

SISTEMAS DE SISTEMAS

ALBERTO SOLS

Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

Se denomina sistema a cualquier artefacto diseñado y fabricado por el ser humano para satisfacer una determinada necesidad. Esa naturaleza teleológica es lo que caracteriza a los sistemas; su diseño responde a un objetivo a ser alcanzado. En las dos últimas décadas se habla de familias o conjuntos de sistemas que poseen un interés especial, entre las que destacan los denominados sistemas de sistemas. Este artículo explica qué son los sistemas de sistemas, en qué se diferencian de los sistemas ordinarios, qué diferentes tipos de sistemas de sistemas hay, y qué son las capacidades emergentes. Se incluye un ejemplo para facilitar la comprensión de los diferentes conceptos.

PALABRAS CLAVE •

sistema; sistema de sistemas; familia de sistemas

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO •

Sols, Alberto. 2020. "Sistemas de Sistemas"
en: UEM STEAM Essentials

INGENIERÍA DE SISTEMAS

La ingeniería de sistemas es el enfoque estructurado para resolver necesidades identificadas u oportunidades de negocio detectadas, mediante el diseño de sistemas que las satisfagan de manera eficaz y eficiente durante toda su vida operativa. El término "ingeniería de sistemas" se utilizó por primera vez a finales de la década de los 40, en los Bell Laboratories de la American Telephone & Telegraph. En un estudio en 1945 de sistemas de misiles guiados anti-aéreos se habló de ingeniería de sistemas, precisamente porque el proyecto era lo suficientemente complejo como para tener que abordar todas las partes integrantes como un único sistema, y no tratar los equipos integrantes por separado, como tradicionalmente se había hecho. La ingeniería de sistemas nació con análisis de los fines y definición de los objetivos como partes integrales del esfuerzo de in-

geniería. Desde entonces, la ingeniería de sistemas es una disciplina que no ha dejado de crecer y que se considera el enfoque más adecuado para analizar y entender problemas u oportunidades, y transformarlas en sistemas que las satisfagan. La ingeniería de sistemas se caracteriza, entre otros, por la separación de dominios (el del problema y el de la solución), la visión holística o de conjunto (el ciclo de vida del sistema; las diferentes disciplinas necesarias; y los diferentes grupos de interés o *stakeholders* (que son aquellos que pueden influir en el funcionamiento del sistema, o que pueden verse afectados por él), además del propio usuario del sistema; y por los procesos de verificación y validación. El marco de ingeniería de sistemas se representa en la **figura 01**. Las líneas de trazo discontinuo representan la existencia de realimentación a lo largo del proceso, algo

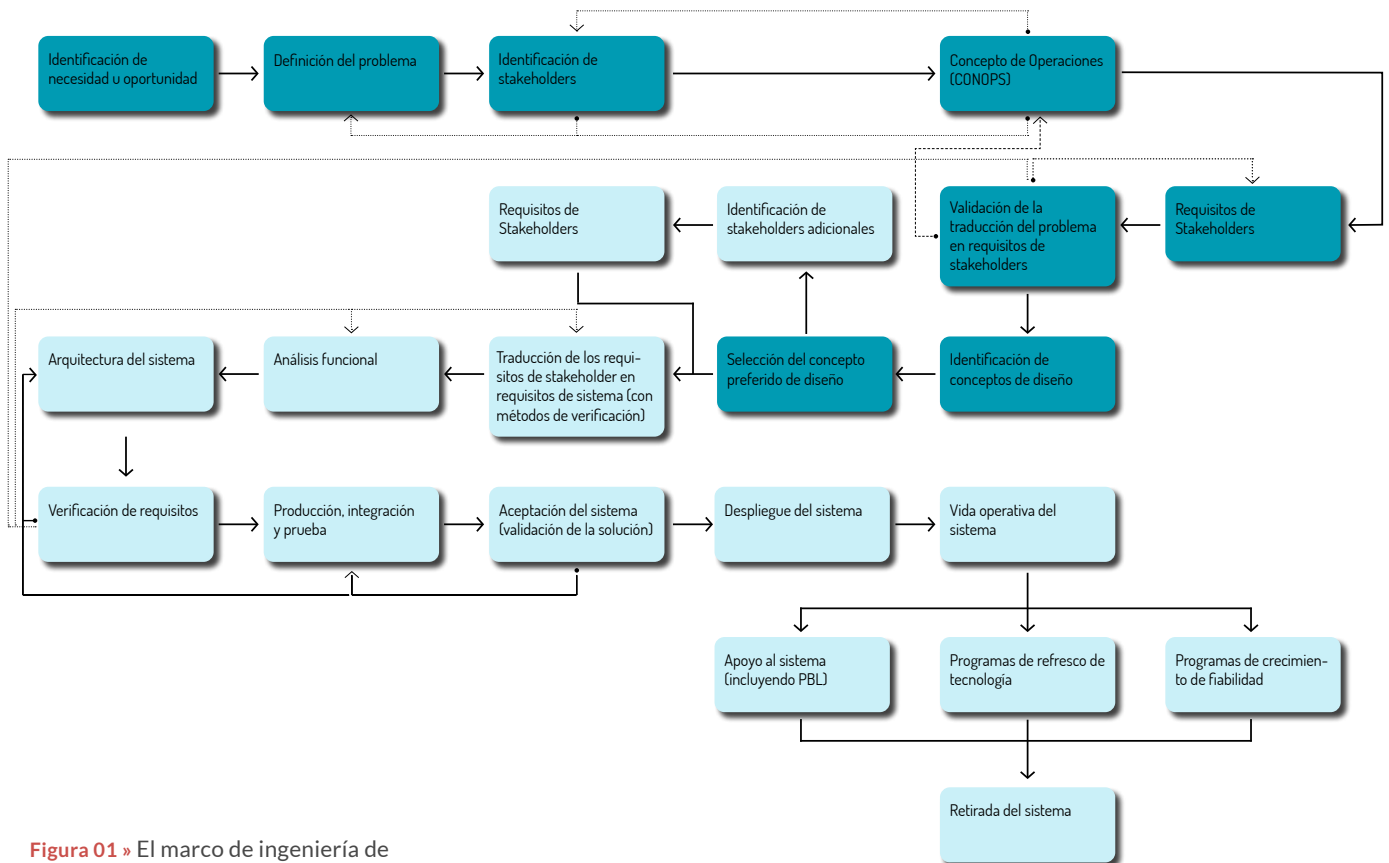


Figura 01 » El marco de ingeniería de sistemas (Sols, 2014)

consustancial a la existencia de un objetivo a satisfacer; las cajas de fondo gris pertenecen al dominio del problema, mientras que las de fondo blanco pertenecen al dominio de la solución.

SISTEMAS, Y FAMILIAS DE SISTEMAS

La ingeniería de sistemas permite la transformación de una necesidad percibida o una oportunidad identificada en un sistema que la satisface, de manera eficaz y eficiente durante toda su vida operativa, incluyendo una adecuada retirada de servicio al final de su vida útil. Aunque el término sistema parece ser válido para representar cualquier artefacto diseñado y desarrollado por seres humanos con un determinado fin o propósito, hay desde hace un par de décadas una creciente presencia de grupos o familias de sistemas, que son conjuntos de sistemas con unas características y propiedades especiales. Las familias de sistemas más conocidas son las federaciones de sistemas y los sistemas de sistemas. El propósito de este capítulo es describir cuáles son y demostrar que el marco de ingeniería de sistemas sigue siendo válido para abordar el diseño y desarrollo de cualquiera de esas familias de sistemas, con las personalizaciones adecuadas del marco. El concepto y las características de las familias de los sistemas y las diferencias entre las federaciones de sistemas y sistemas de sistemas han sido abordados por diversos autores (Board-

mann y Sauser, 2006; Cherfa et al., 2019; Gorod, Sauser & Boardman, 2008; Maier, 1999; Maier, 2019; Sage y Cuppan, 2001; Sage y Biemer, 2007). Las *smart cities*, o ciudades inteligentes, se caracterizan por un alto grado de monitorización de parámetros e interacción de sistemas (Lacort, 2021), y son tanto posibilitadas por sistemas de sistemas, como un hábitat natural para su desarrollo.

Las tres características principales de las familias de los sistemas son la independencia operativa de cada sistema individual, su independencia gerencial y la naturaleza evolutiva de la familia. Cada sistema que pertenece a la familia fue diseñado y desarrollado en respuesta a una necesidad identificada o una oportunidad percibida, lo que significa que cada uno tiene su propio propósito y, en consecuencia, es independiente en términos de su gestión y operación. El abandono y el exilio de sistemas también ha sido tratado (Salado, 2015, Salado, 2016), al igual que las métricas de sistemas de sistemas (Sols, 2017a) y las capacidades en recesión (Sols, 2017b). La familia de sistemas crece a medida que los nuevos miembros se unen a ella. Los límites de un sistema se definen desde sus inicios, pero los límites de una familia son dinámicos y amplían (o disminuyen) a medida que los sistemas unen (o abandonan) a la familia. Esto implica, entre otras cosas, que el Concepto de Operaciones (*Concept of Operations*, CONOPS) para una familia de sistemas tiene que actualizarse regularmente para reflejar el comportamiento extremadamente dinámico de la familia.

SISTEMAS DE SISTEMAS

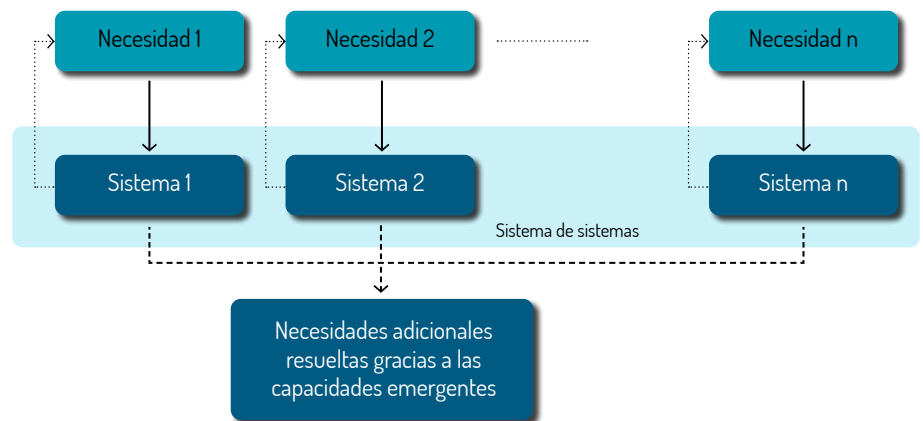
De la misma manera que ninguna colección de elementos es un sistema, no cualquier colección de sistemas es una familia. Un sistema es un conjunto de elementos que interactúan entre sí y trabajan juntos para ofrecer una capacidad que satisface una necesidad u oportunidad. Del mismo modo, un conjunto de sistemas sólo será una familia si hay algunas características comunes para ellos o si algunas propiedades surgen como consecuencia de su trabajo conjunto.

Mientras que un sistema es un grupo de componentes que interactúan entre sí y que constituyen un todo que ha sido diseñado para satisfacer una necesidad identificada, un sistema de sistemas (*system of systems*, SoS) es un conjunto integrado por entidades que son cada una de ellas sistemas y que pueden funcionar por separado e independientemente, aunque al trabajar de manera conjunta pueden alcanzar objetivos que ninguno de ellos podría alcanzar por separado. Un sistema de sistemas es, por lo tanto, una familia de sistemas; cada uno ha sido diseñado independientemente del resto y con su propio objetivo o propósito que puede actuar de manera coordinada. Al hacerlo, surgirán capacidades que no posea ningún sistema y que serán exhibidas por la familia en su conjunto.

El trabajo conjunto de los elementos que integran un sistema implica la aparición de algunas propiedades que aparecen a nivel de sistema y que no están poseídas por ninguno de los elementos del sistema por sí solas. Del mismo modo, si los sistemas de una familia ceden, trabajando juntos, a las propiedades y capacidades emergentes, la familia se considerará un sistema de sistemas. La frontera entre los sistemas ordinarios y los sistemas de sistemas no siempre es fácil de establecer. Hay cierta tendencia a decir que los sistemas complejos son sistemas de sistemas, cuando no es necesariamente el caso. Un sistema, por complejo que sea, si ha sido diseñado desde un principio para satisfacer un determinado fin, y ha resultado en una determinada arquitectura, será un sistema. No necesariamente un sistema es menos importante, en cualquier sentido del término, que un sistema de sistemas. Siempre será posible pensar en casos difíciles de clasificar. Sin embargo, esa dificultad no es tan importante, ya que el marco de ingeniería de sistemas es válido para ambos. Los sistemas de sistemas tienen un límite o contorno más grande y dinámico, así como un mayor número de partes inte-

grantes y un mayor número de interrelaciones entre ella; ahí radica su mayor complejidad. El marco de ingeniería de sistemas para el diseño y desarrollo de sistemas también sigue siendo totalmente válido para sistemas de sistemas, aunque el proceso sea más dinámico por la existencia de un mayor número de usuarios y de *stakeholders*, junto con la complejidad añadida de las interacciones entre los sistemas integrantes.

En un sistema de sistemas cada miembro individual de la familia ha sido diseñado y desarrollado de forma independiente en respuesta a una necesidad percibida. En consecuencia, cada sistema satisface la necesidad que desencadenó la aplicación del marco de ingeniería de sistemas. El hecho de que los sistemas puedan cooperar posteriormente y, al hacerlo, existan propiedades y capacidades emergentes que permiten el cumplimiento de necesidades adicionales es lo que hace de esa familia de sistemas un sistema de sistemas, como se muestra en la **figura 02**.



LEYENDA

- Da lugar al diseño de una sistema
- Satisfacción de una necesidad inicial
- - - Satisfacción de una nueva necesidad via cooperación entre Sistemas (capacidades emergentes)

Figura 02 » Sistema de sistemas (Sols, 2014)

Los sistemas que integran un determinado sistema de sistemas no tienen por qué haber sido diseñados y desarrollados de manera simultánea, o razonablemente concurrente en el tiempo. Su entrada en servicio puede haber tenido lugar en muy distintos momentos. Por otro lado, cada sistema de la familia alcanzará en su momento el final de su vida operativa. Por ambas razones, tanto de incorporación de sistemas a la familia como de retirada de ella, los sistemas que la integran y que definen su contorno son dinámicos y cambian con el tiempo. Esa variación del contorno es otra diferencia más, y muy importante, entre los sistemas ordinarios y los sistemas de sistemas.

TIPO DE SISTEMA DE SISTEMAS	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Virtual	Carece de una autoridad central de gestión y de un propósito centralmente acordado. Surge un comportamiento a gran escala, pero este tipo de sistema de sistemas debe basarse en mecanismos relativamente invisibles para mantenerlo	GNU/LINUX (denominación técnica y generalizada que reciben una serie de sistemas operativos de código abierto, multiplataforma, multiusuario y multi-tarea)
Colaborativo	Los sistemas de componentes interactúan más o menos voluntariamente para cumplir con los propósitos centrales acordados	Aplicación EMT para <i>smartphones</i> (para usuarios del sistema público de autobuses de Madrid)
Reconocido	Tiene objetivos reconocidos, un gerente designado y recursos. Sin embargo, los sistemas constituyentes conservan sus enfoques independientes de propiedad, objetivos, financiación, desarrollo y sostenimiento. Los cambios en los sistemas se basan en la colaboración entre el sistema de sistemas y el sistema	IRIS (programa de mejora de la gestión del tráfico aéreo europeo, que permitirá comunicaciones de datos por satélite de manera segura y de gran ancho de banda)
Dirigido	El sistema de sistemas se construye y se gestiona para cumplir con propósitos específicos. Se gestiona de forma centralizada durante la operación a largo plazo para seguir cumpliendo esos propósitos. Los sistemas de componentes mantienen la capacidad de operar de forma independiente, pero su modo operativo normal está subordinado al propósito central gestionado	Future Combat Air System (programa multinacional hispano-franco-alemán de desarrollo de un <i>Next-Generation Weapon System</i> , o caza de sexta generación, así como otros elementos aéreos necesarios en el futuro espacio de batalla)

Tabla 01 » Tipos de sistemas de sistemas

Tipos de sistemas de sistemas

Existen cuatro tipos de sistemas de sistemas, en función de las características de su desarrollo y su gestión. La **tabla 01** muestra los cuatro tipos, indicando lo que caracteriza a cada uno y facilitando algún ejemplo significativo. Es la propiedad (que puede ser múltiple, o única) y la gestión (que puede ser distribuida, o coordinada) de los diferentes sistemas que integran un sistema de sistemas lo que determina su tipología, como se muestra en la **tabla 02**.

Es la inter-relación entre los diferentes sistemas de un sistema de sistemas lo que permite que los usuarios de alguno de ellos experimenten capacidades emergentes, es decir, que disfruten de capacidades que ningún sistema, de manera aislada, sería capaz de proporcionar. En un sistema de sistemas puede haber sistemas que aporten capacidades redundantes, lo que aumenta la resiliencia del sistema de sistemas. Por otro lado, no siempre están disponibles todos los sistemas que integran una familia; su falta temporal de disponibilidad puede afectar al comportamiento de otros sistemas, y a las capacidades emergentes que puedan experimentar los usuarios de algunos de los sistemas de la familia. La **tabla 03** muestra las principales causas de posible indisponibilidad de algún sistema de la familia.

Un ejemplo de sistema de sistemas

Consideremos un sistema de sistemas colaborativo, integrado por los siguientes sistemas: un coche sin un sistema de navegación incorporado; la red celular; el *smartphone* del conductor (con una aplicación de información de tráfico, como Waze, inRoute, INRIX o CoPilot, por nombrar algunos de los muchos disponibles); el sistema se posi-

Tabla 02 » Propiedad y gestión de sistemas de sistemas

TIPO DE SISTEMA DE SISTEMAS	PROPIEDAD	GESTIÓN
Virtual	Múltiple	Distribuida
Colaborativo	Múltiple	Distribuida
Reconocido	Múltiple	Coordinada
Dirigido	Única	Coordinada

TIPO DE SISTEMA DE SISTEMAS	POSIBLES CAUSAS DE INDISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE LA FAMILIA
Virtual & Colaborativo	<ul style="list-style-type: none"> » Razones técnicas (relativas a la fiabilidad, mantenimiento y/o soportabilidad de los sistemas) » Razones políticas unilaterales (el propietario de un sistema decide unilateralmente dejar de prestar el servicio)
Reconocido & Dirigido	<ul style="list-style-type: none"> » Razones técnicas (relativas a la fiabilidad, mantenimiento y/o soportabilidad de los sistemas) » Razones políticas coordinadas (el propietario de un sistema decide, de común acuerdo con los demás, dejar de prestar el servicio)

Tabla 03 » Posibles causas de indisponibilidad de sistemas en un sistema de sistemas.

cionamiento global norteamericano (*Global Positioning System*, GPS); el sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS) ruso; tres proveedores de mapas digitales (Google Maps, Apple Maps o Bing Maps, por nombrar algunos); y la emisora de radio de información de las autoridades de tráfico, con información sobre las condiciones de la carretera y el tráfico. GPS y GLONASS se mencionan explícitamente como fuentes alternativas de geolocalización y los tres proveedores diferentes de mapas digitales ofrecen la misma capacidad de mostrar rutas desde la ubicación actual hasta el destino deseado. Del mismo modo, varias aplicaciones alternativas de información de tráfico de teléfonos inteligentes podrían haber sido identificadas, pero en aras de la simplicidad se considera esta capacidad genérica, para hacer el ejemplo más manejable, sin reducir su validez. Cabe señalar que los mapas digitales se pueden descargar y utilizar incluso si la red celular no está funcionando, o si el teléfono celular está fuera de cobertura. Siempre y cuando se haya descargado el mapa necesario y el *smartphone* reciba señales de geolocalización satelital, ya sea GPS y/o GLONASS, la capacidad de ruta al destino estará disponible.

Los sistemas del sistema de sistemas se listan en la **Tabla 04**. El coche, sistema S_1 , permite al usuario llegar a los destinos deseados, una capacidad llamada navegación. La existencia de otros sistemas con capacidades de las que el usuario de S_1 puede beneficiarse le da tres capacidades emergentes, descritas en la **tabla 05**. En la **Tabla 06** se enumeran las series de subconjuntos de sistemas que representan capacidades emergentes para los usuarios del sistema S_1 . Cada capacidad emergente puede ser facilitada por una serie de subconjuntos de sistemas del sistema de sistemas. Mientras estén disponibles los sistemas que componen cualquiera de esos subconjuntos, se experimentará la capacidad emergente. La falta de disponibilidad de determinados sistemas significará la falta de disponibilidad de una capacidad emergente si la falta de disponibilidad de esos sistemas implica que ninguna de las vías alternativas de facilitación de la capacidad emergentes se realiza.

Igual que existen capacidades emergentes, pueden existir capacidades en retroceso. Éstas se dan cuando el usuario que experimentaba una capacidad nueva o emergente como resultado del funcionamiento concurrente de los sistemas de la familia deja de disfrutarla, al dejar de estar disponibles algunos de los sistemas necesarios para fa-

S_1	Coche
S_2	<i>Smartphone</i> (que puede recibir señales de satélites) capaz de ejecutar Google Maps, Bing Maps y Apple Maps
S_3	Red de telefonía móvil
S_4	Global Positioning System (GPS)
S_5	Global Navigation Satellite System (GLONASS)
S_6	Google Maps (mapa digital)
S_7	Bing Maps (mapa digital)
S_8	Apple Maps (mapa digital)
S_9	Emisora radio de información de tráfico de las autoridades de gestión de tráfico
S_{10}	App de información de tráfico para <i>smartphones</i>
S_{11}	Otros vehículos, cuyos conductores posean <i>smartphones</i> con la misma app de información de tráfico que el conductor de S_1

Tabla 04 » Sistemas integrantes del Sistema de sistemas

CÓDIGO DE CAPACIDAD EMERGENTE	CAPACIDAD EMERGENTE	DESCRIPCIÓN DE LA CAPACIDAD EMERGENTE
CE ₁₁	Navegación asistida	Condiciones de conducción mejores de las normales, gracias a las ayudas a la navegación facilitadas por los mapas (Google Maps, Bing Maps y/o Apple Maps) y a la geolocalización (GPS y/o GLONASS), facilitadas por los <i>smartphones</i> como receptores de señales satelitales
CE ₁₂	Navegación mejorada	Condiciones de conducción que, además de ser 'asistidas', suponen los beneficios de disponer de información de la condición de carreteras y tráfico facilitadas vía radio por las autoridades de tráfico
CE ₁₃	Navegación extendida	Condiciones de conducción que, además de ser 'mejoradas', suponen los beneficios de disponer de información del estado de las carreteras y del tráfico proporcionada por otros conductores que usen <i>smartphones</i> con la misma app de información de tráfico

Tabla 05 » Capacidades emergentes experimentadas por los usuarios del sistema S₁

cilitar esa capacidad emergente. La **tabla 07** muestra los subconjuntos de sistemas que implican capacidades de retroceso experimentadas por los usuarios del sistema S₁. En un sistema de sistemas se experimentará una capacidad de retroceso cuando todos los sistemas que comprenden cualquiera de los subconjuntos necesarios para posibilitar esa capacidad emergente no estén disponibles, ya sea por razones técnicas, o por un abandono voluntario, o a un exilio forzado, o debido a haber llegado al final de su vida operativa.

Las capacidades en retroceso o cortes de capacidad emergentes que se muestran en la **Tabla 07** son el resultado de la intersección de subconjuntos que definen las rutas de capacidad emergentes. Por ejemplo, la navegación mejorada (capacidad emergente CE₁₃) no estará disponible si el *smartphone* no funciona (sistema S₂), o si la red celular no está disponible (sistema S₃), o si el sistema de información de tráfico por radio no está disponible (sistema S₉), o si la aplicación de información de tráfico para teléfonos inteligentes no funciona (sistema S₁₀), o si ningún otro coche tiene sus teléfonos inteligentes y aplicaciones disponibles (sistema S₁₁), o si todos los sistemas S₄ a S₈ (sistemas de geolocalización y proveedores de mapas digitales) no están disponibles.

El sistema de sistemas de este caso nociónal está integrado por 11 sistemas. Dentro del sistema de sistemas, el sistema de interés es el S₁, el coche. Su usuario experimentó capacidades emergentes y de retroceso basadas en la disponibilidad de los otros miembros de la familia. También podría ser posible seleccionar a otro miembro como el sistema de interés. Pensemos, por ejemplo, en S₉ (el sistema de información de tráfico por radio de las autoridades de tráfico), que también tienen la aplicación sobre información

SUBCONJUNTOS DE SISTEMAS QUE POSIBILITAN UNA CAPACIDAD EMERGENTE	CAPACIDAD EMERGENTE
CEP₁₁₁ {S ₂ , S ₄ , S ₆ } CEP₁₁₂ {S ₂ , S ₄ , S ₇ } CEP₁₁₃ {S ₂ , S ₄ , S ₈ } CEP₁₁₄ {S ₂ , S ₅ , S ₆ } CEP₁₁₅ {S ₂ , S ₅ , S ₇ } CEP₁₁₆ {S ₂ , S ₅ , S ₈ }	CE ₁₁
CEP₁₂₁ {S ₂ , S ₄ , S ₆ , S ₉ } CEP₁₂₂ {S ₂ , S ₄ , S ₇ , S ₉ } CEP₁₂₃ {S ₂ , S ₄ , S ₈ , S ₉ } CEP₁₂₄ {S ₂ , S ₅ , S ₆ , S ₉ } CEP₁₂₅ {S ₂ , S ₅ , S ₇ , S ₉ } CEP₁₂₆ {S ₂ , S ₅ , S ₈ , S ₉ }	CE ₁₂
CEP₁₃₁ {S ₂ , S ₃ , S ₄ , S ₆ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ } CEP₁₃₂ {S ₂ , S ₃ , S ₄ , S ₇ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ } CEP₁₃₃ {S ₂ , S ₃ , S ₄ , S ₈ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ } CEP₁₃₄ {S ₂ , S ₃ , S ₅ , S ₆ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ } CEP₁₃₅ {S ₂ , S ₃ , S ₅ , S ₇ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ } CEP₁₃₆ {S ₂ , S ₃ , S ₅ , S ₈ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ }	CE ₁₃

Tabla 06 » Subconjuntos de sistemas que posibilitan capacidades emergentes a los usuarios del Sistema S₁

CORTES DE CAPACIDADES EMERGENTES	CAPACIDAD EN RETROCESO	DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES EN RETROCESO
CEK ₁₁₁ {S ₂ } CEK ₁₁₂ {S ₄ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ }	CR ₁₁	La navegación asistida para el usuario de S ₁ no estará disponible
CEK ₁₂₁ {S ₂ } CEK ₁₂₂ {S ₄ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₉ }	CR ₁₂	La navegación mejorada para el usuario de S ₁ no estará disponible
CEK ₁₃₁ {S ₂ } CEK ₁₃₂ {S ₃ } CEK ₁₃₃ {S ₄ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ } CEK ₁₃₄ {S ₉ } CEK ₁₃₅ {S ₁₀ } CEK ₁₃₆ {S ₁₁ }	CR ₁₃	La navegación extendida para el usuario de S ₁ no estará disponible

Tabla 07 » Capacidades en retroceso experimentadas por los usuarios del sistema S₁

de tráfico para teléfonos inteligentes, S₁₀. Los usuarios u operadores de S₉ emiten información recopilada a través de sus propios canales. Sin embargo, cuando se utiliza también S₁₀ disfrutaban de una capacidad emergente, ya que estarían recibiendo información de otros conductores que complementarían la que han reunido por su cuenta. Si otros controladores no pueden compartir información por cualquier razón, los usuarios y operadores de S₉ experimentarían una capacidad de retroceso. Pero esta capacidad, emergente o en retroceso, no sería binaria. Podría ser posible calificar o calificar la calidad o el alcance de la capacidad emergente o de retroceso en función del número de otros usuarios que comparten o no información, en algún momento (S₁₁, otros coches cuyos conductores tienen teléfonos inteligentes con la misma aplicación de información de tráfico).

CONCLUSIÓN

Vivimos en un mundo de sistemas concebidos por el ser humano. Cada vez son más los sistemas que forman parte de familias de sistemas, especialmente de los llamados sistemas de sistemas, que se caracterizan por las cualidades emergentes que experimentan sus usuarios. La visión de conjunto es esencial para el ingeniero de sistemas, y con los sistemas de sistemas lo es aún más por la complejidad adicional que presentan, por su naturaleza dinámica y por sus cualidades emergentes (que pueden estar también en retroceso). El diseño y desarrollo de sistemas debe no sólo

considerar el fin que persiguen, sino también a qué familias de sistemas podrá pertenecer; ello dictará qué funcionalidades podrá recibir de otros sistemas y cuáles serán propias. Apoyarse en funcionalidades de otros sistemas tiene sus ventajas, porque reduce coste y complejidad de diseño y desarrollo, pero tiene sus inconvenientes, porque aumenta la dependencia de recursos no controlados.

REFERENCIAS

- » Boardman, J., & Sauser, B. (2006). *System of Systems - the meaning of of*. 2006 IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering, April, 118-123. <https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2006.1652284>.
- » Cherfa, I., Belloir, N., Sadou, S., Fleurquin, R., & Bennouar, D. (2019). *Systems of systems: From mission definition to architecture description*. Systems Engineering, 22(6), 437-454. <https://doi.org/10.1002/sys.21523>
- » Gorod, A., Sauser, B., & Boardman, J. (2008). *Paradox: Holarchical view of system of systems engineering management*. 2008 IEEE International Conference on System of Systems Engineering, SoSE 2008. <https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2008.4724171>
- » Keating, C. B., Padilla, J. J., & Adams, K. (2008). *System of Systems Engineering*. 20(4). <https://doi.org/10.1002/9780470403501>
- » Lacort, B. (2020). *Ciudades inteligentes: un reto multidisciplinar*. UE STEAM Essentials, Universidad Europea.
- » Maier, M. W. (1999). *Architecting Principles for Systems of Systems*. The Aerospace Corporation; John Wiley & Sons, Inc. Syst Eng, 1, 267-284.
- » Maier, M. W. (2019). *Communication on "architecting portfolios of systems"*. Systems Engineering, April, 1-5. <https://doi.org/10.1002/sys.21489>
- » Sage, A. P., & Cuppan, C. D. (2001). *On the Systems Engineering and Management of Systems and Federations of Systems*. Inf. Knowl. Syst. Manag., 2(4), 325-345. <https://doi.org/1389-1995>
- » Sage, A. P., & Biemer, S. M. (2007). *Processes for System Family Architecting, Design, and Integration*. IEEE Systems Journal, 1(1), 5-16. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2007.900240>
- » Salado, A. (2015). *Abandonment - A Natural Consequence of Autonomy and Belonging in Systems-of-Systems*. 10th System of Systems Engineering Conference, 352-357.
- » Salado, A. (2016). *Exile: A Natural Consequence of Autonomy and Belonging in Systems-of-Systems*. Annual IEEE Systems Conference (SysCon). <https://doi.org/10.1109/SYSCON.2016.7490598>
- » Sauser, B., Boardman, J., & Gorod, A. (2008). *System of Systems Management. System of Systems Engineering: Innovations for the 21*. 20(4), 191-217. <https://doi.org/10.1002/9780470403501.ch8>
- » Sauser, B., Boardman, J., & Verma, D. (2010). *Systemics: Toward a biology of system of systems*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans, 40(4), 803-814. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2010.2048024>
- » Sols, A. (2017a). *Operational Availability and Operational Reliability Metrics of the Emerging Capabilities of Systems of Systems*. ASEM International Annual Conference.
- » Sols, A. (2017b). *Receding Capabilities in Systems of Systems*. IEEE Systems Conference.
- » Sols, A. (2014). *Systems Engineering - Theory and Practice*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

BIOGRAFÍA

Alberto Sols es Ingeniero Naval (ETSIN); Ingeniero de Sistemas (Virginia Tech); y Doctor Ingeniero de Sistemas (Stevens Institute of Technology). Es Certified Professional Logistician (Society of Logistics Engineers) y Certified in Production and Inventory Management (American Production and Inventory Control Society). Desde Enero de 2018 es Decano de la Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño de la Universidad Europea de Madrid. De 2009 a 2017 fue profesor de la University College of South-East Norway, en Kongsberg, Noruega, donde dirigió el Master in Systems Engineering. De 1992 a 2017 fue colaborador a tiempo parcial en la Universidad Pontificia Comillas de Madrid, en la que dirigió los cursos de postgrado 'Master en apoyo logístico integrado' y 'Máster en gestión integral de proyectos' (curso on-line). Es autor de los libros: *Fiabilidad, Mantenibilidad, Efectividad: un enfoque sistémico*; *Systems Engineering - Theory and Practice*; *Requirements Engineering and Management: A Systems Approach*; *Integrated Logistics Support*; y *Conversaciones con mi Maestro*. Es co-editor y co-autor del libro *Gestión integral de proyectos* y co-autor del libro *The 8 Essential Skills of the Systems Engineer*. Es co-editor de la serie de monografías de Ingeniería de Sistemas publicada por ISDEFE, y es autor de más de 40 artículos técnicos publicados en revistas de difusión internacional. Antes de pasar a la docencia a tiempo completo en 2009, trabajó 25 años en la industria, ocupando diversos cargos en CONSTRUAVES, Aries Industrial y Naval, ISDEFE y ELECTROOP.

