Davidson, Seaton y Simpson, 1994). Pero, las tareas de razonamiento de los ingenieros se pueden lograr mediante buenos lenguajes formales, porque tienen una sintaxis y una semántica precisas. Estas tareas son importantes cuando hay inferencias y por lo tanto se requiere una condición adicional en la noción de lenguaje formal, es decir, se debe proporcionar un cálculo que defina algún tipo de relación de consecuencia.

La mente tiene diferentes conocimientos y formas de generar información, entre las cuales la inferencia racional es la que se puede derivar de la arena filosófica de los pensamientos, razonando hacia la identificación de relaciones entre causas y resultados finales. El medio más primitivo, y eficaz, de tales derivaciones son los principios lógicos. Los ingenieros, sin la formación adecuada en lógica, no son capaces de identificar fácilmente, racional o experimentalmente, las relaciones mutuas entre más de dos variables: la causa (antecedente, entrada) y el resultado (consecuente, salida). Por eso es que para comprender la relación entre la lógica y la ingeniería es necesario formular dos preguntas fundamentales. 1) la primera se refiere a la proporcionalidad: ¿la relación entre las dos variables es directa o indirectamente proporcional? Esto es importante para el ejercicio profesional de los ingenieros porque se trata es de resolver problemas, y este tipo de relación se puede lograr intuitivamente después razonar a la luz de la información disponible y establecida por los principios lógicos. Por eso es que la respuesta a la pregunta proporciona el tipo de relación requerida para el contexto de la situación-problema.

La segunda es averiguar si ¿esa relación es lineal o no-lineal? que, en muchos casos, puede no ser respondida correctamente por el pensamiento lógico racional. En tales casos, la experimentación, ya sea en el laboratorio, en el campo o mediante observaciones, proporciona

el tipo necesario de la relación. A lo largo de la historia de la ciencia y la ingeniería, las leyes científicas casi siempre se relacionan de manera muy sencilla, y por tanto, todas indican linealidad, aunque pueden tener comportamientos no-lineales. Las leyes de Newton, Hooke, Hubble, Ohm, Fick y Fourier aparecen en forma de una linealidad que expresa la relación entre dos variables, una dependiente y otra independiente. Con el fin de ajustarlas a condiciones aplicables en la ingeniería, los investigadores plantean hipótesis o restricciones en sus aplicaciones, por lo que un punto importante en todas las leyes y formulaciones de la ingeniería, es que las variables se consideran de manera integral. Esto equivale a decir que se visualizan como un todo, sin ninguna sub-degradación. La importancia de cultivar el desarrollo de la capacidad de pensamiento lógico en los ingenieros ha sido fuertemente subrayada por diversos autores en filosofía (Cosmides, 1989; Oslapas, 1993; Wright, 1994; Sen, 2014). Muchas empresas incluyen pruebas de aptitud lógica para el ingreso a un empleo, por lo que la capacidad de pensamiento lógico se utiliza como criterio en las decisiones de admisión en las universidades. Y esta habilidad es necesaria en el ejercicio profesional ingenieril, porque de otra manera los ingenieros no podrían hacerse a una idea lógica de los problemas.

En relación con este tema, Taylor, Einstein e Infeld (1938), afirman que, en muchas ocasiones, formular el problema es más importante que su solución, y que esto puede ser simplemente una cuestión de habilidad matemática o experimental. Pero, desde la razón de ser de la ingeniería siempre se piensa en producir, crear y hacer cosas innovadoras, que aporten al desarrollo y automatización de diversas actividades. Esa forma de pensar se inicia desde el surgimiento de una idea, que, al aplicar los principios lógicos, es posible unir cada pieza como en un rompecabezas, para realizar esos desarrollos. En muchos casos, el ingeniero realiza nuevos desarrollos, porque puede partir del hecho de cuestionar algo ya existente y pensar en otras formas cómo mejorarlo o construirlo. Estos profesionales piensan de esa forma porque su cerebro concatena ideas continuamente y puede analizar el problema desde diferentes puntos de vista. De esta manera, aplican los principios de la lógica para buscar posibles soluciones, y encuadran sus pensamientos en un orden correcto que los lleva finalmente a encontrar una solución. Por eso es que los ingenieros deben estar expuestos a un aprendizaje continuo y al desarrollo o potencialización de su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva, porque de esta forma se capacitan para estructurar opciones y generar ideas desde los primeros semestres de su carrera (Serna, 2015). Para Zadeh (1973), cuando el estudiante desarrolla esta capacidad, enlaza conclusiones y condiciones de forma lógica, algo parecido al trabajo en Inteligencia Artificial para mejorar la eficiencia del razonamiento automatizado, aunque guardando las proporciones.

El mundo de hoy les exige a los profesionales de la ingeniería tener un sentido de análisis y de razonamiento cada vez más profundo cuando se enfrentan a una problemática. Por eso es que un ingeniero debe hacer uso de la ciencia y la lógica para analizar, modelar y construir escenarios para el desarrollo de soluciones. Sin embargo, estas habilidades no se desarrollan solamente con fórmulas o modelos matemáticos, porque tienen una relación directa con el razonamiento lógico, que se constituye en la base mental con la que el ingeniero evalúa los modelos propuestos y analiza las estimaciones y resultados para comprobar sus teorías. Lamentablemente, en las universidades, los planes de estudios no tienen el nivel ni la profundidad para una formación y aplicación efectiva de la lógica, que les ayude a los estudiantes a desarrollar su razonamiento y a experimentar la aplicación en problemas reales.

CONCLUSIONES

El trabajo de los ingenieros consiste en aplicar conocimiento para la resolución de problemas, que en este siglo presentan altos niveles de complejidad. Por eso es que los planes de estudios

en sus diferentes disciplinas se deben apropiarse de los principios de la lógica, porque de otra forma no estarán en capacidad de ser buenos solucionadores. No se puede negar que la visión lógico-matemática es importante, pero se debe reconocer que no es la única que requieren estos profesionales. Porque las soluciones que proponen se enmarcan en situaciones en las que, mayoritariamente, se involucran seres humanos, y comprenderlas desde una visión solamente matemática no les brinda la posibilidad de adelantarse a situaciones que ni ésta ni los computadores son capaces de predecir.

Otra cuestión referida en este artículo es acerca de las verdaderas ingenierías. Resulta que las universidades se han propuesto abrir programas que ofrecen el título de ingenieros a sus profesionales, que sustentan con planes de estudios saturados de Ciencias Básicas. Pero en este siglo, cuando el conocimiento se ha dividido en muchas especialidades, la respuesta no es ofrecer carreras para cubrir cada pequeño apartado del mismo. Como en la medicina, la ingeniería se ha llenado de especialidades, no de profesiones. Esto quiere decir que sin la sociedad necesita un ingeniero en un área de conocimiento específica, la respuesta no debería ser abrir un programa ingenieril como respuesta. La solución lógica es tomar la ingeniería más relacionada y ofrecer una especialidad a sus profesionales para cubrir esa necesidad. Si en medicina se procediera así, las universidades podrían tener en este momento más de 100 programas de medicina diferentes, pero, por el contrario, solamente existe uno con una amplia cantidad de especialidades que responden a las demandas sociales y científicas.

Por otro lado, para los autores consultados es extraño lo que pasa en algún momento en los sistemas de educación, porque inicialmente la lógica y la filosofía eran componentes básicos de los planes de estudios de los programas de ingeniería y luego fueron retirados de los mismos. Aunque sin llegar a afirmar que *todo tiempo pasado fue mejor*, otros pensadores y la misma sociedad se preguntan ¿por qué las soluciones que presentaban los ingenieros de entonces eran más eficientes y efectivas de las que se entregan hoy? Esto no quiere decir que los problemas de la ingeniería actual se solucionen con integrar los principios de la lógica en los planes de estudios de las ingenierías, porque los factores que se deben tener en cuenta son muchos. Pero los autores estamos convencidos que hacerlo serviría enormemente.

Los ingenieros deben desarrollar o potencializar su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva, y esto se logra si tienen formación en los principios básicos de la lógica. Porque son las herramientas que les permitirán alcanzar el razonamiento lógico suficiente para analizar, comprender, modelar y comunicar sus interpretaciones a los problemas, y para estructurar una solución fiable y acorde con las necesidades sociales.

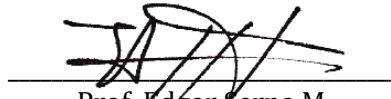
Referencias

- Cosmides, L. (1989). The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? Studies with the Wason selection task. *Cognition* 31, pp. 187-276.
- Davidson, G., Seaton, M y Simpson, J. (1994). *The Wordsworth concise English dictionary*. Wordsworth reference. Hertfordshire: Wordsworth Editions Ltd.
- Davis, M. (2005). *Thinking like an engineer - Studies in the ethics of a profession*. New York: Oxford University Press.
- De Poel, I. y Goldberg, D. (2010). *Philosophy and engineering - An emerging agenda*. Dordrecht: Springer.
- ECPD (1982). *Encyclopedia of Science and Technology. Engineers' Council for Professional Development and Canons of ethics for engineers*. USA: McGraw-Hill.
- Goldmann, S. (1990). Philosophy, engineering and western culture. In Durbin, P. (Ed.), *Broad and narrow interpretation of philosophy of technology* (pp. 125-152). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Goldmann, S. (2004). Why we need a philosophy of engineering: A work in progress. *Interdisciplinary Science Review* 29(2), pp. 163-176.

- Grimson, W. (2007). Engineering - An inherently philosophical enterprise. In Cristensen, S., Meganck, M. y Delahousse, B. (Eds.), *Philosophy in engineering* (pp. 89–102). Aarhus: Academica.
- Hacking, I. (1967). Slightly more realistic personal probability. *Philosophy of Science* 34(4), pp. 311-325.
- Kilwardby, R. (1978). Commentaries on the *Isagoge*, *Praedicamenta*, *Peri Hermeneias*, *Liber Sex Principiorum*, and *Liber divisionum*. In Lewry, P. (Ed.), *Robert Kilwardby's writings on the Logica Vetus studied with regard to their teaching and method*. PhD dissertation, University of Oxford.
- McInerney, D. (2004). *Being Logical*. New York: Random House.
- Meijers, A. (2009). *Philosophy of technology and engineering sciences - Handbook of the philosophy of science*. USA: Elsevier.
- Oslapas, A. (1993). Beyond brainstorming: Creative problem-solving techniques. *Proceedings Frontiers in Education Conference* (pp. 55-65). Washington, USA.
- Poinsot, J. (1955). *The material logic of John of St. Thomas*. Chicago: University of Chicago Press.
- Scharff, R. y Dusek, V. (2003). *Philosophy of technology: The technological condition*. Ananthology. Oxford: Blackwell Publishing.
- Sen, Z. (2012). Engineering science and philosophy. *International Research Journal of Engineering Science, Technology and Innovation* 1(1), pp. 14-25.
- Sen, Z. (2014). *Philosophical, logical and scientific perspectives in engineering*. London: Springer.
- Serna, M.E. (2013). Logic in Computer Science. *Revista Educación en Ingeniería* 8(15), pp. 62-68.
- Serna, M.E. (2015). *La capacidad lógico-interpretativa y abstractiva*. Medellín: Fondo Editorial ITM.
- Serna, M.E. (2015a). *Por qué falla el sistema de educación*. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Serna, M.E. y Polo, J.A. (2014). Logic and abstraction in engineering education: A necessary relationship. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología* XV(2), pp. 299-310.
- Serna, M.E. y Zapata, A.F. (2014). Approach to Logic and Abstraction in the Engineering Training. *Revista Internacional de Educacion y Aprendizaje* 2(1), pp. 35-47.
- Suppes, P. (1957). *Introduction to Logic*. New York: D. van Nostrand Company.
- Taylor, A., Einstein, A. y Infeld, L. (1938). *The evolution of physics: The Growth of ideas from early concepts to relativity and quanta*. New York: Simon and Schuster.
- Taylor, I (1975). An emerging view of creative actions. In Taylor, I. y Getzels, J. (Eds.), *Perspectives in Creativity*. Chicago: Aldine.
- Vermaas, P. (2010). Focusing philosophy of engineering: Analysis of technical functions and beyond. In Van de Poel, I. y Goldberg, D. (Eds), *Philosophy and engineering - An emerging agenda* (pp. 61-73). USA: Springer.
- Wallenheimer, T. (2003). *Logic that works*. USA: Kendall Hunt Publishing Company.
- Wang, H. (1993). *Popular lectures on mathematical logic*. New York: Dover Publications.
- Whitehead, A. y Russell, B. (1967). *Principia Mathematica*. UK: Cambridge University Press.
- Wright, P. (1994). *Introduction to engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Zadeh, L. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics* SMC-3(1). Pp. 28–44.



Fabi Jackson López Daza
Estudiante



Prof. Edgar Serna M.
Asesor

FECHA ENTREGA: _____

Comité trabajos de grado de la Facultad

ACEPTADO ___

RECHAZADO ___

ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

Consejo de Facultad

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____