

LOS MÉTODOS DE LA CIENCIA E INGENIERÍA COMO FUNDAMENTO PARA LA EDUCACIÓN DEL FUTURO

Matthieu Olague* y Gustavo Olague**

*Ingeniero en Mecatrónica. Gerente de proyectos en IBM Technology Campus.
matthieu.olague@ibm.com

**Doctor en Visión por Computadora. Profesor del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
gustavo.olague@ieee.org

Recibido: 11 de julio 2024.
Aceptado: 30 de agosto 2024.

Resumen

El siglo XXI está corriendo ante nuestros ojos con cambios sorprendentes en cuanto a la tecnología aplicada y el conocimiento científico. Las carreras que fueron punta de lanza en el siglo pasado están siendo discontinuadas por los avances en todas las áreas del desarrollo humano. En este artículo expondremos un “tour d’horizon” a lo que se avecina como la revolución de la educación en cuanto a los cambios en la necesidad de formar las nuevas generaciones. Esto lo abordaremos desde dos ejes principales ligados a los estudios inter-trans-multi, y meta-disciplinas. Observaremos como los dos principales métodos para la creación de conocimiento deben de servir para que enfoque-

mos la guía de ruta hacia donde dirigir los esfuerzos en el desarrollo del país. Esta propuesta integra tanto el método científico como el de la ingeniería afín de alcanzar una comprensión de como es posible generar ciencia y tecnología sin olvidar el recurso más valioso que tiene una nación y que es su gente.

Palabras clave: Inter-trans-multi-meta-disciplinas, método científico, método de la ingeniería

Abstract

The 21st century is rushing with surprising changes in applied technology and scientific knowledge. Universities are discontinuing careers at the forefront of the last century due to advances in all areas of human development. This article will present a “tour d’horizon” of what is coming as the revolution in education, focusing on the need to train new generations. We will approach this from two main axes linked to inter-trans-multi, and meta-discipline studies. We will observe how the two main methods for creating knowledge should focus the route guide toward where to direct efforts in developing the country. This proposal integrates both the scientific and engineering methods to understand how it is possible to generate science and technology without forgetting the most valuable resource a nation has, which is its people.

Keywords: Inter-trans-multi-meta-disciplines, scientific method, engineering method

Introducción

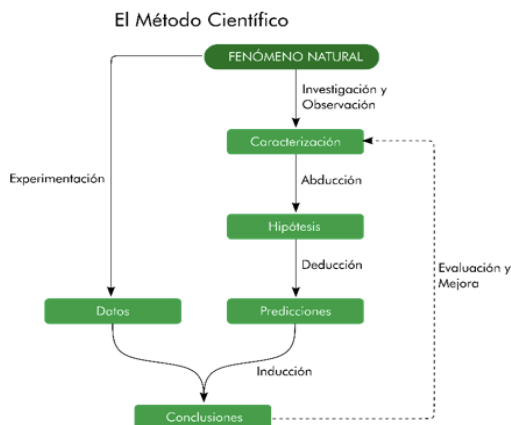
Los jóvenes tienden a cuestionarse qué carrera deberían elegir para hacer realidad sus sueños. No obstante, esta cuestión atormenta a aquellos que cursan una carrera en la educación superior. Los profesores de universidades y centros de investigación deben invertir tiempo en elaborar los planes de estudio y las carreras que se ofrecen en sus aulas y laboratorios. Se puede señalar que, en el pasado, las diversas

carreras profesionales ofrecidas se centraban en el concepto de educación alrededor de una disciplina como el caso de la matemática, ingeniería civil, electrónica, ingeniería mecánica, por mencionar algunas especialidades. Sin embargo, en este siglo nos enfrentamos cada vez más a ideas alrededor de conceptos como multi-inter-in, y trans-disciplinas (Nicolescu, 2014). ¿Pero, qué es esto?. En un diccionario etimológico podemos identificar conceptos en función de sus raíces griegas, latinas u otras. La palabra disciplina (formación, educación) se deriva de un vocablo latino que proviene de la palabra “discipulus”, que significa discípulo. La raíz disc- del verbo “discere”, que significa aprender y está relacionada con la raíz indoeuropea “dek”, y se entiende como tomar, aceptar y está presente en palabras como dogma, diestro, destreza, docente, doctrina, documento, etcétera. Además, la raíz “-cip-” del verbo capturar, agarrar relacionada con palabras con raíz “*kap-” que encontramos en palabras como capacidad, concepto, y muchas otras. El elemento “-l-” se identifica con el sufijo “-ulus” de la palabra “discipulus”, que es una forma diminutiva que se encuentra en palabras como párvulo, óvulo, célula y cálculo (piedra). Por tanto, podemos entenderlo como un campo de conocimiento caracterizado por métodos y objetos específicos. Entonces, cuando hablamos de inter, multi, trans y meta, queremos decir que, de alguna manera, hay principios diferentes y diversos que interactúan entre sí (Vanderburg, 2009).

El método científico

El método científico es un proceso de descubrimiento basado en un conjunto de principios para describir el mundo que nos rodea (Gauch, 2003). La Figura 1 muestra cómo podemos utilizar estos principios para sacar inferencias de fenómenos naturales mediante la caracterización, el razonamiento y la experimentación. En primer lugar, al investigar y examinar el mundo, los científicos pueden extraer características de la realidad. Esto implica utilizar perspectivas filosóficas e históricas para obtener la visión más completa posible del tema en cuestión.

Figura 1. Abstracción de los principios del método científico y sus conexiones.



Por un lado, los científicos siguen un proceso para caracterizar la naturaleza y formar hipótesis y predicciones a partir de sus observaciones utilizando razonamiento abductivo y deductivo.

Mientras tanto, los datos del mundo real se obtienen mediante experimentación, que luego se utiliza para probar predicciones y sacar conclusiones mediante razonamiento inductivo. El método científico es un proceso cíclico porque la generación de nuevos conocimientos depende de evaluar y mejorar características existentes de la realidad.

Investigar y observar los fenómenos naturales es uno de los pilares de la ciencia, y es a través de estas prácticas que podemos formar preguntas que aporten conocimiento. Cuanta más información confiable pueda reunir un investigador sobre un fenómeno, más recursos tendrá disponibles para encontrar posibles explicaciones a los eventos. En el caso de que sean necesarias varias disciplinas un científico o un grupo de estos tendrán la tarea de formar dicho conocimiento. El proceso de búsqueda de justificación se llama razonamiento simulado, donde las observaciones se utilizan para crear reglas, llamadas hipótesis en ciencia (Sebeok y Umiker-Sebeok, 1979). La abducción es un acto humano natural, porque es algo que hacemos de manera constante e inconsciente. Usando la imaginación y el instinto, podemos crear declaraciones que expliquen lógicamente un evento.

Supongamos que un científico intenta comprender cómo los humanos pueden llegar a integrar ideas sobre su percepción visual del mundo: ¿Cuáles son las reglas formales para llegar a conceptos válidos? Luego de investigar e identificar las explicaciones aceptadas por la sociedad científica, el científico buscó ampliar los límites del conocimiento proponiendo una nueva hipótesis. ¡A partir de su experiencia, creó una interpretación completamente nueva!

Para probar esta nueva regla, se hacen predicciones a partir de casos observados utilizando razonamiento deductivo. Es decir, partiendo de un caso básico y una regla general, se puede predecir el resultado. De esta manera, el objetivo de esta serie de pasos es encontrar la base que mejor explique o integre las ideas existentes sobre un tema.

Paralelamente, el científico en cuestión realizará una serie de pasos que le permitirán confirmar su hipótesis. A través del proceso de prueba, se recopilarán datos reales y se compararán con predicciones para sacar conclusiones mediante el razonamiento inductivo.

Este tipo de razonamiento parte de un caso básico y resultado asociado, lo que produce una formulación general, de modo que al comparar esta fórmula con la hipótesis inicial se pueden extraer conclusiones que fortalecen el punto de vista del fenómeno en estudio.

Desde esta perspectiva, los científicos dependen del progreso de los ingenieros para obtener los medios necesarios para probar con éxito sus hipótesis. En el caso de la energía nuclear, los avances en la ingeniería permitieron a los científicos mejorar y perfeccionar nuestra comprensión de la energía y de cómo producirla de forma económica. Un claro ejemplo multidisciplinar de esta coexistencia entre ciencia e ingeniería lo podemos encontrar en el caso anterior, que involucra reglas formales y capacidad tecnológica para sacar no solo conclusiones válidas sino tecnología de punta.

Aquí, los científicos preguntan qué reglas gobiernan las leyes de la materia y los ingenieros utilizan su dominio de la técnica para revisar la literatura, recopilar datos y proponer nuevos dispositivos para derivar una respuesta específica a un problema planteado. La aplicación de métodos científicos impulsados por la técnica demuestra cómo la

colaboración entre científicos e ingenieros impulsa el progreso y la comprensión en áreas importantes que trascienden las disciplinas clásicas, y destaca la necesidad continua de avances en ambos campos para mejorar nuestra comprensión del mundo y la tecnología.

Por esta razón, el método científico se considera un proceso cíclico mediante el cual se pueden utilizar inferencias lógicas para evaluar y mejorar las propiedades existentes de la realidad, contribuyendo así a la formación de nuevos conocimientos.

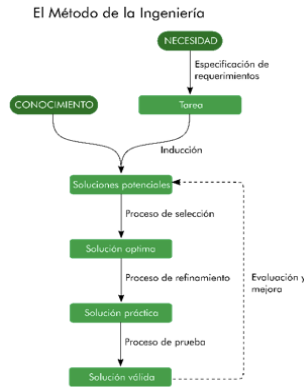
El método de la ingeniería

Los métodos de ingeniería, también conocidos como procesos de diseño de ingeniería, son un medio para crear productos y procesos funcionales con el objetivo de resolver problemas de la manera más apropiada y factible (Pahl *et al.*, 2007). Así como los científicos describen los fenómenos naturales para crear conocimiento, los ingenieros utilizan el conocimiento para desarrollar soluciones a los problemas. La importancia del método de la ingeniería radica en la comprensión de nuestro mundo (Koen, 1988). De manera similar, mientras los científicos están limitados por los datos para probar o refutar sus ideas, las soluciones de los ingenieros están limitadas por los requisitos de la tarea a realizar.

Hay algunos trabajos técnicos que tienen una mayor similitud con el método científico, como por ejemplo la investigación aplicada. Aunque ambos incluyen una fase de prueba y los resultados se comparten de manera similar a través de publicaciones, los objetivos de ambos trabajos son fundamentalmente diferentes. La investigación aplicada busca resolver problemas o métodos específicos mejorando los procesos existentes o proponiendo nuevas soluciones. Tenga en cuenta que, en este caso, el objetivo final ya no es describir un fenómeno natural, sino encontrar una manera de aplicar el conocimiento adquirido para encontrar una solución que satisfaga la necesidad. Al comprender nuestra relación con la creación de conocimiento y la búsqueda de soluciones, podemos comprender y educar mejor sobre el impacto y la importancia del trabajo que se realiza. La Figura 2 muestra

una forma de entender el flujo de trabajo de este proceso a través de un conjunto de principios básicos que pueden adaptarse al contexto específico de cada problema.

Figura 2. Resumen de los principios básicos de los métodos de ingeniería y sus relaciones.



Los ingenieros comienzan definiendo una tarea que satisfaga la necesidad y al mismo tiempo cumpla con las especificaciones de diseño. Luego se sugerirán posibles soluciones en función de la tarea y el conocimiento disponible del área. Si hay una solución óptima, se mejora, se convierte en una solución funcional y finalmente se valida mediante un proceso de prueba. Los resultados se pueden utilizar para evaluar y mejorar nuevas soluciones.

A partir de una tarea claramente definida, el ingeniero comenzará a imaginar posibles soluciones basadas en el conocimiento y la información disponibles sobre el tema. A través del proceso de selección se seleccionará la mejor solución que se adapte a sus necesidades. El diseño es entonces fundamental para comprender el proceso de la ingeniería, por lo que se conocen diferentes niveles de diseño (Haik y Shahin, 2011). Si no se encuentra una solución factible o práctica, la tarea debe redefinirse o detenerse por completo. De hecho, los expertos aventajan significativamente

a estudiantes al recolectar más información con un mayor alcance (Atman *et al.*, 2007). Después de tomar una decisión, si se encuentra una solución, se pasará por un proceso de selección para encontrar una solución viable. Finalmente, la solución debe validarse mediante una estrategia de prueba adecuada. El proceso de diseño de ingeniería, similar al método científico, también es cíclico; porque se pueden utilizar soluciones correctas para evaluar y mejorar nuevas soluciones potenciales. Asimismo, la ingeniería es fundamental para el desarrollo de la sociedad porque partiendo de sus principios podemos transformar los conocimientos desarrollados por los científicos en procesos útiles que mejoren la calidad de vida humana. El diseño del proceso de la ingeniería es relevante en la ciencia, tecnología, ingeniería y matemática que se conoce por sus siglas en inglés STEM y que se propone para mejorar la enseñanza de maestros (Lin *et al.*, 2021). Dado que el desarrollo de productos funcionales es una tarea muy compleja, el trabajo de ingeniería se puede dividir en varias etapas. En el siguiente ejemplo, mostraremos cómo aplicar el enfoque de ingeniería de forma secuencial para crear un producto final a partir de una serie de soluciones válidas interconectadas.

Ciclo combinado entre ciencia e ingeniería

En las dos secciones anteriores, presentamos ideas que nos ayudan a distinguir entre el método científico y el de ingeniería. Ahora utilizaremos estas definiciones para crear una descripción general de los roles, limitaciones e interacciones entre estos procesos. A través del método científico podemos encontrar explicaciones a diversas preguntas y confirmarlas sistemáticamente y así construir una base de conocimiento sobre el tema. Tenga en cuenta que, aunque la ciencia sirve como división entre disciplinas, solo describe y caracteriza la naturaleza.

Figura 3. Panorama general del papel de la ciencia y la ingeniería en un ciclo combinado.



La humanidad, inspirada por la naturaleza, es capaz de generar ideas más precisas mediante la aplicación repetida y secuencial de métodos científicos y técnicos.

Si nuestros objetivos van más allá de comprender la naturaleza y buscan soluciones a los problemas, comenzamos a adentrarnos en el mundo de la ingeniería. En la Figura 3 podemos ver que a medida que nos acercamos al final del campo científico encontraremos el campo de la investigación aplicada. En esta sección, se utiliza el enfoque de ingeniería para explotar el conocimiento científico para diseñar soluciones con objetivos prácticos.

La construcción de catedrales es un excelente ejemplo de cómo los conocimientos de arquitectura, geometría, así como las distintas técnicas de construcción pueden ser utilizados para encontrar soluciones innovadoras e interesantes, contribuyendo al desarrollo de las ciudades.

En la sección anterior mencionamos que las técnicas de ingeniería se pueden utilizar de forma secuencial para crear soluciones cada vez más complejas. Siguiendo la secuencia en la Figura 3, vemos que podemos usar nuevamente métodos de ingeniería, pero esta vez inspirados en un conjunto de soluciones de diseño para producir productos funcionales. Este proceso es un claro ejemplo, donde la investigación y el desarrollo continuos conducen a la creación de soluciones confiables. Además, es fundamental que el proceso de diseño de la ingeniería se implemente en los salones de

clase de ciencias para niños de preescolar, primaria y secundaria (Arik y Topçu, 2022).

Para ilustrar este concepto, considere un equipo de ingenieros que trabajan para mejorar el motor de recomendación de una plataforma de transmisión de video. Gracias a la investigación activa, las pruebas y la colaboración interna, se han creado una serie de soluciones que no solo resuelven un problema específico, sino que también contribuyen a la expansión del conocimiento general en el campo. La fase de desarrollo de productos aprovecha estas soluciones avanzadas, utilizando un enfoque de ingeniería para integrar y adaptar estos avances en un sistema funcional que satisfaga las necesidades siempre cambiantes de los usuarios.

Un ejemplo perfecto en este contexto es OpenAI, una empresa que ha aprovechado los avances en la investigación del aprendizaje profundo para crear soluciones innovadoras como ChatGPT, mostrando cómo el diseño incremental puede dar paso a productos innovadores que tienen un impacto significativo en el mundo. Otro producto destacado serán los programas de corrección de textos; por ejemplo, Grammarly basado en LISP, que es un paradigma de programación simbólica clásico.

De esta manera, podemos comprobar cómo la ciencia y la ingeniería juegan un papel importante en el desarrollo de nuestra sociedad. La naturaleza inspira a los científicos a describir el mundo, lo que a su vez inspira a los ingenieros a encontrar soluciones a los problemas; El panorama general de este proceso es como una serie de ideas cada vez mejores se asemeja a una cascada de ideas cada vez más refinada.

La era de las carreras en varias disciplinas

Como hemos visto el conocimiento especializado se refiere a una rama profunda en el contenido educativo del conocimiento de un tipo o tema en particular y que se denomina disciplina. Además, se expusieron dos métodos diferentes y complementarios para generar conocimiento teórico y práctico. El conocimiento interdisciplinario se refiere a la combinación de dos o más disciplinas académicas en una actividad específica, mientras que el conocimiento multidisciplinario se refiere al

conocimiento desde muchas perspectivas diferentes en la combinación de campos o temas de investigación o estudio.

Se puede observar que una persona puede especializarse en un nuevo campo, definido como ciencia interdisciplinaria dentro de campos científicos tradicionales como la electroquímica, la química física o la bioquímica, incluso teniendo un nombre que incluya estas disciplinas anteriores en campos completamente diferentes, como la biogeografía, biotecnología, etcétera. Así el contexto interdisciplinar incluye la relación entre disciplinas de las ciencias sociales o humanidades como la psicología integradas a las artes para ampliar la sensibilidad y habilidad (Lindauer, 2010). Normalmente, un experto con formación interdisciplinaria integrará los equipos de investigación, y esto será posible a medida que las máquinas del futuro resuelvan problemas que actualmente se consideran nuevos. En otro ejemplo, investigadores realizaron un estudio sobre actividades de aprendizaje en relación al proceso de diseño de la ingeniería en estudiantes de secundaria durante la epidemia de COVID-19, cuyo resultado muestra la necesidad de incorporar dicho modelo de aprendizaje especialmente en el contexto interdisciplinario (Precharattana *et al.*, 2023).

La multidisciplinariedad es una combinación no integrada de varias disciplinas, donde cada disciplina mantiene sus métodos y supuestos sin cambiar ni desarrollar las demás.

De esta manera, los expertos que participan en un proyecto multidisciplinario establecen cooperación para objetivos comunes. Tenga en cuenta que esto implica la interacción de varios profesionales trabajando juntos y generalmente se logra a través de un líder que es responsable de seguir el plan general. Cuando se dice no integrador, se refiere a la creación de una disciplina nueva y única, no al hecho de integrar un grupo de personas para resolver o investigar un problema o tema. La atención médica en sí es de naturaleza multidisciplinaria porque requiere que diferentes profesionales trabajen juntos para diagnosticar, evaluar y tratar a los pacientes. El término múltiple disciplinario se introdujo a manera de constatar que en la medicina se reconocen tres términos: multidisciplinario, interdisciplinario y transdisciplinario por lo que es necesario buscar otras formas de integrar

dichos conceptos que no son intercambiables (Choi y Pak, 2006). De esta forma, transdisciplinario se refiere a una estrategia de investigación que cruza fronteras disciplinarias para crear un enfoque integral. Así se desarrollaron conceptos o métodos para una industria y ahora se utilizan en alguna otra industria, como los sistemas de información eficaces en la investigación biomédica. Un ejemplo es la etnografía, un método de investigación de campo desarrollado originalmente en antropología y ampliamente utilizado en otras disciplinas como la salud y la educación. De esta forma no existen consensos en cuanto a las definiciones que se comprenden mejor desde el punto de vista histórico (Chen y Luetz, 2020).

La idea de una meta-disciplina para nosotros incluiría todo lo anterior en una visión del futuro. Creemos que el término meta-disciplina implica una propuesta simple y a la vez poderosa que puede aglomerar todos los términos existentes y por inventar que se desarrollen no solo en investigación sino en educación. El prefijo meta proviene de una preposición griega que significa después o más allá, y en español indica un concepto que es una abstracción sobre otro concepto, usado para completar o añadir algo acerca de este último. Actualmente, se cree que las profesiones más rentables son aquellas que incorporan los conceptos aquí presentados, como: ingeniería ambiental, desarrollo de software, ciberseguridad, robótica, ingeniería genética, marketing digital, recursos humanos, ciencia de datos y más. Nuestro país debe cambiar su enfoque hacia actividades rentables basadas en el conocimiento, en lugar de actividades primarias o de escaso valor añadido. Ya seas estudiante, empleado o entusiasta, ¿cómo quieres contribuir a esta cadena de valor?

Conclusiones

El artículo explora dos métodos distintos que existen para generar conocimiento y resolver problemas, y como estos son utilizados en las diferentes carreras que combinan múltiples disciplinas. El método científico es ampliamente reconocido como el medio por el cual hemos desarrollado la civilización tal como la conocemos. De esta manera,

podemos pensar que esta es la mejor y probablemente la única forma en la que podemos generar conocimiento y tecnología. ¡Nada más lejos de la verdad! Aquí analizamos brevemente otro método que se utiliza ampliamente. Además, se recalca la idea de que las carreras del futuro necesitan contemplar la integración de múltiples disciplinas de maneras diversas, dinámicas y originales. Las ideas principales son:

- El método científico es una metodología exploratoria que se basa en un conjunto de principios para describir el mundo que nos rodea.
- El método de la ingeniería es un medio por el cual se crean productos y procesos funcionales con el objetivo de resolver problemas de la manera más factible y viable, el cual se caracteriza por practicar la prueba y el error.
- La naturaleza inspira a los científicos a caracterizar el mundo, lo que a su vez inspira a los ingenieros a crear soluciones a los problemas; Podemos empezar a ver desde el panorama general de este proceso algo que se asemeja a una cascada de ideas cada vez más refinadas.
- Las nuevas opciones de estudio enfocadas en el concepto de meta-disciplina incluye los conceptos inter-multi-trans- y todos aquellos existentes o por proponer y que se caracterizan por combinar los dos métodos expuestos tanto a nivel teórico como práctico sin olvidar la formación de recursos humanos en el marco de las carreras del futuro.

Este artículo esta dirigido a estudiantes, profesionistas o entusiastas de la ciencia y la ingeniería en carreras universitarias y tecnológicas que entiendan la importancia de ampliar su panorama más allá de las carreras típicas y sin menos cabo de la importancia del conocimiento clásico.

Referencias

Arik, M., y Topçu, M. S. Implementation of Engineering Design Process

- in the K-12 Science Classrooms: Trends and Issues. *Research in Science Education*. Springer, Vol 52, 2022, pp. 21-43.
- Atman, C. J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S. y Saleem, J. Engineering Design Process: A Comparison of Students and Experts Practitioners. *Journal of Engineering Education*. 2007, pp. 359-379.
- Chen, J. M. y Luetz, J. M. Mono-/Inter-/Multi-/Trans-/Anti-disciplinarity in Research. In: Leal Filho, W., Azul, A., Brandli, L., Özuyar, P., Wall, T. (eds). *Quality Education. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, Cham. 2019.
- Choi, B. C. y Pak, A. W. Multidisciplinarity, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. Definitions, objectives, and evidence of effectiveness. *Clinical and Investigative Medicine*. *Medicine Clinique et experimentale*, 29(6) 2006, pp. 351-364.
- Gauch, H. G. Jr. *Scientific Method in Practice*. Cambridge University Press. 2003.
- Haik, Y. y Shahin, T. *Engineering Design Process*, Second Edition. Cengage Learning. 2011.
- Koen, B. V. Toward a Definition of the Engineering Method. *European Journal of Engineering Education*. Vol. 13(3), 1988, pp. 307-315.
- Lin, K. Y., Wu, Y. T., Hsu, Y. T. y Williams, P. J. Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teacher's engineering design thinking. *International Journal of STEM Education*. Springer. Vol. 8(1) 2021, pp. 1-15.
- Lindauer, M. S. Interdisciplinarity, the Psychology of Art, and Creativity: An Introduction. *Creativity Research Journal*. Vol. 11, 1998, pp. 1-10.
- Nicolescu, B. Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, Indisciplinarity, and Transdisciplinarity: Similarities and Differences. *RCC Perspectives*, No. 2, Minding the Gap: Working Across Disciplines in Environmental Studies, 2014, pp. 19-26.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. y Grote, K. H. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer-Verlag London, 2007.

- Precharattana, M., Sanium, S., Pongsanon, K., Ritthipravat, P., Chuechote, S. y Kusakunniran, W. Blended. Engineering Design Process Learning Activities for Secondary School Students during COVID-19 Epidemic: Student's Learning Activities and Perception. *Education Sciences*. 2023, 13, 159, pp. 1-18.
- Sebeok, T. A. y Umiker-Sebeok, D. J. "You Know My Method": A Juxtaposition of Charles S. Peirce and Sherlock Holmes, *Semiotica*, 1979.
- Vanderburg, W. H. Rethinking Engineering Design and Decision Making in Response to Economic, Social, and Environmental Crises. *Bulletin of Science, Technology & Society*. Vol 29(5), 2009, pp. 425-432.