



GUÍA DE IS

Una guía de Ingeniería
de Sistemas

V1

Introducción

Desde un simple termostato hasta una red de telecomunicaciones global, los sistemas están presentes en todos los aspectos de nuestra vida. La ingeniería de sistemas es la disciplina encargada de estudiar, diseñar, implementar y mejorar estos sistemas, asegurando que funcionen de manera eficiente y confiable.

Contribuyentes

- Ing. José F. Rivas
- Ing. Damian de J. Araujo
- Ing. David A. Rojas
- Ing. Damaglys E. Guerra

¿Qué verás en esta guía?

En esta guía, se explorarán los fundamentos de la ingeniería de sistemas, incluyendo:

- **Conceptos básicos:** Sistemas, modelos, componentes, interfaces, etc.
- **Metodologías:** Modelos de ciclo de vida de sistemas, Estándar de Ingeniería de Sistemas ISO 15288.
- **Herramientas:** Softwares de modelado, MBSE, etc.
- **Campos de aplicación:** Gerencia, industrias, telecomunicaciones, informática, etc.
- **Casos de uso reales:** Ejemplos de cómo se podría aplicar la ingeniería de sistemas en diferentes campos.

¿Cuál es el objetivo de esta guía?

El objetivo de la guía es proporcionar una base sólida en los fundamentos de la ingeniería de sistemas moderna, el pensamiento sistémico y la realización de sistemas complejos mediante el uso de las etapas y procesos fundamentales del estándar ISO 15288. Además, te ayudará a comprender mejor cómo funcionan los sistemas que se utilizan a diario y a apreciar el papel fundamental que desempeñan los ingenieros de sistemas en la sociedad.

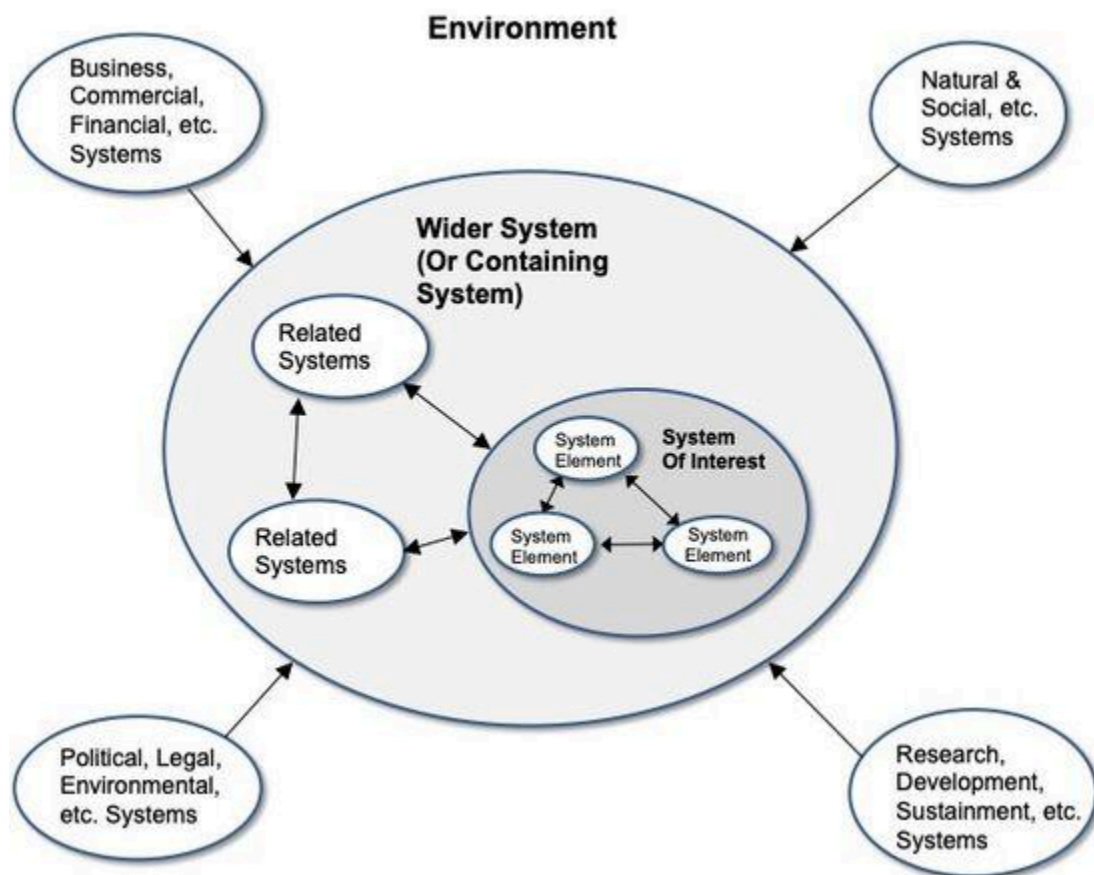
¿A quién está dirigida esta guía?

Esta guía está dirigida a estudiantes, profesionales y cualquier persona interesada en comprender y actualizar los principios de la ingeniería de sistemas, las etapas y procesos del estándar ISO 15288 y su aplicación en el mundo real.

1. Introducción a la Ingeniería de Sistemas

1.1. Qué es un Sistema

El concepto más familiar para los ingenieros de sistemas a menudo se remonta a Ludwig von Bertalanffy (1950, 1968), en el que se considera un sistema como un "todo" que consiste en "partes" que interactúan entre sí.



Ejemplo de un sistema, sus elementos y ambiente. Fuente: SEBoK.

Se presentan las siguientes definiciones acerca de qué es un sistema:

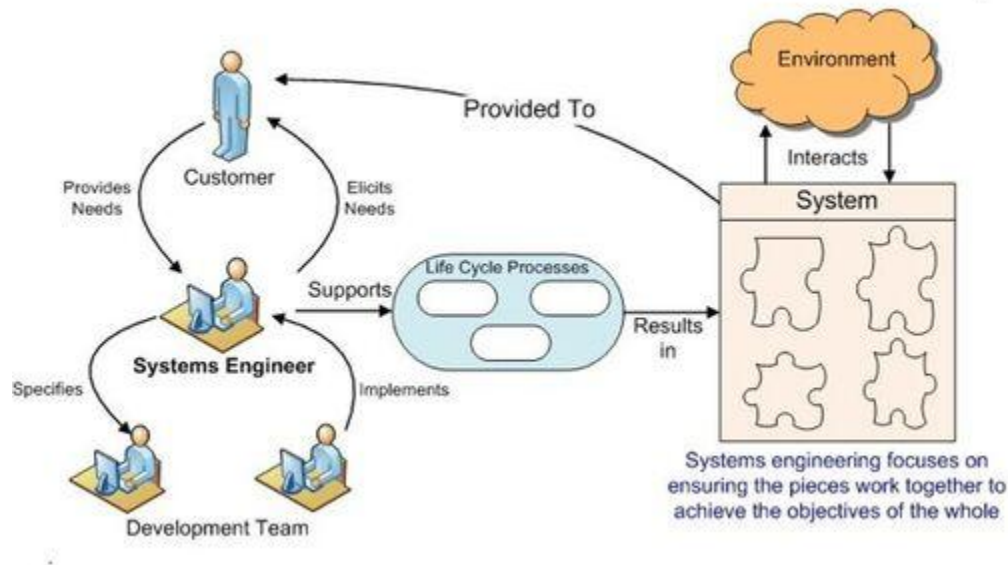
- Las definiciones INCOSE e ISO/IEC/IEEE se basan en la visión de que un sistema es un conjunto integrado de elementos, subsistemas o conjuntos que logran un objetivo definido. Estos elementos incluyen productos (hardware, software, firmware), procesos, personas, información, técnicas, instalaciones, servicios y otros elementos de soporte.
- La NASA (2007) define un “sistema” como la combinación de elementos que funcionan juntos para producir la capacidad necesaria para satisfacer una necesidad. Los elementos incluyen todo el hardware, software, equipo, instalaciones, personal, procesos y procedimientos necesarios para este fin; es decir, todo lo necesario para producir resultados a nivel de sistema.

1.2. Qué es la Ingeniería de Sistemas

A continuación, se presentan algunas definiciones:

- La ingeniería de sistemas es un enfoque interdisciplinario y un medio para permitir la **realización** de **sistemas exitosos**. Se centra en definir las necesidades del cliente y la funcionalidad requerida en las primeras etapas del ciclo de desarrollo, documentar los requisitos y luego proceder con la síntesis del diseño y la validación del sistema mientras se considera el problema completo: operaciones, costos y cronograma, desempeño, capacitación y soporte, pruebas, fabricación, y eliminación. (INCOSE, 2004).
- La ingeniería de sistemas **integra** todas las disciplinas y grupos de especialidades en un esfuerzo de equipo formando un **proceso de desarrollo estructurado** que avanza desde el concepto hasta la producción y la operación. (INCOSE, 2004).
- La ingeniería de sistemas considera tanto las necesidades comerciales como técnicas de todos los clientes con el objetivo de proporcionar un producto de calidad que satisfaga las **necesidades del usuario**. (INCOSE, 2004).
- La función de la ingeniería de sistemas es guiar la **ingeniería** de sistemas complejos. (Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer, 2011). En esta definición, la

palabra “ingeniería” se puede interpretar como *construcción, diseño y fabricación* mediante el uso de la ingeniería.



Elementos clave de la Ingeniería de Sistemas. Fuente: SEBoK.

1.3. El Ingeniero de Sistemas

La mayoría de los ingenieros de sistemas son profesionales que utilizan procesos y métodos que se han desarrollado y evolucionado durante décadas. Recordando que: “la Ingeniería de Sistemas es un enfoque pragmático, inherentemente interdisciplinario, pero especializado” (SEBoK).

Los ingenieros de sistemas suelen trabajar dentro de un dominio específico utilizando procesos y métodos que se adaptan a los problemas, limitaciones, riesgos y oportunidades únicos de su dominio. Estos procesos y métodos han evolucionado para capturar el conocimiento de los expertos en el dominio (especialistas) sobre el mejor enfoque para aplicar la Ingeniería de Sistemas al dominio en particular.

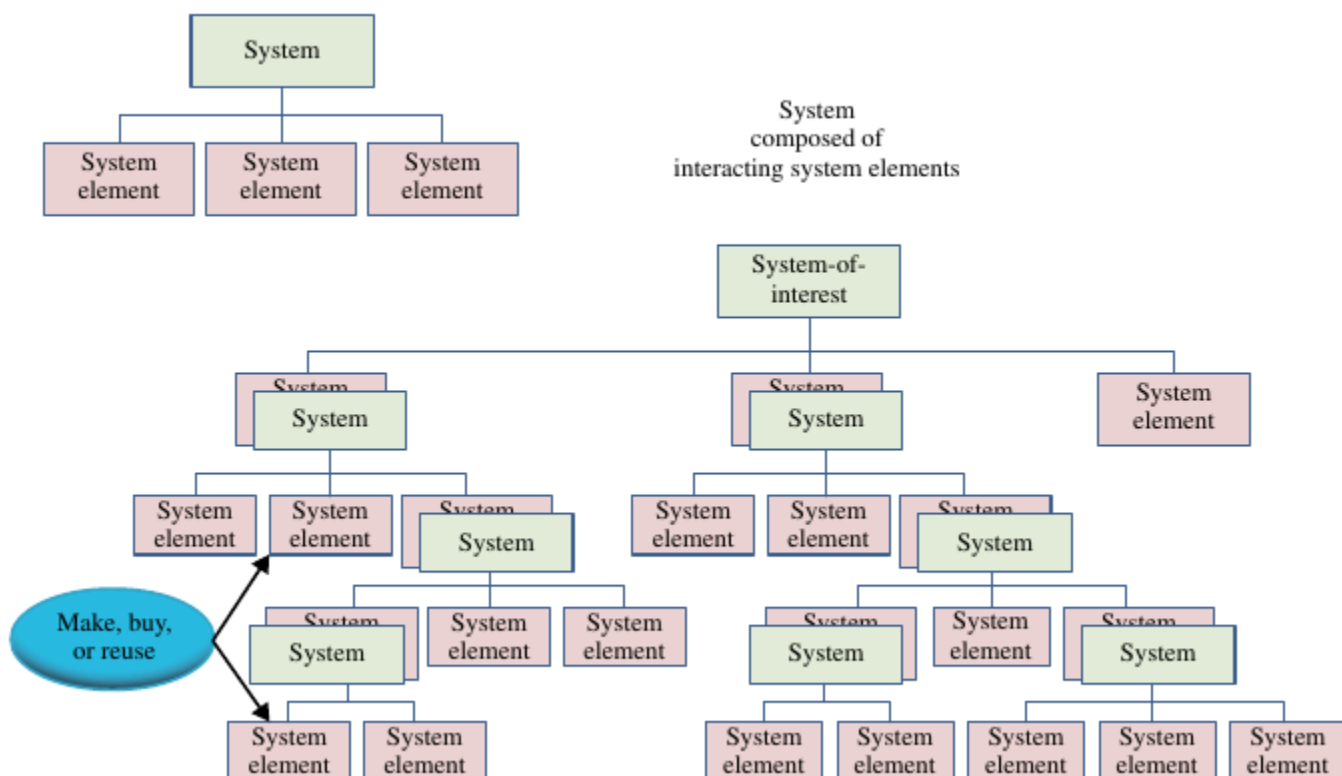
SEBoK menciona que un ingeniero de sistemas es "una persona que practica la ingeniería de sistemas", y cuyas capacidades y experiencia en ingeniería de sistemas incluyen la práctica prolongada, especialización, liderazgo o autoridad sobre las

actividades de la Ingeniería de Sistemas. Estas actividades pueden ser realizadas por cualquier persona competente independientemente de su cargo o afiliación profesional.

2. Conceptos fundamentales de la Ingeniería de Sistemas

2.1. Jerarquía de un Sistema

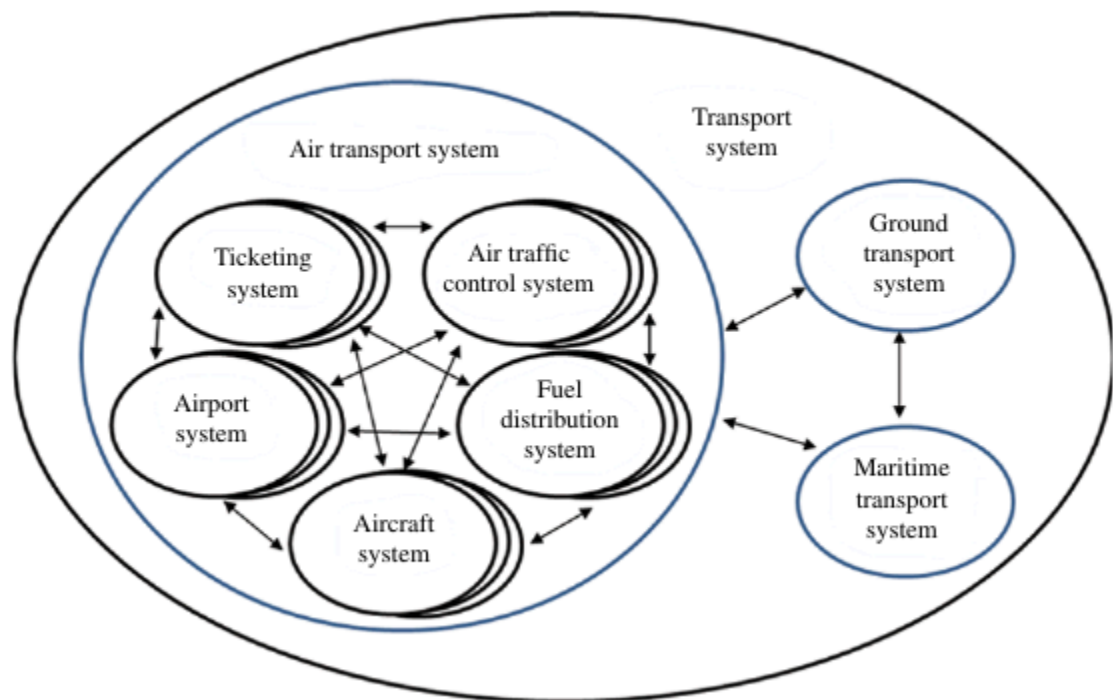
En el uso de la terminología ISO/IEC/IEEE, los elementos del sistema pueden ser atómicos (es decir, no descomponerse más), o pueden ser sistemas por sus propios méritos (es decir, descomponerse en más elementos subordinados del sistema). La integración de los elementos del sistema debe establecer la relación entre los efectos que tiene la organización de los elementos en sus interacciones y cómo estos efectos permiten que el sistema logre su propósito. (INCOSE, 2015).



Jerarquía de un sistema. Fuente: INCOSE.

2.2. Sistemas de Sistemas

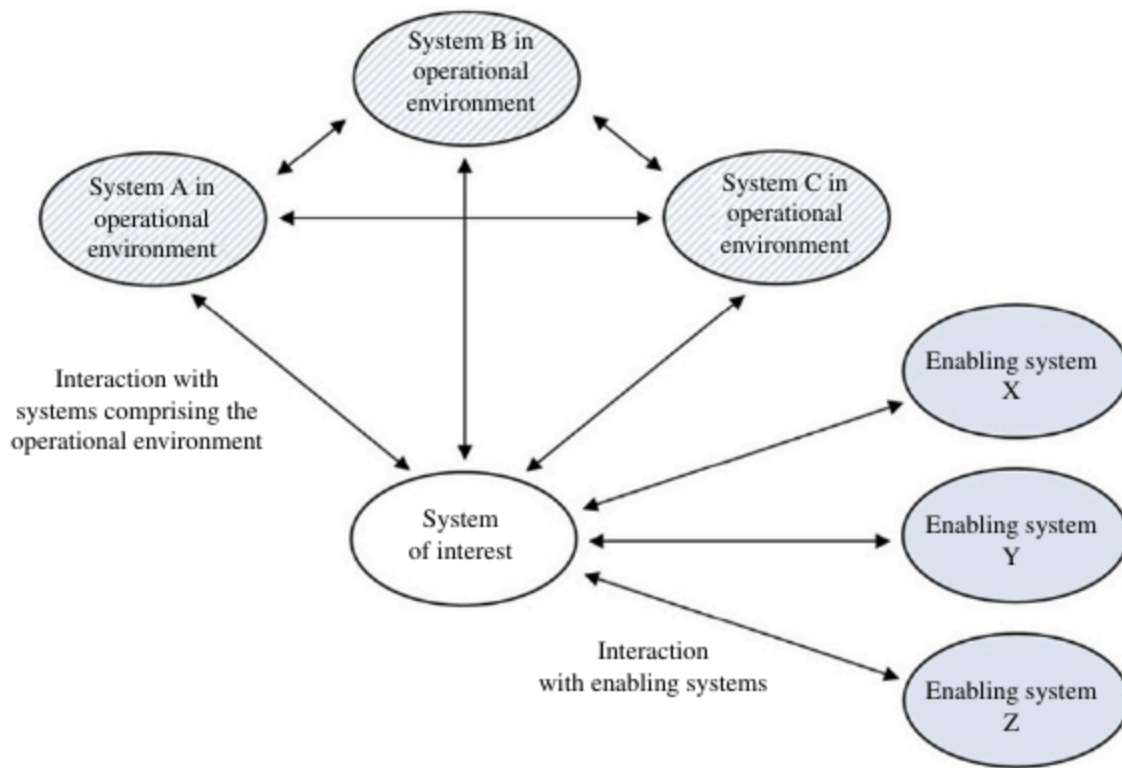
Un “sistema de sistemas” (SoS) es un SOI (sistema de interés) cuyos elementos son sistemas administrativa y/o operativamente independientes. Estas colecciones interoperativas y/o integradas de sistemas constituyentes generalmente producen resultados que los sistemas individuales por sí solos no pueden lograr. Debido a que un SoS es en sí mismo un sistema, el ingeniero de sistemas puede elegir si abordarlo como un sistema o como un SoS, dependiendo de qué perspectiva se adapte mejor a un problema en particular. (INCOSE, 2015).



Representación de un sistemas de sistemas. Fuente: Dahmann.

2.3. Sistemas “habilitantes”

Los sistemas habilitantes son sistemas que facilitan las actividades del ciclo de vida del SOI (sistema de interés). Los sistemas habilitantes brindan servicios que el SOI necesita durante una o más etapas del ciclo de vida, aunque los sistemas habilitantes no son un elemento directo del entorno operativo. (INCOSE, 2015).



Representación de sistemas habilitantes. Fuente: ISO 15288:2015.

2.4. Sistemas de Ingeniería

Un sistema de ingeniería (*Engineered System*) es un sistema diseñado o adaptado para interactuar con un entorno operativo anticipado para lograr uno o más propósitos previstos mientras cumple con las restricciones aplicables. Por lo tanto, un “sistema de ingeniería” es un sistema (no necesariamente tecnológico) que ha sido o será un “sistema de ingeniería” para un propósito.

Los “sistemas de ingeniería” pueden estar compuestos por cualquiera o todos los individuos, productos, servicios, información, procesos y elementos naturales. (INCOSE).

2.5. Tabla de conceptos de Sistemas

A continuación se presenta una tabla de conceptos fundamentales relacionados con los sistemas:

Concepto	Definición fundamental
Abstracción	Un enfoque en las características esenciales es importante en la resolución de problemas porque permite a los solucionadores de problemas ignorar lo no esencial, simplificando así el problema (Sci-Tech Encyclopedia, 2009; SearchCIO, 2012; Pearce, 2012).
Límites	Un límite o membrana separa el sistema del mundo externo. Sirve para concentrar las interacciones dentro del sistema, permitiendo el intercambio con sistemas externos (Hoagland, Dodson y Mauck, 2001).
Cambio	El cambio es necesario para el crecimiento y la adaptación, y debe ser aceptado y planificado como parte del orden natural de las cosas en lugar de algo que debe ser ignorado, evitado o prohibido (Bertalanffy, 1968; Hybertson, 2009).
Dualismo	Reconocer las dualidades y considerar cómo están, o pueden armonizarse en el contexto de un todo más grande (Hybertson, 2009).
Encapsulación	Ocultar partes internas y sus interacciones desde el entorno externo (Klerer, 1993; IEEE, 1990).
Equifinalidad	En los sistemas abiertos, se puede llegar al mismo estado final desde diferentes condiciones iniciales y de diferentes maneras (Bertalanffy, 1968). Este principio puede ser explotado, especialmente en sistemas de agentes útiles.
Holismo	Un sistema debe considerarse como una sola entidad, un todo, no sólo como un conjunto de piezas (Ackoff, 1979; Klir, 2001).
Interacción	Las propiedades, capacidades y el comportamiento de un sistema se derivan de sus partes, de las interacciones entre esas partes y de las interacciones con otros sistemas (Hitchins, 2009 p. 60).

Jerarquía de Capas	La evolución de los sistemas complejos se ve facilitada por su estructura jerárquica (incluyendo formas intermedias estables) y la comprensión de los sistemas complejos se ve facilitada por su descripción jerárquica (Pattee, 1973; Bertalanffy, 1968; Simon, 1996).
Apalancamiento	Alcanzar el máximo apalancamiento (Hybertson, 2009). Debido a la compensación de poder versus generalidad, el apalancamiento puede lograrse mediante una solución completa (potencia) para una clase estrecha de problemas, o por una solución parcial para una amplia clase de problemas (generalidad).
Modularidad	Partes no relacionadas del sistema deben separarse, y las partes relacionadas del sistema deben agruparse (Griswold, 1995).
Redes	La red es una topología fundamental para sistemas que forma la base de la unión, conexión e interacción dinámica de partes que producen el comportamiento de sistemas complejos (Lawson, 2010; Martin et al. 2004; Sillitto, 2010).
Parsimonia	Uno debe elegir la explicación más simple de un fenómeno, el que requiere menos supuestos (Cibernética, 2012). Esto se aplica no sólo a la elección de un diseño, sino también a los de operaciones y requisitos.
Regularidad	La ciencia de sistemas debe encontrar y capturar regularidades en los sistemas, porque esas regularidades promueven la comprensión de los sistemas y facilitan la práctica de los sistemas (Bertalanffy, 1968).
Relaciones	Un sistema se caracteriza por sus relaciones: las interconexiones entre los elementos. La retroalimentación es un tipo de relación. El conjunto de relaciones define la red del sistema (Odum, 1994).
Separación de las preocupaciones	Un problema más grande se resuelve más eficazmente cuando se descompone: un conjunto de problemas o preocupaciones más pequeñas (Erl, 2012; Greer, 2008).

Similitudes/Diferencias	Tanto las similitudes como las diferencias en los sistemas deben ser reconocidas y aceptadas por lo que son (Bertalanffy, 1975 p. 75; Hybertson 2009). Evite forzar una talla en caja todos, y evite tratar todo como totalmente único.
Estabilidad/Cambio	Las cosas cambian a diferentes velocidades, y las entidades o conceptos en el extremo estable del espectro pueden y deben utilizarse para proporcionar un contexto orientador para entidades que cambian rápidamente en el volátil extremo del espectro (Hybertson 2009). El estudio de sistemas adaptativos complejos puede dar orientación al comportamiento del sistema y el diseño en entornos cambiantes (Holland, 1992).
Síntesis	Los sistemas se pueden crear mediante el diseño, las partes correctas (concibiendo, diseñando, seleccionando) las partes correctas, acompañándolas para interactuar de la manera correcta, y en orquestar esas interacciones para crear las propiedades necesarias del conjunto, de manera que funcione con una eficacia óptima en su ambiente operativo, resolviendo así el problema que impulsó su creación. (Hitchins, 2009: 120).
Vistas	Las múltiples opiniones, cada una basada en un aspecto o preocupación del sistema, son esenciales para comprender un sistema complejo o una situación problemática. Una opinión crítica es cómo la preocupación se relaciona con las propiedades del todo (Edson, 2008; Hybertson, 2009).

Tabla de conceptos fundamentales de Sistemas. Fuente: SEBoK

3. Ciencia de Sistemas y Pensamiento Sistémico

3.1. Ciencia de Sistemas

La ciencia de sistemas reúne la investigación de todos los aspectos de los sistemas con el objetivo de identificar, explorar y comprender patrones de complejidad que atraviesan campos disciplinarios y áreas de aplicación. Busca desarrollar fundamentos interdisciplinarios que puedan formar la base de teorías aplicables a todo tipo de sistemas (por ejemplo, en la naturaleza, la sociedad y la ingeniería) independientemente del tipo de elemento o aplicación. (INCOSE, 2015).

3.2. Pensamiento sistémico

La perspectiva de la Ingeniería de Sistemas se basa en el pensamiento sistémico. El pensamiento sistémico es una perspectiva única de la realidad, una perspectiva que agudiza nuestra conciencia de los “todos” y de cómo se interrelacionan las partes dentro de esos “todos”. Cuando se considera un sistema como una combinación de elementos del sistema, el pensamiento sistémico reconoce la primacía del todo (sistema) y la primacía de la relación de las interrelaciones de los elementos del sistema con el todo.

El pensamiento sistémico ocurre a través del descubrimiento, el aprendizaje, el diagnóstico y el diálogo que conducen a sentir, modelar y hablar sobre el mundo real para comprender, definir y trabajar mejor con los sistemas. Un pensador sistémico sabe cómo encajan los sistemas en el contexto más amplio de la vida cotidiana, cómo se comportan y cómo gestionarlos.

Se mencionan las siguientes definiciones acerca del pensamiento sistémico:

1. Una epistemología que, aplicada a la actividad humana, se basa en cuatro ideas básicas: emergencia, jerarquía, comunicación y control como características de los sistemas. (Checkland, 1999).
2. Un proceso de descubrimiento y diagnóstico: una investigación de los procesos rectores que subyacen a los problemas y oportunidades. (Senge, 1990).
3. Una disciplina para examinar totalidades, interrelaciones y patrones utilizando un conjunto específico de herramientas y técnicas. (Senge, 1990).

Los conceptos, principios y patrones del pensamiento sistémico han surgido tanto del trabajo de los científicos de sistemas como del trabajo de los profesionales que aplican los conocimientos de la ciencia de sistemas a los problemas del mundo real.

3.2.1. Holismo

Un sistema debe considerarse como una entidad única, un todo, no sólo como un conjunto de partes (Ackoff 1979; Klir 2001).

El holismo ha sido un tema dominante en el pensamiento sistémico durante casi un siglo, en reconocimiento de la necesidad de considerar un sistema como un **todo** debido a fenómenos observados como la emergencia. Entre sus defensores se encuentran Wertheimer, Smuts, Bertalanffy, Weiss (Ackoff, 1979), (Klir 2001) y (Koestler, 1967), entre muchos otros.

3.2.2. Enfoque sistémico

El término “enfoque de sistemas” es utilizado por los autores de la ciencia de sistemas para describir un enfoque de “pensamiento” de sistemas, en lo que respecta a cuestiones fuera de los límites del sistema de interés inmediato (Churchman, 1979). Este enfoque de sistemas es esencial cuando los supuestos reduccionistas (la noción de que todo el sistema tiene propiedades derivadas directamente de las propiedades de sus componentes) ya no se aplican al sistema de interés (Sol) y cuando la emergencia y la complejidad en múltiples niveles de un sistema contexto requieren un enfoque holístico.

El enfoque de sistemas para sistemas de ingeniería está diseñado para examinar “todo el sistema, todo el ciclo de vida y toda la comunidad de partes interesadas”, así como para garantizar que el propósito del sistema (o intervención sistémica) se logre de manera sostenible sin causar consecuencias negativas no deseadas. Esto evita que el ingeniero “transfiera la carga” (en términos de pensamiento sistémico) a alguna otra parte del entorno que no pueda soportar esa carga (Senge, 2006). Esto también disuade los problemas relacionados con la suboptimización que podrían ocurrir cuando no se tienen en cuenta sistemas completos para lograr el propósito del sistema (Sillitto, 2012).

El enfoque sistémico (derivado del pensamiento sistémico) y la ingeniería de sistemas (SE) se han desarrollado y madurado, en su mayor parte, de forma independiente; por lo tanto, las comunidades de ciencia de sistemas e ingeniería de sistemas difieren en sus puntos de vista sobre hasta qué punto la SE se basa en un enfoque de sistemas y qué tan bien la SE utiliza los conceptos, principios, patrones y representaciones del pensamiento sistémico.

4. Ciclo de Vida de Sistemas

4.1. Introducción

INCOSE (2023) establece que el propósito general de la Ingeniería de Sistemas es permitir la **realización exitosa del sistema** mientras se optimizan los objetivos de las partes interesadas en competencia. Una forma de gestionar la realización es dividiendo el esfuerzo general en pasos o etapas de transformación, luego verificando el cumplimiento satisfactorio de las características del sistema al final de cada etapa, así como verificando si el riesgo es aceptable y si el sistema está listo para entrar a otras etapas.

4.2. Qué es el Ciclo de Vida de Sistemas

Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer (2011) mencionan que el término “ciclo de vida de sistemas” se utiliza comúnmente para referirse a la evolución gradual de un nuevo sistema desde el concepto hasta el desarrollo, la producción, la operación y la eliminación final. A medida que el tipo de trabajo evoluciona desde el análisis en las primeras fases conceptuales hasta el desarrollo y las pruebas de ingeniería, hasta la producción y el uso operativo, el papel de la ingeniería de sistemas cambia en consecuencia.

Por analogía con las etapas por las que pasan los seres vivos, llamadas ciclo de vida, el conjunto de etapas de un sistema se denomina ciclo de vida del sistema. Por lo que los sistemas diseñados progresan de alguna manera a través de un conjunto de etapas, formando conceptualmente un ciclo de vida de sistemas, con puertas de decisión que determinan la finalización de una etapa y el inicio de otra.

4.3. Modelos más comunes

Existe gran variedad de metodologías y modelos para guiar el ciclo de vida de un sistema, los cuales han sido desarrollados por diferentes organizaciones. Algunos de las más comunes son:

- **Norma ISO 15288:** Es el marco de trabajo estándar utilizado por la Sociedad Internacional de Ingeniería de Sistemas (INCOSE) que establece los procesos, actividades y tareas necesarias para el desarrollo, implementación y mantenimiento de sistemas y productos de ingeniería. También establece los requisitos para la gestión de riesgos, la gestión de configuración y la gestión de la calidad.
- **Modelo de ciclo de vida de SEBoK (Systems Engineering Body of Knowledge):** es una guía de referencia para la ingeniería de sistemas que proporciona un modelo de ciclo de vida genérico para sistemas que se divide en las siguientes etapas principales: definición del concepto, definición del sistema, realización del sistema (producción, soporte, utilización) y retiro del sistema.
- **Arcadia:** ARCADIA es un método con herramientas dedicado a la ingeniería y arquitectura de sistemas, respaldado por la herramienta de modelado Capella.
- **Modelo de Ciclo de Vida de la Ingeniería de Sistemas (Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer):** Es un modelo para el desarrollo de sistemas complejos mediante 3 etapas: desarrollo del concepto, desarrollo de ingeniería y posdesarrollo.
- **Proceso V:** Es un modelo de ciclo de vida que establece una relación entre la fase de desarrollo y la fase de verificación y validación.
- **Modelo de ciclo de vida en cascada:** Es uno de los modelos más antiguos y comunes en la ingeniería de software, en el cual las fases del ciclo de vida se ejecutan secuencialmente, de manera que cada fase debe ser completada antes de que se pueda comenzar la siguiente. Este modelo fue propuesto por Royce en 1970.
- **Modelo de ciclo de vida en espiral:** Este modelo fue propuesto por Barry Boehm en 1986 y es una variante del modelo en cascada. El modelo de ciclo de

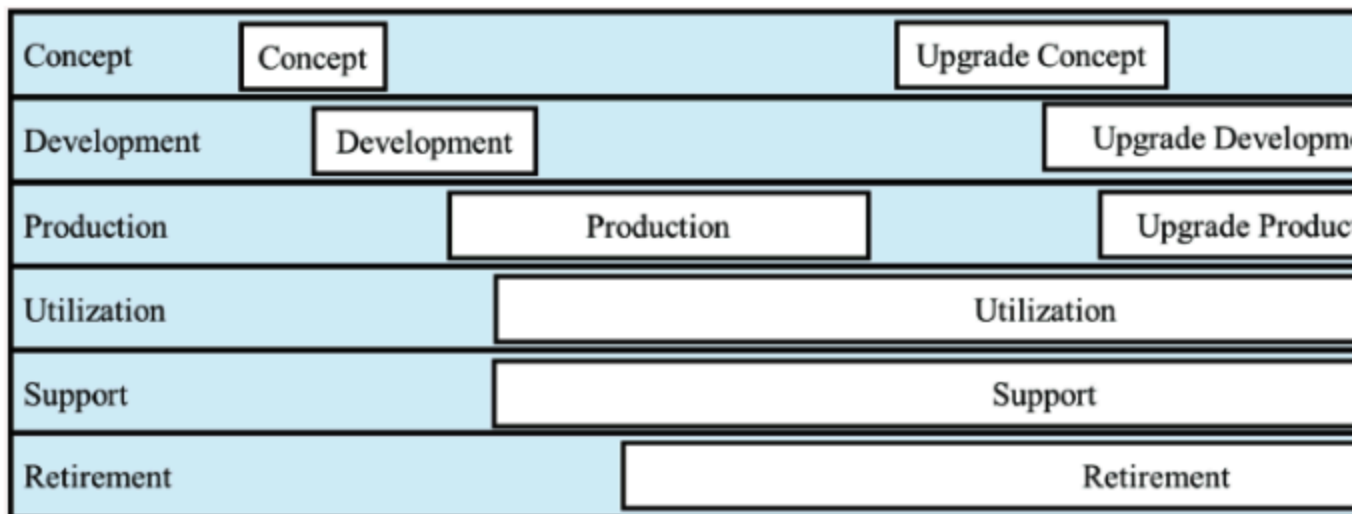
vida en espiral se enfoca en la identificación temprana de riesgos y en la adaptación continua a medida que se avanza en el ciclo de vida del sistema.

- **Modelo de Ciclo de Vida de DoD:** Es un modelo de ciclo de vida desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Se centra en la gestión de la adquisición, la ingeniería de sistemas, la gestión de la configuración, la producción y la operación y mantenimiento del sistema.

4.4. Modelo ISO 15288

4.4.1. Etapas

El modelo de ciclo de vida del sistema presentado en ISO 15288 presenta 6 etapas: concepto, desarrollo, producción, utilización, soporte y retiro.



Etapas del estándar ISO 15288:2023. Fuente: INCOSE (2023).

A continuación, se presentan algunas características de las etapas del ciclo de vida del sistema ISO 15288 según INCOSE (2023):

- Los ciclos de vida se definen en términos de las etapas que marcan el progreso en el logro de las características del sistema.

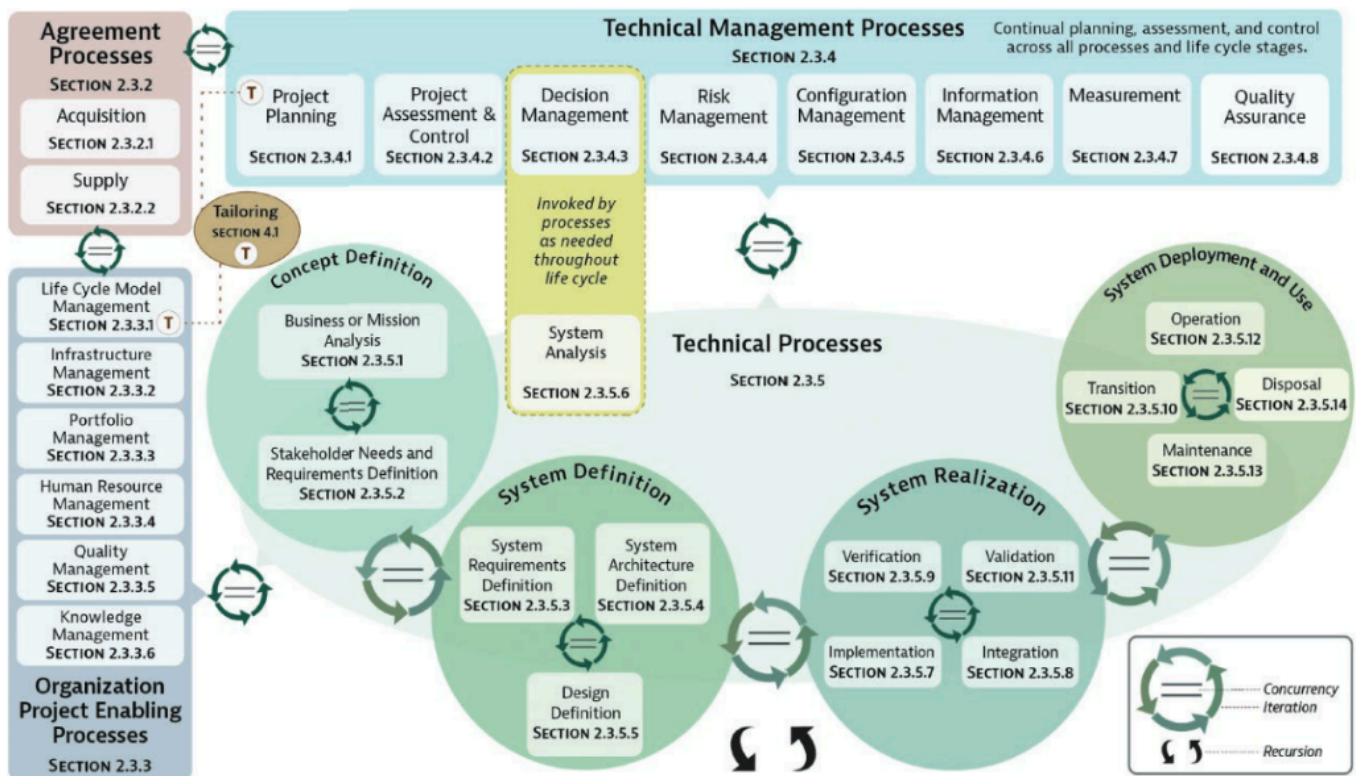
- Se pueden ingresar a las etapas del ciclo de vida del sistema en función de las necesidades del Sol (sistema de interés) o de cualquier elemento del sistema.
- Se puede ingresar a las etapas tantas veces como sea necesario.
- Las etapas a menudo no son secuenciales y pueden ocurrir simultáneamente o según sea necesario.
- Las etapas pueden superponerse y se puede ingresar a ellas en cualquier punto del ciclo de vida.
- La etapa de retiro no requiere que se retire todo el Sol (sistema de interés), puede ser cualquier elemento del sistema y no es necesario que el retiro se realice en el orden en que se entregó el sistema.

Para más información acerca de las etapas del ciclo de vida del sistema, revise el manual de Ingeniería de Sistemas de INCOSE.

4.4.2. Procesos

INCOSE (2023) establece que un proceso es una serie de actividades y tareas realizadas para lograr uno o más resultados para un propósito establecido.

En la ingeniería de sistemas, los procesos del ciclo de vida del sistema son uno de los habilitadores para ayudar a gestionar una solución del sistema a lo largo de las etapas del ciclo de vida. Los procesos están destinados a ser aplicados de manera concurrente, iterativa y recursiva con otros habilitadores (por ejemplo, herramientas, tecnología, etc.) a lo largo de las etapas del ciclo de vida.



Grupos y procesos del estándar ISO 15288:2023. Fuente: INCOSE (2023).

ISO/IEC/IEEE 15288 (2023) identifica cuatro grupos de procesos para el ciclo de vida del sistema, proporcionando "un marco de proceso común para describir el ciclo de vida de los sistemas diseñados, adoptando un enfoque de Ingeniería de Sistemas".

Estos grupos son: procesos de acuerdo, procesos de gestión técnica, procesos organizacionales (habilitadores de proyectos) y procesos técnicos.

Para más información acerca de los procesos y actividades del ciclo de vida del sistema, revise el manual de Ingeniería de Sistemas INCOSE.

5. Representando Sistemas con Modelado

SEBoK menciona que un modelo (no confundir con los modelos de ciclo de vida) es una representación simplificada de un sistema en algún momento particular en el

tiempo o el espacio destinado a promover la comprensión del sistema real. Como abstracción de un sistema, ofrece información sobre uno o más aspectos del sistema, como su función, estructura, propiedades, rendimiento, comportamiento o costo.

5.1. Ingeniería de Sistemas basada en Modelos

INCOSE Systems Engineering Vision 2020 (2007) define MBSE como “la aplicación formalizada de modelado para respaldar los requisitos del sistema, las actividades de diseño, análisis, verificación y validación que comienzan en la fase de diseño conceptual y continúan durante las fases de desarrollo y posteriores del ciclo de vida”.

MBSE a menudo se contrasta con un enfoque tradicional de SE (System Engineering) basado en documentos. En un enfoque de SE basado en documentos y esta información contenida en estos documentos suele ser difícil de mantener y sincronizar, y difícil de evaluar en términos de su calidad (corrección, integridad y coherencia). En un enfoque MBSE, gran parte de esta información se captura en un modelo de sistema o conjunto de modelos. El modelo del sistema es un artefacto principal del proceso de Ingeniería de Sistemas. MBSE formaliza la aplicación de la Ingeniería de Sistemas mediante el uso de modelos. (INCOSE, 2015).

5.2. Tipos de modelos

Se presentan los siguientes tipos según SEBoK:

- **Formal VS informal:** Dado que un modelo de sistema es una representación de un sistema, muchas expresiones diferentes que varían en grados de formalismo podrían considerarse modelos. En particular, se podría hacer un dibujo de un sistema y considerarlo un modelo. De manera similar, se podría escribir una descripción de un sistema en un texto y referirse a él como modelo. El enfoque principal del modelado de sistemas es utilizar modelos respaldados por un lenguaje de modelado bien definido.
- **Modelos físicos versus modelos abstractos:** un modelo físico es una representación concreta que se distingue de los modelos matemáticos y lógicos, los cuales son representaciones más abstractas del sistema. El modelo

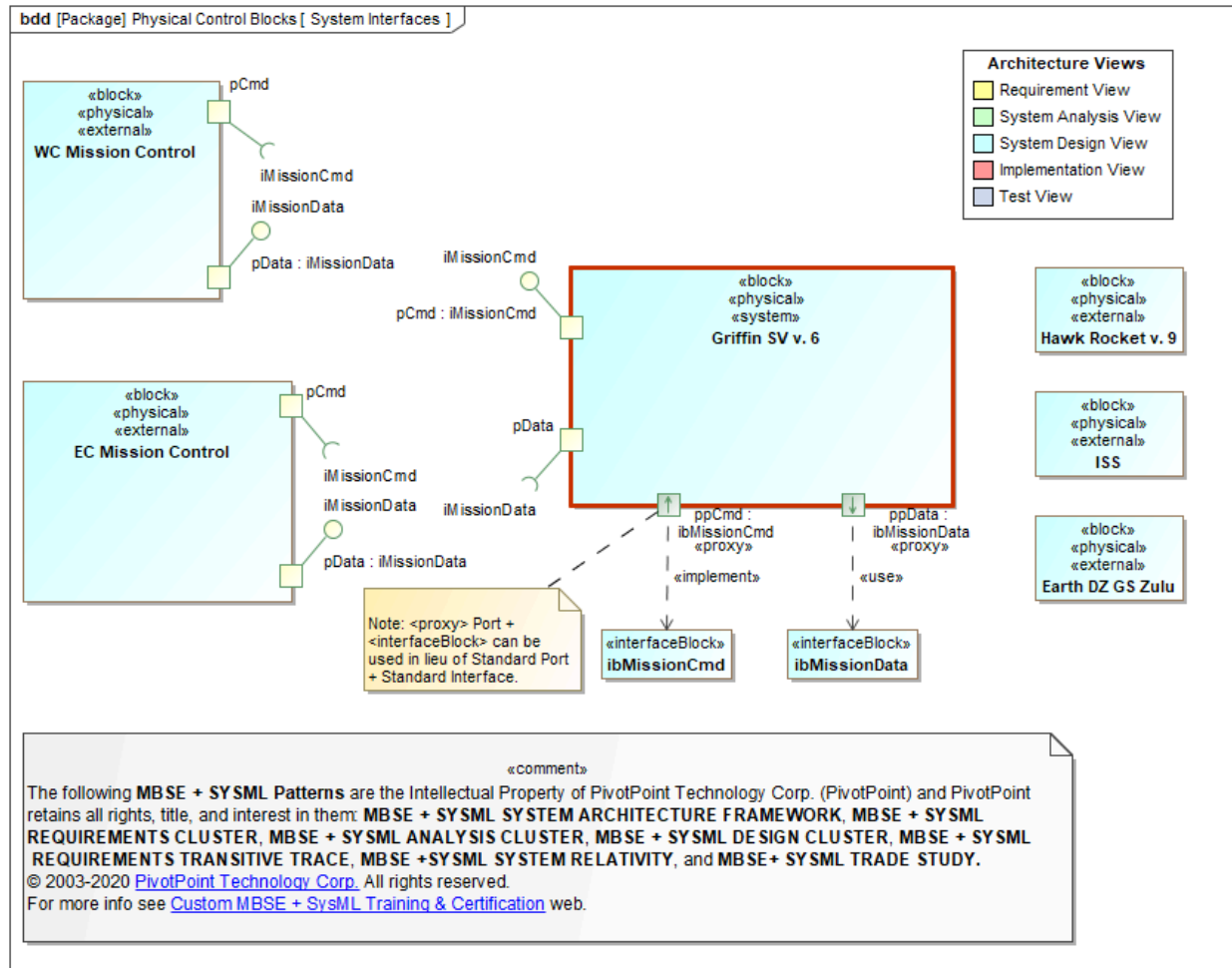
abstracto se puede clasificar además como descriptivo (similar al lógico) o analítico (similar al matemático).

- **Modelos descriptivos:** un modelo descriptivo describe relaciones lógicas, como la relación parte-todo del sistema que define su árbol de partes, la interconexión entre sus partes, las funciones que realizan sus componentes o los casos de prueba que se utilizan para verificar los requisitos del sistema.
- **Modelos analíticos:** un modelo analítico describe relaciones matemáticas, como ecuaciones diferenciales que respaldan análisis cuantificables sobre los parámetros del sistema. Los modelos analíticos se pueden clasificar además en modelos dinámicos y estáticos. Los modelos dinámicos describen el estado de un sistema que varía en el tiempo, mientras que los modelos estáticos realizan cálculos que no representan el estado de un sistema que varía en el tiempo.
- **Modelos híbridos descriptivos y analíticos:** un modelo particular puede incluir aspectos descriptivos y analíticos como se describió anteriormente, pero los modelos pueden favorecer un aspecto u otro. También se pueden analizar las relaciones lógicas de un modelo descriptivo y se pueden hacer inferencias para razonar sobre el sistema. Sin embargo, el análisis lógico proporciona conocimientos diferentes que un análisis cuantitativo de los parámetros del sistema.
- **Simulación versus modelo:** el término simulación, o más específicamente simulación por computadora, se refiere a un método para implementar un modelo a lo largo del tiempo (DoD 1998). La simulación por computadora incluye el modelo analítico que se representa en código ejecutable, las condiciones de entrada y otros datos de entrada, y la infraestructura informática.

5.3. Estándares de modelado

Se necesitan diferentes tipos de modelos para respaldar el análisis, la especificación, el diseño y la verificación de sistemas. La evolución de los estándares de modelado permite la amplia adopción de la ingeniería de sistemas basada en modelos (MBSE). Se presentan los siguientes estándares de modelado:

- Lenguaje de modelado de sistemas (SysML) (OMG 2010a)
- Diagrama de bloques de flujo funcional (FFBD) (Oliver, Kelliher y Keegan 1997)
- Definición de integración para modelado funcional (IDEF0) (NIST 1993)
- Metodología Objeto-Proceso (OPM) [[1]] (Dori 2002; ISO/PAS 19450:2015)
- Perfil unificado para el marco de arquitectura del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoDAF) y el marco de arquitectura del Ministerio de Defensa del Reino Unido (MODAF) (OMG 2011e)
- Lenguaje de ontología web (OWL) (W3C 2004b)
- Simulación interactiva distribuida (DIS) (IEEE 1998)
- Arquitectura de alto nivel (HLA) (IEEE 2010)
- Modelica (Asociación Modelica 2010)
- Semántica de un subconjunto fundamental para modelos ejecutables de lenguaje de modelado unificado (UML) (FUML) (OMG 2011d)



Modelado de Sistemas usando el lenguaje de modelado SysML. Fuente: Web oficial de SysML

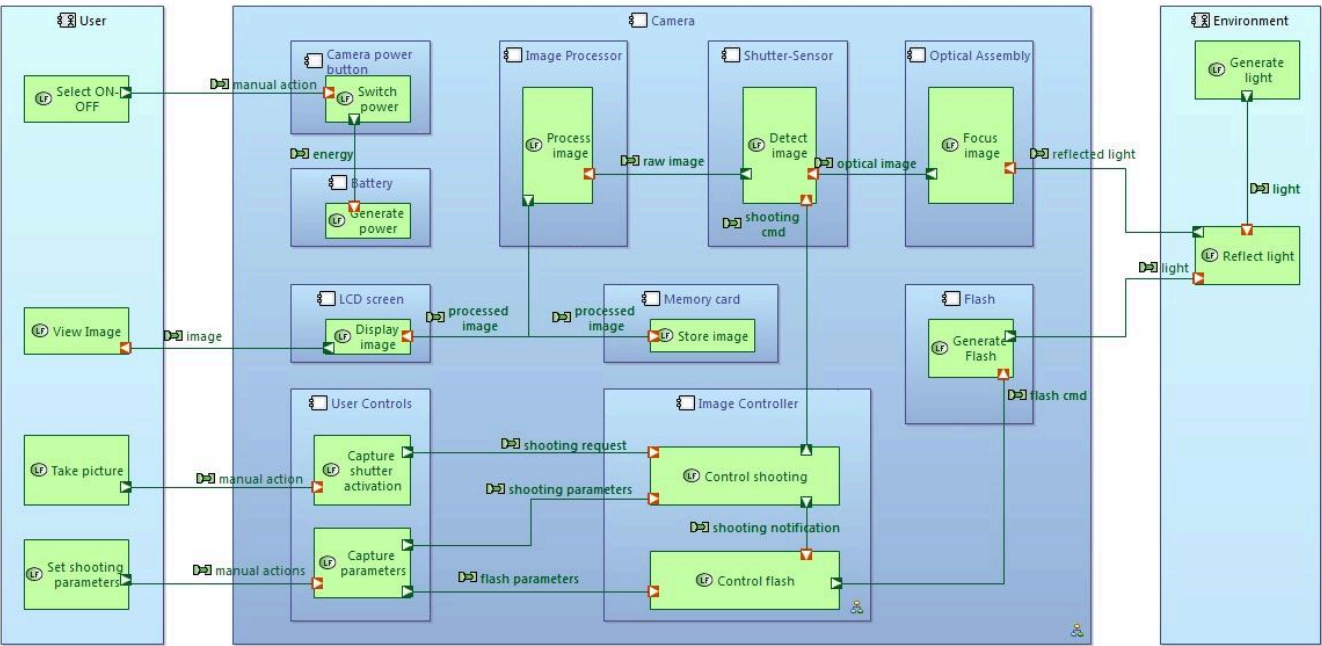
5.4. Herramientas de modelado

Existen gran variedad de herramientas de modelado que apoyan el MBSE y soportan el lenguaje de modelado SysML, en su mayoría comerciales, sin embargo existen alternativas Open Source, actualmente, con buen desarrollo disponibles. Se presentan las herramientas de modelado más comunes:

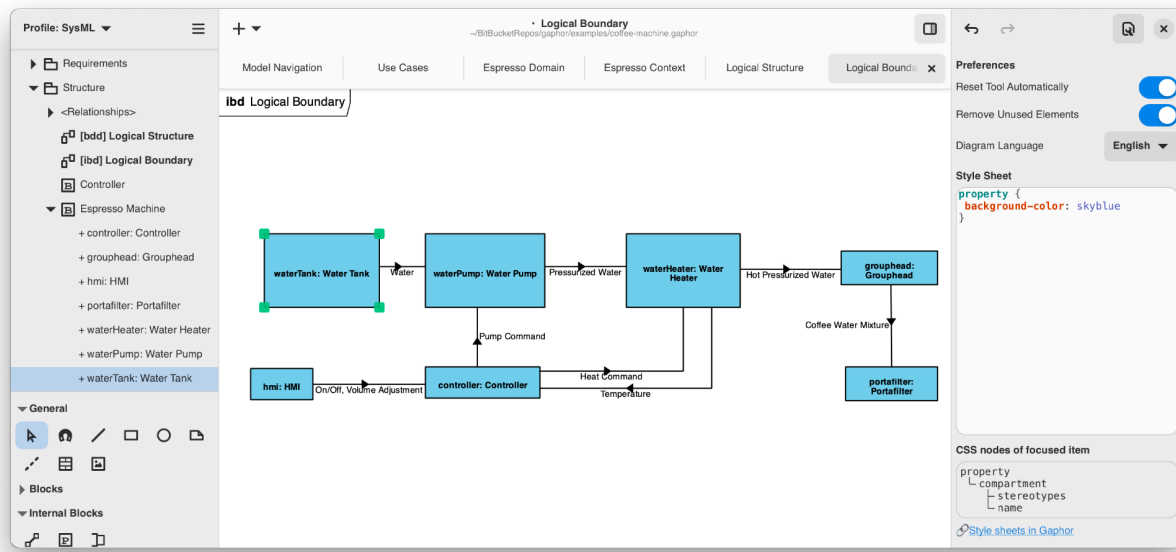
Nombre	Creador	Sistemas operativos disponibles	Open Source	Sitio web
Capella	Thales Group & Eclipse Foundation community	Windows, Linux, macOS	Sí	https://mbse-capella.org/
Papyrus	Commissariat à l'Énergie Atomique, Atos Origin	Windows, Linux, macOS (Java)	Sí	https://eclipse.dev/papyrus/
Modelio	Modeliosoft (SOFTEAM Group)	Windows, Linux, macOS	Sí	https://www.modelio.org/
Gaphor	Arjan Molenaar, Dan Yeaw, y otros	Windows, MacOS, Linux	Sí	https://gaphor.org/
Enterprise Architect	Sparx Systems	Windows (supports Linux and macOS installation)	No	https://sparxsystems.com/
MagicDraw	No Magic, a Dassault Systèmes company	Windows, Windows Server, Linux, Mac OS X (Java SE 11-compatible)	No	https://www.magicdraw.com/
Rational Rhapsody	IBM	Windows, Linux	No	https://www.ibm.com/es-es/products/systems-design-rhapsody
System Architect	UNICOM Global	Windows	No	https://www.unicomsi.com/products/system-architect/
Cameo Systems Modeler	3DS Catia, No Magic	Windows, Linux, macOS	No	https://www.3ds.com/products/catia/no-magic/cameo-systems-m

				odeler
System Composer	The MathWorks, Inc.	Windows, Linux, macOS	No	https://www.mathworks.com/products/system-composer.html

Tabla de herramientas MBSE. Fuente: Autores



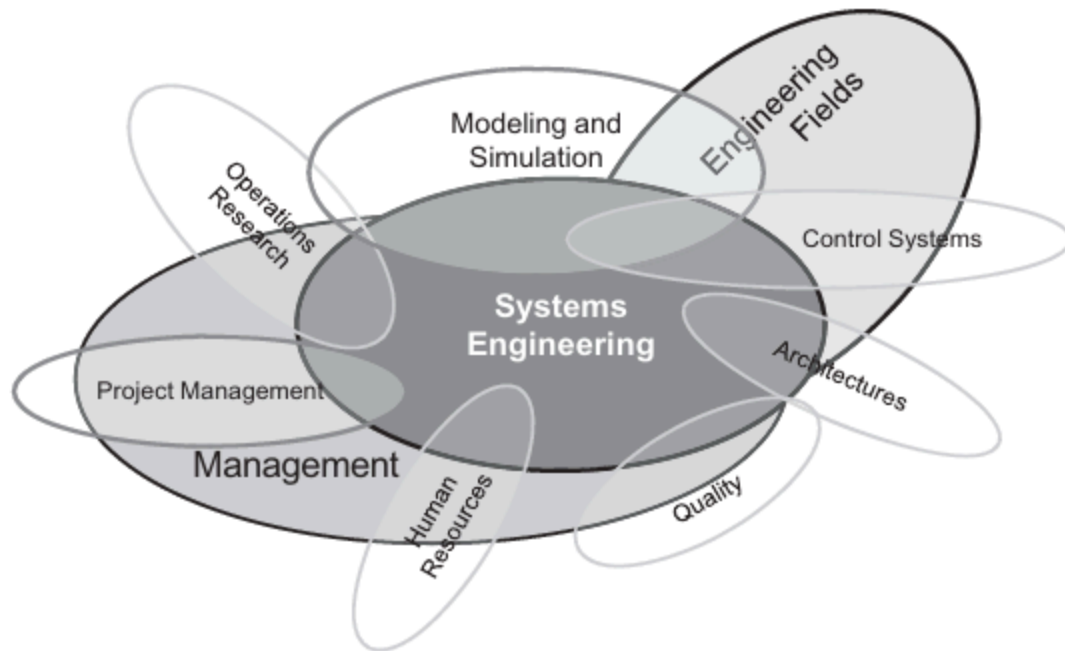
Modelado de Sistemas usando la herramienta Capella. Fuente: Web oficial de Capella



Modelado de Sistemas usando Gaphor. Fuente: Sitio web oficial de Gaphor.

6. Campos y Dominio de la Ingeniería de Sistemas

La ingeniería de sistemas tiene una fuerte conexión que une las disciplinas de ingeniería tradicionales como la ingeniería eléctrica, mecánica, aerodinámica, civil, informática, entre otras. (Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer, 2011).



Áreas y prácticas tradicionales relacionadas con la Ingeniería de Sistemas. Fuente: Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer, 2011.

SEBoK menciona que los dominios específicos en los que se utilizan y adaptan los enfoques de sistemas incluyen:

- Productos tecnológicos, integrando múltiples disciplinas de ingeniería.
- Sistemas ricos en información, p.e. comando y control, gestión del tráfico aéreo, etc.
- Plataformas, p.e. aviones, aviones civiles, automóviles, trenes, etc.
- Sistemas organizacionales y empresariales, que pueden centrarse en brindar servicios o capacidades.
- Ingeniería civil/sistemas de infraestructura, p.e. Redes de carreteras, puentes, construcciones, redes de comunicaciones, etc.

6.1. Adaptación de la Ingeniería de Sistemas a un área específica

INCOSE (2015) menciona que la disciplina de Ingeniería de Sistemas se puede aplicar a cualquier tamaño y tipo de sistema. Sin embargo, eso no significa que deba aplicarse

ciegamente de la misma manera en todos los sistemas. Si bien se aplican los mismos fundamentos de SE, diferentes dominios requieren diferentes puntos de énfasis para tener éxito. El manual de INCOSE de Ingeniería de Sistemas da algunas pautas para realizar una adaptación en los siguientes sectores:

- Sistemas automotrices
- Sistemas biomédicos y sanitarios
- Sistemas de defensa y aeroespaciales
- Sistemas de infraestructura
- Sistemas espaciales
- Sistemas de transporte (terrestre)

6.2. Conocimiento multidisciplinario

Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer (2011) mencionan que un importante proyecto de desarrollo de sistemas es similar a una "**Torre de Babel**". Donde hay, generalmente, docenas de especialistas en diferentes disciplinas cuyos esfuerzos colectivos son necesarios para desarrollar y producir un nuevo sistema exitoso. Cada grupo de especialistas tiene su propio idioma y estos, a su vez, están respaldados por bases de conocimientos que los especialistas utilizan para ejercer su oficio.

Un grupo así de participantes "multilingües" nunca podría lograr desarrollar colectivamente un nuevo sistema por sí solos, del mismo modo que los ciudadanos de Babilonia nunca pudieron construir su torre. Son los Ingenieros de Sistemas quienes proporcionan los **vínculos** que permiten que estos grupos dispares funcionen como un equipo. Los ingenieros de sistemas logran esta hazaña gracias al poder del **conocimiento multidisciplinario**.

Esto significa que están lo suficientemente alfabetizados en las diferentes **disciplinas involucradas** en su sistema como para comprender los lenguajes de los especialistas, apreciar sus problemas y ser capaces de interpretar las comunicaciones necesarias para su esfuerzo colectivo. A través de la capacidad de comprender

diferentes idiomas surge la capacidad de obtener esfuerzos cooperativos de personas que de otro modo nunca podrían lograr un objetivo común.

Esta capacidad permite a los ingenieros de sistemas operar como líderes y solucionadores de problemas, resolviendo problemas que nadie más es capaz de resolver. Realmente equivale a un poder que otorga a los ingenieros de sistemas un papel central y decisivo que desempeñar en el desarrollo de un sistema.

Por último, Sillitto (2012). menciona que “el conocimiento compartido de los principios y la terminología de los sistemas permitirá la comunicación y mejorará la capacidad de los ingenieros de sistemas para integrar sistemas complejos que trasciendan los límites de los dominios tradicionales”.

6.3. Ingeniería de Sistemas e Ingeniería de Software

SEBoK menciona que el software, o los componentes de software, ocupan un lugar destacado en la mayoría de las arquitecturas de sistemas modernos y, a menudo, es el medio principal para integrar componentes complejos del sistema.

A continuación, se presenta la definición de la ingeniería de software y de sistemas intensivos en software:

- **Ingeniería de Software:** Es la aplicación práctica del conocimiento científico al diseño y construcción de programas de computadora y a la documentación asociada requerida para desarrollar, operar y mantenerlos. Se conoce también como desarrollo de software o producción de software (Boehm, 1976).
- **Sistema intensivo en software:** ISO/IEC/IEEE 42010 (2022) define un sistema intensivo en software como cualquier sistema en el que el software aporta influencias esenciales al diseño, construcción, implementación y evolución del sistema en su conjunto.

6.3.1. Uso de metodologías de ingeniería de software para proyectos de ingeniería de sistemas

El estándar de ingeniería de software ISO/IEC/IEEE 12207 (2008) recomienda que el ciclo de vida de los sistemas con un contenido de software significativo (a veces llamados **sistemas intensivos en software**) debe integrar los **procesos de software** en el ciclo de vida de **Ingeniería de Sistemas**.

Si bien la ingeniería de software y la ingeniería de sistemas tienen mucho en común y están estrechamente relacionadas (Boehm, 1994), limitarse solo a usar metodologías de ingeniería de software en sistemas complejos puede llevar a una visión incompleta del proyecto y a problemas a largo plazo:

- **Enfoque limitado:** Las metodologías de software se centran en el desarrollo del software en sí, pero no abordan otros aspectos cruciales de un sistema como el hardware, la infraestructura, los procesos de negocio, etc.
- **Falta de visión holística:** Al no considerar el sistema completo, se pueden pasar por alto interdependencias y efectos colaterales que podrían afectar el desempeño o la funcionalidad del sistema.
- **Dificultad para gestionar la complejidad:** Los sistemas complejos requieren un enfoque sistémico que considere todos los componentes y sus interacciones.
- **Riesgo de soluciones subóptimas:** Al no optimizar el sistema completo, se pueden tomar decisiones que benefician una parte del sistema pero perjudican a otra.

6.3.2. Cuando requerir cada disciplina

Basado en las definiciones de la ingeniería de software y la ingeniería de sistemas se pueden mencionar las siguientes distinciones:

Cuándo requerir la Ingeniería de Software:

- **Desarrollo de software a medida:** Cuando se necesita crear software personalizado para una aplicación específica, junto a la respectiva documentación, gestión y manejo de pruebas, etc.

- **Mantenimiento y actualización de software existente:** Para realizar cambios, correcciones o mejoras en software ya desarrollado.
- **Integración de software en sistemas más grandes:** Cuando se requiere conectar diferentes componentes de software para formar un sistema más complejo.

Cuándo requerir un Ingeniero de Sistemas:

- **Diseño y desarrollo de sistemas complejos:** Cuando se necesita crear sistemas que involucran hardware, software, personas y procesos, como sistemas de control industrial, sistemas de información geográfica o sistemas de telecomunicaciones, entre otros.
- **Gestión de proyectos de sistemas:** Para planificar, ejecutar y controlar proyectos que involucran múltiples disciplinas y tecnologías.
- **Análisis de sistemas existentes:** Para evaluar el desempeño de sistemas existentes e identificar oportunidades de mejora.
- **Arquitectura de sistemas:** Para diseñar la estructura general de un sistema, modelar y definir sus componentes.

7. Tendencias y Desafíos

7.1. El reto del ingeniero de Sistemas

Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer (2011) mencionan que un factor inhibitor para convertirse en ingeniero de sistemas profesional es que representa una desviación de una disciplina establecida elegida hacia una práctica profesional más diversa y complicada. Requiere la inversión de tiempo y esfuerzo para adquirir experiencia y una ampliación de la base de ingeniería, así como aprender habilidades de comunicación y gestión, una orientación muy diferente de la elección profesional original del individuo.

La respuesta al porqué elegir la Ingeniería de Sistemas puede estar en los desafíos de la ingeniería de sistemas más que en sus recompensas directas. Los ingenieros de sistemas se ocupan de los problemas más importantes en el proceso de

desarrollo de sistemas. Diseñan la arquitectura general del sistema y el enfoque técnico y lideran a otros en el diseño de los componentes. Priorizan los requisitos del sistema junto con el cliente para garantizar que los diferentes atributos del sistema se ponderen adecuadamente al equilibrar los diversos esfuerzos técnicos. Deciden qué riesgos vale la pena asumir y cuáles no, y cómo deben cubrirse los primeros para garantizar el éxito del programa.

8. Recursos Adicionales

8.1. Gestión y Liderazgo en la Ingeniería de Sistemas

Muchos de los procesos de Ingeniería de Sistemas tienen mucha relación con la “gestión” (por ejemplo, gestión de decisiones, gestión de riesgos, gestión de carteras, gestión del conocimiento), y todos estos son aspectos importantes del proceso de Ingeniería de Sistemas. Sin embargo, el liderazgo es un tema igualmente importante para los ingenieros de sistemas. (INCOSE, 2015).

8.2. Actividades y productos de la Ingeniería de Sistemas

A veces seguido como una hoja de ruta, el desarrollo del ciclo de vida de un sistema puede asociarse con una serie de productos o resultados de ingeniería de sistemas y gestión de proyectos. La variedad y amplitud de estos productos reflejan los desafíos que enfrentan los primeros profesionales para comprender la utilidad total de dedicarse a la ingeniería de sistemas. (Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer, 2011).

Context diagrams	Opportunity assessments	Prototype integration
Problem definition	Candidate concepts	Prototype test and evaluation
User/owner identification	Risk analysis/management plan	Production/operations plan
User needs	Systems functions	Operational tests
Concept of operations	Physical allocation	Verification and validation
Scenarios	Component interfaces	Field support/maintenance
Use cases	Traceability	System/product effectiveness
Requirements	Trade studies	Upgrade/revise
Technology readiness	Component development & test	Disposal/reuse

Algunos de los productos y actividades comunes de la Ingeniería de Sistemas. Fuente: Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer, 2011.

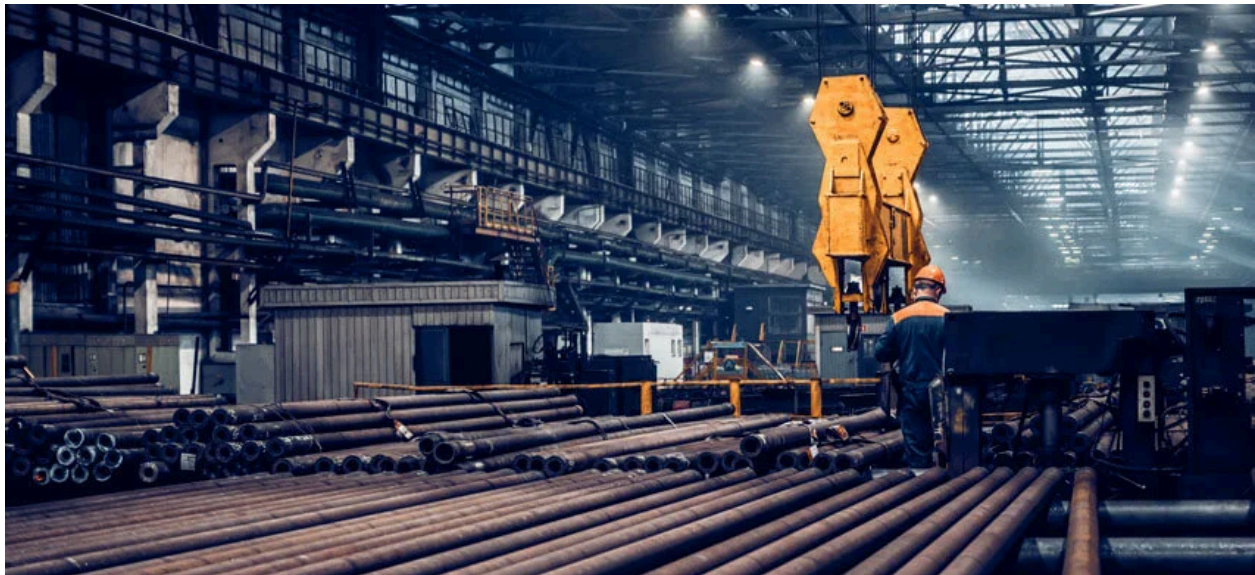
8.3. Importancia de la Ingeniería de Sistemas

La organización INCOSE (2015) menciona que incluso en los primeros proyectos la Ingeniería de Sistemas surgió como una forma eficaz de gestionar la complejidad y el cambio. A medida que tanto la complejidad como el cambio continúan aumentando en los productos, los servicios y la sociedad, reducir el riesgo asociado con nuevos sistemas o modificaciones a sistemas complejos sigue siendo un objetivo principal del ingeniero de sistemas. (p. 13).

9. Ejemplos de casos de uso

La intención de este capítulo es proporcionar ejemplos de aplicación de la ingeniería de sistemas y relacionarlos con los principios y conceptos clave mencionados en capítulos anteriores .

9.1. Caso de uso 1



Una importante empresa manufacturera, **Metalúrgica de Guayana C.A.**, busca optimizar sus procesos productivos y aumentar su eficiencia. Para ello, ha decidido

implementar una línea de producción automatizada altamente sofisticada. Con este objetivo, se ha contratado a un ingeniero de sistemas para liderar este ambicioso proyecto. A continuación se presentan algunos procesos y actividades fundamentales del estándar ISO 15288 que serán utilizados:

- **Proceso de análisis de negocio o misión:** Comprender a fondo los objetivos estratégicos de la empresa, identificar las áreas de mejora en la producción actual y definir cómo la nueva línea automatizada contribuirá al éxito del negocio
- **Proceso de definición de necesidades y requisitos de las partes interesadas:** Identificar a todas las partes involucradas en el proyecto (operarios, ingenieros, directivos, etc.) y determinar sus necesidades, expectativas y restricciones.
- **Proceso de definición de requisitos del sistema:** Especificar de manera clara y concisa las características funcionales y no funcionales que debe cumplir la nueva línea de producción automatizada para satisfacer las necesidades de las partes interesadas.
- **Proceso de definición de la arquitectura:** Diseñar la **arquitectura** del sistema utilizando la herramienta **Capella**, incluyendo las funcionalidades, componentes principales (hardware, software, interfaces), sus relaciones, etc.
- **Proceso de definición del diseño:** Junto al equipo de ingeniería y técnico, detallar el diseño de cada componente del sistema, especificando sus características técnicas y funcionales.
- **Proceso de análisis del sistema:** Verificar que el diseño cumple con los requisitos establecidos y que no hay inconsistencias u omisiones.
- **Proceso de implementación:** Construir y configurar los componentes de la línea de producción automatizada de acuerdo con el diseño establecido.
- **Proceso de integración:** Integrar los diferentes componentes de la línea de producción automatizada para asegurar que funcionen como un todo coherente.
- **Proceso de verificación:** Comprobar que cada componente del sistema funciona correctamente de acuerdo con las especificaciones.
- **Proceso de transición:** Poner en marcha la nueva línea de producción y transferir la responsabilidad de su operación al personal correspondiente.

- **Proceso de validación:** Demostrar que el sistema completo cumple con los requisitos iniciales y que satisface las necesidades del cliente.
- **Proceso de operación:** Gestionar el funcionamiento diario del sistema, incluyendo el mantenimiento preventivo y correctivo.
- **Proceso de mantenimiento:** Realizar las actividades necesarias para mantener el sistema en buen estado de funcionamiento a lo largo de su vida útil.

9.1.1. Responsabilidades del ingeniero de sistemas

- **Guiar el desarrollo:** Utilizando el estándar **ISO 15288:2015** el ingeniero de sistemas se encargará de liderar el equipo multidisciplinario, coordinar las actividades de los diferentes involucrados (ingeniero de software, ingeniero electrónico, personal técnico, etc.) y garantizar el cumplimiento de los plazos y el presupuesto.
- **Análisis de requerimientos y objetivos:** Identificar y analizar los requerimientos y objetivos de las partes interesadas al buscar optimizar y aumentar la eficacia con una nueva línea de producción automatizada.
- **Modelado del sistema:** Utilizando la herramienta **Capella**, el ingeniero de sistemas creará la **Arquitectura del sistema** y los modelos detallados de los procesos, componentes y flujos de información de la línea de producción, facilitando la comprensión y comunicación del diseño a todo el equipo.
- **Integración de sistemas:** Coordinar la integración de los diferentes subsistemas (mecánico, eléctrico, electrónico y de control) para garantizar un funcionamiento óptimo y sincronizado de la línea de producción.
- **Implementación del sistema:** Supervisar la instalación y puesta en marcha de la línea de producción automatizada, realizando las pruebas necesarias para verificar su correcto funcionamiento.

9.1.2. Personal disponible de la empresa

- **Ingeniero de software:** Se encargará del desarrollo del software de control, siguiendo las especificaciones funcionales definidas por el ingeniero de sistemas.
- **Ingeniero electrónico:** Diseñará y desarrollará los circuitos electrónicos necesarios para la adquisición de datos y el control de los actuadores.
- **Personal técnico:** Realizará tareas como la instalación de equipos, la configuración de parámetros, la programación de PLC, programación del software y la resolución de problemas técnicos.

9.2. Caso de uso 2



Una fábrica de automóviles llamada **FastAuto de Caracas, C.A.** busca desarrollar un vehículo eléctrico autónomo, se contrató a un ingeniero de sistemas para guiar la integración de los diversos sistemas del vehículo prototipo, incluyendo el sistema de propulsión eléctrica, los sensores, los sistemas de control, el software de conducción autónoma y la interfaz de usuario. Además, será responsable de garantizar la

seguridad funcional del vehículo y cumplir con las normativas de seguridad vial. A continuación se presentan algunos procesos y actividades fundamentales del estándar ISO 15288 que serán utilizados:

- **Proceso de análisis de negocio o misión:** Definir claramente los objetivos comerciales del proyecto, como la reducción de emisiones, la mejora de la movilidad urbana y la creación de un nuevo segmento de mercado.
- **Proceso de definición de necesidades y requisitos de las partes interesadas:** Identificar a todos los stakeholders (ingenieros, diseñadores, reguladores, consumidores) y sus necesidades específicas, como seguridad, autonomía, confort y costo.
- **Proceso de definición de requisitos del sistema:** Especificar detalladamente las características funcionales y no funcionales que debe cumplir el vehículo eléctrico autónomo, incluyendo requisitos de rendimiento, seguridad, compatibilidad y mantenibilidad.
- **Proceso de definición de la arquitectura:** Diseñar la **arquitectura** del vehículo, incluyendo la distribución de los componentes, las interfaces entre los sistemas, las funcionalidades de los componentes, etc. En este proceso, similar al proceso de definición de requisitos del sistema, a pesar de que los componentes ya han sido diseñados y construidos, es necesario que el ingeniero de sistemas documente y conozca el todo del proyecto, para que, de esta manera, tener una visión holística del vehículo prototipo.
- **Proceso de análisis del sistema:** Verificar que el diseño arquitectónico cumple con los requisitos del sistema y que es factible desde el punto de vista técnico y económico.
- **Proceso de integración:** Integrar los diferentes sistemas del vehículo (propulsión, sensores, control, etc.) y verificar que funcionan correctamente de manera conjunta.
- **Proceso de verificación:** Evaluar si cada componente del sistema cumple con las especificaciones técnicas y funcionales definidas en la fase de diseño.

- **Proceso de transición:** Preparar la transición del vehículo desde la fase de desarrollo a la fase de producción en serie, incluyendo la capacitación del personal y la documentación necesaria.
- **Proceso de validación:** Demostrar que el vehículo completo cumple con todos los requisitos establecidos y que es apto para su uso en condiciones reales de operación.
- **Proceso de mantenimiento:** Establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para mejorar la disponibilidad y fiabilidad del vehículo prototipo basado en los cambios de las partes interesadas.

9.2.1. Responsabilidades del ingeniero de sistemas

- **Guiar el desarrollo:** Utilizando la metodología **ISO 15288:2015** el ingeniero de sistemas se encargará de liderar el equipo multidisciplinario, coordinar las actividades de los diferentes involucrados (ingeniero mecánico, ingeniero electrónico, ingeniero de software, personal técnico) y garantizar el cumplimiento de los plazos y el presupuesto.
- **Análisis de requerimientos y objetivos:** Identificar y analizar los requerimientos y objetivos de las partes interesadas para desarrollar el vehículo eléctrico autónomo.
- **Modelado del sistema:** Utilizando la herramienta **Modelio** y el lenguaje **SysML**, el ingeniero creará la **arquitectura del sistema** y los modelos detallados de los sistemas de percepción, planificación, control y ejecución del vehículo. Estos modelos permitirán simular diferentes escenarios y validar el diseño antes de su implementación física.
- **Integración de sistemas:** Coordinar la integración de los diversos subsistemas (propulsión eléctrica, chasis, carrocería, electrónica de potencia, sistemas de seguridad, etc.) mediante la definición de interfaces claras y precisas.
- **Desarrollo de software:** Aunque contará con el apoyo de un equipo de ingenieros de software, el ingeniero de sistemas será el responsable de definir las especificaciones funcionales del software de conducción autónoma,

incluyendo la percepción del entorno, la planificación de rutas, el control del vehículo y la interfaz de usuario.

- **Seguridad funcional:** Implementar medidas de seguridad funcional para garantizar la fiabilidad y la seguridad del vehículo, cumpliendo con las normas internacionales (ISO 26262).

9.2.2. Personal disponible de la empresa

- **Ingeniero mecánico:** Diseñará la estructura del vehículo, los sistemas de suspensión y dirección, y optimizará la aerodinámica para maximizar la eficiencia energética.
- **Ingeniero de software:** Junto a un equipo de programadores desarrollará el software de conducción autónoma, incluyendo algoritmos de percepción, planificación de rutas y control del vehículo, utilizando lenguajes de programación como C++ y Python.
- **Ingeniero electrónico:** Diseñará los circuitos electrónicos de potencia, los sistemas de control de motores y los sensores.
- **Personal técnico:** Se encargará de la fabricación, ensamblaje y pruebas de los componentes del vehículo.

9.3. Caso de uso 3



El grupo **La Energía de Occidente, C.A.**, comprometido con la transición energética, busca aprovechar el abundante recurso solar de la región para construir una planta de energía fotovoltaica de gran escala. Con este objetivo, se ha contratado a un **ingeniero de sistemas** con experiencia en proyectos de energía renovable. A continuación se presentan algunos procesos y actividades fundamentales del estándar ISO 15288 que serán utilizados:

- **Proceso de análisis de negocio o misión:** Definir claramente los objetivos comerciales del proyecto, como la generación de energía limpia, la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la contribución a la sostenibilidad ambiental.
- **Proceso de definición de necesidades y requisitos de las partes interesadas:** Identificar a todos los stakeholders (inversores, reguladores, comunidades locales, etc.) y sus necesidades específicas, como la generación

de energía estable, la minimización de impactos ambientales y la rentabilidad del proyecto.

- **Proceso de definición de requisitos del sistema:** Especificar detalladamente las características funcionales y no funcionales que debe cumplir la planta solar, incluyendo la capacidad de generación, la eficiencia, la durabilidad y la seguridad.
- **Proceso de definición de la arquitectura:** Diseñar la estructura general de la planta, incluyendo la disposición de los paneles solares, los sistemas de seguimiento, los inversores, la subestación eléctrica y la red de distribución.
- **Proceso de definición del diseño:** Junto al equipo de ingeniería y técnico especializados, detallar el diseño de cada componente del sistema, especificando las características técnicas, las dimensiones y los materiales a utilizar.
- **Proceso de análisis del sistema:** Verificar que el diseño cumple con los requisitos del sistema y que es factible desde el punto de vista técnico y económico. Realizar prototipos a escala de la planta solar y simulación del funcionamiento de la planta.
- **Proceso de implementación:** Construir la planta solar de acuerdo con el diseño aprobado, incluyendo la instalación de los paneles solares, los sistemas de soporte y los equipos eléctricos.
- **Proceso de integración:** Integrar los diferentes componentes del sistema y verificar que funcionan correctamente de manera conjunta.
- **Proceso de verificación:** Evaluar si cada componente del sistema cumple con las especificaciones técnicas y funcionales definidas en la fase de diseño.
- **Proceso de transición:** Preparar la transición de la planta solar desde la fase de construcción a la fase de operación, incluyendo la capacitación del personal de operación y mantenimiento.
- **Proceso de validación:** Demostrar que la planta solar cumple con todos los requisitos establecidos y que está lista para entrar en operación comercial.

- **Proceso de operación:** Gestionar el funcionamiento diario de la planta solar, incluyendo el monitoreo de la producción, el mantenimiento preventivo y la resolución de incidencias.
- **Proceso de mantenimiento:** Establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar la disponibilidad y la eficiencia de la planta a lo largo de su vida útil.
- **Proceso de retiro o eliminación:** Definir los procedimientos para el desmantelamiento y eliminación de la planta solar al final de su vida útil, asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales.

9.3.1. Responsabilidades del ingeniero de sistemas

- **Guiar el ciclo de vida:** Utilizando la metodología **ISO 15288:2015** el ingeniero de sistemas se encargará de liderar el equipo multidisciplinario, coordinar las actividades de los diferentes involucrados (ingenieros eléctricos, ingenieros civiles, contratistas) y garantizar el cumplimiento de los plazos y el presupuesto.
- **Análisis de requerimientos y objetivos:** Identificar y analizar los requerimientos y objetivos de las partes interesadas para y realizar un análisis detallado de las condiciones del sitio, incluyendo la radiación solar, las condiciones climáticas, la topografía y la infraestructura existente. Evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto.
- **Arquitectura del sistema:** Diseñar la arquitectura general de la planta solar, incluyendo la selección de los componentes clave como paneles solares, inversores, sistemas de seguimiento solar, sistemas de almacenamiento de energía y la infraestructura de conexión a la red eléctrica.
- **Modelado del sistema:** Utilizar la herramienta de modelado **Gaphor** y el lenguaje **SysML** para crear la **arquitectura del sistema** y los modelos detallados del comportamiento de la planta solar. Estos modelos permitirán evaluar el rendimiento energético de la planta, dimensionar los componentes y optimizar la operación.
- **Integración de sistemas:** Coordinar la integración de los diferentes subsistemas de la planta, asegurando una operación eficiente y confiable.

- **Implementación del proyecto:** Supervisar la construcción, puesta en marcha y puesta en servicio de la planta solar, siguiendo el modelo del ciclo de vida **ISO 15288:2015**.

9.3.2. Personal disponible de la empresa

- **Ingenieros eléctricos:** Diseñarán los sistemas eléctricos de la planta, incluyendo la selección de inversores, transformadores y sistemas de protección.
- **Ingenieros civiles:** Se encargarán del diseño de la estructura de soporte de los paneles solares y de las obras civiles necesarias.
- **Contratistas:** Realizarán las tareas de construcción e instalación de la planta.

9.4. Caso de uso 4



La empresa **Las Garzas de Oriente, C.A.**, líder en la producción de alimentos procesados, busca incrementar su eficiencia y productividad para mantenerse competitiva en un mercado cada vez más exigente. Para lograr este objetivo, la empresa quiere realizar un estudio de factibilidad acerca de un proyecto de optimización de los procesos de fabricación, se ha contratado a un **ingeniero de**

sistemas para realizar esta labor. A continuación se presentan algunos procesos y actividades fundamentales del estándar ISO 15288 que serán utilizados:

- **Proceso de análisis de negocio o misión:** Comprender y definir los requisitos y necesidades del negocio, identificar los objetivos y las metas a alcanzar.
- **Proceso de definición de necesidades y requisitos de las partes interesadas:** Establecer los requisitos técnicos, operativos y de negocio de la planta solar.
- **Proceso de definición de requisitos del sistema:** Implica identificar, analizar y documentar los requisitos funcionales y no funcionales del sistema.
- **Proceso de análisis del sistema:** Utilizando la Metodología de los sistemas suaves se analizará el sistema actual en contraste con las necesidades y requisitos de las partes interesadas y los requisitos del sistema. También se deben presentar los resultados de análisis de la metodología empleada a las partes interesadas.

9.4.1. Responsabilidades del ingeniero de sistemas

- **Guiar el ciclo de vida:** Utilizando la metodología **ISO 15288:2015** el ingeniero de sistemas se encargará de coordinar las actividades del modelo de ciclo de vida.
- **Análisis de procesos actuales:** Utilizando la **Metodología de los Sistemas Suaves**, el ingeniero de sistema deberá realizar un análisis detallado de los procesos de producción existentes, identificando cuellos de botella, ineficiencias y áreas de mejora.
- **Diseño de nuevos procesos:** Proponer mejoras en los procesos actuales, utilizando herramientas de modelado y simulación para evaluar diferentes escenarios y seleccionar la mejor opción, considerando factores técnicos, económicos y organizacionales.

- **Presentación de resultados:** Elaborar un informe conciso y claro que presente los hallazgos del estudio, las recomendaciones de mejora y el plan de implementación y presentar los resultados del estudio a la gerencia de la empresa, respondiendo a sus preguntas y obteniendo su aprobación.

9.4.2. Notas

- El ingeniero de sistemas es la pieza clave en este proceso de optimización, ya que posee una visión holística que le permite analizar el sistema de producción en su conjunto, identificando interdependencias, cuellos de botella y oportunidades de mejora que podrían pasar desapercibidas para especialistas enfocados en áreas específicas.
- Al comprender cómo interactúan los diferentes componentes del sistema, el ingeniero de sistemas puede diseñar soluciones integrales que optimizan el flujo de materiales, la utilización de recursos y la eficiencia general de la producción.
- La complejidad de los sistemas de producción modernos requiere un enfoque multidisciplinario. Mientras que otros profesionales aportan su expertise en áreas específicas, el ingeniero de sistemas actúa como un solucionador de problemas, capaz de integrar conocimientos de diversas disciplinas para identificar las causas raíz de los problemas y diseñar soluciones innovadoras

9.5. Caso de uso 5



La empresa **Next Call Center, C.A.**, uno de los Call Centers más grandes del país, busca mejorar su meta de ventas, ya que, a pesar de haber invertido en la mejor tecnología y los mejores profesionales, no logran alcanzar su meta de ventas anual. Para lograr este objetivo, la empresa requiere realizar un análisis para encontrar las fallas y problemas en los distintos departamentos con más de 100 equipos de distintas áreas en total, se ha contratado a un **ingeniero de sistemas** para realizar esta labor. A continuación se presentan algunos procesos y actividades fundamentales del estándar ISO 15288 que serán utilizados:

- **Proceso de análisis de negocio o misión:** Comprender y definir los requisitos y necesidades del Call Center, identificar los objetivos y las metas a alcanzar.
- **Proceso de definición de necesidades y requisitos de las partes interesadas:** Establecer los requisitos técnicos, operativos y de negocio del Call Center.
- **Proceso de definición de requisitos del sistema:** Implica identificar, analizar y documentar los requisitos funcionales y no funcionales del sistema.

- **Proceso de análisis del sistema:** Utilizando la Metodología de los sistemas suaves se analizará el sistema actual en contraste con las necesidades y requisitos de las partes interesadas y los requisitos del sistema. También se deben presentar los resultados de análisis de la metodología empleada a las partes interesadas.
- **Proceso de implementación:** Implementar las soluciones propuestas en un ambiente controlado o una muestra del Call Center.
- **Proceso de verificación:** Evaluar si la implementación de las soluciones satisfacen las necesidades de las partes interesadas y si las partes interesadas están dispuestas a aplicarla al sistema real.
- **Proceso de transición:** Preparar y realizar la transición de las soluciones propuestas al sistema real (el Call Center), realizar capacitaciones del personal, documentación de las soluciones, etc.
- **Proceso de validación:** Demostrar que las soluciones que ya están implementadas en el sistema real cumplen con todos los requisitos establecidos y que está lista para entrar en operación comercial.
- **Proceso de operación:** Supervisar el funcionamiento diario de las soluciones implementadas en el sistema real.
- **Proceso de mantenimiento:** En base a la retroalimentación dada por la implementación de las soluciones en el sistema real, realizar ajustes y mantenimientos a las soluciones implementadas.

9.5.1. Responsabilidades del ingeniero de sistemas

- **Guiar el ciclo de vida:** Utilizando la metodología **ISO 15288:2015** el ingeniero de sistemas se encargará de coordinar las actividades del modelo de ciclo de vida.
- **Análisis de procesos actuales:** Utilizando la **Metodología de los Sistemas Suaves**, el ingeniero de sistema deberá realizar un análisis detallado de los procesos existentes, identificando cuellos de botella, ineficiencias y áreas de mejora.

- **Diseño de nuevos procesos:** Proponer mejoras en los procesos actuales, utilizando herramientas de modelado y simulación para evaluar diferentes escenarios y seleccionar la mejor opción, considerando factores técnicos, económicos y organizacionales.
- **Presentación de resultados:** Elaborar un informe conciso y claro que presente los hallazgos del estudio, las recomendaciones de mejora y el plan de implementación y presentar los resultados del estudio a la gerencia de la empresa, respondiendo a sus preguntas y obteniendo su aprobación.

Bibliografía

Bertalanffy Ludwig V. (1968) General Systems Theory. George Braziller, New York.

Kossiakoff, Sweet, Seymour y Biemer. (2011). Systems Engineering Principles And Practice. Wiley.

INCOSE. (2015). INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (4th ed.). Wiley.

INCOSE. (2023). INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (5th ed.). Wiley.

Jean-luc, V. (2023), Arcadia User Guide: Arcadia Principles and Contents Overview. Thales [Libro en línea]. Consultado el 23 de Noviembre de 2023 en: <https://mbse-capella.org/resources/arcadia-reference/Arcadia%20Language%20-%20MetaModel.pdf>.

SEBoK. (2021). [Página web en línea]. [https://sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_\(SEBoK\)](https://sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_(SEBoK)).

NormasISO.org (2024) Recuperado de NormasISO.org: "Norma ISO 15288" en la categoría Listado de Normas ISO.