



# NEWSLETTER

JULIO 2022, NÚMERO 4

## EN ESTE NÚMERO:

CARTA DE LA PRESIDENTA .....2

CERTIFICACIÓN SEP .....4

¿QUÉ SON LOS GEMELOS DIGITALES .....7

¿ESTRUCTURA DE PRODUCTO: LA COLUMNA VERTEBRAL DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS.....13

¿GROWING YOUR OWN SYSTEMS ENGINEERS: THE CASE OF TMCITALIA .....25

SAVE THE DATES.....30

CÓMO HACERSE MIEMBRO.....31

YA ESTAMOS  
DISFRUTANDO EL  
VERANO

FELICES Y  
MERECIDAS  
VACACIONES

# CARTA DE LA PRESIDENTA:



*Anabel Fraga*  
PRESIDENTA - AEIS INCOSE

Primero que nada, espero que cuando estén leyendo este artículo estén bien, así como la familia y aquellos que puedan conocer.

En la asociación desde enero de 2021, la nueva junta ha estado trabajando en incorporar un mayor valor añadido a nuestros miembros y al CAB.

Hemos estado centrando esfuerzos en crear un grupo de voluntarios, del cual han nacido naturalmente grupos de trabajo, como los de INCOSE central (*working groups* - WG), muy interesantes y que serán de ayuda a nuestros miembros, siendo un punto de encuentro a nivel nacional para lograr un incremento en la divulgación y el crecimiento de la Ingeniería de Sistemas en España.

De esta estructura de voluntariado han nacido los grupos de trabajo de Ingeniería de Requisitos, Model Based Systems Engineering, Complex Systems - Ontologies and System Thinking, y el de voluntariado que aúna también mentoring. Los colideres de los grupos de trabajo se están organizando para preparar sesiones que sean de valor así como seguimiento de la disciplina a nivel español. El *mentoring* orientado a liderazgo, así como a la certificación es fundamental y queremos ofrecer apoyo. Adicionalmente, este año he sido incluida en el *Technical Leadership Institute* de INCOSE como miembro, después de dos años de estudio y preparación para ello. Adicionalmente quiero compartir que hemos ganado el INCOSE SILVER Chapter Award Circle.



Por otra parte, INCOSE me ha nombrado *EMEA EWLSE Lead*, a nivel europeo, seré la *EMEA Diversity Representaive* y colideraré uno de los grupos de trabajo en semántica y ontologías. Es muy emocionante compartir todas estas noticias, pues estamos creciendo y el centro de nuestro crecimiento son los miembros y el CAB, así como estrechar nuestra colaboración con INCOSE central y el nuevo capítulo emergente INCOSE LATAM, al cual estamos ayudando en su creación y consolidación.

Pero esto no es todo, podemos decir con mucho orgullo que la Universidad Europea, la Universidad Carlos III de Madrid y CT Ingenieros se han unido en este primer semestre del año al CAB de la asociación.



uc3m | Universidad Carlos III de Madrid



La academia es necesaria para promover y preparar a las personas en lo que es la Ingeniería de Sistemas. Así que con mucho agradecimiento y orgullo de teneros aquí os digo:

**¡Bienvenidos!** *Este es un camino que tendremos que recorrer para mejorar la disciplina a nivel español.*

El IW2022 y el IS2022 han sido dos eventos muy exitosos. En especial el *International Symposium (IS2022)* ha logrado atraer la atención de cerca de 500 ingenieros de sistemas que han valorado el volver a encontrarse y conocer a colaboradores que no se conocían en persona. ¡Este año en detroit pero el próximo en Hawaii! Por favor, reservadlo en vuestras agendas: <https://www.incose.org/symp2023> Será un evento hibrido como ha sido este año, y se espera un mayor volumen de participación.

El IS2022 se puede resumir como un evento de conexión, y lo ha demostrado Laura Doughty en su charla plenaria del miércoles 29 de Junio titulada *"The Power of connection: The power of influencing and how to do it"*, volver a conectar y mirar con una nueva perspectiva la profesión, y la manera en la que culminó su charla ha sido muy motivadora, incentivando que seamos todos mas amables como una de las cualidades de un buen ingeniero de sistemas: "Be kind!"

Enlazando con ello, y con lo que hemos pasado estos años, necesitamos cultivar nuestros *soft-skills*, nuestras habilidades de comunicación, empatía y calidez humana. No importan donde trabajas, en casa, en un despacho, en una oficina o en un co-working, lo importante es cuidar la calidad de vida y la calidad del trabajo realizado.

Y como dije el verano pasado, pensemos como ingenieros de sistemas, estamos hablando de sistemas complejos que deben interrelacionarse de la mejor manera posible y en muchos casos debemos tener mecanismos de regulación y mantenimiento del sistema para que esté en la mejor forma posible. Si lo hacemos con otros sistemas, ¿por qué no con nosotros?

Finalmente queremos agradecer como siempre a nuestros afiliados y a CAB y las empresas afiliadas, que durante este tiempo han estado a nuestro lado. Y que sin la colaboración y el compromiso que tienen con la asociación no sería posible lograr todos estos pasos que nos vamos planteando. Queremos desearos un buen verano, disfrutad, descansad, reponed fuerzas y actuar con consciencia en estos momentos.

**Un fuerte abrazo de parte de toda la familia de INCOSE España, y cuidaros mucho este verano.**

# CERTIFICACIÓN SEP

## PROGRAMA DE CERTIFICACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

*Cristina Saiz Valverde*

*Systems Engineering Consultant for  
Defense Acquisition Programs  
ISDEFE*

¿El Programa de Certificación Profesional de Ingeniería de Sistemas INCOSE ofrece una evaluación independiente de los profesionales en Ingeniería de Sistemas, impulsando:

- Una comunidad de Ingeniería de Sistemas:
- El reconocimiento de profesionales de la Ingeniería de Sistemas:
- Un respaldo del conocimiento de los profesionales, reconocido por las organizaciones e instituciones:

El objetivo del Programa de Certificación INCOSE es proporcionar un método formal para reconocer el conocimiento, la experiencia, la formación y el liderazgo en Ingeniería de Sistemas.

El Programa de Certificación reconoce tres niveles de conocimiento y experiencia en Ingeniería de Sistemas.



**ASEP (Associate Systems Engineering Professional)**

Nivel de certificación dirigido a personas al inicio de su carrera como ingenieros de sistemas, recién graduados universitarios y con una experiencia laboral entre 0 y 5 años



**CSEP (Certified Systems Engineering Professional)**

Nivel de certificación dirigido a ingenieros de sistemas en ejercicio, con más de 5 años de experiencia profesional en Ingeniería de Sistemas



**ESEP (Expert Systems Engineering Professional)**

Nivel de certificación dirigido a líderes senior en Ingeniería de Sistemas, con experiencia profesional mayor de 20 años y logros reconocidos en Ingeniería de Sistemas.

La obtención de cualquiera de los niveles ASEP/ CSEP/ ESEP requiere ser miembro de AEIS-INCOSE y mantener anualmente la membresía.

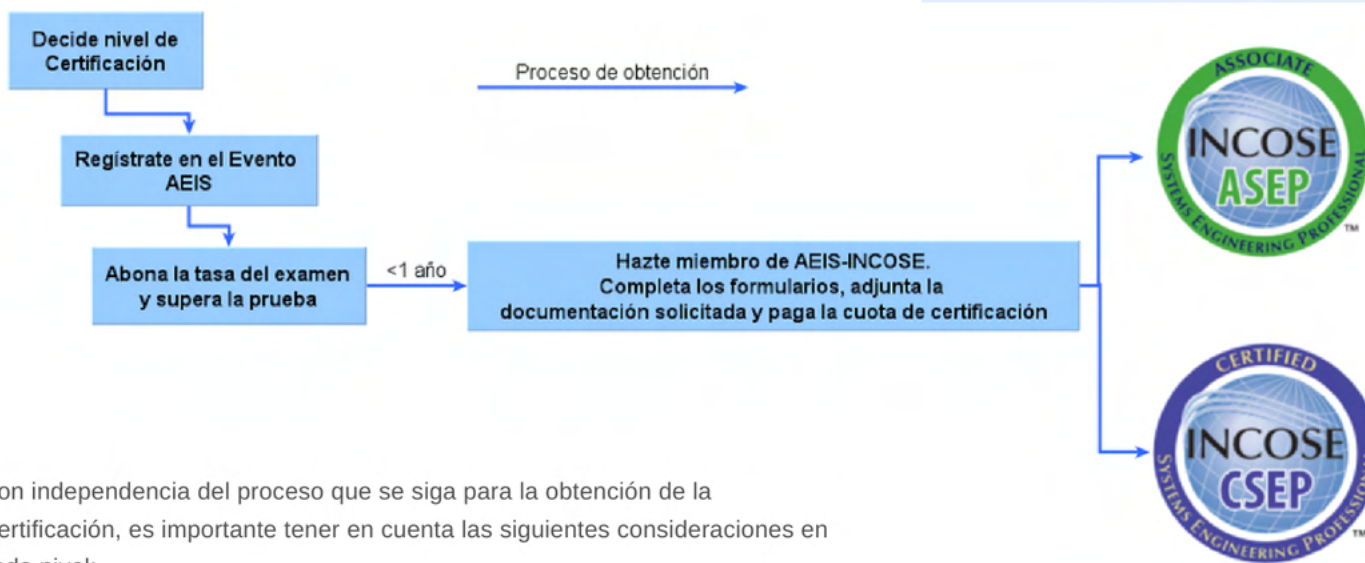
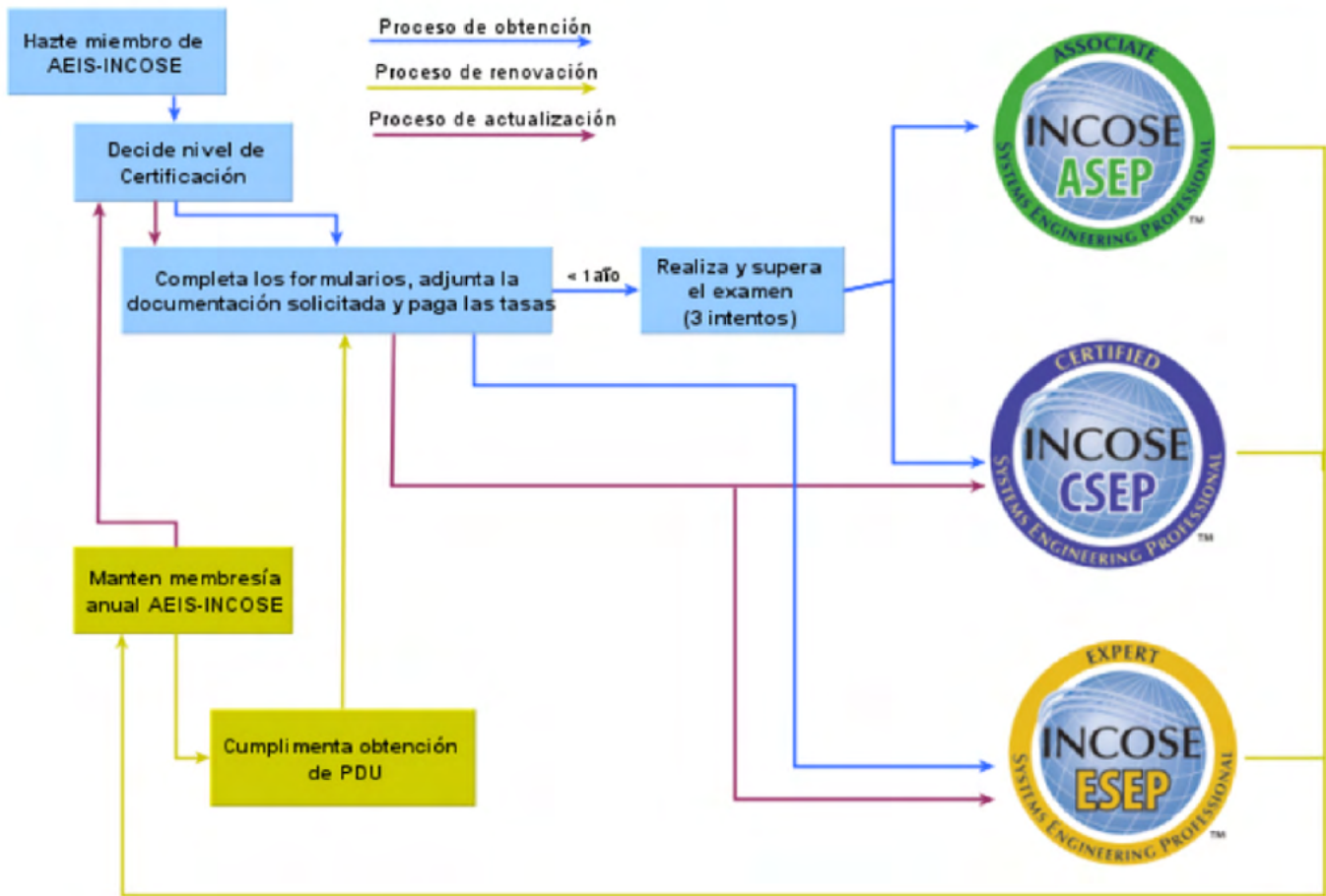
Actualmente, se identifican 2 vías para obtener la Certificación:

Proceso principal, facilitado directamente por INCOSE.

Proceso facilitado a través de Eventos patrocinados por AEIS.

La certificación de los niveles ASEP y CSEP, canalizada a través de los Eventos de AEIS, implica que todos los procesos de membresía, envío de documentación, justificaciones y pago de la cuota de certificación, pueden iniciarse tras haber superado el examen. Se dispone de 1 año, desde la fecha en la que se confirma el resultado, para formalizar los trámites.

**LA OBTENCIÓN DE CUALQUIERA DE LOS NIVELES ASEP/ CSEP/ ESEP REQUIERE SER MIEMBRO DE AEIS-INCOSE Y MANTENER ANUALMENTE LA MEMBRESÍA.**



Con independencia del proceso que se siga para la obtención de la Certificación, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones en cada nivel:

**ASEP**

- Se debe demostrar el conocimiento sobre Ingeniería de Sistemas a través de un examen que se basa en el Manual INCOSE SE (<https://www.incose.org/systems-engineering-certification/about-the-exam>).
- La certificación ASEP se renueva cada 5 años, con una duración máxima de 15 años, justificando el desarrollo profesional continuo en Ingeniería de Sistemas mediante la obtención de PDU (<https://www.incose.org/systems-engineering-certification/the-certification-process/how-do-i-renew#Activities>).

CON INDEPENDENCIA DEL PROCESO QUE SE SIGA PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN, ES IMPORTANTE TENER EN CUENTA ALGUNAS CONSIDERACIONES EN CADA NIVEL

CSEP

- Se debe demostrar el conocimiento sobre Ingeniería de Sistemas a través de un examen que se basa en el Manual INCOSE SE (<https://www.incose.org/systems-engineering-certification/about-the-exam>).
- Se debe justificar la experiencia profesional en Ingeniería de Sistemas (<https://www.incose.org/systems-engineering-certification/certification-forms>).
- La certificación CSEP se renueva cada 3 años, justificando el desarrollo profesional continuo en Ingeniería de Sistemas mediante la obtención de PDU (<https://www.incose.org/systems-engineering-certification/the-certification-process/how-do-i-renew#Activities>).

Aquellos que hayan logrado el reconocimiento de ASEP pueden hacer la transición a CSEP completando los requisitos de experiencia de CSEP y presentando la solicitud de CSEP junto con la cuota requerida para la transición a CSEP. No se requiere ningún examen adicional para este reconocimiento.

ESEP

Se debe demostrar el conocimiento, el liderazgo profesional, los logros y la experiencia en Ingeniería de Sistemas. Para ello:

- Se debe superar una entrevista telefónica por parte del panel de evaluación de ESEP.
- Se debe justificar la experiencia profesional en Ingeniería de Sistemas y la experiencia como líder (<https://www.incose.org/systems-engineering-certification/certification-forms>).
- La certificación ESEP no exige renovación. Sólo requiere mantener anualmente la membresía AEIS-INCOSE.

Por último, se refleja la información relativa a los costes requeridos en los procesos de obtención y mantenimiento de las Certificaciones.

	Tasa examen	Cuota certificación	Cuota renovación	Membresía anual
<b>ASEP</b>	80 USD examen por ordenador*. 30 USD examen en papel, a través de Eventos.	180 USD	100 USD (cada 5 años)	<b>160** €</b>
<b>Transición ASEP a CSEP</b>	-	200 USD	-	
<b>CSEP</b>	80 USD examen por ordenador*. 30 USD examen en papel, a través de Eventos.	350 USD	100 USD (cada 3 años)	
<b>ESEP</b>	-	630 USD	-	

\* Actualmente no se realizan los exámenes a través de Prometric.

\*\* Precio estándar anual. Para otras opciones de membresía, consultar: <https://www.aeis-incose.org/opciones-de-membresia/>

# ¿QUÉ SON LOS GEMELOS DIGITALES?

Melda Ulusoy

Product Marketing

MATHWORKS ESPAÑA

## Tres cosas que es necesario saber

Los gemelos digitales son representaciones actualizadas, modelos, de un activo físico real en funcionamiento. Reflejan el estado actual del activo e incluyen datos históricos relevantes acerca de él. Los gemelos digitales se pueden utilizar para evaluar el estado actual del activo y, lo que es más importante, predecir su comportamiento futuro, refinar el control u optimizar el funcionamiento.

Los gemelos digitales pueden ser modelos de un componente, de un sistema de componentes o de un sistema de sistemas; por ejemplo, bombas, motores, plantas energéticas, líneas de fabricación o una flota de vehículos.

Los modelos de gemelos digitales pueden incluir enfoques basados en física o enfoques estadísticos. Los modelos reflejan el entorno actual, la antigüedad y la configuración del activo en funcionamiento, lo que suele implicar el streaming directo de los datos de activos hacia algoritmos de ajuste.

## Qué importancia tienen los gemelos digitales

La creación y el uso de gemelos digitales aumenta la inteligencia como parte del sistema de operaciones. Contar con una representación actualizada de activos reales en funcionamiento permite controlar u optimizar los activos y el sistema en el que están incluidos. La representación no solo captura el estado actual, sino con frecuencia también el historial operativo del activo. Los gemelos digitales permiten optimizar, mejorar eficiencias, automatizar y evaluar el rendimiento futuro. Puede utilizar los modelos para otros fines, como la puesta en servicio virtual o para influir en diseños de próxima generación.

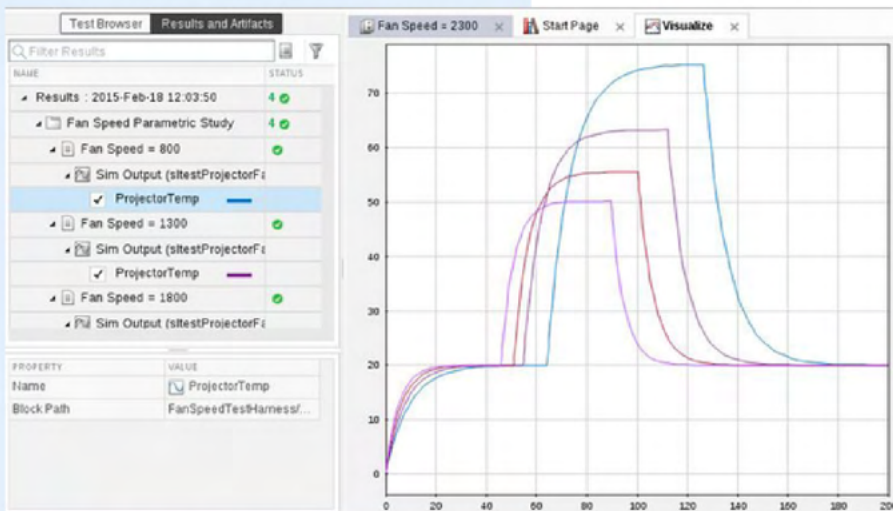
## GEMELOS DIGITALES PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO



Los modelos de gemelos digitales suelen utilizarse en varias áreas:

### 1. Optimización de operaciones

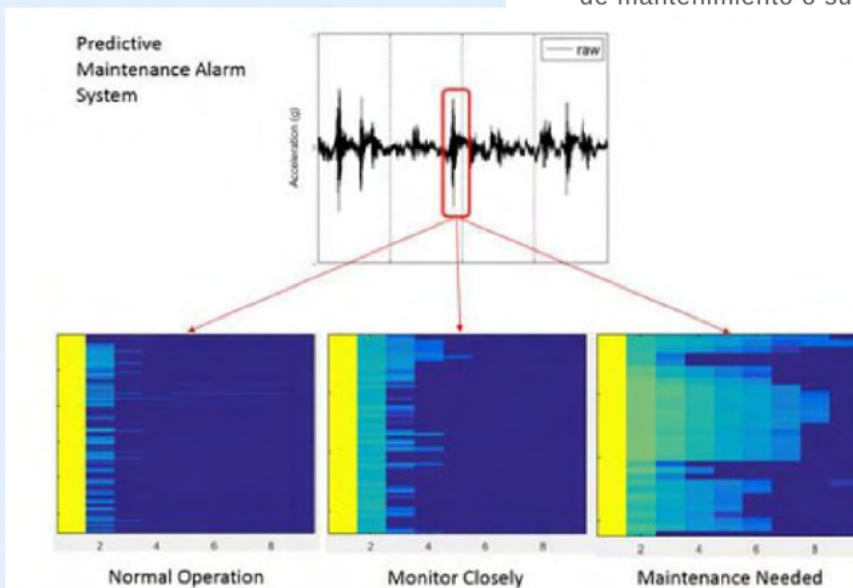
Mediante el uso de variables como el tiempo atmosférico, el tamaño de una flota, los costes energéticos o los factores de rendimiento, se activan modelos que ejecutan cientos o miles de simulaciones what-if para evaluar la aptitud de los puntos de control actuales del sistema o la necesidad de realizar ajustes en ellos. Esto permite optimizar o controlar las operaciones del sistema durante el funcionamiento y así mitigar riesgos, reducir costes o mejorar eficiencias.



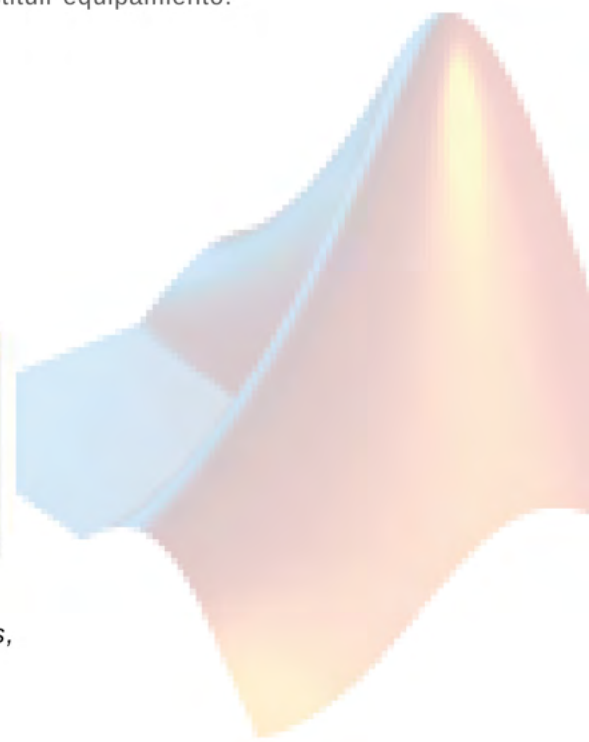
Simulaciones Monte Carlo para evaluar posibles comportamientos.

### 2. Mantenimiento predictivo

En aplicaciones 4.0 del sector industrial, los modelos pueden determinar la vida útil restante e informar a los encargados de operaciones sobre el momento más oportuno de realizar tareas de mantenimiento o sustituir equipamiento.



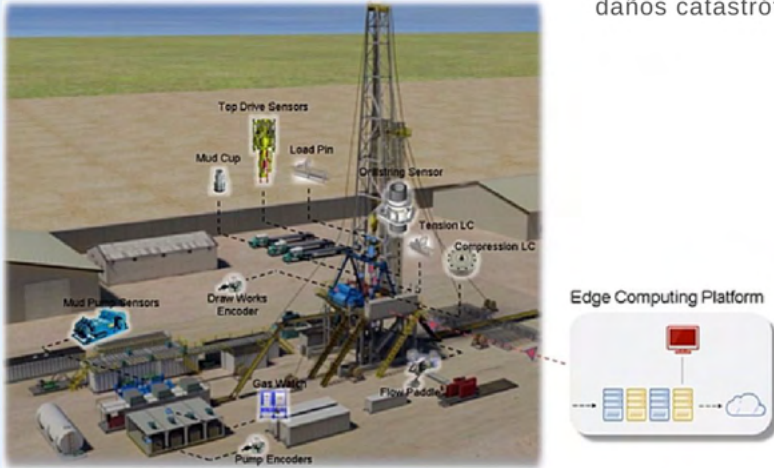
Sistema de alarma de mantenimiento predictivo de Baker Hughes, basado en MATLAB.





### 3. Detección de anomalías

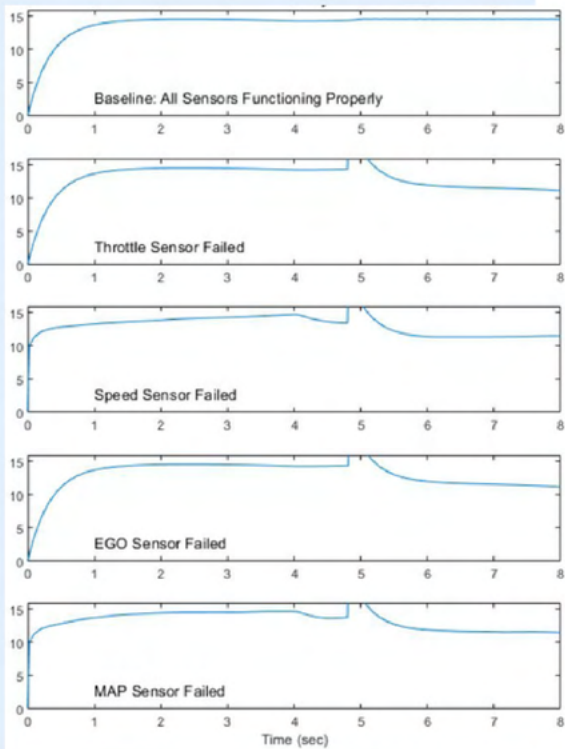
El modelo se ejecuta en paralelo a los activos reales y señala de inmediato cualquier comportamiento operativo que se desvíe del comportamiento (simulado) esperado. Por ejemplo, una empresa petrolera puede enviar por streaming datos de sensores procedentes de plataformas petroleras marinas en funcionamiento continuo. El modelo de gemelos digitales buscará anomalías en el comportamiento operativo para ayudar a evitar daños catastróficos.



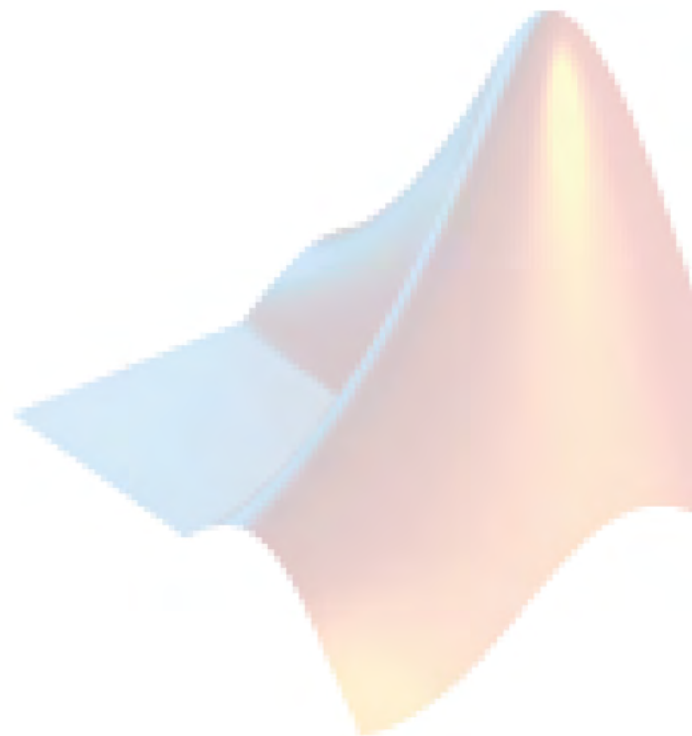
Prototipo de despliegue de IoT industrial en una plataforma petrolera mediante Simulink Real-Time.  
Imagen cortesía de National Oilwell Varco.

### 4. Aislamiento de fallos

Las anomalías pueden activar una batería de simulaciones para aislar el fallo e identificar la causa raíz; de este modo, los ingenieros o el sistema podrán tomar las medidas adecuadas.



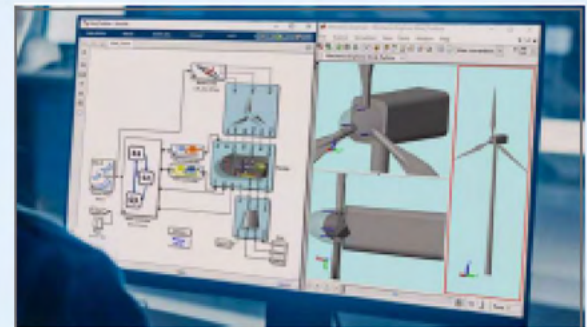
Aislamiento de fallos en un sistema de control de combustible.



## Tres cosas que es necesario saber

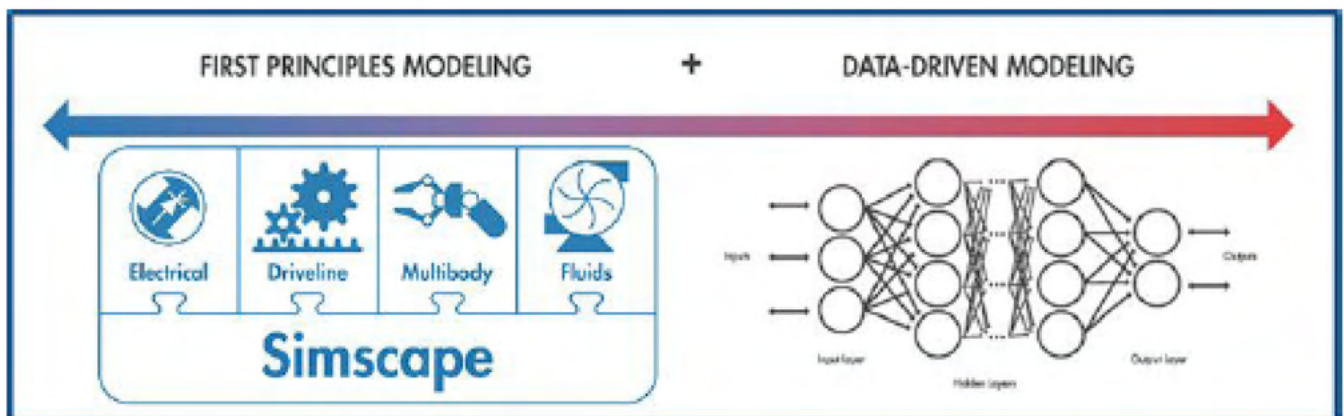
La aplicación de IoT determina lo que se necesita modelar como parte de un gemelo digital. Un modelo de gemelo digital incluirá los componentes, comportamientos y dinámicas necesarios del activo de IoT.

Los métodos de modelado, por lo general, pueden agruparse en dos tipos: los primeros principios, o métodos basados en la física (por ejemplo, el modelado mecánico), y los métodos basados en datos (por ejemplo, el deep learning). Los modelos digitales también pueden consistir en una combinación de varios comportamientos modelados y métodos de modelado, y es probable que su evolución continúe a lo largo del tiempo, a medida que se identifiquen más usos.



*Compruebe sus conocimientos sobre el diseño basado en modelos*

[» Inicie cuestionario](#)



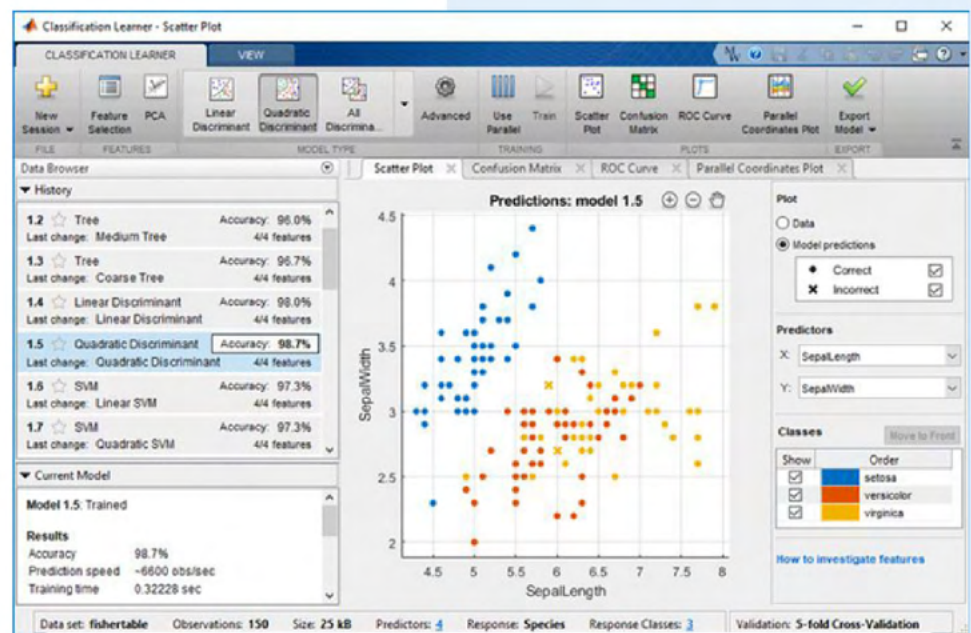
*Métodos de modelado para gemelos digitales: primeros principios y basados en datos.*

Los modelos deben mantenerse actualizados y ajustarse a los activos que estén en funcionamiento; por lo general, esto suele implicar streaming directo de datos desde los activos hacia algoritmos que ajusten los gemelos digitales, y permite considerar aspectos como el entorno, la antigüedad y la configuración de los activos. Una vez que los gemelos digitales están disponibles y actualizados, se pueden utilizar de varias formas para predecir comportamientos futuros, refinar el control u optimizar el funcionamiento del activo. Por ejemplo, se pueden utilizar para simular sensores que no estén presentes en el activo real, simular diversos escenarios futuros para informar sobre operaciones actuales

## Gemelos digitales con MATLAB y Simulink

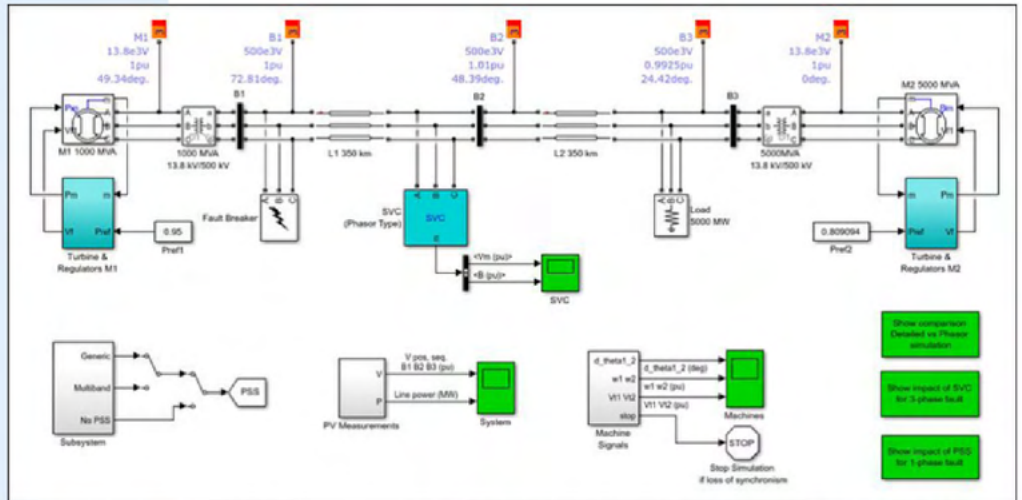
Con MATLAB, es posible definir un modelo usando datos procedentes de sus activos conectados. También se puede utilizar Simulink para crear un modelo basado en física mediante herramientas de modelado multidominio. Tanto los modelos basados en datos como los basados en física se pueden ajustar con datos procedentes del activo operativo de forma que actúen como gemelos digitales. Estos gemelos digitales se pueden utilizar para predicción, simulaciones what-if, detección de anomalías, aislamiento de fallos, etc.

Entre los métodos basados en datos disponibles con MATLAB se incluyen el machine learning, el deep learning, las redes neuronales y la identificación de sistemas. Lo habitual es utilizar un conjunto de datos para entrenar o extraer un modelo y un conjunto separado de datos de validación para valorar la idoneidad o probar los modelos. Con las apps de MATLAB, puede explorar estos métodos de modelado con idea de encontrar el método más preciso para su aplicación.



*App Classification Learner para el entrenamiento, la validación y el ajuste interactivos de modelos de clasificación.*

El modelado basado en física con Simulink implica el diseño del sistema a partir de los primeros principios. Los modelos pueden incluir componentes mecánicos, hidráulicos y eléctricos. Los modelos también pueden provenir de trabajos de diseño upstream que utilizan diseño basado en modelos con Simulink.



Modelo de gemelo digital de Simulink de una red eléctrica. Recibe mediciones de la red para la estimación de parámetros; a continuación, ejecuta miles de escenarios de simulación para determinar si la reserva de energía es suficiente y si es necesario o no ajustar los controladores de la red.

## Aplicaciones de IoT que utilizan gemelos digitales



Transpower garantiza la fiabilidad de la red eléctrica nacional de Nueva Zelanda con una herramienta de gestión de reservas



Tata Steel ahorró un 40 % en torres de refrigeración gracias a algoritmos de software

Los modelos de gemelos digitales se pueden ajustar a través de métodos de optimización y mantenerse actualizados mediante protocolos estándar como MQTT para corrientes entrantes de datos.

Puede implementar sus gemelos digitales allí donde tengan sentido para su aplicación, en nodos edge computing, infraestructura tecnológica operativa o sistemas informáticos. Intégreles en sistemas disponibles comercialmente, como Azure IoT Hub o AWS IoT, o implemente la integración personalizada según necesite a través de API y otros métodos habituales de integración, como bibliotecas compartidas y llamadas RESTful.



Topología de IoT: implemente gemelos digitales allí donde tengan sentido para la aplicación.

# ESTRUCTURA DE PRODUCTO: LA COLUMNA VERTEBRAL DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS

Oroitz Elgezabal  
Responsable de capacidades  
de ingeniería de sistemas  
CAF, S.A.

Luis Garayoa  
Responsable de capacidades  
de gestión de configuración  
CAF, S.A.

Maite Diez  
Responsable de IT y mejora  
continua en planificación de  
procesos de industrialización  
CAF, S.A.

## 1. Introducción

El aumento de la complejidad embebida en los sistemas de cualquier tipo ha aumentado exponencialmente en las últimas décadas, coincidiendo con la invención y el desarrollo de los procesos.

Ese aumento de la complejidad, no solo afecta a los productos a desarrollar, sino también a los sistemas encargados de industrializar/materializar dichos productos y de darles soporte mientras se mantienen en operación. La complejidad de todos estos elementos, y de las interacciones entre ellos, hace necesario considerarlos como un único elemento (Figura 1). En el ámbito de este texto, ese elemento es denominado *sistema de interés* (en inglés, System-of-Interest, Sol).

Gestionar la complejidad del sistema de interés requiere identificar de manera explícita sus elementos constituyentes y las relaciones existentes entre ellos. Estructurar la información relacionada con los elementos complejos y sus relaciones de acuerdo a un esquema lógico, de manera digital, es fundamental para facilitar su comprensión por parte de los seres humanos y su procesado mediante aplicaciones de software. La estructura lógica que clasifica y permite visualizar la información relacionada con un sistema de interés, recibe el nombre de *estructura de producto*.



Figura 1. Concepto de Sol en el contexto de este documento

## 2. La estructura de producto

La *estructura de producto* constituye el marco que organiza los datos de ingeniería, industrialización y servicio asociados al desarrollo y gestión de un *Sistema de interés*, a lo largo de todo su ciclo de vida. Se trata de una colección organizada de información de negocio, técnica y de datos del *Sistema de interés*, cuyos objetivos principales son los de gestionar y permitir el intercambio dentro y fuera de la organización, de dicha información de manera efectiva.

La *estructura de producto* cumple un papel fundamental en la gestión de la información generada dentro de un programa destinado al desarrollo de un Sol, contribuyendo de esta manera a alcanzar los objetivos de plazo, coste y calidad de la organización. Organiza de manera lógica y explícita la información de un programa dentro de una única base de datos.

La *estructura de producto*, puede estar almacenada de manera integrada en una única plataforma o federada en múltiples aplicaciones tal y como se muestra en la Figura 2 [1]. Por otro lado, también describe la relación entre los datos técnicos y de negocio definida en torno a un desglose de tareas previamente acordado; y constituye la base para establecer la trazabilidad entre los diferentes artefactos de un programa, gestionar su configuración y controlar los cambios que les afectan, a lo largo del ciclo de vida del SoI. Finalmente, proporciona el nexo de unión entre los diferentes niveles de abstracción en los que se descompone el SoI, estableciendo un acceso navegable a todos los datos del producto.

La *estructura de producto* es el instrumento que permite visualizar el Sistema de interés desde los diferentes puntos de vista (en inglés, *viewpoints*) de los distintos agente interesados (en inglés, *stakeholders*) en su desarrollo. La Figura 3 [1] ilustra el concepto de las vistas asociadas a los *Viewpoints* de los Stakeholders. Estas vistas son exportadas a partir de la información contenida en la estructura de producto.

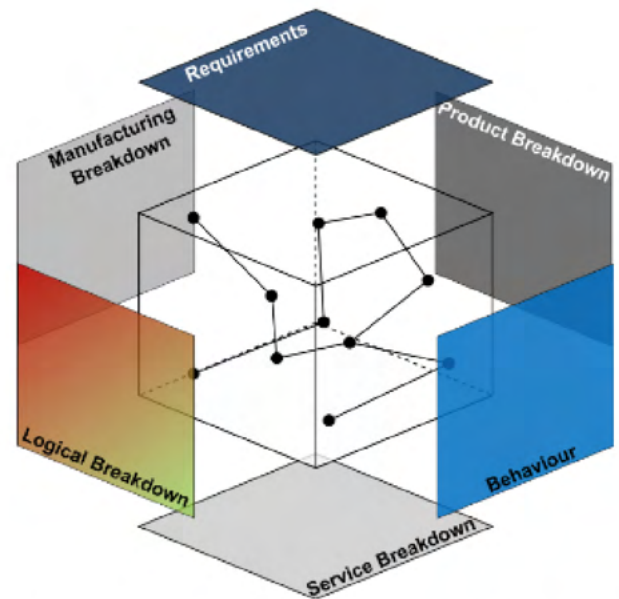


Figura 3. Vistas asociadas a los Viewpoints de los Stakeholders

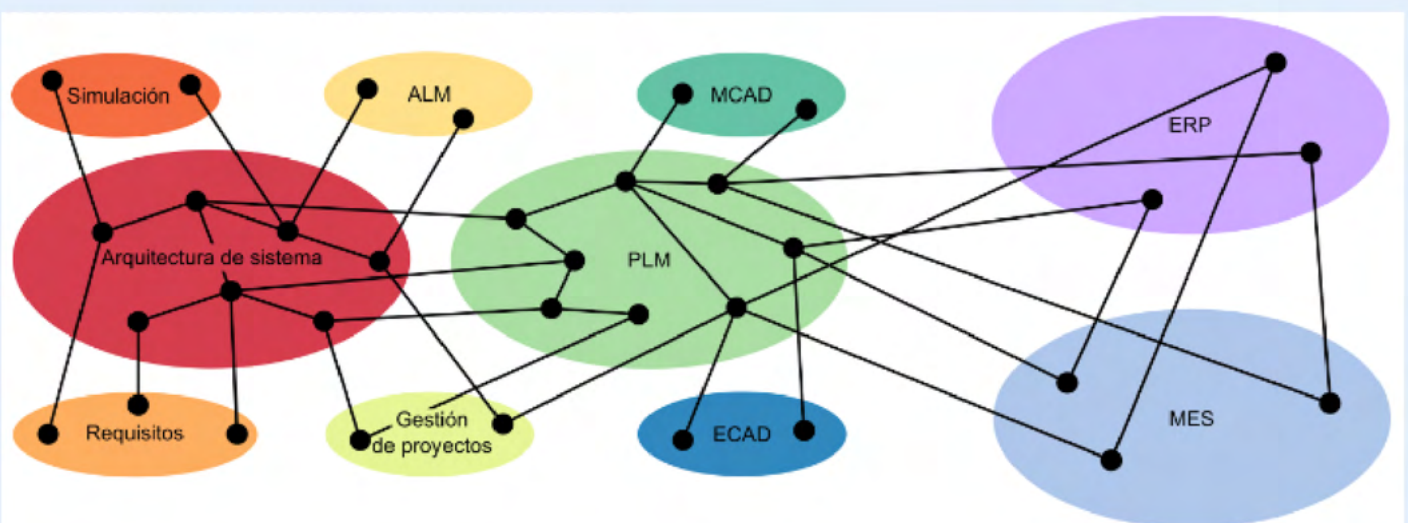


Figura 2. Información de la estructura de producto almacenada de manera federada

La estructura de producto se materializa en forma de una serie de árboles de desglose, y los enlaces que unen los artefactos contenidos en ellos. Dentro de la estructura de producto hay dos tipos principales de árboles: 1) los árboles de desglose específicos de uno de los componentes del sistema de interés; y, 2) los árboles de desglose transversales que contienen artefactos que aplican a todos los componentes del Sol. Cada árbol de desglose contiene la información asociada a un punto de vista específico del producto entregable, de su sistema de industrialización y de su sistema de soporte logístico, que constituyen el Sol.

La Figura 4 muestra el concepto de estructura de producto con los diferentes árboles de desglose. Los enlaces entre los árboles se han omitido para favorecer la legibilidad de la Figura 4.

## 2.1. Árbol de desglose de requisitos

El árbol de desglose de requisitos (en inglés Requirements Breakdown Structure, RBS) contiene todos los requisitos del programa. Como tal, el RBS contiene requisitos tanto técnicos como no técnicos. Los requisitos técnicos están asociados a: 1) el producto entregable, incluyendo las especificaciones de interfaz; 2) el sistema de industrialización del Sol; y, 3) al sistema de soporte logístico integrado del Sol.

Los requisitos "no técnicos" son requisitos que no afectan a ninguna de las tres Fs (fit, form or function, en inglés) de ninguno de los tres sistemas anteriores mencionados. Ejemplos de este tipo de requisitos son: requisitos pidiendo generar un documento determinado, realizar tareas específicas, fechas de entrega, el cumplimiento de una norma, el uso de determinadas plantillas para documentos, etc...

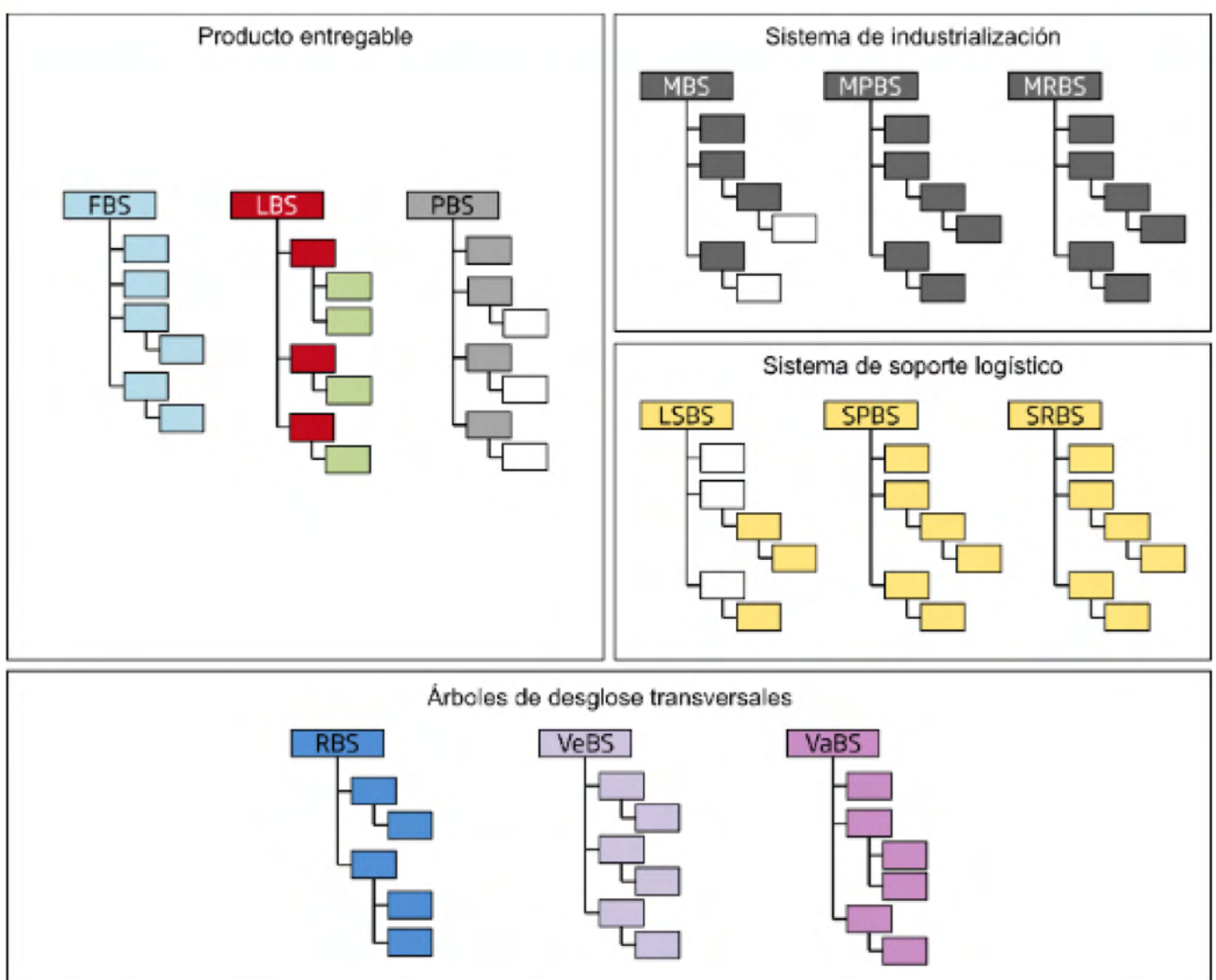


Figura 4. Materialización de la estructura de producto en árboles de desglose

## 2.2 Árbol de desglose funcional

El árbol de desglose funcional (en inglés Functional Breakdown Structure, FBS) contiene todas las funciones implementadas por el producto entregable. El FBS comienza con las funciones de nivel de sistema, las cuales se van descomponiendo progresivamente a medida que el proceso de diseño se va moviendo a través de sus diferentes niveles de abstracción, hasta alcanzar el nivel de ítem. El nivel de detalle del FBS está determinado por los procesos consumidores de la información contenida en él, siendo el principal de ellos, el proceso de análisis de Fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (en inglés Reliability, Availability, Maintainability and Safety, RAMS).

El FBS también contiene todas las interfaces funcionales, derivadas de las sucesivas descomposiciones funcionales realizadas en los diversos niveles de abstracción del producto entregable.

## 2.3 Árbol de desglose lógico

El árbol de desglose lógico (en inglés Logical Breakdown Structure, LBS) contiene todos los elementos que conforman la arquitectura del producto entregable. El LBS comienza con el producto entregable, el cual se descompone en los sistemas y sub-sistemas según las necesidades, determinando los niveles de abstracción en los que finalmente estará dividido el producto entregable. La existencia de sub-sistemas y el número de niveles existentes en cada rama del LBS depende de la complejidad de los sistemas en los niveles superiores. En todo caso, el último nivel de cada rama del LBS contiene todos los componentes mediante los cuales se implementa el sistema o sub-sistema correspondiente.

El árbol de desglose lógico, también contiene todas las interfaces lógicas derivadas de los diseños de la arquitectura de los sistemas y sub-sistemas, y de las funciones asignadas a cada sistema o sub-sistema.

## 2.4 Árbol de desglose de producto

El árbol de desglose de producto (en inglés Product Breakdown Structure, PBS) contiene todos los productos que conforman el producto entregable, hasta el último elemento.

El PBS comienza con el Sol, el cual se descompone en montajes constituyentes. Los montajes constituyentes se descomponen a su vez en sub-montajes según las necesidades, siguiendo un criterio de ensamblado final del producto entregable y de su mantenibilidad.

La existencia de sub-montajes, así como los niveles de sub-montajes existentes en cada rama del PBS depende de la complejidad de los productos instalados en cada montaje constituyente. Los nodos superiores del PBS son definidos, en un proceso de diseño concurrente con el diseño del sistema de industrialización. De esta manera los superiores del PBS coinciden con los nodos superiores del árbol de desglose de fabricación. El PBS es la *fuentes única de la verdad* (en inglés *single source of truth*) para la generación de la lista de materiales de ingeniería (en inglés Engineering Bill of Materials, EBOM).

## 2.5 Árbol de desglose de fabricación

El árbol de desglose de fabricación (en inglés Manufacturing Breakdown Structure, MBS) contiene todos los productos que conforman el producto entregable, hasta el último elemento. Al igual que el PBS, el MBS comienza con el Sol, el cual se descompone en montajes constituyentes. Igualmente, los montajes constituyentes se descomponen a su vez en sub-montajes según las necesidades. Sin embargo, al contrario que en el PBS, la definición de los sub-montajes se hace siguiendo criterios de fabricación y ensamblado. Tal y como se ha comentado, los nodos superiores del MBS coinciden con aquellos del PBS para facilitar la transferencia de información entre los dominios de ingeniería e industrialización.

El MBS es la base para la realización del análisis Make/Buy, que define las necesidades de materias primas para compra y fabricación. El árbol de desglose de fabricación es la *fuentes única de la verdad* para la generación de la lista de materiales de fabricación (en inglés Manufacturing Bill of Materials, MBOM).

## 2.6 Árbol de desglose de procesos de fabricación

El árbol de desglose de proceso de fabricación (en inglés Manufacturing Process Breakdown Structure MPBS) contiene todas las tareas de transformación y montaje necesarias para materializar la solución de diseño del producto entregable.



El MPBS comienza con el Sol como producto terminado, el cual se descompone en tareas de fabricación y ensamblado de los montajes constituyentes. Dichas tareas, se van descomponiendo en tareas relacionadas con los sub-montajes de menor nivel de integración, hasta llegar a los elementos discretos y las materias primas. El MPBS además, especifica las tareas completamente determinando: 1) la secuencia en la que se ejecutan dichas tareas; 2) la duración de las operaciones; 3) el flujo de materiales entre ellas; y, 4) las restricciones temporales entre operaciones. El MPBS es la *fuentes única de la verdad* para la generación de las instrucciones de trabajo de fabricación.

## 2.7 Árbol de desglose de recursos de fabricación

El árbol de desglose de recursos de fabricación (en inglés Manufacturing resources Breakdown Structure, MRBS) contiene todos los recursos necesarios para la realización de las tareas de transformación y montaje definidas en el MPBS, así como la distribución de la planta de producción. El MRBS está estructurado de acuerdo a la arquitectura física de las naves de producción en las factorías. Comienza con la huella industrial de la organización, que contiene todas las plantas de producción. Estas plantas se dividen en líneas de fabricación. Las líneas de fabricación, a su vez, se descomponen en las unidades indivisibles de menor nivel denominadas estaciones de trabajo. El MRBS define los recursos, humanos y materiales, necesarios para ejecutar las operaciones de fabricación definidas, incluyendo: 1) células de fabricación; 2) maquinaria de fabricación y de transporte; 3) utillajes; 4) mobiliario; y, 5) operarios y capacitaciones.

## 2.8 Árbol de desglose de soporte logístico integrado

El árbol de desglose de soporte logístico integrado (en inglés Logistic Support Breakdown Structure, LSBS) se construye a partir del PBS y contiene todos los elementos reemplazables en línea y en taller (en inglés Line replaceable Unit, LRU and Shop Replaceable Unit, SRU, respectivamente) del producto entregable, sujetos a una operación de mantenimiento. Al igual que el PBS, el LSBS comienza con el Sol, que se descompone en conjuntos de mantenimiento. Estos conjuntos de mantenimiento se descomponen en sub-conjuntos según las necesidades. Sin embargo, al contrario que en el árbol de desglose de producto, la definición de los sub-conjuntos se hace siguiendo criterios de mantenimiento y reparación.

El LSBS es la base para la realización del análisis de costes de ciclo de vida (en inglés Life-Cycle Cost, LCC) y la definición del plan de mantenimiento. El LSBS es la *fuentes única de la verdad* para la generación de la lista de materiales de mantenimiento (en inglés Service Bill of Materials, SBOM).

## 2.9 Árbol de desglose de tareas de servicio

El árbol de desglose de tareas de servicio (en inglés Service Process Breakdown Structure SPBS) contiene todas las tareas de mantenimiento y reparación asociadas al producto entregable. El SPBS comienza con el Sol como producto terminado, el cual se descompone en tareas de mantenimiento y reparación de las unidades reemplazables en línea y en taller. Dichas tareas, se van descomponiendo en tareas relacionadas con los sub-conjuntos de menor nivel de integración, hasta llegar a los elementos discretos. El SPBS además, especifica completamente las tareas determinando: 1) la secuencia en la que se ejecutan las tareas; 2) la duración de las operaciones; 3) los repuestos requeridos; y, 4) la frecuencia con las que ejecutar las tareas de mantenimiento. El SPBS es la *fuentes única de la verdad* para la generación de las instrucciones de trabajo de mantenimiento y reparación.

## 2.10 Árbol de desglose de recursos de servicio

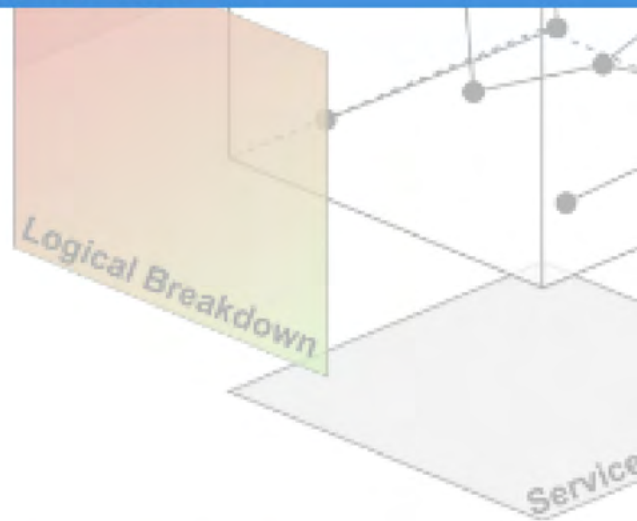
El árbol de desglose de recursos de servicio (en inglés Service Resources Breakdown Structure, SRBS) contiene todos los recursos necesarios para la realización de las tareas de mantenimiento y reparación definidas en el SPBS, así como la distribución de la planta de mantenimiento. El SRBS está estructurado de acuerdo a la arquitectura física de las naves de servicio en las factorías. Comienza con la huella de servicio de la organización que contiene todas las plantas de mantenimiento. Estas plantas se dividen en líneas de mantenimiento. Las líneas de mantenimiento, a su vez, se descomponen en las unidades indivisibles de menor nivel denominadas estaciones de trabajo. El SRBS define los recursos, humanos y materiales, necesarios para ejecutar las operaciones de mantenimiento y reparación definidas, incluyendo: 1) documentación; 2) capacitación y medios; 3) utillajes y medios de test; 4) Recambios; 5) operarios y horas; 6) Embalaje, marcado, manipulación, almacenamiento y transporte; y, 7) software de mantenimiento.

### 2.11 Árbol de desglose de verificación

El árbol de desglose de verificación (en inglés Verification Breakdown Structure, VeBS) contiene todos los medios destinados a verificar el cumplimiento de los requisitos por parte del diseño, así como la correcta realización del producto de acuerdo con el diseño. El VeBS está estructurado de acuerdo a los diferentes niveles de abstracción, los cuales a su vez, están estructurados de acuerdo a los tipos diferentes de métodos de verificación. Cada método de verificación, se descompone en una secuencia de casos de verificación. Los casos de verificación son los elementos encargados de verificar un requisito. Por lo tanto, la trazabilidad entre los requisitos y los métodos de verificación se hace a este nivel. Finalmente, cada caso de verificación se descompone en una serie de pasos de comprobación, que pueden ser de diferentes tipos. Los pasos de comprobación constituyen el nivel más bajo del árbol de desglose de verificación.

### 2.12 Árbol de desglose de validación

El árbol de desglose de validación (en inglés Validation Breakdown Structure, VaBS) contiene todos los medios destinados a validar los requisitos contra los que realizar el diseño, así como validar el cumplimiento de todos los requisitos del producto realizado en el entorno de operación predefinido. El VaBS está estructurado de acuerdo a los diferentes niveles de abstracción, los cuales a su vez, están estructurados de acuerdo a los tipos diferentes de métodos de validación. Cada método de validación, se descompone en una secuencia de casos de validación. Los casos de validación son los elementos encargados de validar un requisito. Por lo tanto, la trazabilidad entre los requisitos y los métodos de validación se hace a este nivel. Finalmente, cada caso de validación se descompone en una serie de pasos de comprobación, que pueden ser de diferentes tipos. Los pasos de comprobación constituyen el nivel más bajo del árbol de desglose de validación.



## 3. La estructura de producto como columna vertebral de la continuidad digital

La estructura de producto es el núcleo central de información dentro de un programa. Permite navegar, a través de la trazabilidad, entre todos los artefactos relacionados con el diseño del sistema de interés y con el desarrollo del programa encargado de su materialización y servicio.

La interfaz del diseño del producto entregable con los sistemas de industrialización y soporte logístico se encuentra en el árbol de desglose de producto. Tal y como se ha comentado anteriormente la transferencia de información entre los diferentes dominios se realiza a través de ítems y montajes de ingeniería en el producto entregable, ítems y montajes de fabricación en el sistema de industrialización e ítems y montajes de servicio en el sistema de soporte logístico. En el caso de los árboles de desglose transversales, tienen interfaz con todos los demás árboles de la *estructura de producto*.

El uso de bases de datos como soporte de la estructura de producto y lugar de almacenamiento de toda la información que ella contiene, permite explotar la trazabilidad entre los diversos artefactos contenidos en ella de una manera mucho más efectiva, así como generar un mayor retorno de la inversión hecha en su establecimiento. En el caso de estructuras de producto con aproximaciones federadas, la integración "seamless" y la compatibilidad entre las distintas herramientas de diseño es un factor fundamental a tener en cuenta.

La Figura 5 muestra la ontología de la estructura de producto. Esta ontología, que muestra los artefactos de la estructura de producto y las relaciones existentes entre ellos, es la base de sobre la que se construye la continuidad digital.



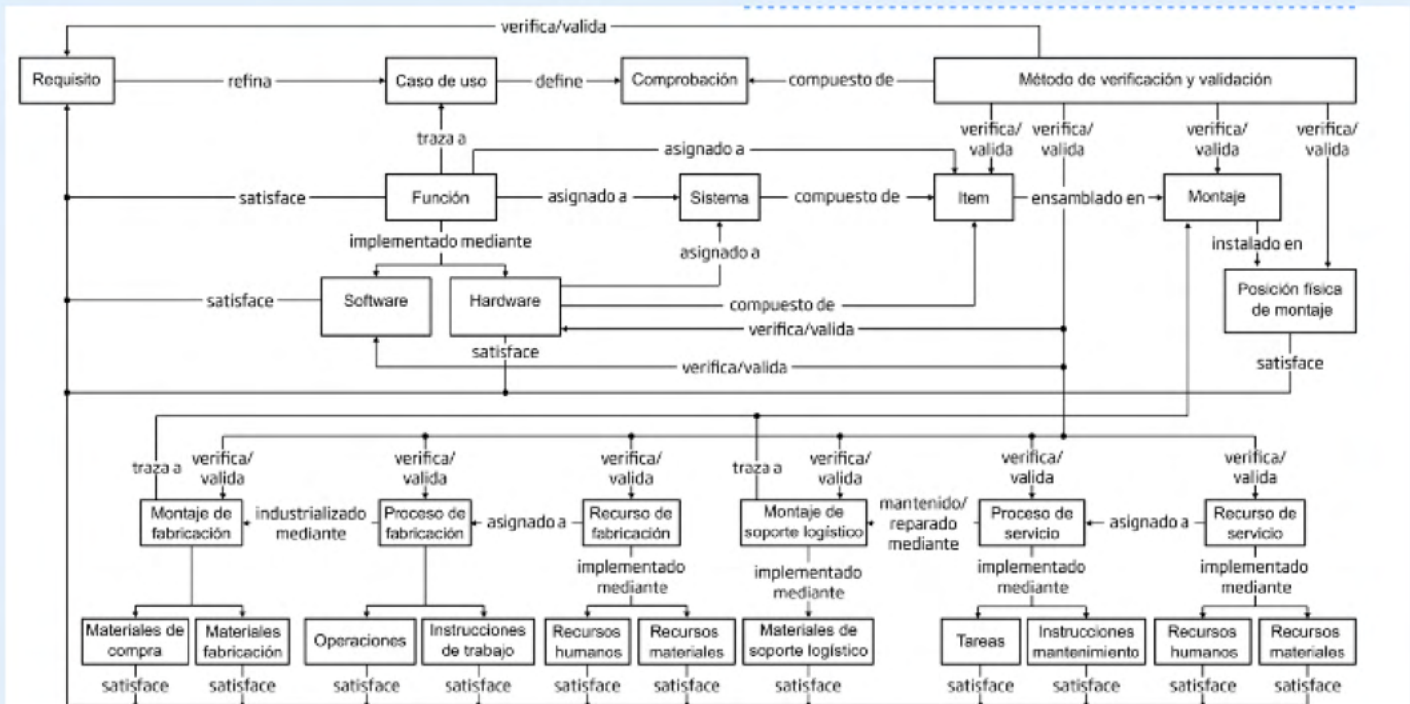


Figura 5. Ontología de la estructura de producto como base para la continuidad digital

#### 4. La estructura de producto como base para la gestión de configuración

Cuando se aplican los principios de gestión de configuración a la estructura de producto, se obtiene una estructura de producto configurada. Tal y como se muestra en la Figura 6, la estructura de producto configurada se divide en tres niveles principales: 1) El nivel superior es un nivel genérico, en el que para un sistema dado, a partir de un momento determinado, sus elementos no cambian; 2) el nivel de configuración es el nivel que permite la gestión de la configuración del sistema de interés, así como el seguimiento de los cambios en su diseño; y, 3) el nivel inferior, compuesto de artefactos utilizados para implementar el diseño del sistema de interés. El nivel de configuración, se divide a su vez en dos partes: la parte que contiene los ítems de configuración (en inglés, Configuration Item, CI); y, la parte que contiene las soluciones de diseño (en inglés, Design Solution, DS).

De esta manera, el nivel superior y la parte del nivel de configuración que contiene los CIs conforman la parte invariante de la estructura de producto. Por otra parte, la parte del nivel de configuración que contiene las soluciones de diseño, junto con el nivel inferior, conforman la parte variante de la estructura de producto. Las partes invariante y variante de la estructura de producto configurada se relacionan mediante el trinomio **ítem de configuración – enlace de aplicabilidad – solución de diseño** (CI-AL-DS). El enlace de aplicabilidad sirve, por tanto, para definir la aplicabilidad de una solución de diseño para un ítem de configuración y de esta forma generar el vínculo entre la parte invariante y la parte variante de la estructura de producto.

Un ítem de configuración es, por definición *un producto, o un componente principal en la estructura de producto complejo, que proporciona funciones de importancia para el producto final* [2].

El concepto de CI se asocia a los elementos que tienen especificaciones de requisitos separadas, pueden ser desarrollados por separado, y son un elemento contra el que se gestiona la aplicabilidad de los cambios en sus componentes. En el contexto de este trabajo, el concepto de CI como producto, se extiende para considerar a un CI como un nodo invariante y conceptual cuya función es la de posibilitar la gestión de la configuración del sistema de interés. Este nodo define por lo tanto una necesidad de gestión, una necesidad que debe ser cubierta por medio de las soluciones de diseño asociadas.

La relación CI-AL-DS es aplicable a cualquiera de los árboles de desglose contenidos en la estructura de producto configurada. Por lo tanto, toda *estructura de producto configurada* tiene asociado un conjunto de *ítems de configuración*, los cuales son de diferentes tipos atendiendo a la naturaleza de los diversos árboles de desglose dentro de la estructura de producto.

A modo de ejemplo, en el LBS los sistemas y los componentes lógicos de los sistemas serán los CIs, en el PBS lo serán los montajes constituyentes y los sub-montajes y en el MPBS sin embargo, se identificarán como CIs las operaciones de montaje/fabricación.

Volviendo a la conexión entre la parte invariante y variante de la estructura de producto configurada, asociados a los CIs nos encontramos las diferentes soluciones de diseño que cumplen con el set de requisitos impuestos a ese CI. Una DS proporciona todos los elementos necesarios para describir y/o construir la solución técnica que define. La relación entre DS y CI puede ser de  $n$  a  $n$ . Una misma solución de diseño puede colgar de más de un CI y a su vez, un CI puede tener asociadas más de una DS. Sin embargo, cada relación entre el CI y una de las soluciones de diseño se define de manera unívoca a través de un enlace de aplicabilidad único para cada relación.

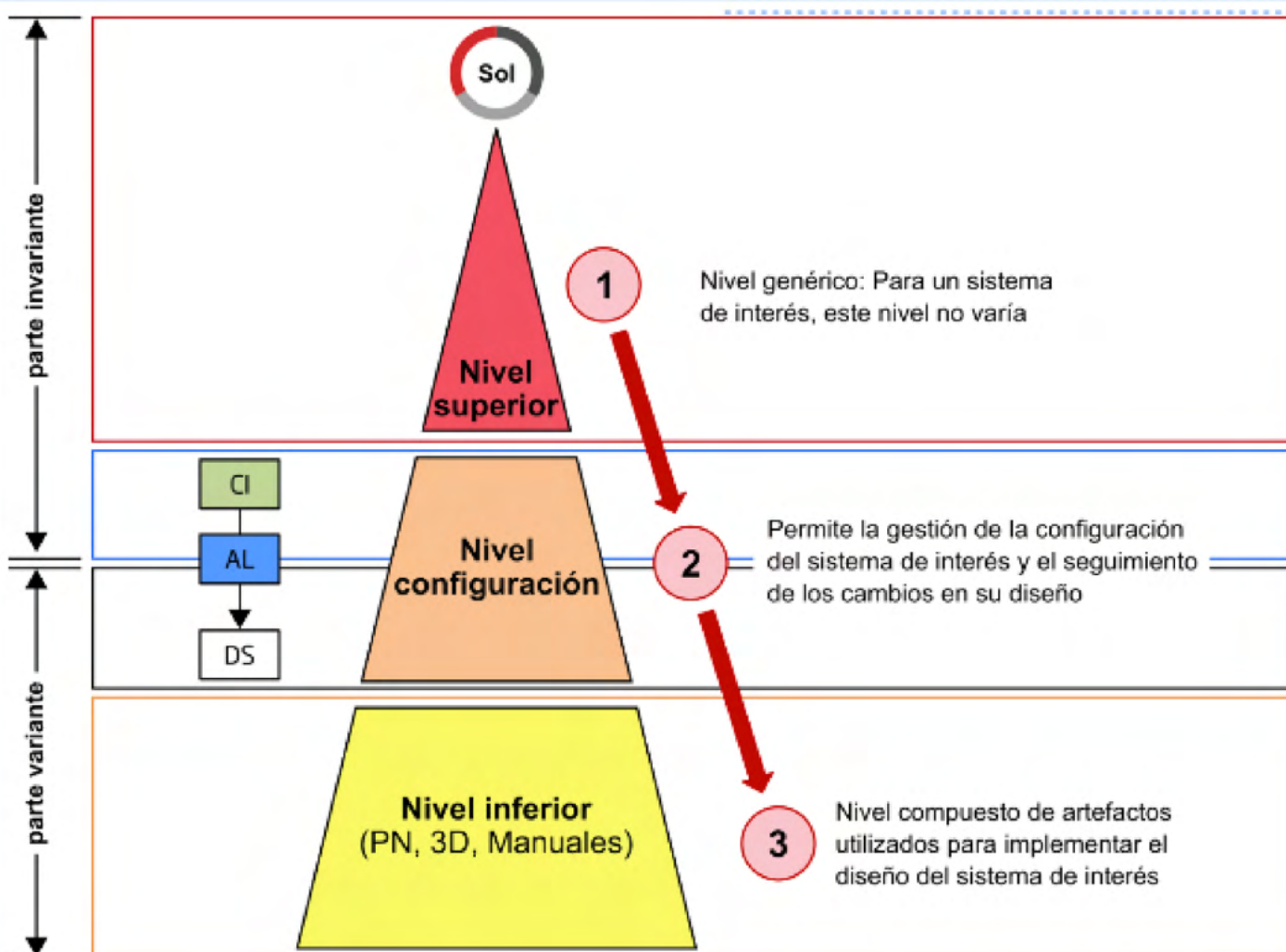


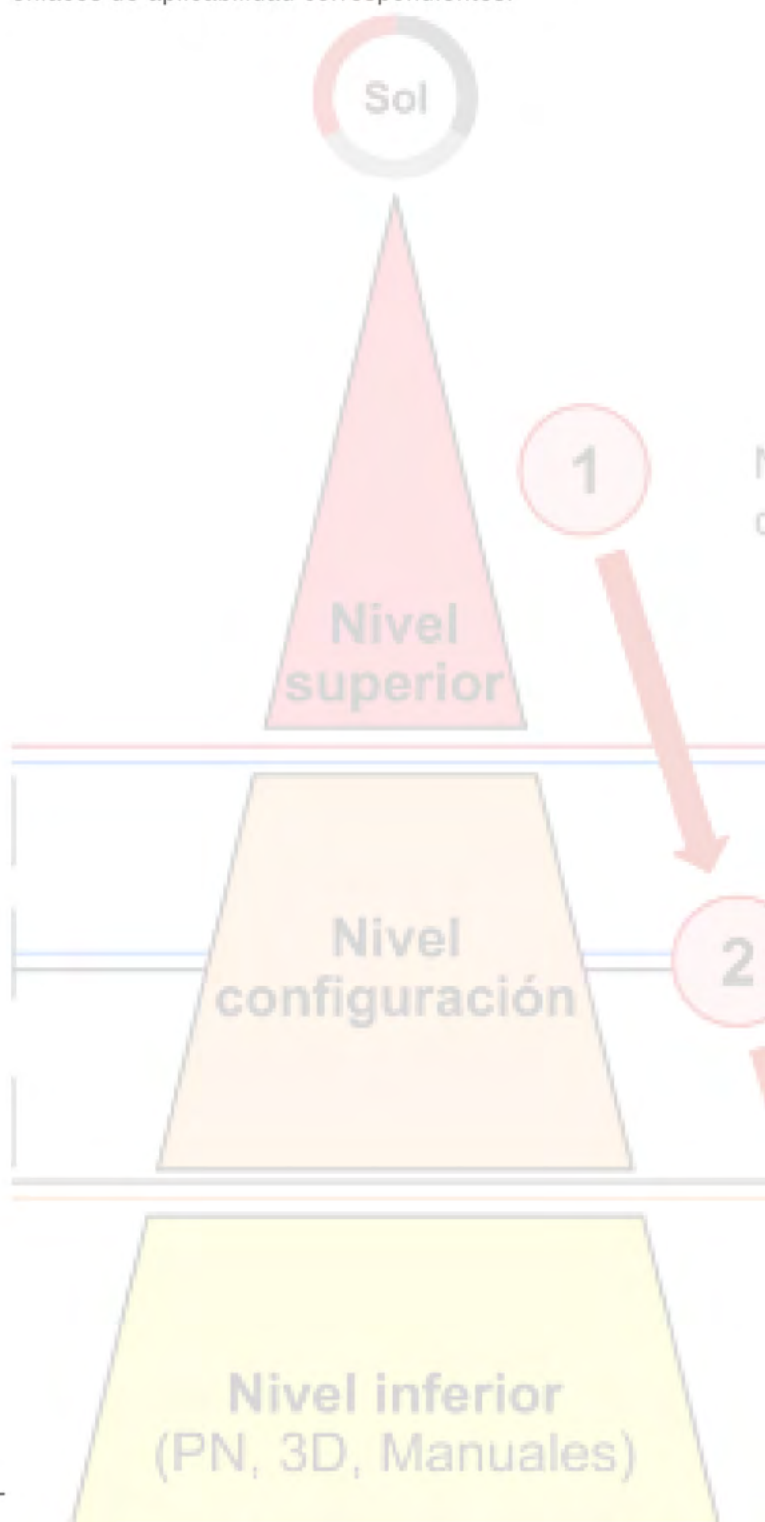
Figura 6. Concepto de estructura de producto configurada

El enlace de aplicabilidad define en qué casos es aplicable una determinada DS para un CI. Esta aplicabilidad es definida por la aplicabilidad de la modificación que describe y dota de oficialidad a la DS. De esta manera, los enlaces de aplicabilidad permiten resolver la estructura de producto configurada para una aplicabilidad concreta y determinar de esta manera, cuál es la configuración del sistema de interés acorde a dicha aplicabilidad.

La estructura de producto no es un ente estático. A medida que el ciclo de vida del sistema de interés avanza, la estructura de producto va creciendo. Ese crecimiento tiene lugar en dos dimensiones: la del alcance y la del nivel de abstracción. Con respecto a la dimensión del alcance, al principio del programa, la estructura de producto sólo consta del árbol de desglose de requisitos. A medida que se avanza a través de las diferentes fases del proceso, se van generando artefactos pertenecientes al resto de árboles de desglose. En el caso de la dimensión del nivel de abstracción, en un determinado nivel, los árboles de desglose existentes sólo se pueden definir hasta el nivel de detalle correspondiente a ese nivel de abstracción. A medida que se baja en los niveles de abstracción, los árboles de desglose van ganando en profundidad.

La naturaleza dinámica de la estructura de producto requiere de un mecanismo de control que permita gestionar de manera efectiva su evolución. Dicho mecanismo consta de las líneas base y el control de cambios. Las líneas base (en inglés, *Baselines*) son una parte fundamental de la gestión de la configuración. Una *Baseline* es una definición acordada de los atributos de un producto en un momento determinado que permite identificar una configuración conocida, sirve como punto de referencia para el control de los cambios futuros y es el punto de partida para realizar actividades posteriores. Por lo tanto, podemos decir que es la manera de desacoplar las diferentes actividades y gestionarlas de manera controlada para el beneficio de todos los *Stakeholders*. Por otra parte, el control de cambios permite controlar y gestionar las modificaciones introducidas en la estructura de producto con respecto a su última *Baseline*. Aquellos CIs que se vean afectados por un cambio, recibirán nuevas soluciones de diseño, asociadas mediante enlaces de aplicabilidad específicos. De esta manera la estructura de producto crecerá y evolucionará de forma controlada bajo los parámetros de la gestión de configuración.

La continuidad digital dentro de la estructura de producto explicada anteriormente juega un papel fundamental en el análisis del impacto de los cambios en el diseño del sistema de interés. Toda modificación debe ser trazada contra el ítem o ítems de configuración afectados por dicho cambio generando de esta manera nuevas soluciones de diseño que serán vinculadas a los CIs mediante la aplicabilidad de la modificación y que alimentarán así a la estructura de producto. Para realizar tal análisis de impacto es esencial tanto la arquitectura del producto como la gestión de interfaces. La Figura 7 (en la página siguiente) muestra un ejemplo de la evolución de la estructura de *producto configurada*, con dos soluciones de diseño asociadas al mismo CI, mediante sus enlaces de aplicabilidad correspondientes.



## 5. La estructura de producto como base para la gestión de variabilidad

El aumento de la exigencia de un mayor grado de personalización en los sistemas por parte de los clientes, unido a una disminución drástica del tiempo disponible para su desarrollo han dado como resultado la creación del concepto de *línea de producto*, y de la especialidad asociada a su concepción y desarrollo, la *ingeniería de líneas de producto* (en inglés, Product Line Engineering, PLE).

Una línea de producto consta de una o más plataformas. Cada plataforma engloba una serie de sistemas de interés, los cuales son similares desde el punto de vista de su uso, operación o diseño.

En otras palabras, una plataforma es un portfolio de productos con unas características comunes y una serie de variaciones que las diferencian entre sí. Como resultado, todo sistema de interés derivado a partir de la misma plataforma, está constituido por unas características fijas, más una serie de opciones, tomadas del catálogo de opciones disponibles para la plataforma, y de unas características asociadas a demandas específicas provenientes del cliente, que no están contempladas en la *plataforma*.

Una *plataforma* contiene todos los artefactos asociados al sistema de interés, y no solamente al producto entregable. Los artefactos son aquellos elementos que componen el sistema de interés, así como todos aquellos elementos que dan soporte al proceso de ingeniería y a la gestión de los programas. Algunos ejemplos de artefactos de diferentes tipos presentes en una plataforma son:

- Requisitos
- Definiciones de diseño
- Código fuente
- Archivos ejecutables
- Métodos de V&V
- Planes
- Documentación de usuario
- Manuales de reparación y guías de instalación
- Presupuestos y desgloses de tareas (WBS)

Una *plataforma* consiste en un conjunto de artefactos, algunos de los cuales están presentes en todos los sistemas de interés derivados a partir de dicha plataforma y otros sólo están presentes de manera opcional en aquellos Sol, en los que sean aplicables.

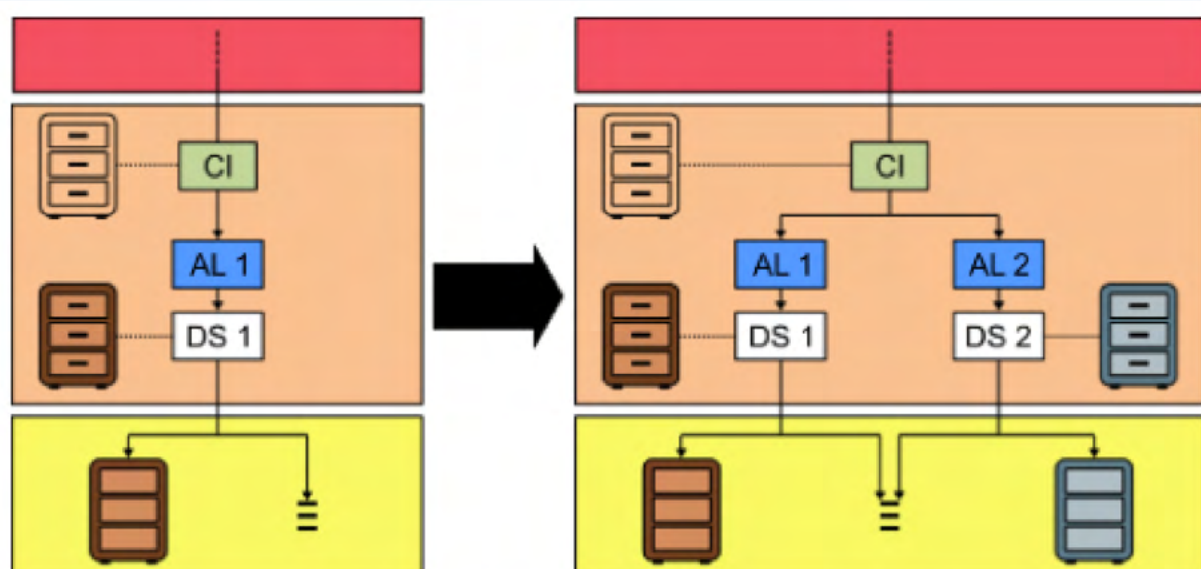


Figura 7. Evolución de la estructura de producto configurada

Como consecuencia, una plataforma se construye a partir de la envolvente de todas las características que pueden estar presentes en cualquiera de las variantes contempladas dentro de la plataforma. La existencia de características opcionales que están presentes únicamente en un subconjunto de todas las instancias derivadas de la misma plataforma implica que el concepto central, alrededor del cual se articula la ingeniería de líneas de producto es la gestión de variabilidad.

El proceso de gestión de variabilidad, ilustrado en la Figura 8, comienza con la identificación y modelado de la variabilidad contemplada dentro de la plataforma. El resultado de este proceso es un modelo de características, llamado modelo de características del 150% (en inglés, 150% Feature model). Este modelo del 150% contiene la envolvente de todas las características, entre las cuales, unas deben estar contenidas en todos los productos derivados de la plataforma y otras son opcionales.

El modelo de características también define las relaciones de dependencia entre las características del modelo del 150%. Estas relaciones de dependencia pueden implicar la obligatoriedad de incluir una característica, cuando su característica asociada es seleccionada o la exclusión mutua, entre otras.

Para cada variante del modelo de características del 150%, se identifican los CIs asociados y se desarrollan las soluciones de diseño que cumplen con los requisitos asignados a los CIs. Como resultado, la estructura de producto configurada asociada al modelo de características del 150%, contiene todos los artefactos asociados a la envolvente de características presentes en el modelo del 150%.

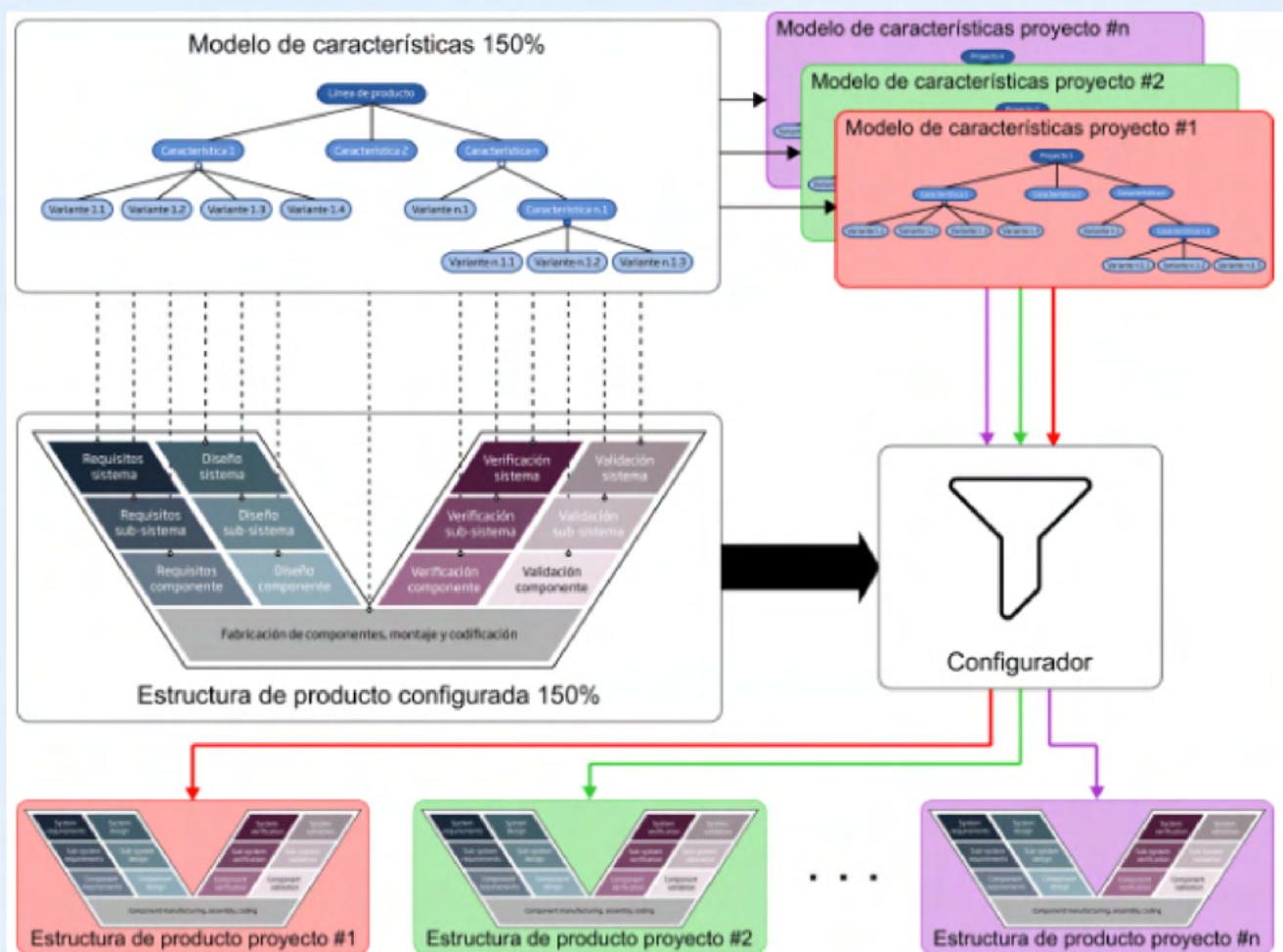


Figura 8. Proceso de gestión de variabilidad con derivación de instancias desde una plataforma

Esta estructura de producto configurada sobrecargada, denominada Estructura de producto configurada del 150%, constituye, junto con el modelo de características del 150%, los dos pilares sobre los que se asienta la gestión de *variabilidad* y por extensión, la *ingeniería de líneas de producto*.

A la hora de gestionar variabilidad en estructuras configuradas se debe tener en cuenta que existen dos niveles de variabilidad diferentes dentro de la propia estructura de producto:

El primer nivel modifica la lista de CIs presente en cada variante derivada de la plataforma.

El segundo nivel de variabilidad, modifica la solución de diseño elegida para implementar un CI. Esas soluciones de diseño, pueden ser elegidas a partir de un catálogo de soluciones de diseño pre-definidas o pueden ser desarrolladas exprofeso.

La derivación de instancias a partir de una *plataforma* completa se realiza mediante la selección de las características aplicables a las instancias correspondientes en un configurador. Como consecuencia, el configurador genera una estructura de producto por cada instancia derivada de la plataforma. En el momento de la instanciación, el configurador filtra los artefactos pertenecientes a los diferentes árboles de desglose de la estructura de producto del 150%, asociados a las características no seleccionadas para la instancia correspondiente.

## 6. Referencias

- [1] No Magic, Allen, TX, USA. Connecting SysML with PLM/ALM, CAD, Simulation, Requirements, and Project Management Tools. (May 8, 2016). Accessed: Nov. 9, 2021. [Online Video]. Available: <https://youtu.be/aHr5wVRXvMc>
- [2] Configuration Management Standard, EIA649C, Society of Automotive Engineers, 2019

### Abreviaturas y acrónimos

Acrónimo	Versión extendida en Inglés	Versión extendida en Castellano
AL:	Applicability Link	Enlace de aplicabilidad
CI:	Configuration Item	Ítem de configuración
DS:	Design Solution	Solución de diseño
EBOM:	Engineering Bill of Materials	Lista de materiales de <u>ingeniería</u>
FBS:	Functional Breakdown Structure	Árbol de desglose funcional
LBS:	Logical Breakdown Structure	Árbol de desglose lógico
LCC:	Life-Cycle Cost	Coste del Ciclo de vida
LRU:	Line Replaceable Unit	Unidad reemplazable en línea
LSBS:	Logistic Support Breakdown Structure	Árbol de desglose de soporte logístico integrado
MBOM	Manufacturing Bill of Materials	Lista de materiales de fabricación
MBS:	Manufacturing Breakdown Structure	Árbol de desglose de fabricación
MPBS:	<u>Manufacturing</u> Process Breakdown Structure	Árbol de desglose de proceso de fabricación
MRBS:	Manufacturing Resources Breakdown structure	Árbol de desglose de recursos de fabricación
PBS:	Product Breakdown Structure	Árbol de desglose de producto
PLE:	Product Line Engineering	Ingeniería de líneas de producto
RAMS:	Reliability, Availability, Maintainability and Safetv	Fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad v seguridad
RBS:	Requirements Breakdown Structure	Árbol de desglose de requisitos
SBOM:	Service Bill of Materials	Lista de materiales de servicio
Sol:	System of Interest	Sistema de Interés
SPBS:	Service Process Breakdown Structure	Árbol de desglose de tareas de servicio
SRBS:	Service Resources Breakdown Structure	Árbol de desglose de recursos de servicio
SRU:	Shop Replaceable Unit	Unidad reemplazable en taller
<u>VaBS:</u>	Validation Breakdown Structure	Árbol de desglose de validación
<u>VeBS:</u>	Verification Breakdown Structure	Árbol de desglose de verificación
WBS:	Work Breakdown Structure	Árbol de desglose de tareas





# GROWING YOUR OWN SYSTEMS ENGINEERS

## THE CASE OF TMCITALIA

*Dr. David Ward, Ph.D., ESEP*

---

### Abstract

Second only to the challenge of developing and deploying a systems engineering (SE) competency is finding systems engineers (SEngs) to carry out the relevant work while growing in knowledge and SE stature. The case of TMC is therefore not an exception rather the rule but how it is going about doing it and possibly proposing it as a model for others, is the attractiveness of this brief account.

We set-out to illustrate and provide some of the details and highlights of developing a SE competency. More specifically it addresses a four-step training process, describes some of the tools developed, and blends hard/soft skills with traits. With a cocktail of formal and broader view of SE training provides a platform to develop-deploy, not just the competency but also grow expertise further.

### Introduction and Overview

Almost every engineer I have met in almost 50 years of work were taught and brought up as systematic thinkers, including me. This derives from the schooling and training received and is a consequence of the delivery of knowledge and thinking received from others, especially (systematic) teachers. Even peers and bosses apply the same systematic mindset in everything from problem solving to performance appraisal. In other words, education, training, feedback is geared for systematic thinking.

We mass-produce systematic thinking engineers and not systemic thinking engineers and only in specific circumstances do we hear of systems thinking. This implies we 'engineer' the solution provider to solve the problem rather than help see the big picture and the business opportunity that stems from the business problem. Elon Musk put it very well "Possibly the most common error of a smart engineer is to optimize a thing that should not exist." (1)

But things are changing, mainly because complexity has reached such levels that systematic thinking isn't enough and may even be one of the key reasons why complex systems fail, ironically 'systematically'. Thus, the rise of systems engineering, and the desperate demand for systems engineers and discovering we need to retrain the engineers we have or pick and redirect the ones we already have.

TMC is fortunate because its employeeneur business model (2), a combination of employee-entrepreneurship, already favours this before and after hiring. With dedicated SE training engineers at TMC reap the benefits of systematic thinking while grooming a systemic thinkers mindset.

## Kick-starting the Programme

At TMCItaly to 'grow our own systems engineers' the following three steps were taken:

1. Assessment of SE needs and expectations of the TMC customer base, especially from a Seng skills viewpoint and personal traits and how these link to TMC's 'strategy'. We can loosely associate this to aligning strategy to tactics/operations.
2. Who are the TMC SEngs both in terms of skills and traits and how do these aspects compare to the output of step 1. The age range of the participants was 25 to 45+ years, with up to 20+ years of practice and involved in very diverse projects, from logistics to defense.
3. Develop and deploy a training roadmap for TMC SEngs. This included an estimation of investments e.g., purchase of SE standards, INCOSE handbooks etc.

In summary, enterprises need to first understand the direction they want to take and how they intend to develop, deploy and sustain their SE competency. It is a journey and not just a destination.

## Hard/Soft skills versus Traits schools of thought

Training in enterprises is either about hard or skills but later, usually through work experience, the importance of traits arises. Indeed, we realise that we prefer to work with people with certain traits rather than just hard and/or soft skills. Moreover, when hiring we base our selection especially on traits or that 'good vibe' about the candidate. A quick look at the following table will clarify the challenge of finding the right mix:

Hard Skills	Soft Skills	Traits	
Are about the technical knowledge the person has gained through academic and professional training and/or working experience.	Are about the habits and behaviours of the person.	Are about a distinguishing quality or characteristic, personality feature of the person.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Academic specialization such as Mech. Engineering</li> <li>○ Foreign Languages</li> <li>○ Coding/Programming Languages</li> <li>○ SEP Certification</li> <li>○ Design e.g., CAD, CFD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Communication</li> <li>○ Teamwork</li> <li>○ Problem-solving</li> <li>○ Critical thinking</li> <li>○ Time management</li> <li>○ Conflict management</li> <li>○ Creativity</li> <li>○ Negotiation</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u>Lighter</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Integrity</li> <li>○ Loyalty</li> <li>○ Devotion</li> <li>○ Kindness</li> <li>○ Sincerity</li> <li>○ Self-control</li> <li>○ Patience</li> <li>○ Resourceful</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u>Heavier</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confidence</li> <li>○ Persuasiveness</li> <li>○ Determination</li> <li>○ Charisma</li> <li>○ Authority</li> <li>○ Enthusiasm</li> <li>○ Risk taking</li> <li>○ Ownership</li> </ul>
Often emphasising the active or hands-on mode of learning	Often emphasising the behavioural mode of learning	Traits are split into 3 categories: a). <b>Cardinal</b> , form your recognition b). <b>Central</b> , form your core habits c). <b>Secondary</b> , are your personal preferences	

TMC SE Training focuses on marrying the two schools of thought as shown next:



Figure 1 – Comparing the two schools of thought for SE training

This highlights the challenges of combining role, responsibility and recognition from two different viewpoints since many enterprises are oriented towards skills rather than traits, especially in terms of hiring and training.

### The 4-step process and one Roadmap

To deliver the necessary training in-line with the idea of personal development and the TMC employerneurship model it was not enough to simply define and deploy key SE methods in a training regime. So, a four-step process was developed as follows:



The rationale is that first the engineers are exposed to a very broad view of SE through formal module training while being invited to use the knowledge received directly in TMC customer projects. A sort of on-the-job application of the knowledge received. The next step is to encourage the engineers to develop their own SE views and showing other engineers how it could be done. The final step is to further encourage them to mentor others and 'train the trainers'.

Step 1 is illustrated in a specific roadmap with the option to be SEP certified (3):

Formal training consisted of 3 module-driven parts that can be adapted both in scope and purpose and modules re-sequenced as needed.



Figure 3 – Step 1 formal training roadmap





## SE Clinic and TMC 'G' guides

As engineers learn the SE basics many doubts surface. These can be derived from their projects, some from experience (or lack of it) and some due to the need to personalise solutions. To this end the 'SE clinic', a sort of one-stop consultancy where engineers can pose specific SE questions/challenges was created. A further tool was to develop quick references known as TMC 'G' guides for specific SE topics. These are written by the training participants with the help of the trainer and personalised to fit the end-user.



## Aligning Learning modes with modern delivery tools

Since everyone has one or more preferred learning modes, the TMC SE programme including exercises, leverages them accordingly:

 <b>Behaviourist</b> 1	Provoking reactions from SE's and detecting any changes in their behaviour. The idea is to invoke a reaction and a change in old behaviour until they become a new conduct.
 <b>Cognitive</b> 2	Stoking different kinds of memories, motivation, and thinking to build patterns. It has also aspects of social and cognitive behaviour learning.
 <b>Constructivist</b> 3	Interpretation and encoding the information based on personal perception and experiences. Learners analyse, rationalize, synthesize, and develop new ideas or tweak old ones through the filter of their own experiences.
 <b>Active</b> 4	Learners are actively engaged or involved in the learning procedure to learn better. Interactivities, assembly-disassembly of products, exercises etc. are crucial learning elements.

Another challenge is establishing the best learning approach. Due to the geographic dispersion of the TNC SEngs and Covid-19 restrictions the only true option has been eLearning (based on Teams) and learning (based on lesson recordings). However, the preferred approach should be cLearning as it leverages all four learning modes (4).

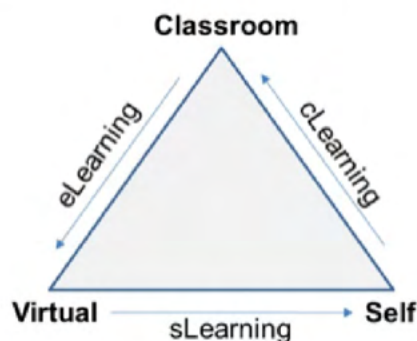


Figure 4 – Learning and Delivery.

## Conclusions

Building a SE competency requires clear and sustainable enterprise intent. It entails customisation and careful matching of scope and purpose of both SE and SEngs within the enterprise and its customers.

Based on direct experience the SE programme will take roughly 6-12 months to set-up and deliver. Building a SE competency takes obviously longer, in practice up to 10 years. Moreover, not all SE journeys are successful and none of them will have a smooth ride as not everyone is suited for SE, enterprises included. SEngs are indeed a special breed and balancing systemic and systematic thinking takes time, effort and conviction.

## Acknowledgements

I would like to thank Antonio Abadessa (CEO), the Business Managers at TMCItalia together with our SEngs involved in the programme for all the inspiration received.

## References

1. Iteration and SpaceX, interview of Elon Musk by Tim Dodd, available at: <https://about.gitlab.com/handbook/values/iteration-examples/spacex.html>
2. TMC employeurship: <https://tmc-employeurship.com/employeurship>
3. SEP certification: <https://www.incose.org/systems-engineering-certification>
4. SESE2022: <http://sesetour.afis.fr/10th-may-italy/>

# SAVE THE DATES



## AGENDA

- Tipos de modelos y usos
- Arquitectura
- Diseño
- Reutilización de los modelos en el ciclo de vida del producto
- Introducción a los Gemelos Digitales
- ¿Qué es un Gemelo Digital?
- Aplicaciones
- Mantenimiento Predictivo
- Optimización de Operaciones

Digital Engineering (ingeniería digital o la digitalización en ingeniería) es una expresión de moda, y es algo que las organizaciones se esfuerzan por adoptar y que los proveedores de tecnología afirman aplicar. ¿Cuál es la realidad detrás de esta expresión?, ¿puede proporcionar el valor que promete?

En esta sesión mostraremos cómo los modelos de los sistemas y de los componentes son importantes en la ingeniería digital.

Tras introducir los usos de los distintos tipos de modelos en las fases de concepción, diseño e implementación, mostraremos con ejemplos cómo podemos reutilizar algunos de esos modelos durante el ciclo de vida del producto, en concreto en aplicaciones de mantenimiento predictivo y de optimización de operaciones.

**MANTENTE ACTUALIZADO DESDE EL CALENDARIO DE EVENTOS ONLINE:**

<https://www.aeis-incose.org/eventos/>



# CÓMO HACERSE MIEMBRO DE AEIS

---

Puede darse de alta directamente en el apartado información de nuestra web\* , en cualquiera de las siguientes opciones:

- **Membresía individual estándar:** 160€/año (Disponible para cualquier profesional involucrado en la ingeniería de sistemas con interés en mejorar sus conocimientos técnicos y tener acceso a una red de profesionales del sector).
- **Membresía individual estudiantes:** 50€/año (Disponible para todos aquéllos estudiantes de un área técnica, teniendo que poder demostrarlo como su ocupación principal. No se dispone de derecho a voto en las elecciones de INCOSE y AEIS).

\*(<https://www.aeis-incose.org/informacion/alta-socios>)



## ADVISORY BOARD (CAB)

---



## PATROCINADOR

---



### AEIS - INCOSE ESPAÑA

---

C/ Don Pedro, 10 28005 Madrid  
(Real Academia de Ingeniería)  
[contact@aeis-incose.org](mailto:contact@aeis-incose.org)  
<https://www.aeis-incose.org/>

