

FRAGILIDAD Y DEPENDENCIA TÉCNICO-SOCIAL DE PRODUCTOS COMPLEJOS DE USO COMÚN

Joaquim Lloveras Macià

*Dto. Ingeniería de Proyectos y de la Construcción. ETSEIB (prof. jubilado)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*

RESUMEN

Este es un artículo divulgativo sobre la creciente complejidad que tienen los productos tecnológicos de uso común, como por ejemplo: los teléfonos móviles inteligentes, los coches, o los ordenadores personales. Esta complejidad surge al proporcionar más funcionalidades y automatismos al producto, pero ello implica un aumento de la probabilidad de fallos de funcionamiento, es decir una mayor fragilidad de funcionamiento. La fragilidad, ha de ser combatida, por medio de mejores diseños, más controles de calidad en la fabricación, o por saltos de innovación tecnológica. Los productos son cada vez más complejos, al ofrecer más funcionalidades que el usuario desea, existiendo una mayor interacción de la sociedad actual que se basan en ellos. Así, aparecen mayores dependencias entre los propios sistemas técnicos y entre ellos y la sociedad. Surgen algunos efectos y nuevas preguntas.

1. INTRODUCCIÓN

El progreso tecnológico de la humanidad ha sido importante, y sigue a ritmo acelerado. Este progreso tecnológico ha propiciado mejores y más rápidos transportes, comunicaciones o comodidades, y por lo general más riqueza, bienestar, educación, o salud. Pero también tiene sus caras negativas, como una cierta dependencia humana a las tecnologías, una creciente complejidad tecnológica de los productos que comporta una cierta fragilidad de su funcionamiento, y otros aspectos como los impactos al Medio Ambiente derivados de la producción, uso y retirada de los productos.

La complejidad de ciertos productos, como un teléfono móvil, compuesto de varias piezas mecánicas, eléctricas, y electrónicas con circuitos integrados (chips, o microchips), va creciendo conforme el producto ofrece al usuario más funciones o prestaciones. Como, por ejemplo, en su momento fue la inclusión del posicionamiento en mapas, que requirió varios subsistemas, como el de captación de las señales de los satélites de posicionamiento que le permite calcular las coordenadas en donde está y la de interpretar estas coordenadas en los mapas. Estos subsistemas le añadieron una mayor complejidad física y de programación, con antenas, conexiones y chips de mayores capacidades. Ya existen chips que integran decenas de miles de millones de transistores.

El grado de fragilidad de un producto, o fragilidad, se entiende aquí, como un nivel de probabilidad de que un producto deje de funcionar. A mayor fragilidad de un producto, o de un sistema, más probabilidad de que falle. El término inglés de fiabilidad de funcionamiento de un producto: "Reliability" (Reliability, 2023), se refiere a la seguridad de funcionamiento. Así, un producto cada vez más complejo tenderá a ser más frágil, o menos fiable, en su funcionamiento.

Existen dependencias de sistemas técnicos entre sí, o interdependencias tecnológicas entre sistemas, como pueden ser por ejemplo: los sistemas de apoyo para el funcionamiento de un teléfono móvil, como: el cargador de la batería, la red eléctrica, la red de Internet, las antenas, el WiFi, etc. Pero también la creciente dependencia de las personas, o de la sociedad en general, con el móvil, debido a las prestaciones que actualmente tiene para el funcionamiento de la vida social y económica de la sociedad. En las secciones 2 y 3, se amplían los temas de esta introducción.

2. SISTEMAS TÉCNICOS COMPLEJOS

Un producto que se ha convertido en útil a nivel global, como ya se ha comentado: el teléfono móvil, o el coche, tiende a ser cada vez más complejo por la cantidad de sus partes integrantes interrelacionadas, para dar más prestaciones o funcionalidades. Por ejemplo, un coche, es un sistema técnico que está formado por varios subsistemas y cada uno de ellos le aporta unas determinadas funcionalidades, por ejemplo, los subsistemas de: dirección; motor y tracción; el de chasis; el de la cabina; el eléctrico, etc., que a su vez están compuestos por diversos sub-subsistemas. Todos estos subsistemas trabajan armoniosamente para que el sistema que los engloba, el coche, tenga todas las funciones que sus subsistemas le proporcionan, y las disfruten los usuarios.

En general la evolución de los sistemas técnicos ha sido para dar cada vez más y mejores prestaciones al usuario, lo que conlleva mayor complejidad del producto. Basta con comparar las prestaciones que daban los primeros coches fabricados en serie de principios del siglo XX, con las prestaciones que ofrecen los coches actuales. Si bien esta evolución tiene saltos tecnológicos, saltos de innovación, en los que, aunque se den más prestaciones al producto, éste se simplifica un poco en su complejidad. Aunque por lo general, la tendencia es a una mayor complejidad. También la facilidad de uso del producto por parte del usuario es una tendencia general, no exenta de altibajos, y que al final tendrá muchas de sus prestaciones de manera automática. En el caso del automóvil ya hay pruebas de conducción automática. Llegará un día que el usuario con su teléfono móvil avisará al coche, que se pondrá en marcha e irá a buscarlo, lo identificará, le abrirá la puerta, y le pedirá a dónde quiere ir. El resto lo harán los automatismos del vehículo. Para que esto acabe siendo una realidad, el sistema vehículo necesitará, entre otros, varios sistemas externos, como el sistema de satélites de Posicionamiento Global (GPS), el sistema de mapas geográficos y carreteras; accederá a un sistema de interpretación de semáforos, tendrá un sistema de radar, que independientemente de la marca del coche, se entienda con la posición, dirección y velocidad de otros vehículos, sistema de conexión a Internet, sistema de visión artificial, etc., etc. Sería un sistema conectado con otros sistemas, que permitirían todos estos automatismos, y liberarían al usuario de conducir el coche, dando un mayor grado de seguridad a sus ocupantes que actualmente.

Pero esta auto-conducción del coche, requiere una gran complejidad de diversos sistemas del coche que trabajan conjuntamente, y que necesitará de otros sistemas complejos que le apoyen, creándose de esta manera interdependencias entre ellos. Por tanto, el coche auto-conducido será un gran salto cualitativo. Si bien, su probable conversión a vehículo eléctrico 100%, dará una cierta simplificación de la complejidad actual, ya que el motor eléctrico es mucho más simple que el motor de combustión interna al tener menos piezas y menos mantenimiento. Pero sus nuevas prestaciones harán que, en conjunto, aumente su complejidad.

3. COMPLEJIDAD TÉCNICA Y FRAGILIDAD DE FUNCIONAMIENTO

Como ya se ha comentado, la tendencia es a aumentar las funcionalidades y a la vez dar una mayor facilidad de manipulación, es decir, proporcionar mayor comodidad para el usuario, idealmente de manera que el producto dé sus prestaciones de una forma que pase desapercibido por el usuario. Estos automatismos que aparecerán en muchos otros aparatos, en parte serán gracias a la interconexión de éstos con la red de Internet. Así, el llamado Internet de las cosas “Internet of Things” (IoT, 2023) podrá ofrecer nuevas prestaciones a los productos.

Pero cuantas más componentes tiene un producto, cuantos más sistemas externos necesita para su correcto funcionamiento, más frágil será ya que tendrá más posibilidades o probabilidades que algún elemento de todos ellos, falle. Y pueden fallar por diversas causas, por ejemplo: el desgaste si es una pieza mecánica en movimiento; el envejecimiento de sus materiales; la aparición de defectos en un elemento que pasó los controles de calidad, pero con un defecto latente que no aguantará demasiado su funcionamiento; defectos en los chips, o en el software de programación no detectados, etc. Pero también un producto puede ser más frágil y vulnerable que otros frente a fallos intencionales, como pueden ser actos: vandálicos, de terrorismo, o de guerra, y provocar el caos en la sociedad.

Límites de la complejidad técnica

La complejidad técnica en nuestro mundo está menos desarrollada que por ejemplo, la complejidad existente biológica. La complejidad biológica, que se va descubriendo desde hace poco tiempo, es abrumadora dadas las estructuras moleculares, su evolución, sus funciones y sus interdependencias. Así como la complejidad de sus interacciones para ir sobreviviendo los individuos y la especie. Pero con sus limitaciones para adecuarse al equilibrio entre especies, a los cambios climáticos, y dentro del sistema Tierra. También la complejidad del inmenso Universo, que consta de un conjunto de sistemas interdependientes entre ellos: los planetas que tiene cada estrella, las estrellas, el conjunto de estrellas que forman una galaxia, los grupos de galaxias entrelazados por la gravedad, los cúmulos de galaxias, las estructuras filamentosas formadas por cúmulos de galaxias, y que algunos científicos postulan, que nuestro Universo, puede ser parte junto con otros universos, de un multiverso. ¿Hay límites? Algunos científicos identifican la matemática fractal, (Fractal, 2023), como el patrón universal de la estructuración del universo. Todos los sistemas tienen cierto patrón de repetición, un parecido geométrico, que se va reproduciendo a diferentes escalas, ya sea microscópicas como macroscópicas, como el átomo con su núcleo y una nube de electrones girando, el sistema Solar con el Sol y los planetas girando, o la Galaxia con su centro y las estrellas girando. Todo en movimiento.

Aparece una cuestión en la tecnología: ¿Tiene límite la complejidad técnica? Se podrían considerar varios factores que pueden poner límites a la complejidad técnica:

- Límite por el coste económico.

La viabilidad económica disminuye conforme aumenta la fragilidad del sistema, al hacerse más complejo, y requerir mayor inversión económica para contrarrestar dicha fragilidad. A menos que una nueva tecnología rompedora, haga más simple parte de la complejidad del sistema, lo que abarataría costes y el nuevo producto sería de nuevo viable. Un producto, más robusto a los fallos, es decir, menos frágil, puede resultar económicamente demasiado caro, y ser inviable por su coste. Esto quiere decir que es necesario encontrar un punto de compromiso -habitual en ingeniería-, entre la complejidad del producto y su fragilidad frente a los posibles defectos de funcionamiento dentro de un coste razonable, y siempre con una seguridad irrenunciable del producto respecto a las personas, a las cosas, o al medio ambiente. Normalmente el coste económico es el límite para productos de gran consumo.

- ¿Hasta que límites tecnológicos se puede llegar?

En 1969 se rompieron “techos de cristal” de la tecnología a la que se podía llegar, con el lanzamiento del Apolo 11 y la llegada del hombre a la Luna. ¿Cómo fue posible que un sistema tan complejo fuera construido con tantísimas novedades técnicas en aquel momento, para poder enviar astronautas a la Luna y volverlos sanos y salvos? Se pudo hacer, lo que parecía entonces imposible, gracias al diseño, diseño y más diseño de ingeniería, y gracias a las pruebas, pruebas, y más pruebas de todas las piezas, subsistemas, sistemas, y de conjunto. En la siguiente sección 4, se comenta este aspecto.

- ¿Hay algún límite tecnológico absoluto?

La ley de Moore (Moore, 2023), predijo que el número de los transistores dentro de un circuito integrado se doblaría cada dos años, y se ha constatado que es así, más o menos, desde 1971. Actualmente parece que se está llegando a los límites físicos de la distancia entre nodos, del orden de pocos nanómetros, y con costes incrementales para su fabricación. En cuyo caso, para progresar en la potencia de los ordenadores, haría falta un cambio de paradigma, y los ordenadores cuánticos empiezan a asomarse...

En un terreno de ciencia ficción, ¿sería posible que se diseñe un sistema complejo, fuera del alcance de la ciencia y tecnología actual? ¿Hay alguna propiedad física del espacio-tiempo que lo haría imposible? Como los viajes a través de agujeros de gusano en el espacio. Este es un tema actualmente especulativo.

4. DISEÑO DE INGENIERÍA Y PRUEBAS DE SISTEMAS TÉCNICOS COMPLEJOS

La pregunta sería: ¿Cómo hacer que los sistemas técnicos, cada vez con más funciones y por tanto más complejos, sean fiables en su funcionamiento?, ya que cuanto más complejidad del producto, más fragilidad tendrá su funcionamiento: ¿Cómo se puede contrarrestar esa mayor fragilidad que crece con la complejidad?

Se ha comentado anteriormente los límites entre crecimiento de la complejidad y la inherente fragilidad, que si bien pueden romperse techos de cristal, acaban siendo económicos ya que costaría mucho toda la complejidad que se quiere dar a un producto, con la cantidad de fallos que puede tener y un costoso control y mantenimiento. Aunque hay excepciones, como los grandes aparatos para la investigación como el Gran Colisionador de Hadrones (Large Hadron Collider), (LHC, 2023) cerca de Ginebra, donde se vierten gran cantidad de medios económicos para realizar investigación científica fundamental.

Pero en productos al alcance individual, es necesario tener en cuenta los límites de la capacidad de compra de los futuros usuarios, para que sea rentable y competitivo. Por tanto en estos productos hay claros límites económicos. La competencia entre marcas hace que los productos sean más atractivos para el futuro comprador, pues tengan mejores innovaciones y calidades funcionales. Y si un producto sale al mercado con prisa, sin haber contrastado bien su funcionamiento y acaba dando un mal resultado, las organizaciones de consumidores se harán eco, y la marca sufrirá un grave quiebro de su fama y a sus intereses económicos.

Por tanto, un buen diseño de ingeniería, contrastado con pruebas hechas a maquetas, o prototipos, son fundamentales para tener un buen producto, antes de que alguna empresa lo fabrique en masa. Así, unos Centros de Excelencia en Diseño y Prototipaje, (Lloveras, J. 2020), pueden ser una buena estrategia para hacer frente a la fragilidad de un producto complejo.

Para incorporar nuevas funcionalidades a un producto, se tendría que rediseñar la estructuración básica de los subsistemas. Al analizar esta arquitectura de subsistemas, quizá que puedan simplificar e integrar funciones, lo que simplificaría la complejidad del producto. También, si ha habido un cambio de paradigma, como por ejemplo pasó, cuando se eliminó el teclado del móvil y se integró en una pantalla táctil, lo que redujo mucho los fallos de funcionamiento debido al teclado.

Algunas Metodologías de Diseño

Hay diversas cuestiones importantes que ha de cumplir el diseño, como puede ser: su diseño ecológico o Eco-diseño, para reducir los impactos ambientales en el ciclo de vida de productos, en la fabricación, uso y reciclaje, procurando el cierre de ciclos; o los temas de seguridad. Existen otras metodologías, como la teoría para resolver problemas de inventiva (TRIZ, 2023) para indagar posibles soluciones creativas a problemas de diseño; o el análisis de decisión multicriterio (MCDA, 2023) para

elegir aspectos en contradicción. También hay algunas metodologías de diseño propias para el análisis de funciones, con sus valoraciones, sus posibles fallos y posibles soluciones, y para sistemas complejos. Así, es necesario analizar la importancia de la función de cada pieza o subsistema, dentro del sistema. Las piezas clave son las que necesitarán un diseño más esmerado y probado en diferentes circunstancias para que responda adecuadamente al funcionamiento esperado, incluso sobredimensionarla un poco para asegurar mejor su funcionamiento.

Algunas metodologías de diseño (Lloveras, et al. 2009), facilitan visualizar mejor el producto y ayudan a decidir razonadamente las mejores opciones de funciones, como: la casa de calidad “Quality Function Deployment” (QFD, 2023); o la Ingeniería del Valor “Value engineering” (VE, 2023), que es un análisis sistemático de las funcionalidades de diversos componentes y sus costos. Otras metodologías de diseño tienen en cuenta los posibles fallos de algún componente o subsistema y los efectos que tal fallo tendría, proponiéndose razonadamente qué acciones habría que hacer para que no sea grave el problema. Como por ejemplo: el análisis de fallos y efectos “Failure mode and effects analysis” (FMEA, 2023); el análisis del árbol de fallos “Fault tree analysis” (FTA, 2023); el diagrama de causa-efecto (Ishikawa, 2023), o el azar y la operatividad, donde se analizan riesgos potenciales (Hazop, 2023). Hay que tener en cuenta que cada grupo de diseño tiene sus gustos particulares para usar algunas de las muchas metodologías de diseño, que normalmente se utilizan las más adecuadas al producto y con soporte informático.

Fabricación y controles

En el proceso de diseño, también se analizan aspectos para una mejor fabricación del nuevo producto, que tiene en cuenta la experiencia de los propios diseñadores, y de los modelos anteriormente fabricados. Empleándose metodologías como: el diseño para el montaje (DFMA, 2023), o la metodología para evitar errores humanos en el montaje (Poka-Yoke, 2023).

Se diseñan y prueban las líneas de fabricación de un producto. Se planifica el control de una o varias piezas de un subsistema, del subsistema, y finalmente del sistema producto, para que dicho producto tenga los mínimos defectos de funcionamiento. Por ejemplo, en el caso de televisores de marca, se obtienen productos con pocas partes por millón (ppm) de defectos en su fabricación. Así, el control casi exhaustivo en la fabricación, permite ofrecer el producto con una garantía extensa, y si aparece algún defecto de fabricación, altamente improbable, dentro de la garantía, a reparar gratuitamente el producto.

Mantenimiento

El fabricante también realiza recomendaciones de mantenimiento para alargar la vida útil de algunos productos. Así, para un coche de motor térmico, el fabricante recomienda según una cierta cantidad de kilómetros recorridos: el realizar un cambio de aceite del motor y su filtro, el filtro de aire, o a vigilar los niveles de líquido de refrigeración, de los frenos, etc. También la administración obliga a pasar una Inspección Técnica de Vehículos (ITV) en función de los años del vehículo, para asegurar que siga siendo apto para la circulación.

Para determinada maquinaria reparable, se tiene una programación del mantenimiento antes de que una pieza falle para evitar malos peores. Así basado en el análisis estadístico de experiencias anteriores, se usa el término: “Medium Time Between Failures” (MTBF, 2023) que indica el número de horas de funcionamiento esperado antes de que falle, o se desgaste demasiado, una pieza o un sistema, y que habrá que cambiar. También existe el concepto de “Medium Time to Failure” (MTTF), que indica el tiempo esperado para que acabe fallando por completo una determinada pieza, o un sistema.

5. DEPENDENCIAS TÉCNICO-SOCIALES

Un producto técnico, independientemente de su complejidad, puede crear una cierta dependencia en personas, como, por ejemplo: un reloj de pulsera, que puede despertar ciertos lazos emotivos hacia este producto. Pero estas personas pueden tener dependencias aún más vinculantes con algunos productos complejos, como es un teléfono móvil inteligente, que cada vez sirve para más cosas, y se convierte en una herramienta prácticamente imprescindible en el mundo actual. Con lo que hay una dependencia de los individuos hacia estos productos técnicos, que también se dan a nivel social. Esta dependencia se nota especialmente, cuando el teléfono no tiene cobertura, o se le ha terminado la batería, o se ha descuidado en algún sitio, o se ha caído y estropeado, o se ha perdido, o lo han robado.

Existen otros tipos de dependencias, como las que se establecen entre sistemas técnicos. Por ejemplo, un teléfono móvil actual, necesita de un sistema eléctrico para cargar sus baterías, un sistema de antenas de telefonía que lo conecte cuando llegue a su zona de influencia, un sistema WiFi, normalmente de pago, al que se conecte preferentemente y le transmita datos a gran velocidad. Teléfono que también puede conectarse al Sistema de Posicionamiento Global (GPS), para recibir las coordenadas de posición que envían unos satélites, y que permiten posicionar el teléfono en los mapas previamente cargados. Dicho teléfono permite la conexión a Internet, donde se pueden realizar búsquedas de todo tipo, o incluso conectar con el Banco y realizar transacciones económicas, o pagos. También puede servir para comprar entradas en espectáculos, o en billetes de transporte y enseñar la pantalla a un lector para permitir el acceso. Además, tiene máquina de fotos, o de vídeo; permite la conexión a las redes sociales, da la hora y la previsión del tiempo, etc., etc. Así, muchas de sus prestaciones dependen del funcionamiento de otros sistemas técnicos externos al móvil.

Si por cualquier causa el teléfono no funciona, puede tener diferentes consecuencias a nivel práctico, como, por ejemplo: Imposibilidad de llamar y comunicar con otra persona; no poder enviar o contestar un email; no poder realizar una operación de transferencia de dinero prevista; no poder consultar la agenda; no poder participar en una red social; no poder enseñar en el billete que permite el acceso a espectáculos, medios de transporte, etc., etc. Y estas consecuencias pueden desencadenar otras en cascada. Por ejemplo: Por no haber podido llamar a una persona, no se hizo una reunión, y se pierde el posible contrato de un trabajo. Y así innumerables pequeñas o grandes consecuencias. Esto recuerda aquella vieja historia que dice más o menos: En el curso de una batalla un general cayó de su caballo, pues éste resbaló por haberse desprendido una de las herraduras al romperse un clavo que la sujetaba. El general quedó malherido, y su ejercido desorientado finalmente perdió aquella batalla, que fue decisiva para perder la guerra, lo que hizo cambiar la historia de su país...

Otro ejemplo similar conocido, es el del vuelo de una mariposa, que su aleteo provoca unos minúsculos remolinos en el aire, que hace que en un sistema inestable, se decante la corriente del viento hacia una dirección, lo que a su vez influye en otro viento que refuerza su corriente, y así se amplifica el efecto que va acumulando cambios cada vez mayores, hasta llegar a formarse un huracán... Así, la rotura de un clavo, o el aleteo de una mariposa, pueden desencadenar grandes acontecimientos. Y el fallo de un pequeño componente de un sistema técnico, que es interdependiente de otros sistemas técnicos, puede provocar una cascada de fallos e incluso afectar el normal funcionamiento de la sociedad. Es decir, para que una sociedad avanzada funcione es necesario que bastantes artilugios técnicos complejos cumplan su función. De aquí, la creciente dependencia de la sociedad con los sistemas tecnológicos, que a su vez, van incrementando su fragilidad con su complejidad.

6. CONCLUSIONES

Podría decirse que la sociedad, la persona, los objetos técnicos complejos que usa y de todos los subsistemas que lo soportan, son un entramado de dependencias tanto técnicas como sociales, y que forman cadenas de acontecimientos que pueden ser muy variados. Algunos pueden facilitar cosas, ser positivos, pero otros acontecimientos puedan entorpecerlas y ser negativos. En general, el conjunto

técnico-social, se perfila como positivo para el progreso del conocimiento y de la riqueza y bienestar de la sociedad, pero este engranaje técnico puede fallar si alguna parte de él, no funciona bien debido a diversas causas.

Para mantener a raya la fragilidad de los sistemas técnicos cada vez más complejos, harán falta hacer excelentes diseños de ingeniería, y muchas pruebas de prototipos, para poder fabricar, con controles de calidad exhaustivos, los productos más necesarios. En general, los sistemas técnicos más esenciales para la vida social actual y futura, conviene que sean de estructura distribuida, no centralizada, e incluso redundante, para que algunos fallos puedan ser reparados sin que el servicio que prestan a la sociedad se vea interrumpido.

Muchas de las actividades actuales de la sociedad se verán automatizadas en el futuro, lo que liberará algunas rutinas que hacen las personas en todos los sectores sociales. Esta robotización de muchas tareas serán un beneficio para eliminar diversos trabajos, que se dejarán que sean las máquinas que realicen estas tareas más pesadas y rutinarias. Y se crearán nuevos trabajos diferentes y seguramente más humanos. Probablemente, las tareas técnicas relacionadas con: la automatización, la biotecnología, la ecología, las renovables, la astronomía y la exploración espacial, sean las que más crecerán a medio plazo.

Se han abierto cuestiones como: ¿Qué límites tiene la complejidad de los sistemas tecnológicos para que sigan siendo funcionales?, ¿Cómo se puede contrarrestar aún con mayor eficacia, la mayor fragilidad que surge con el incremento de las funcionalidades de un sistema, debido a su mayor complejidad? ¿Hay alguna metodología mejor que las actuales para reducir la fragilidad? Mediante la investigación fundamental y aplicada, y seguramente con ayuda de la Inteligencia Artificial (AI, 2023), puedan resolverse, o al menos significar un paso adelante.

7. REFERENCIAS

- AI, (2023). “Artificial intelligence”. Inteligencia Artificial.
https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence , [Acceso, 10 febrero 2023].
- DFMA, (2023). “Design for Manufacture and Assembly”. Diseño para Fabricación y Montaje
<https://en.wikipedia.org/wiki/DFMA> , [Acceso, 1 febrero 2023].
- FMEA, (2023) “Failure mode and effects analysis”, Análisis de fallos y efectos.
https://en.wikipedia.org/wiki/Failure_mode_and_effects_analysis , [Acceso, 1 febrero 2023].
- FTA, (2023). “Fault tree analysis”, Análisis del árbol de fallos.
https://en.wikipedia.org/wiki/Fault_tree_analysis , [Acceso, 1 febrero 2023].
- FRACTAL, (2023). Fractal.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Fractal> , [Acceso, 10 febrero 2023].
- HAZOP, (2023). “Hazard and operability study”. Estudio de peligrosidad y operatividad
https://en.wikipedia.org/wiki/Hazard_and_operability_study [Acceso, 1 febrero 2023].
- IoT, (2023). “Internet of Things”. Internet de las cosas.
https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things , [Acceso, 10 febrero 2023].
- ISHIKAWA, (2023). Diagrama de Ishikawa o Diagrama causa-efecto.
https://en.wikipedia.org/wiki/Ishikawa_diagram , [Acceso, 1 febrero 2023].
- LHC, (2023). Large Hadron Collider. Gran Colisionador de Hadrones.
https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron Collider , [Acceso, 10 febrero 2023].
- LLOVERAS MACIA, J., FIGUERAS COLOMA, J. (2009). “Experiences about teaching the use of tools in an engineering design course”. *Research into Design, supporting multiple facets of product development. Proceedings of International Conference on Research into Design, ICoRD'09*. Ed. Amaresh Chakrabarti. Ed. Research Publishing Services, Singapore. Indian Institute of Science, Bangalore, India, 7-9 January 09, pp. 610-5. ISBN: 978-981-08-2277-4
- LLOVERAS MACIA, J. (2020). “Some Expected Effects of an Industrial System

Reorganization". Sent at the 2019 International Conference on Social Science, Culture and Management Engineering (SSCME 19) December 21-22, 2019 Wuhan, China. Published in the *Proceedings of the International Conference on Arts, Humanity and Economics, Management (ICAHM 2019)*. Editors: Nanly Liu, Medical Kelly Sang, Danielle Tan, Medical Research Center, Asia, Wuhan Red Dwarf Media Co., Ltd. Atlantis Press SARL, Paris. Journal: *Advances in Social Science, Education and Humanities Research (ASSEHR)*, vol. 425, p.p. 180-186.

ISSN: 2352-5398. ISBN: 978-94-6252-945-8

DOI: <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200328.036>

<https://www.atlantispress.com/proceedings/icahem-19/125938182>

<http://hdl.handle.net/2117/186954>

- MCDA, (2023). "Multiple-criteria decision analysis. Análisis de decisión multicriterio. https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple-criteria_decision_analysis , [Acceso, 1 febrero 2023].
- MOORE, G., (2023). "Moore's Law" Ley de Moore. https://en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s_law , [Acceso, 10 febrero 2023].
- MTBF, (2023). Mean time between failures, https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_time_between_failures , [Acceso, 1 febrero 2023].
- POKA-YOKE, (2023). "Mistake-proofing". A prueba de errores. <https://en.wikipedia.org/wiki/Poka-yoke> , [Acceso, 10 febrero 2023].
- QFD, (2023). Quality Function Deployment. La casa de calidad, https://en.wikipedia.org/wiki/Quality_function_deployment , [Acceso, 1 febrero 2023].
- RELIABILITY, (2023). Reliability engineering. Ingeniería de la fiabilidad. https://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_engineering , [Acceso, 1 febrero 2023].
- TRIZ, (2023). "Theory of Inventive Problem Solving", Teoría para Resolver Problemas de Inventiva. <https://en.wikipedia.org/wiki/TRIZ> , [Acceso, 1 febrero 2023].
- VE, (2023). Value engineering. Ingeniería del Valor. https://en.wikipedia.org/wiki/Value_engineering , [Acceso, 1 febrero 2023].