

## Capítulo 2

# FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y EPISTEMOLÓGICOS DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS

Namuel Solórzano Peralta<sup>1</sup>  
Jhon Jaime Méndez Alandete<sup>2</sup>

### Resumen

---

La Ingeniería de Sistemas es una disciplina con un ejercicio transversal e interdisciplinar, que se adapta a todas las actividades cotidianas de las organizaciones y de la sociedad, en general. Ante este hecho, se presenta la reflexión acerca del por qué esta profesión presenta estas características particulares, y una de las posibles respuestas se enmarca principalmente en las teorías que fundamentan su proceder y en su objeto de estudio. El objetivo de este Capítulo es exponer los principales fundamentos teóricos de la Ingeniería de Sistemas, de tal manera que estos precisen, de forma objetiva, su objeto de estudio. Estudio desarrollado, principalmente, bajo los preceptos metodológicos de la hermenéutica, presentando como resultado principal el hecho de que la Teoría General de Sistemas (TGS), corresponde al principal fundamento epistemológico de esta profesión. Además de la Teoría General de Sistemas, se presentan otras tendencias, las cuales son alternativas o han surgido a partir de ella. Y, en algunos casos, son aplicaciones prácticas de la TGS. Son estas la Cibernética, la Teoría de la Información, la Teoría de Juegos, entre otras. El Capítulo finaliza con una reflexión acerca de las habilidades transversales e interdisciplinarias de los Ingenieros de Sistemas, fundamentado en tres aspectos principales de su formación: el pensamiento algorítmico, la apropiación y el uso de tecnología, y el pensamiento sistémico. Palabras clave: Arquitectura, enfoques, teorías, epistemología.

---

1 Ingeniero de Sistemas, Magíster en Dirección estratégica de Tecnologías de la Información, docente universitario, Corporación Universitaria del Caribe CECAR. Correo: [namuel.solorzano@cecar.edu.co](mailto:namuel.solorzano@cecar.edu.co)

2 Ingeniero de Sistemas, Magíster en software Libre, Especialista en Redes, docente universitario, Corporación Universitaria del Caribe CECAR. Correo: [jhon.mendez@cecar.edu.co](mailto:jhon.mendez@cecar.edu.co)

**Palabras clave:** Ingeniería de Sistemas, Sistemas, Teoría General de Sistemas, Cibernética, Teoría de la Información, Teoría de la Comunicación, Teoría de Juegos

## Abstract

---

Systems Engineering is a discipline with a transversal and interdisciplinary exercise, that adapts to all the daily activities of organizations and society in general. Given this fact, we present the reflection about why this profession presents these particular characteristics, and one of the possible answers is framed mainly in the theories that base its procedure and its object of study. The objective of this Chapter is to expose the main theoretical foundations of Systems Engineering, in such a way that they specify, objectively, their object of study. This study has been developed, mainly, under the methodological precepts of hermeneutics, presenting as a main result the fact that the General Systems Theory (TGS), corresponds to the main epistemological foundation of this profession. In addition to the General Systems Theory, other tendencies are presented, which are alternatives or have arisen from it. And, in some cases, they are practical applications of the TGS. These are Cybernetics, Information Theory, Game Theory, among others. The chapter ends with a reflection on the transversal and interdisciplinary skills of systems engineers, based on three main aspects of their training: algorithmic thinking, appropriation and use of technology and systems thinking.

**Keywords:** Systems Engineering, Systems, General Systems Theory, Cybernetics, Information Theory, Communication Theory, Game Theory

## Introducción

La Ingeniería de Sistemas aparece con la idea de analizar, estudiar y proponer un modelo sistemático y disciplinado de actuación en unos sistemas específicos, sistemas donde el hombre, las máquinas, los procesos y la información surgían como elementos claves en las dinámicas y funcionamiento de las organizaciones.

El advenimiento y avance vertiginosos de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, es aprovechado por la Ingeniería de Sistemas, para brindar soluciones pertinentes, adecuadas e innovadoras

para los sistemas objeto de estudio de esta disciplina. Este tipo de sistema que son intervenidos por la Ingeniería de Sistemas, tienen inherente un nivel complejidad, luego su estudio y análisis, debe ser enfocado con unas herramientas particulares.

La Teoría General de Sistemas (TGS), surge como una forma alternativa los métodos tradicionales de las Ciencias, y sus postulados teóricos favorecen el estudio de sistemas complejos.

Este capítulo tiene como objetivo, exponer los principales fundamentos teóricos de la Ingeniería de Sistemas de tal manera que estos precisen de forma objetiva su objeto de estudio. En éste sentido, el capítulo inicia con las definiciones de Ciencias, Arte, Técnica e Ingeniería, distinguiendo y diferenciando esta última de las anteriores, y de ese modo entender la Ingeniería como complemento de la Ciencia, y como evolución del Arte y Técnica, no como su reemplazo.

Hecha esta distinción, el capítulo se enfoca en hacer explícito el objeto de estudio de la Ingeniería de Sistemas, por ello, se presentan las definiciones de instituciones a nivel internacional, nacional y regional, sobre de esta disciplina, así mismo, se presentan las concepciones que varias universidades del país, relacionan en sus documentos curriculares que soportan los programas de Ingeniería de Sistemas que ofrecen.

Finalmente, se presentan los enfoques teóricos que sustentan la Ingeniería de Sistemas, y que son utilizados por esta disciplina, para observar, estudiar e intervenir su objeto de estudio.

## **Metodología**

El presente estudio se fundamentó en la hermenéutica como metodología de investigación bajo un enfoque documental.

Inicialmente se procedió a realizar la búsqueda de documentación y referencias bibliográficas relacionadas con el objeto de estudio de la Ingeniería de Sistemas, de tal manera que toda esta conceptualización permitiera dilucidar el sentido real de esta ocupación.

Una vez se profundizó en el objeto de estudio de esta profesión, se realizó la revisión bibliográfica de las teorías, conceptos y fundamentos que

son soporte a los Sistemas. Esta actividad permitió identificar los principales referentes en cada una de las teorías y sus posturas epistemológicas, de tal manera que se obtuviera la contribución que cada uno de estos postulados le aportaban a la Ingeniería de Sistemas.

Finalmente se procedió a realizar la interpretación de toda la información recopilada y sistematizada, discutiendo principalmente los aportes que cada teoría realizó a la ingeniería de sistemas y como estos elementos han conllevado a la formación de un profesional con capacidades muy particulares y especiales en la sociedad actual.

## **Resultados de los Fundamentos Teóricos y Epistemológicos de la Ingeniería de Sistemas**

Desde la presencia del Homo Sapiens en la tierra se gestó una serie de transformaciones y adaptaciones en la naturaleza. En el afán por sobrevivir y aprovechando sus capacidades mentales otorgadas, y que le permitían pensar, imaginar y aprender sobre el entorno, se convirtieron en elementos impulsores para que ese hombre pensase, fuese desarrollando un conjunto de conocimientos y prácticas que a la postre dieran origen a conceptos tales como Ciencia, Arte, Técnica, Tecnología e Ingeniería, que hoy por hoy son claves en la supervivencia de la especie humana en su entorno.

Es importante para los propósitos de éste libro que se tenga claridad en los conceptos antes mencionados, que permita saber que es cada uno e identificarlos de manera unívoca. Por ello, a continuación, se presenta una definición y ejemplos de ellos.

Ciencia:

- Conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente.<sup>3</sup>
- Es el intento sistemático de producir proposiciones verdaderas sobre el mundo. Ósea que es ese creciente cuerpo de ideas, que

---

3 Diccionario de la Real Academia Española.

puede caracterizarse como conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y por consiguiente falible. La ciencia puede ser considerada como la suma actual de conocimientos científicos, como una actividad de investigación o hasta como un método de adquisición del saber.<sup>4</sup>

Arte:

- Capacidad, habilidad para hacer algo.<sup>5</sup>
- Conjunto de disciplinas o producciones del ser humano realizadas con fines estéticos o expresivos para representar, a través de medios como la pintura, la escultura, la arquitectura, la literatura o la música, diferentes realidades y despertar una serie de ideas, emociones o sentimientos.<sup>6</sup>

Técnica:

- Pertenecente o relativo a las aplicaciones de las ciencias y las artes.<sup>7</sup>
- La técnica es el intento del hombre por superar su dependencia del mundo exterior, este rasgo es el que lo diferencia del resto de animales pues, al contrario de éstos, él adapta el medio a su voluntad.<sup>8</sup>

Ingeniería:

- Conjunto de conocimientos orientados a la invención y utilización de técnicas para el aprovechamiento de los recursos naturales o para la actividad industrial.<sup>9</sup>
- La ingeniería es la profesión en la que el conocimiento de las ciencias matemáticas y las ciencias naturales, adquiridas mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se aplica con juicio para

---

4 Valencia Giraldo, A. (2004). La relación entre la ingeniería y la ciencia. Revista Facultad de Ingeniería

5 Diccionario de la Real Academia Española.

6 <https://www.significados.com/arte/>

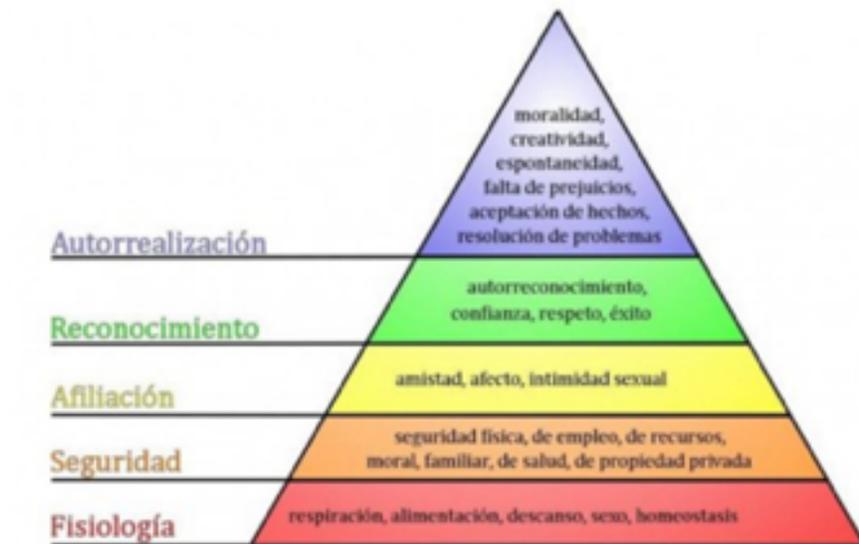
7 Diccionario de la Real Academia Española.

8 Ortega y Gasset, J. El concepto de técnica en Ortega y Gasset.

9 Diccionario de la Real Academia Española.

desarrollar formas de utilizar económicamente los materiales y las fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad.<sup>10</sup>

El concepto de Ingeniería surge como mecanismo natural del hombre en su afán por lograr superar un conjunto de necesidades básicas, que de acuerdo con el psicólogo estadounidense Abraham Maslow, son propias de la condición humana, y las cuales formuló en su teoría “La pirámide de Maslow, o jerarquía de las necesidades humanas”. La figura 1, ilustra el postulado de Maslow, con respecto a las necesidades que todo ser humano tiene, indistintamente de condición, raza, sexo, creencia.



**Figura 1.** La pirámide de Maslow.

**Fuente:** <http://economipedia.com/definiciones/piramide-de-maslow.html>

Con la anterior, se quiere precisar que la Ingeniería (u otro nombre que se le hubiese podido dar), surge de forma imperativa, pues como lo expresa Maslow en su modelo, el ser humano es un ser de necesidades, y esas necesidades era necesario comenzar a plantearse como solucionarlas, y recuérdese, necesidades que son propias de la naturaleza de un ser pensante.

Las ciencia mediante la aplicación del método científico inicia un proceso de sistematización de conocimientos sobre “un ser existente, sobre un fenómeno objetivo y real o un sistema de la Sociedad, de la Naturaleza inanimada

*o de la Naturaleza viva, del conocimiento o de la información*<sup>11</sup>, lo que muchos autores han catalogado como *Objeto de Estudio, Objeto de Investigación*. Éste hecho en que los científicos se enfocan en un solo objeto de estudio, propicia la aparición de ramas o tipos de ciencias entre las cuales podemos destacar: Ciencias Matemáticas, Ciencias Naturales y Ciencias Sociales.

Así como cada uno de los tipos de ciencias se enfoca en un objeto de estudio, la ingeniería se ve obligada a especializarse en solucionar necesidades específicas del ser humano. Puesto como se mencionó anteriormente en *La pirámide de Maslow, o jerarquía de las necesidades humanas*, el ser humano en su afán de desarrollarse se enfrenta a muchas necesidades.

*La pirámide de Maslow*, nos evidencia también, que cada necesidad se convierte en un objeto de estudio para la ingeniería, es así, como la necesidad de descanso, seguridad física y propiedad privada, fueron planteándose soluciones de construcción de viviendas, y ello, posibilitó el surgimiento de la Ingeniería Civil.

Hoy por hoy existen muchas ingenierías, y es probable que su objeto de estudio no aparezca reflejado de forma explícita en la clasificación de necesidades que propone la Pirámide de Maslow, pero por ello, no quiere decir que van a dejar de ser ingeniería. Por ejemplo, para que el ser humano satisfaga su necesidad de empleo, aparece el concepto de empresa, y con ella, surgen inmediatamente un conjunto de necesidades, tales como la comunicación y la realización eficiente del trabajo, lo que origina la aparición de otras ingenierías, tales como la Ingeniería Industrial y la Ingeniería de Sistemas.

Expresada la forma como las necesidades humanas dan origen a los objetos de estudio para las ingenierías, y atendiendo a los objetivos de éste capítulo, se presentará y aclarará el objeto de estudio de la Ingeniería de Sistemas, para luego presentar los enfoques teóricos que ayudan a la Ingeniería de Sistemas a estudiar dichos objetos de estudio, y de esa forma darle solución desde la ciencia.

Para entrar a clarificar el objeto del conocimiento de la Ingeniería de Sistemas, se parte de las siguientes definiciones:

---

11 CARVAJAL, L. El objeto de investigación. Tomado de: <http://www.lizardo-carvajal.com/el-objeto-de-investigacion/>

Ingeniería de Sistemas, es un enfoque interdisciplinario y significa permitir la realización de sistemas exitosos. Los sistemas exitosos deben satisfacer las necesidades de sus clientes, usuarios y otras partes interesadas. La ingeniería del sistema se centra en asegurar que las piezas trabajen juntas para lograr los objetivos del todo.<sup>12</sup>

La ingeniería de sistemas es un enfoque robusto al diseño, creación y operación de sistemas. En términos simples, el enfoque consiste en la identificación y cuantificación de los objetivos del sistema, creación de conceptos alternativos de diseño del sistema, análisis de alternativas al diseño, selección e implementación del diseño más apropiado, verificación de que el diseño es construido e integrado en forma correcta, y evaluación post implementación para determinar en qué medida el diseño cumple con sus objetivos y requerimientos.<sup>13</sup>

Una rama de la ingeniería que se concentra en el diseño y aplicación del todo como diferente de sus partes, analizando un problema como un todo, teniendo en cuenta todos sus aspectos y todas las variables y conectando lo social con lo tecnológico.<sup>14</sup>

La Ingeniería de Sistemas integra todas las disciplinas y grupos de especialidades en un esfuerzo de equipo, formando un proceso de desarrollo estructurado que va desde el concepto hasta la producción y la operación. Ingeniería de Sistemas considera las necesidades comerciales y técnicas de todos los clientes con el objetivo de proporcionar un producto de calidad que satisfaga las necesidades del usuario<sup>15</sup>

En la primera y segunda definición se expresa de manera explícita el sustantivo o sujeto sobre el cual recae todo el esfuerzo de la Ingeniería de Sistemas, en éste sentido el concepto de sistema, se desea llevar al

---

12 INCOSE. IEEE. SERC. (2016). Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK).

13 NASA. (1995). Systems Engineering Handbook. NASA. SP-610S.

14 Ramo, S. (2005). Conquering Complexity: lessons in defence systems acquisition, The Defence Engineering Group. University College London.

15 INCOSE. Tomado de: <https://www.incose.org/systems-engineering>

éxito. Éxito que se evidencia cuando el sistema cumple unos objetivos y requerimientos de clientes, usuarios e interesados.

En la tercera definición el sustantivo es muy general, se observa que todo el esfuerzo de la Ingeniería de Sistema va encaminado a resolver un problema enfocándolo como un *todo*, es decir como un sistema.

En la cuarta definición, el esfuerzo de la Ingeniería de Sistemas, va dirigido lograr un producto de calidad, al igual, que, en las anteriores definiciones, debe satisfacer las necesidades del usuario y clientes.

Podemos destacar el concepto de Sistema, como el objeto de estudio sobre el que recae todo el esfuerzo de la Ingeniería de Sistemas, pero es importante hacer las siguientes precisiones del concepto de sistemas, pues todo lo que nos rodea lo podemos asimilar al concepto de sistema, y sería muy ambicioso pretender que todos los problemas de todos los sistemas sean abarcados por la Ingeniería de Sistemas.

A los Sistema que se convierten en el objeto de estudio de esta disciplina, se caracterizan por lo expresado por el SeBOK (Systems Engineering Body of Knowledge – Cuerpo del Conocimiento de la Ingeniería de Sistemas), en los siguientes elementos:

los principios y conceptos que caracterizan a un sistema, donde un sistema es una combinación interactiva de elementos del sistema para lograr un objetivo definido. El sistema interactúa con su entorno, que puede incluir otros sistemas, usuarios y el entorno natural. Los elementos del sistema que componen el sistema pueden incluir hardware, software, firmware, personas, información, técnicas, instalaciones, servicios y otros elementos de soporte.

Lo anteriormente expresado, permitió explicitar el objeto de estudio de la Ingeniería de Sistemas. Muchas universidades de Colombia son coherentes con estas posturas, y expresan en sus currículos que soportan los programas académicos de esta rama de la ingeniería, lo siguiente:

La Universidad Nacional de Colombia expresa:

el propósito de la Ingeniería de Sistemas es modelar e implementar sistemas complejos, la Ingeniería de Sistemas

integra otras disciplinas, aplica las ciencias matemáticas y ciencias de la computación para el desarrollo de los Sistemas. Los aspectos más relevantes que involucra la ciencia de la computación son: las teorías de información y comunicación, la teoría de la complejidad computacional, la teoría de lenguajes de programación, la programación de computadoras y las teorías de sistemas.<sup>16</sup>

La Universidad Industrial de Santander, comenta:

la Ingeniería de Sistemas en Colombia es una rama ecléctica formada de ciencia de computadores, investigación de operaciones, ingeniería de control e ingeniería de sistemas para el soporte de las necesidades de solución de problemas mediante sistemas de información, monitoreo y control de señales en sistemas físicos continuos, administración de bases de datos, análisis diseño y documentación de sistemas de información, montaje y administración de redes de datos, e ingeniería del software.

La Universidad de los Andes,

la Ingeniería de Sistemas y Computación en Uniandes está orientada a la creación y construcción de soluciones informáticas que beneficien a la sociedad. La formación y el ejercicio profesional de un ingeniero de sistemas y computación, se desarrollan en un ambiente interdisciplinar que requiere resolver problemas asociados con la información para generar soluciones que involucren: tecnología, personas y servicios.

La Corporación Universitaria del Caribe (CECAR), asume la Ingeniería de sistemas:

en coherencia con los principios del PEI de CECAR que consisten en Dignidad Humana, Universalidad, Solidaridad, Integralidad, Participación y Excelencia Académica, el

---

<sup>16</sup> Universidad Nacional de Colombia. Tomado de: <https://www.ingenieria.bogota.unal.edu.co/formacion/pregrado/ingenieria-de-sistemas-y-computacion.html>

propósito de formación del Programa es: Formar integralmente Ingenieros de Sistemas, con sentido humano, social y de trabajo interdisciplinario, competentes en ámbitos investigativos y de emprendimiento, capaces de desarrollar, adaptar, utilizar y gestionar recursos informáticos y tecnologías de la información, acorde con las necesidades de la sociedad, las organizaciones y el sector productivo, que coadyuven al desarrollo social, tecnológico y científico de la región y del país

Todos estos postulados son coherentes en expresar que la Ingeniería de Sistemas es la aplicación de un trabajo interdisciplinario que permita transformar un *Sistema* en un *Sistema Exitoso*. Sistemas estos, que podemos encontrar incrustados en la sociedad, las organizaciones y la misma naturaleza. Sistemas que pueden variar en su complejidad, desde un simple sistema de ventas para una microempresa, un sistema para el manejo de la contabilidad de una nación o país, hasta un sistema que apoye una misión espacial de la NASA.

El reto de la Ingeniería de Sistemas es lograr desarrollar soluciones integrales a la gama de problemas, desafíos y complejidades inherentes en los sistemas actuales, ¿Cómo lograrlo?, International Council on Systems Engineering (INCOSE) and International Society for the System Sciences (ISSS) (International Federation for Systems Research (IFSR), han desarrollado *The Systems Praxis Framework*<sup>17</sup>, framework que en esencia es un enfoque holístico donde se integra la teoría correcta y practica correcta, y que permiten a la ingeniería de sistemas intervenir su objeto de estudio, *problemas de sistemas*.

---

17 <http://systemspraxis.org/framework.pdf>

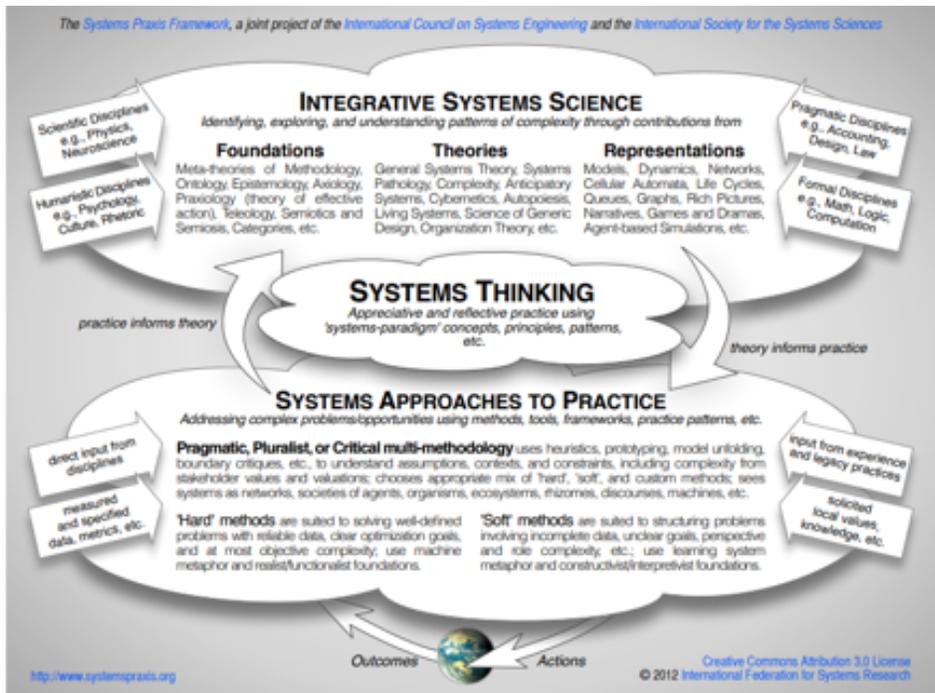


Figura 2. The Systems Praxis Framework  
Tomado de: <http://systemspraxis.org/framework.pdf>

Para lograr entender éste marco práctico de sistemas, es necesario abordar y conceptualizar los elementos de forma separada, y de esa forma enfocarlo como un todo, y lograr visualizar el valor que aporta a la ingeniería de sistemas.

## Pensamiento Sistémico

De acuerdo con RAE el pensamiento es la facultad o capacidad de pensar, y pensar es un proceso mental que permite formar o combinar ideas o juicios en la mente. Esta facultad del ser humano, le permite conocer y empoderarse de su entorno. A diferencia del pensamiento lineal, el pensamiento sistémico permite apropiarse de una realidad identificando las interrelaciones que se dan entre las partes que confluyen en esa realidad, y las posibles variaciones que puedan suceder.

El pensamiento sistémico es un método para identificar algunas reglas, algunas series de patrones y sucesos a fin de prepararnos

de cara al futuro e influir sobre él en alguna medida. Nos aporta cierto control. O'connor-McDermott

Senge (1990) discute el pensamiento sistémico de varias maneras como una disciplina para ver todo... un marco para ver las interrelaciones en lugar de las cosas... un proceso de descubrimiento y diagnóstico... y como una sensibilidad para la sutil interconexión que le da a los sistemas vivientes su carácter único.

El pensamiento sistémico es esencia una facultad del ser humano que lo ayuda a entender el funcionamiento de un sistema, es decir, una actividad mental que busca concebir a los objetos, no como elementos aislados, si no como elementos que hacen parte de una totalidad en la que habitan e interaccionan unos con otros.

En la siguiente tabla se relacionan conceptos, principios y patrones relacionados con el pensamiento sistémico:

**Tabla 1**  
*Conceptos, principios y patrones del pensamiento sistémico*

<b>CONCEPTOS</b>	Interacción	Acción que se ejerce recíprocamente entre dos o más objetos, personas, agentes, fuerzas, funciones
	Regularidad	Es una cualidad observable en muchas entidades
	Estado y comportamiento	Por estado debemos entender un conjunto de valores que un momento determinado posee los atributos de un sistema. Por comportamiento, las acciones que realiza un sistema ante eventos de su entorno.
	Comportamiento de supervivencia	Con éste concepto se denota la capacidad de un sistema de auto organizarse a las circunstancias del entorno. En éste aspecto la entropía y neguentropía.

CONCEPTOS	Búsqueda de objetivos	La búsqueda de objetivos por parte de un sistema, determina la esencia, su comportamiento, su estado
	Control	La capacidad de un sistema de revisar, monitorear y ajustar su comportamiento.
	Función	La función se define como resultados esperados de un sistema, y que de forma implícita alimentan y coadyuvan al logro de los objetivos
	Abstracción	Capacidad de centrarse en las ciertas características de un objeto o sistema
PRINCIPIOS	Limites	Limites
	Dualismo	
	Encapsulación	La capacidad de un sistema de ocultar a su entorno externo, su estructura interna y sus mecanismos de interacción
	Holismo	Principio aplicable a los sistemas, donde se consideran como un todo, en vez de considerarlos como un conjunto de partes
	Modularidad	La capacidad de un sistema de descomponerse en partes debidamente relacionadas
	Red	Es una forma de entender la dinámica de interacción y conexiones de un sistema
	Relación	<b>La interconexión de las partes de un sistema.</b>

<p>PATRONES</p>	<p>Un patrón es un modelo observable con regularidad en muchas situaciones. Son productos de abstracciones de similitudes presentes en los sistemas</p>	<p>Ejemplos: Patrones de jerarquía y red Metapatterns</p>
-----------------	---	---

### Ciencia de Sistema

Como toda ciencia, la ciencia de sistemas es un esfuerzo para descubrir, organizar y usar el conocimiento. Su esfuerzo está dirigido al estudio de los sistemas, sistema que van desde el más simple al más complejo, y que podemos encontrar en la naturaleza, en la sociedad, en las ideas y hasta en la misma ciencia.

La ciencia de Sistemas es una ciencia transdisciplinaria que estudia fundamentalmente a la realidad bajo una cosmovisión unitaria; esencialmente estudia y explica los sistemas abstractos de esa cosmovisión.<sup>18</sup>

### Teoría General de Sistemas (TGS)

La realidad se le presenta al ser humano cargada de complejidades, ambigüedades y vicisitudes. La Ciencia utiliza el Método Científico para obtener conocimiento que pueda ser replicable y refutable sobre una realidad determinada, y de esa manera disminuir el nivel de complejidad.

Promulgada por Ludwig von Bertalanffy en 1925, la Teoría General de Sistemas (TGS), se presenta como alternativa para acercarse a la realidad, y de esa manera entenderla en su totalidad, y no de forma reduccionista, como proponían enfoques tradicionales. En ese sentido la TGS, busca

---

18 Badillo, I. (2011). Fundamentos epistemológicos y tendencias de la ciencia de sistemas contemporánea. Tomado de: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/22750/Fundamentos%20epistemologicos%20y%20tendencias%20de%20la%20ciencia%20de%20sistemas%20contemporanea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

entender la realidad como un Sistema, es decir, como un conjunto de elementos interconectados con el objetivo de lograr algo.

De acuerdo con (Arnold, M. y Osorio), la TGS se convierte en un mecanismo alternativo para los investigadores, quienes tienen la posibilidad de enfocar la realidad de forma sistemática y científica.

(Johansen, O.), concibe a la TGS como una poderosa herramienta mediante la cual los observadores e investigadores, pueden lograr un análisis de una realidad desde un enfoque holístico, hasta lograr una explicación de los fenómenos de la realidad.

Los anteriores postulados evidencian como la TGS, provee una forma de entender la realidad bajo el concepto de Sistema, y no es un concepto que haya aparecido en la realidad, es un concepto que siempre ha estado inmerso en la realidad, y lo que viene a provocar la TGS, es una forma natural de entender la realidad.

Expuesta la TGS con ese enfoque, (Johansen, O.) expresa que existen tendencias que comprenden el potencial de la misma, y por ende buscan su aplicación práctica, entre las que destaca:

- La cibernética
- La teoría de la información
- La teoría de juegos
- La teoría de la decisión
- El análisis factorial
- La Ingeniería de Sistemas
- La investigación de operaciones

El campo de la cibernética surgió cuando los conceptos de información, retroalimentación y control se generalizaron desde aplicaciones específicas (por ejemplo, en ingeniería) hasta sistemas en general, incluidos sistemas de organismos vivos, procesos inteligentes abstractos y lenguaje (Wiener, 1948).

Los conceptos de información, organización y control juegan un papel central en el pensamiento biológico actual, y particularmente en relación con los problemas del desarrollo. Sin embargo, es probable que

los conceptos de organización y control en el desarrollo se encuentren todavía en una etapa relativamente primitiva y evidentemente de interés examinar las posibilidades de aplicar los conceptos y técnicas desarrollados por los ingenieros de comunicación e informática, en particular aquellos que se relacionan con la elucidación de sistemas complejos, especialmente sistemas de control. Este trabajo ahora se conoce generalmente por su título general, cibernética.

Desde el principio vale la pena distinguir entre dos partes de la cibernética que, aunque se superponen y se relacionan esencialmente, son en muchos aspectos bastante diferentes. A esto podemos referirnos como “teoría de la información”, que ha sido desarrollada en particular por los ingenieros de comunicación, y la “teoría de los autómatas” que ha sido de particular interés para los ingenieros informáticos. Alguna confusión ha sido causada en el pasado al usar el término “cibernética” para referirse solo a uno u otro de estos. La teoría de la información proporciona una forma precisa y matemática de describir situaciones de comunicación, así como proporcionar algunas teorías con respecto a la mejor manera de diseñar sistemas de comunicación. La teoría de autómatas se ha ocupado de las propiedades lógicas de los sistemas dinámicos, especialmente no lineales. Por lo tanto, la teoría de la información es esencialmente parte de la estadística y se ocupa principalmente de las cantidades, mientras que la teoría de los autómatas puede considerarse parte de la lógica o la metamatemática y, por lo tanto, tiene más interés en las pruebas y los “algoritmos”.

La cibernética se desarrolló a partir del deseo de comprender y construir sistemas que pueden alcanzar objetivos, ya sean objetivos humanos complejos o simplemente objetivos como mantener la temperatura de una habitación en condiciones cambiantes (Pangaro, 2018). La Cibernética sostiene que solo es necesario y solo es posible estar acoplado al mundo lo suficiente como para lograr objetivos, es decir, para obtener realimentación (feedback) a fin de corregir acciones para lograr un objetivo.

Wiener, define la realimentación (feedback) como una estrategia que permite la regulación de sistemas introduciendo en estos, el resultante de sus procesos o procedimientos previos. Al utilizar este producto como insumo para corregir el sistema y regularlo, se tiene la denominada realimentación de la ingeniería que conlleva al concepto de control. Sin embargo, si la

información producida por el mismo mecanismo de la máquina genera un cambio en el funcionamiento de esta, se tiene una situación de aprendizaje. (Wiener, 1948). Dentro de la teoría Cibernética Wiener presenta un concepto muy particular asociado a la información: “El contenido de lo que es objeto de intercambio con el mundo externo, mientras nos ajustamos a él y hacemos que se acomode a nosotros”.

Cuando se presenta el termino cibernética, gran variedad de autores lo asocian a teoría de máquinas, sin embargo, es importante resaltar que esta denominación debe relacionarse más con el comportamiento de estas, más que con la forma o la estructura de los artefactos como tal. La cibernética trata de cuáles son los posibles comportamientos que una máquina puede producir y es en este aspecto donde la teoría de la información juega un papel fundamental para esta. La teoría de la información en relación con la cibernética se caracteriza por tratar siempre con un conjunto de posibilidades; tanto sus datos primarios como finales, están relacionados con el conjunto total y no sobre elementos individuales del mismo.

En cuanto al uso aplicado de la cibernética, existen muchas aplicaciones de los conceptos relacionados con esta teoría, sin embargo, en este documento se realizará énfasis sobre dos en particular. La primera tiene que ver con que ofrece un vocabulario y un conjunto único de conceptos adecuados para representar los tipos de sistemas más diversos. Por ejemplo, la posibilidad de relacionar los servo-mecanismos con lo que se sabía sobre el cerebelo, era difícil por el hecho de que las propiedades de los servomecanismos se describieron en palabras que hacen referencia el piloto automático, el aparato de radio o el freno hidráulico, mientras que las del cerebelo se describieron en palabras que evocan la habitación de disección y otros aspectos de cabecera que son irrelevantes para las similitudes entre un servo mecanismo y un reflejo del cerebelo. La cibernética ofrece un conjunto de conceptos que, al tener correspondencias exactas con cada rama de la ciencia, pueden ponerlos en relación exacta unos con otros.

Los sistemas complejos corresponden a la segunda aplicación peculiar de la cibernética a tratar en este documento, la cual ofrece un método para el tratamiento científico del sistema en el que la complejidad es sobresaliente y demasiado importante como para ser ignorada. Uno de los principales métodos para tratar la complejidad es la cibernética, la cual rechaza las ideas vagamente intuitivas que se adquiere al manejar máquinas simples.

La Cibernética proporciona métodos efectivos para el estudio y control de sistemas que son extremadamente complejos. Lo hará al marcar primero lo que se puede lograr y luego proporcionar estrategias generalizadas, de valor demostrable, que puedan usarse de manera uniforme en una variedad de casos especiales. De este modo, ofrece la esperanza de proporcionar los métodos esenciales para atacar los males psicológicos, sociales y económicos, que en este momento nos están derrotando por su complejidad intrínseca.

La cibernética presenta un conjunto de tendencias o enfoques las cuales son denominadas como “órdenes de la cibernética”. La cibernética de primer orden enfatiza la importancia de la retroalimentación negativa, la cual puede entenderse como el hecho de que las situaciones negativas o errores que se dan en un sistema deben atenderse de tal manera que se desencadene una respuesta opuesta que permita generar compensación en el sistema. La cibernética de primer orden, presentó una limitación principal, la cual consistió en describir aspectos de sistemas particulares de forma aislada, en lugar de la situación completa; esto implicaba que las situaciones complejas a menudo se visualizaban como sistemas de “caja negra” (Sistemas Cerrados) cuyo funcionamiento interno se pasaba por alto. Si bien este proceso a menudo fue útil en el nivel de la ingeniería, pasó por alto el papel del observador (aquí, el observador puede ser diseñador o usuario del sistema). La cibernética de segundo orden “cibernética de la cibernética”. (Von Foerster, 1991), incluyó al observador como elemento fundamental del tratamiento y funcionamiento de los sistemas.

La cibernética de tercer orden tiene como objetivo reconocer el lenguaje como una máquina cognitiva que crea un dominio común de interacción entre los sistemas vivos para interactuar. Este tipo de máquinas son mecanismos abstractos que tienen una base en el cerebro humano y que almacenan, recuperan, procesan y crean información. En general la cibernética de tercer orden considera un sistema más un elemento activo interactivo en un circuito, reconociendo la forma en que todo un sistema puede redirigirse para adaptarse a su contexto. Por lo tanto, el observador y el sistema coevolucionan juntos. Esto significa que el observador puede verse a sí mismo como parte del sistema bajo examen.

El cuarto orden Cibernética considera lo que sucede cuando un sistema se redefine a sí mismo. Se enfoca en la integración de un sistema dentro de su contexto más amplio y codefinidor. Este orden reconoce

las propiedades emergentes del complejo sistema. La aparición implica una mayor complejidad que reduce la capacidad de conocimiento y la predictibilidad. (Attainable Utopias, 2018).

Otra de las teorías que fundamenta la disciplina de la Ingeniería de sistemas corresponde a la teoría de la información, la cual es uno de los pocos campos científicos afortunados de tener un comienzo identificable: el documento de 1948 de Claude Shannon. (Shannon, 1948), a quien se le considera el padre de la era digital. La teoría de la información es el tratamiento matemático de los conceptos, parámetros y reglas que rigen la transmisión de mensajes a través de los sistemas de comunicación.

Las técnicas utilizadas en la teoría de la información son de naturaleza probabilística y algunas ven teoría de la información como una rama de la teoría de la probabilidad. En un conjunto dado de eventos posibles, la información de un mensaje que describe uno de estos eventos cuantifica los símbolos necesarios para codificar el evento de una manera óptima. La teoría de la información también proporciona metodologías para separar la información real del ruido y para determinar la capacidad del canal requerido para una transmisión óptima condicionada a la velocidad de transmisión.

Esta teoría se aplica a los procesos técnicos de codificación de una señal para transmisión, y proporciona una descripción estadística del mensaje producido por el código. Define información como elección o entropía y trata el ‘significado’ de un mensaje (en el sentido humano) como irrelevante. Se centra en cómo transmitir datos de la manera más eficiente y económica, y detectar errores en su transmisión y recepción.

A Shannon le interesaba cuánta información podía transmitir un determinado canal de comunicación. La teoría de la información se basa en una medida de incertidumbre conocida como entropía (denominada “H”). En un nivel conceptual, la Entropía de Shannon es simplemente la “cantidad de información” en una variable. Eso se traduce en la cantidad de almacenamiento (por ejemplo, número de bits) requerido para almacenar la variable, que intuitivamente se puede entender que corresponde a la cantidad de información en esa variable. El cálculo de este número y, por lo tanto, la cantidad de información en una variable es más complicado de lo que podría parecer a primera vista; específicamente, no es simplemente la

cantidad de bits necesarios para representar todos los diferentes valores que una variable podría asumir, que son solo los datos brutos.

Una forma de entender el concepto de “cantidad de información” en una variable es relacionarlo con lo difícil o fácil que es adivinar esa información sin tener que mirar la variable: es más fácil adivinar el valor de la variable. Otra forma de ver la información es contrastarla con la cantidad de datos. Por ejemplo, se pueden almacenar dos variables booleanas diferentes en 1 bit cada una, pero la cantidad de información en las dos puede ser bastante diferente.

Como fundamento de su teoría, Shannon desarrolló un modelo de comunicación muy simple y abstracto (Britannica, 2018). El primer componente del modelo, corresponde al origen del mensaje, es simplemente la entidad que originalmente crea el mensaje. A menudo, la fuente del mensaje es un humano, pero en el modelo de Shannon también podría ser un animal, una computadora u otro objeto inanimado.

El codificador, que corresponde al objeto que conecta el mensaje a las señales físicas reales que se envían. Alternativamente, uno puede considerar la mente del hablante como la fuente del mensaje y la combinación del cerebro del hablante, el sistema vocal y la boquilla del teléfono como el codificador.

Otro elemento del modelo de Shannon corresponde al canal, los cuales son el medio que lleva el mensaje. El canal puede ser cables, el aire o el espacio en el caso de las transmisiones de radio y televisión, o el cable de fibra óptica.

El ruido es cualquier cosa que interfiere con la transmisión de una señal. Las señales transmitidas ópticamente a través del aire podrían sufrir interferencia de nubes o humedad excesiva. Claramente, las fuentes de ruido dependen del sistema de comunicación particular. Un solo sistema puede tener varias fuentes de ruido, pero si se comprenden todas estas fuentes separadas, a veces será posible tratarlas como una única fuente.

El decodificador es el objeto que convierte la señal, tal como se recibió, en una forma que el receptor del mensaje puede comprender. En el caso del teléfono, el decodificador podría ser el auricular y sus circuitos electrónicos. Dependiendo de la perspectiva, el decodificador también podría incluir el sistema auditivo completo del oyente.

El receptor del mensaje es el objeto que recibe el mensaje. Podría ser una persona, un animal, una computadora, u otro objeto inanimado.

La teoría de Shannon trata principalmente con el codificador, el canal, la fuente de ruido y el decodificador. Como se señaló anteriormente, el enfoque de la teoría está en las señales y cómo pueden transmitirse de manera precisa y eficiente.

La teoría de la información ha trascendido en varios ámbitos de la sociedad de la información actual. Aplicaciones tales como la compresión de datos, la cual utiliza el concepto de entropía de Shannon (una medida de la máxima eficiencia posible de cualquier esquema de codificación) puede usarse para determinar la compresión teórica máxima para un alfabeto de mensaje dado, es un ejemplo de las utilidades que se le ha suministrado a esta teoría.

Otra aplicación corresponde a los códigos de corrección de errores y detección de errores. Los códigos de corrección de errores agregan bits adicionales para ayudar a corregir errores y, por lo tanto, operan en la dirección opuesta a la compresión. Los códigos de detección de errores, por otro lado, indican que se ha producido un error, pero no corrige el error automáticamente. Con frecuencia, el error se corrige mediante una solicitud automática para retransmitir el mensaje. Debido a que los códigos de corrección de errores generalmente exigen más bits adicionales que los códigos de detección de errores, en algunos casos es más eficiente usar un código de detección de errores simplemente para indicar qué se debe retransmitir.

La Criptología también hace parte de las aplicaciones de la Teoría de la información. Se trata tanto del criptoanálisis, el estudio de cómo la información cifrada se revela (o descifra) cuando se desconoce la “clave” secreta, y la criptografía, el estudio de cómo la información se oculta y encripta en primer lugar. El análisis de Shannon de los códigos de comunicación lo llevó a aplicar las herramientas matemáticas de la teoría de la información a criptografía en “Communication Theory of Secrecy Systems” (1949). En particular, comenzó su análisis señalando que las cifras simples de transposición, como las obtenidas permutando las letras en el alfabeto, no afectan la entropía porque simplemente vuelven a etiquetar los caracteres en su fórmula sin cambiar sus probabilidades asociadas.

En cuanto a la teoría de juegos, esta puede definirse como el estudio formal del conflicto y la cooperación. Se trata de situaciones en las que los “jugadores” interactúan, de modo que le importa a cada jugador lo que hacen los otros jugadores. La teoría de juegos proporciona herramientas matemáticas para modelar, estructurar y analizar tales escenarios interactivos. Los jugadores pueden ser, por ejemplo, empresas competidoras, votantes políticos, animales de apareamiento o compradores y vendedores en Internet. El lenguaje y los conceptos de la teoría de juegos son ampliamente utilizados en economía, ciencias políticas, biología e informática, por nombrar solo algunas disciplinas (Shoham, 2008).

El impacto de la teoría de juegos en la Ingeniería se manifiesta de muchas maneras. Una de las aplicaciones principales se da en los autómatas. Algunos tipos de autómatas se han utilizado en la teoría de juegos. Los autómatas finitos se han utilizado ampliamente para representar el comportamiento de agentes simples, los cuales funcionan según un conjunto de reglas condición-acción. El agente capta el estado actual del entorno en el cual se encuentra por medio de los sensores, luego busca entre las reglas cual coincide con la percepción para luego ejecutar la acción conveniente. Este agente funciona correctamente solo si se toma la decisión adecuada basándose en la percepción de ambiente en un momento dado. Por otro lado, los autómatas adaptativos y los autómatas celulares se utilizan principalmente para representar el comportamiento de agentes inteligentes más complejos, tales como los agentes basados en objetivos y los agentes basados en utilidad.

Otra aplicación de la teoría de juegos tiene que ver con las redes neuronales. (Schuster & Yamaguchi, 2010) proponen un modelo de red neuronal bajo un concepto de teoría de juegos donde se supone que las neuronas individuales se comportan de forma óptima con una matriz de pagos determinada. La investigación analiza teóricamente un sistema de neuronas emparejadas y especifica críticamente que la teoría de los juegos de valores funciona como principio organizador para dicho sistema (en el sentido de un principio rector o mecanismo involucrado en la comunicación, organización y sincronización neurales). La investigación también especifica un algoritmo de aprendizaje basado en la teoría de juegos para un sistema de neuronas emparejadas.

En lo referente a la teoría de la decisión, existen varios enfoques de la misma, uno de ellos corresponde al popularizado por Cyert y March (Cyert & March, 1963) donde se considera de la organización como una coalición de individuos, en la que los objetivos se alcanzan mediante un proceso de negociación y cambian con el tiempo. Las decisiones dependen de la cantidad y el tipo de información disponible y las expectativas de los involucrados. Por lo tanto, tres variables se convierten en el foco de esta formulación: objetivos, expectativas, elección. La mayoría de las organizaciones tienen múltiples y variados objetivos, lo que, por supuesto, plantea la posibilidad de un conflicto. Diferentes coaliciones de personas dentro de la organización forman y desarrollan sus propios objetivos.

Las expectativas dependen de la información que poseen los individuos, las cuales se ven afectadas por la manera cómo se presenta la información, cómo se recopiló, quién la transmite, etc. Las elecciones diarias son la respuesta a los problemas de la organización y estas reducen la incertidumbre (Mintzberg, 2004).

Herbert Simon es otro nombre importante en la teoría de la toma de decisiones. Formuló la diferencia entre las decisiones programadas y las no programadas. Las decisiones programadas son rutinarias y repetitivas (bien estructuradas) y se prestan a la solución por hábito.

Las decisiones no programadas requieren juicio, intuición, creatividad, reglas generales. A menudo, una organización selecciona gerentes especialmente educados para tomar decisiones de este tipo. A veces, la organización establece unidades de organización social para tratar este tipo de problemas (Simon, 1947).

Simon enfatiza los aspectos de resolución de problemas, pensamiento y aprendizaje de la toma de decisiones. La resolución de problemas implica: Establecer un objetivo, Detectar la diferencia entre el estado actual y el estado objetivo, encontrar herramientas para disminuir la diferencia. Simon afirma que cada problema se puede dividir en sub-problemas. Trabajando en paralelo en las subpartes y luego mezclando las soluciones pequeñas para obtener una visión general. Simon también es responsable de otros dos conceptos de toma de decisiones, el primero de ellos denominada la racionalidad limitada la cual tiene que ver con el hecho de que un gerente humano tiene límites al grado de racionalidad que puede aportar a un

problema. El que toma las decisiones no puede tener un conocimiento completo de todas las alternativas a las consecuencias de la elección. Simon sugiere que los gerentes a menudo simplifican el problema para tomar una decisión.

El segundo concepto corresponde a lo satisfactorio, lo cual se refiere a la selección de una alternativa satisfactoria, no la más óptima, sino la primera que funciona a la luz de las circunstancias. En otras palabras, una solución factible no es una búsqueda exhaustiva de la mejor solución posible.

Para lograr hilvanar, la Ingeniería de Sistemas con la TGS y con todas las teorías mencionadas, para de esa manera hacer explícita su aplicación práctica, y por qué dicha disciplina utiliza todas estas teorías para analizar su objeto de estudio, el citado autor (Johansen, O.), se refiere a la Ingeniería de Sistemas de la siguiente manera:

Se refiere a la planeación, diseño, evaluación y construcción científica de sistemas hombre-máquina. El interés teórico de este campo se encuentra en el hecho de que aquellas entidades cuyos componentes son heterogéneos (hombres, máquinas, edificios, dinero y otros objetos, flujos de materias primas, flujos de producción, etc.) pueden ser analizados como sistemas o se les puede aplicar el análisis de sistema.

De acuerdo con lo expresado, los sistemas atendidos por la Ingeniería de Sistemas, han crecido en complejidad dado al crecimiento de la población u organizaciones, lo que ha repercutido en un crecimiento de las interacciones, haciendo que el estudio e intervención de estos sistemas, no sea una tarea trivial. La sociedad ha cambiado, ha crecido, han aparecido nuevas formas de comunicación, de transporte, de educación, de política, de economía, de comercio, en fin, sistemas, que requieren un enfoque holístico para su estudio.

## **La transversalidad e interdisciplinariedad de la Ingeniería de Sistemas**

El mundo actual requiere de profesionales con diversos tipos de habilidades que les permitan desempeñarse de la mejor forma posible en la sociedad actual y en este mundo interconectado y globalizado. Para esto se han presentado diversas teorías y corrientes de pensadores que plantean la necesidad de suministrar a los estudiantes universitarios la formación requerida para generar en ellos las aptitudes requeridas por las organizaciones. De esto se pueden mencionar muchas tendencias, sin embargo, las más populares en la actualidad corresponden a las habilidades blandas, competencias socio – emocionales, etc.

Según van der (Westhuizen, Zander 2010), existen dos características fundamentales que deben tener los profesionales para un adecuado desempeño laboral y para contribuir de manera trascendental en los procesos de transformación de las organizaciones; son estas la capacidad de una disciplina y por supuesto de los profesionales formados en esta, de ser transversales y la interdisciplinarios.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) define las habilidades transversales como aquellas típicamente consideradas como no específicamente relacionadas con un trabajo, tarea, disciplina académica o área de conocimiento en particular, sino como habilidades que pueden usarse en una amplia variedad de situaciones y entornos de trabajo (UNESCO-UNEVOC, 2013). Estas habilidades tienen una gran demanda para que los estudiantes se adapten con éxito a los cambios y lleven vidas significativas y productivas.

Según (Spelt, Biemans, & Tobi, 2009), la Interdisciplinariedad se define como la capacidad de integrar el conocimiento de dos o más disciplinas para producir un avance cognitivo en formas que hubieran sido imposibles o poco probables a través de medios disciplinarios únicos. Se consideró como una habilidad cognitiva compleja que constituía una serie de habilidades secundarias.

En la introducción a este capítulo se afirmó que la ingeniería de sistemas es una ocupación por su naturaleza transversal e interdisciplinar. Los profesionales de esta disciplina tienen la capacidad de asumir

responsabilidades fundamentales en organizaciones de diversos sectores económicos y sociales, convirtiéndose en talento humano indispensable para el buen desarrollo de las actividades misionales de estas estructuras. La interdisciplinariedad de los ingenieros de Sistemas les permite desempeñarse eficaz y eficientemente en diversas disciplinas académicas tradicionales y en los campos emergentes que requieren o involucran un componente de computación fundamental para su accionar.

De lo anterior es consecuente presentar la siguiente cuestión: ¿Por qué la Ingeniería de Sistemas se caracteriza por estar intrínsecamente tan relacionada con habilidades como la transversalidad e interdisciplinariedad? El estudio de los fundamentos teóricos y epistemológicos abordados en este documento suministraron la respuesta que se responde a través de tres aspectos fundamentales:

- El pensamiento algorítmico o computacional.
- La teoría general de Sistemas y las teorías adyacentes a la misma.
- La apropiación y uso de tecnología.

La mayoría de currículos de Ingeniería de Sistemas del país y a nivel internacional, fundamentan sus propósitos de formación en las propuestas educativas de la computing curricula de la IEEE<sup>19</sup> y la ACM<sup>20</sup>. Estas propuestas educativas plantean la existencia de cinco disciplinas de la computación: Ingeniería del Software, Sistemas de Información, Tecnologías de la Información, Ciencias de la computación e Ingeniería de la computación.

La ingeniería de software es la disciplina del desarrollo y mantenimiento de sistemas de software, de tal forma que estos sean confiables y eficientes, satisfaciendo todos los requisitos que los clientes han definido para ellos; los profesionales con perfil en sistemas de información se enfocan en integrar soluciones de tecnología de la información y procesos del negocio para satisfacer las necesidades de información de las empresas permitiéndoles alcanzar sus objetivos de una manera efectiva y eficiente; Los ingenieros con énfasis en Tecnologías de la Información, asumen la responsabilidad de seleccionar productos de hardware y software apropiados para una

---

19 Institute of Electrical and Electronics Engineers

20 Association for Computing Machinery

organización, integrando esos productos con las necesidades e infraestructura de esta, e instalando, personalizando y manteniendo esas aplicaciones para los usuarios de la organización; las ciencias de la computación abarcan una amplia gama de aplicaciones, desde sus fundamentos teóricos y algorítmicos hasta desarrollos de vanguardia en robótica, visión artificial, sistemas inteligentes, bioinformática, entre otras; La ingeniería de la computación se preocupa por el diseño y la construcción de computadoras y sistemas informáticos. Implica el estudio de hardware, software, comunicaciones y la interacción entre ellos (ACM - IEEE, 2005).

Al realizar un análisis sobre los currículos propuestos y fundamentados en cada una de las cinco disciplinas de la computación, es clara la tendencia en todos estos a hacer énfasis en dos aspectos notorios: el primero relacionado con la intención de generar un pensamiento netamente algorítmico o computacional en los profesionales; y segundo, la importancia suministrada a la formación en el uso de tecnología. Estos currículos articulan estas dos intenciones formativas con la inclusión de un conjunto de asignaturas a las que denominan “tópicos no computacionales”, y dentro del cual se pueden mencionar: Teoría organizacional, Teoría de la decisión, Comportamiento organizacional, Gestión de cambio organizacional, Teoría general de sistemas, Gestión de riesgos, Gestión de proyectos, Modelos de negocios, Áreas funcionales de los negocios, entre otras).

Al reflexionar sobre el papel de las asignaturas categorizadas como “tópicos no computacionales” en los currículos de computación, se puede afirmar que estas aparecen expuestas como complemento formativo, más no como cursos fundamentales dentro de los procesos formativos de cada una de estas ofertas educativas. Se puede notar que algunas de estas asignaturas poseen denominación semejante a cada una de las teorías expuestas en este capítulo, lo cual exterioriza la relevancia que tienen estos sustentos conceptuales y teóricos para la computación.

Es claro que la formación de los profesionales en computación actual (en coherencia con la computing curricula) deja de lado las teorías que son el sustento epistemológico real de esta disciplina, profundizando en el desarrollo del pensamiento algorítmico y generando competencias en la aplicación y uso de tecnologías como medio principal para la solución de los problemas a resolver dentro de su ejercicio ocupacional. Sin embargo, es importante indagar si estos dos aspectos son suficientes para el Ingeniero

de sistemas para brindar las soluciones más adecuadas a los problemas que cotidianamente enfrenta.

Si se examina al detalle el pensamiento algorítmico, se puede afirmar que este es de tipo reduccionista, lo que va totalmente en contra a los principios de la teoría general de Sistemas. El hecho de abordar los problemas reduciéndolos a un conjunto de variables de entrada, los procesos para manipular estos tipos de datos y producir datos de salida, realmente simplifica la magnitud de un problema y por lo tanto la solución del mismo. Según (Jirotko & Goguen, 1994), el pensamiento Algorítmico ignora el hecho de que cualquier expresión particular del “problema a resolver” es el resultado de una negociación continua entre las necesidades competitivas de una variedad de partes interesadas.

En cuanto al énfasis en el uso de tecnología como producto principal para la solución de problemas, se considera como uno de los objetivos principales de los currículos de computación, al formar profesionales enfocados principalmente, por no decir que únicamente, en el desarrollo de algoritmos, aplicaciones y soluciones tecnológicas en general como primera alternativa para la solución de problemas. Según (Morozov, 2013) actualmente es generalizada la creencia de que Silicon Valley nos ayudará a enfrentar algunos de los mayores desafíos del mundo (hambre, pobreza, destrucción de ecosistemas, cambio climático) al ofrecernos nuevas aplicaciones para nuestros teléfonos inteligentes. Esta idea es la que se encuentran impregnada a los currículos de computación.

Es importante aclarar que en ningún momento se pretende afirmar que el pensamiento algorítmico y el uso de tecnologías es nocivo en los procesos formativos de profesionales en computación, por el contrario, estos dos componentes son vitales y son fundamentales para la Ingeniería de sistemas. Lo que realmente se pretende manifestar es la necesidad de incluir los fundamentos epistemológicos de los Sistemas y de forma particular la Teoría General de Sistemas a estos dos énfasis de los currículos de las disciplinas de la computación. La inclusión de todo el conglomerado de conceptos asociados a la TGS, la cibernética, la teoría de juegos, la teoría de la información y de la comunicación, etc. de tal forma que sean enfocados como estrategias para la resolución de problemas de una manera completa y holística, permitirán mejores soluciones a las situaciones que deben resolver estos profesionales.

Es necesario sumar al pensamiento algorítmico y al uso de tecnología, la utilización del pensamiento sistémico en la solución de problemas de Sistemas. El pensamiento Sistémico debe ser más que un conjunto de conceptos abstractos muy alejados de la práctica cotidiana y debe orientarse conectando de manera sólida la praxis del diseño y la implementación de la tecnología.

En Colombia, la revisión de algunos currículos del Programa de Ingeniería de sistemas, permite observar la existencia de las mismas tendencias mencionadas de los programas de computación, lo cual permitiría a simple vista concluir que en el país estas disciplinas fundamentan su quehacer en el pensamiento algorítmico y en el uso de tecnología principalmente, sin embargo, al realizar una reflexión un poco más exhaustiva, se presente en el escenario la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI). Esta organización ha planteado un conjunto de lineamientos para los diversos programas de Ingeniería que se orientan en el país, entre los cuales se encuentra la Ingeniería de Sistemas.

ACOFI expone que:

El profesional de ingeniería de sistemas debe tener capacidades para diagnosticar, diseñar, construir, evaluar, auditar y mantener sistemas y procesos de información dentro de un marco administrativo, empresarial y humanista. Debe además tener autonomía para dirigir su desarrollo personal y una actitud de compromiso hacia la sociedad que lo circunda.

(ACOFI, 2005). En coherencia con esta definición, la propuesta curricular sugerida por esta organización incluye de forma precisa asignaturas relacionadas con Investigación de operaciones, Matemáticas discretas, Sistemas y organizaciones, Teoría general de Sistemas, Información y Comunicaciones, cursos directamente relacionados con los fundamentos teóricos y epistemológicos expuestos en este capítulo.

Estos fundamentos que son abordados con mayor o menor intensidad por los currículos de Ingeniería de Sistemas del país, generando competencias en este profesional que le permiten desempeñarse en casi todos los ámbitos de la sociedad. La teoría general de Sistemas, y el pensamiento sistémico, muy presente en la Ingeniería de software y de forma particular en la ingeniería de requerimientos, es vital para que el

Ingeniero de sistemas logre insertarse dentro de una necesidad particular y logre abordarla holísticamente para construir una solución completa, eficiente y ajustada a lo particularmente requerido.

Si bien es cierto que la computación ha sido considerada transversal y con la cualidad de ser interdisciplinaria: “la computación es una ciencia en la que la transversalidad con otras disciplinas es de suma importancia, se relaciona con todas las demás actividades de la sociedad” (Umaña Venegas, 2016), es claro que la Ingeniería de Sistemas, es realmente la profesión que guarda estas importantes cualidades y se convierte en factor fundamental para la solución de problemas en las organizaciones.

## Conclusiones

La ingeniería de sistemas fundamenta su proceder y su actuar en la Teoría General de Sistemas y principalmente en el concepto de Sistemas. La TGS dispone de un conjunto de conceptos que son utilizados por los Ingenieros de Sistemas para construir soluciones integrales y totales.

La teoría de Sistemas como complemento del pensamiento algorítmico y del uso de tecnología, permite generar un profesional transversal con la capacidad de desempeñarse de manera asertiva en los diferentes sectores de la sociedad aportando conocimientos, estrategias, métodos y productos para la resolución de problemas o necesidades de estos ámbitos. Tanto la ingeniería de sistemas como el pensamiento sistémico exponen la necesidad de ver un sistema desde más de una perspectiva.

La Ingeniería de Sistemas toma los preceptos de los currículos de computación a nivel internacional, sin embargo, integra todos estos lineamientos educativos con las teorías y fundamentos que soportan el concepto de Sistemas para cimentar una disciplina completa dispuesta a diseñar soluciones que automaticen y optimicen las formas existentes de hacer las cosas.

## Referencias

- ACM - IEEE. (30 de septiembre de 2005). Association for Computing Machinery. Obtenido de Curricula Recommendations: <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2005-march06final.pdf>
- ACOFI. (2005). Tendencias en la Formación de Ingenieros de Sistemas en Colombia.
- Attainable Utopias. (14 de julio de 2018). Some Cybernetics (external link) & Systems Theory (external link). Obtenido de <http://attainable-utopias.org>
- Arnold Cathalifaud, M., & Osorio, F (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. Cinta de Moebio
- Badillo, I. (2011). Fundamentos epistemológicos y tendencias de la ciencia de sistemas contemporánea. Tomado de: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/22750/Fundamentos%20epistemologicos%20y%20tendencias%20de%20la%20ciencia%20de%20sistemas%20contemporanea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Britannica. (14 de julio de 2018). Classical Information Theory. Obtenido de <https://www.britannica.com/science/information-theory/Classical-information-theory>
- Cyert, Richard, and James March. (1963). A Behavioral Theory of the Firm. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- INCOSE. IEEE. SERC. (2016). Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK).
- Jirotko, M., & Goguen, J. (1994). Resolving Requirements Conflicts with Computer-Supported Negotiation,” in Requirements Engineering: Social and Technical Issues. London: Academic Press.
- Johansen O. (1982). Introducción a la Teoría General de Sistemas
- Mintzberg, Henry. (2004). Managers not MBAs: A Hard Look at the Soft Practice of Managing and Management Development. San Francisco: Berrett-Koehler.
- Morozov, E. (2013). To Save Everything, Click Here: The Folly of Technological Solutionism. New York: PublicAffairs.
- NASA. (1995). Systems Engineering Handbook. NASA. SP-610S.
- Ortega y Gasset, J. El concepto de técnica en Ortega y Gasset.
- Pangaro, P. (18 de julio de 2018). “Getting Started” Guide to Cybernetics. Obtenido de <http://www.pangaro.com/definition-cybernetics.html>

- Ramo, S. (2005). *Conquering Complexity: lessons in defence systems acquisition*, The Defence Engineering Group. University College London.
- Schuster, A., & Yamaguchi, Y. (2010). Application of Game Theory to Neuronal Networks. *Advances in Artificial Intelligence*, 1-12.
- Shannon, C. E. (1948). *A Mathematical Theory of Communication*. Bell System Technical Journal.
- Shoham, Y. (2008). *Computer Science and Game Theory*. *communications of the acm*, 75-79.
- Simon, Herbert. 1947. *Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization*. New York, NY: The Free Press.
- Spelt, E., Biemans, H., & Tobi, H. (10 de noviembre de 2009). Teaching and Learning in Interdisciplinary Higher Education: A Systematic Review. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-009-9113-z>
- Umaña Venegas, J. (6 de junio de 2016). Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de Transversalidad de la computación y formación integral: el consejo del pasado para los ingenieros del futuro: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2016/06/06/transversalidad-computacion-formacion-integral-consejo-pasado-ingenieros-futuro>
- UNESCO-UNEVOC. (2013). *IBE Glossary of Curriculum Terminology*. Obtenido de <https://unevoc.unesco.org/go.php?q=TVETipedia+-Glossary+A-Z&id=577>
- Valencia Giraldo, A. (2004). La relación entre la ingeniería y la ciencia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (31), 156-174.
- van der Westhuizen, Zander. (2010). Transversality and interdisciplinary discussion in postfoundational practical theology - reflecting on Julian Müller's interdisciplinary guidelines. *HTS Theological Studies*, 66(2), 1-5. Retrieved August 16, 2018, from [http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0259-94222010000200012&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0259-94222010000200012&lng=en&tlng=en)
- Von Foerster, V. (1991). *Las semillas de la cibernética*. Madrid: Gedisa.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Paris: MIT Press.