

# PENSAMIENTO SISTÉMICO

ALBERTO SOLS

Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño  
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

Para resolver un problema, primero hay que entenderlo bien. Eso requiere una visión de conjunto y la capacidad de generar buenos modelos mentales de la parte del mundo objeto de interés. El pensamiento sistémico ayuda a generar esos modelos mentales, en los que se explicitan las múltiples e inter-conectadas relaciones causales que gobiernan los sistemas complejos. La capacidad de entender las consecuencias de las decisiones tomadas, consecuencias que con frecuencia son lejanas en el tiempo y en el espacio, es esencial para entender y gestionar la complejidad. El pensamiento sistémico es tan válido para los científicos y gestores, como para cualquier persona. Todos nos beneficiaremos, tanto a nivel individual como colectivamente, de la capacidad de entender la complejidad del mundo.

---

## PALABRAS CLAVE •

pensamiento, sistémico, problema, complejidad, modelo

## CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO •

Sols, Alberto. 2023. "Pensamiento sistémico" en: UEM STEAM Essentials.  
Enlace web UEM :: [http://projectbasedschool.universidadeuropea.es/escuela/escuela/steam\\_essentials](http://projectbasedschool.universidadeuropea.es/escuela/escuela/steam_essentials)

---

## UN MUNDO DE SISTEMAS

En el mundo natural no existen fronteras ni particiones; estas son un concepto humano, creado por nuestra propia conveniencia. Cuando analizamos el mundo en el que vivimos para tratar de entenderlo, por nuestra propia conveniencia lo dividimos en partes tales como la atmósfera, los océanos, los bosques tropicales, los desiertos, etc. En general, podemos referirnos a la parte del mundo objeto de estudio como un sistema. Existen, entre otros muchos tipos, sistemas físicos y sistemas biológicos.

Entre los físicos podemos considerar, por ejemplo, el sistema solar. Definirlo como el sistema planetario constituido por la Tierra y los demás planetas que orbitan alrededor del Sol nos ayuda a entender, entre otros, cómo se comportan esos planetas que lo integran, qué orbitas describen alrededor del Sol y por qué son así, o cuál es la composición

y naturaleza de los diferentes planetas. Pero no existe en el universo, del que forma parte el sistema solar, una valla o frontera que separe al sistema solar del resto. Por nuestra propia conveniencia establecemos el Sol y los planetas que orbitan alrededor suyo como nuestro objeto de interés, o sistema de interés. El sistema solar pertenece a una gran galaxia en forma de espiral, la llamada Vía Láctea. Todo es parte de algo superior, y todo puede dividirse en partes. Y la Vía Láctea es sólo una más de las muchas galaxias que hay; se cree que puede haber más de cien mil millones de galaxias en el universo. Y no puede decirse que los astros que forman el sistema solar sean independientes o no se vean afectados por el resto de las galaxias. Además, aún no se entiende lo bastante bien el concepto de energía oscura. Según estimaciones de la NASA, dos terceras partes de la energía del universo es la llamada energía oscura, una

forma de energía que está presente en todo el espacio y que produce una presión que tiende a acelerar la expansión del universo, resultando en una fuerza gravitacional repulsiva. ¿Cómo influye en el Sol y en los planetas que giran a su alrededor? La respuesta es que no se sabe con certeza. También hay sistemas biológicos; en la Tierra hay aproximadamente dos millones de especies de seres vivos identificadas y descritas, estimándose que hay del orden de 8 millones. Claramente, no sólo el ser humano puebla la Tierra. Y es indudable que su comportamiento (nuestro comportamiento) incide y mucho en las demás especies, y en el propio planeta.

Además de los sistemas naturales (físicos o biológicos), hay sistemas diseñados y desarrollados por el ser humano, que fabrica cosas para posteriormente servirse de ellas en la consecución de sus fines y objetivos. Ello motivó, hace ya doscientos años, que el filósofo, físico y político Benjamin Franklin denominara al ser humano *Homo Faber*. Así, los primeros objetos producidos por el hombre fueron unos guijarros tallados que datan de hace 2,5 millones de años; desde entonces y tanto en cantidad como en complejidad, las cosas concebidas y fabricadas por el ser humano no han dejado de crecer geoméricamente. Utilizamos el término sistema para referirnos, de manera genérica, a lo concebido y creado por el ser humano.

Los griegos emplearon el término **Σύστημα** (sistema) para referirse a un conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuían a un determinado fin u objetivo; hoy sigue siendo 'sistema' el término genérico más utilizado para referirnos a aquello que el hombre concibe y fabrica con determinada finalidad. A lo largo de la Historia ha ido evolucionando el modelo empleado por el hombre para conceptualizar los sistemas. Es conocido que en la antigüedad la mayoría de los pueblos tenían una visión global del universo, siendo notable que ya entonces tuvieran esa sensación de pertenecer a un todo superior, cuyo comportamiento no era siempre explicable o predecible. Esa consideración teleológica que suponía la existencia de una finalidad de los sistemas llevó a Aristóteles a adoptar, en la antigua Grecia, el análisis teleológico como su método científico y a aplicarlo tanto a los fenómenos físicos como a los biológicos.

En resumen, vivimos en un mundo de sistemas. Unos naturales, otros creados por el ser humano. Concentrarnos en un sistema de interés nos facilita las cosas, pero es un concepto artificial. Y no podemos ignorar, ni tan siquiera conocer siempre lo bastante bien, cómo influye lo que no hayamos considerado como sistema en lo que sí hemos considerado que lo es. Por eso necesitamos comprender mejor el mundo en el que vivimos y los artefactos que diseñamos y construimos. Necesitamos desarrollar nuestra capacidad de tener auténtico pensamiento sistémico.

---

## PROBLEMAS COMPLEJOS

Tal y como se ha comentado, para resolver un problema, primero hay que entenderlo bien. El mundo es complejo porque no se pueden realizar predicciones en muchos casos, dada la actual hiperconectividad de los sistemas concebidos por el ser humano, la existencia de múltiples puntos de vista, y la naturaleza de las múltiples relaciones causa-efecto, cuyas consecuencias no siempre son inmediatas ni en el tiempo ni en el espacio. La enorme dificultad en entender un problema objeto de interés se traduce, con frecuencia, en una incorrecta definición del problema, lo que lleva a soluciones ineficaces e ineficientes. Como ejemplo puede pensarse en el deseo de erradicar la pobreza. De los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos en septiembre de 2015 por la Organización de las Naciones Unidas, el primero es la eliminación de la pobreza. Es un objetivo tan importante, legítimo y necesario de alcanzar, como ambiguo. Porque, ¿qué es la pobreza? No es fácil definirla. Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, pobreza es escasez o carencia de lo necesario para vivir. Pero ¿vivir con qué nivel o calidad de vida? Es difícil establecer de forma objetiva y consensuada cuál es esa cantidad mínima de recursos económicos que permiten vivir sin ser considerado pobre; el umbral de la pobreza varía dramáticamente de unos países a otros, incluso de unas regiones a otras dentro de cada país. Si pensamos en ello, nos encontramos una de las primeras limitaciones importantes del enfoque tradicional a la resolución de problemas, y es que no siempre es sencillo, o incluso posible, definir con precisión el problema a resolver. Pero la pobreza es mucho más que falta de ingresos o insuficiencia de recursos económicos para tener una vida sostenible con una calidad mínima aceptable. En un sentido amplio, la pobreza es una falta de satisfacción o cumplimiento de una serie de derechos humanos básicos, como por ejemplo son una alimentación digna, acceso a servicios básicos de salud y de educación, una vivienda digna, y acceso a un trabajo que permita mantener una calidad de vida adecuada, incluyendo un adecuado desarrollo emocional y personal. Establecer de manera cualitativa el objeto de eliminación de la pobreza es fácil; definirlo de manera objetiva y establecer métricas que permitan medirla, eso es mucho más complejo. Además, la ambigüedad que puede existir al hablar de 'servicios básicos de salud y de educación', o de 'alimentación y vivienda digna', entre otros, es algo que no es atemporal: los umbrales que pudieran considerarse mínimos, además de no ser absolutos (dependerían, al menos, de cada país y de cada región), cambiarían con el tiempo. Lo que se considera mínimo necesario es algo relativo, y en los países avanzados la brecha entre los que tienen más y los que tienen menos suele crecer, en vez de disminuir. Por ello, no es nada sencillo establecer de manera objetiva quién vive dónde, por debajo del umbral de la pobreza. Pero la discusión podría ser aún más profunda. Nadie querría vivir

en ese nivel considerado mínimo; eso lo podemos aceptar, tal vez, para otros, pero para nosotros mismos casi todos queremos más. Entramos entonces en una dimensión ética del problema. ¿Podemos dar por válido para otros lo que no aceptaríamos para nosotros mismos? ¿Qué es lo justo al definir la pobreza? El reto de querer erradicar la pobreza es legítimo, pero puede dar una falsa sensación de ser un problema bien definido. Si se pidiera a diferentes personas, de distintas condiciones y de diferentes países, que definieran lo que entienden por pobreza, sus respuestas presentarían notables diferencias.

Hay, sin duda, un importante efecto de perspectiva. Entender un problema es el primer paso para intentar resolverlo, y definir el problema es en muchos casos un gran reto en sí mismo. Se le atribuye a Einstein decir que, si dispusiera de una hora para resolver un problema, dedicaría cincuenta y cinco minutos a entender el problema y cinco en solucionarlo. Fuera exactamente así o no su expresión, sí refleja bien en todo caso que definir un problema puede ser la parte más compleja de su resolución, o al menos puede ser una parte especialmente difícil. En la enseñanza tradicional nos acostumbramos a resolver problemas que nos dan bien definidos en un enunciado; sin embargo, es en muchos casos el profesional quien debe definir, o participar activamente en la definición de, el problema a abordar.

Está claro que hay un problema de percepción o perspectiva, ya que no hay un único mundo sino tantos como percepciones distintas tengamos las diferentes personas. Si seguimos con el tema de la pobreza, no es lo mismo hablar de ello siendo una persona con recursos económicos holgados, o siendo una persona que sufre dificultades importantes en el día a día, o siendo una persona que apenas tiene para subsistir. La persona de clase alta, la de clase media y la persona pobre no describirían de igual manera lo que significa o implica ser pobre. Y eso además cambiará de unos países o culturas, a otros. Hay, por tanto, un aspecto muy importante, y es la percepción del observador o persona que describe el problema o situación objeto de interés.

La manera tradicional de estudiar los sistemas se basaba en el precepto reduccionista de divide y vencerás. El estudio de las partes que integraban el sistema permitía, en teoría, conocer el comportamiento del sistema. El énfasis estaba en las partes integrantes, ignorando que la relación entre ellas es determinante para entender el funcionamiento del sistema. El enfoque reduccionista toma su nombre de uno de los cuatro preceptos del célebre Discurso del método para dirigir bien la razón y buscar la verdad en las ciencias, del filósofo y matemático René Descartes (Quintás, 2013). El enfoque reduccionista llevó a una gran compartimentalización y especialización del conocimiento. Es la antítesis de los ilustrados del Renacimiento, como Michelangelo y Leonardo da Vinci, versados en innumerables disciplinas.

Actualmente la sociedad ha evolucionado a un mundo de especialistas. Cada vez sabemos más, pero de menos cosas, y eso dificulta abordar las cosas con auténtica visión de conjunto.

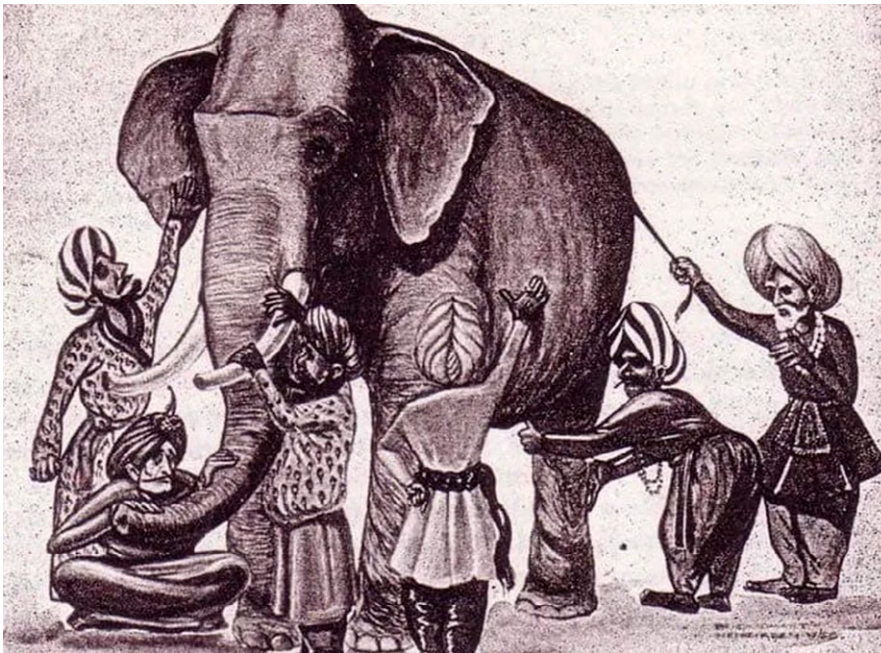
Como dijo el físico Fritjof Capra, “cuanto más estudiamos los principales problemas de nuestro tiempo, más cuenta nos damos que de que no pueden entenderse de manera aislada. Son problemas sistémicos, lo que significa que están inter-conectados y que son inter-dependientes”. Muy apropiada la reflexión de C. West Churchman, en 1968, cuando dijo “el enfoque sistémico comienza cuando empiezas a ver el mundo a través de los ojos de otro”.

---

## MODELOS MENTALES

El pensamiento sistémico (*systems thinking*) es tratar de alinear mejor nuestra manera de pensar con cómo funciona realmente el mundo. La premisa básica es que sólo viendo las cosas en conjunto se puede gestionar la complejidad (Boardman & Sauser, 2013; Cabrera & Cabrera, 2018; Checkland, 1981; Gharajedaghi, 2011; Hodgson, 2019; Jackson, 2003; Meadows, 2008; Sherwood, 2002; Stroh, 2015). Al hablar de pensamiento sistémico estamos estableciendo una conexión entre los sistemas y la manera de pensar sobre ellos; es decir, sobre cómo construimos modelos mentales. Ya dijo Einstein “en la medida en la que los modelos son ciertos, no representan la realidad y en la medida en la que representan la realidad, no son ciertos”; esto significa que en la medida en la que todos los modelos están contruidos con hipótesis más o menos restrictivas, nunca representan plena y fielmente la realidad. Tal vez con mayor pragmatismo el matemático británico George Box dijo “todos los modelos son erróneos; la cuestión práctica es, cómo de erróneos deben ser para que no sean útiles”. El premio Nobel Herbert Simon introdujo el concepto de satisficente, en contraste con el de óptimo, ya que la perfección no siempre es alcanzable, o al menos en tiempo y costes asumibles. En definitiva, el pensamiento sistémico trata de generar modelos mentales que sean lo suficientemente buenos como para abordar los retos de complejidad creciente a los que la sociedad se enfrenta.

Un ejemplo clásico de los errores que pueden derivarse de una visión o percepción incompleta de algo es la parábola del elefante y los ciegos. A unos ciegos, que jamás habían tenido contacto previo con ese tipo de animal, se les acercó a un elefante de manera que cada uno pudo tocar sólo una parte (ver Figura 1). Se les pidió que explicaran cómo imaginaban al animal que habían tocado. Uno tocó una pata, y lo describió como muy duro y fuerte, muy sólido. Otro tocó una oreja, y lo definió como rugoso, flexible y cartilaginoso. Otro tocó un colmillo, y lo describió como suave, a la vez que duro, y muy afilado. Otro tocó la trompa, y lo



**Figura 1** » El elefante y los ciegos. (Descargado de <https://www.cltruth.com/2015/the-blind-men-and-an-elephant/>)

describió como muy fuerte y musculoso, a la vez que muy largo y flexible. El último tocó la cola y lo describió como fino, aunque duro. Cinco perspectivas correctas todas en sentido parcial, y todas erróneas en cuanto a percepción de conjunto. Con frecuencia caemos en esos errores; porque hemos tenido cierto conocimiento de una situación, creemos que podemos describirla, entenderla y valorarla globalmente. Necesitamos auténtica visión de conjunto para generar buenos modelos mentales.

Pero no se trata de sustituir el detalle por la visión global, sino de alcanzar el adecuado equilibrio entre ambos. Es importante tener la visión de conjunto y, al mismo tiempo, ser capaz de identificar aquellos aspectos que son los pocos relevantes, los verdaderamente importantes. En Julio de 1945 el físico y premio Nobel Enrico Fermi estaba entre los científicos del proyecto Manhattan que se disponían a observar en la madrugada del 16 de Julio la detonación de Trinity, la primera bomba nuclear, en el desierto Jornada del Muerto, Nuevo México (Bayer, 1993). Se dispusieron centenares de sensores en la zona para tomar muchos datos que, procesados en los rudimentarios ordenadores de la época, generaron una estimación de la potencia de la bomba. Fermi apenas tardó unos minutos en llegar a la misma cifra, en orden de magnitud. Sabía a qué distancia estaba del lugar de la detonación y midió el tiempo que tardó en llegar a su lugar la onda expansiva, que hizo volar unos metros unos pedazos de papel que tenía en su mano. Viendo el espacio que habían recorrido hizo sus cálculos, y llegó a una cifra que resultó ser una aproximación extraordinariamente buena. Tenía visión de conjunto y además sabía cuáles eran los pocos parámetros relevantes.

El pensamiento sistémico es tan válido para los científicos y gestores, como para cualquier persona. Todos nos beneficiaremos, tanto a nivel individual como colectivamente, de la capacidad de entender la complejidad del mundo. Cada

uno a nuestro nivel tomaremos mejores decisiones y seremos más capaces de entender cómo de adecuadas han sido las adoptadas por otros. Entre las cualidades que se indican como esenciales en las búsquedas de profesionales en todos los sectores está la capacidad de pensar de manera crítica (*critical thinking*). En muchas instituciones académicas, desde colegios a universidades, es frecuente ver programas específicos para desarrollar la capacidad de pensamiento crítico, que en el fondo no es otra cosa que pensamiento sistémico. Las características del pensamiento crítico han sido descritas en detalle (Haber, 2020).

En 2009, en un discurso centrado en política educativa, el presidente norteamericano Barack Obama pidió a los responsables educativos “desarrollar estándares y evaluaciones que no midan simplemente si los estudiantes pueden rellenar una burbuja en una prueba, sino si poseen habilidades del siglo XXI como resolución de problemas, pensamiento crítico, emprendimiento y creatividad”. Puede decirse que la capacidad de pensar de manera crítica es vital para la subsistencia de la sociedad y, sin embargo, no mucha gente podría definir lo que se entiende por pensamiento crítico.

Edward Glaser identificó en 1941 los tres componentes del pensamiento crítico: **(1)** la actitud de estar dispuesto a considerar de manera reflexiva y meditada los problemas y los sujetos que entran dentro del rango de las experiencias vividas; **(2)** conocimiento de los métodos de investigación y razonamiento lógicos; y **(3)** cierta habilidad en la aplicación de esos métodos. En definitiva, pensamiento crítico es la capacidad de entender la relación entre el lenguaje y la lógica, con la capacidad de analizar, criticar y respaldar ideas, razonando de manera tanto inductiva como deductiva, y alcanzado conclusiones basadas en inferencias realizadas a partir de conocimiento o creencias.

En *Thinking, Fast, and Slow*, el psicólogo y premio Nobel en economía Daniel Kahneman habla de los dos modos en los que funciona el cerebro humano (Kahneman, 2013). Está el modo 1, también llamado automático, y el modo 2, o consciente. La mayor parte del tiempo nuestro cerebro trabaja en modo 1, aunque no seamos conscientes de ello. Tomamos decisiones y acciones basadas en nuestros modelos mentales. Son decisiones y acciones rápidas, de manera instintiva o subconsciente, y gracias a ellas hemos sobre-

vivido como especie. Por ejemplo, nadie que esté cruzando una calle y vea venir cerca un autobús se parará a calcular la posible velocidad del autobús, el tiempo que tardará en llegar a nuestro entorno, su trayectoria, la distancia que dicho observador podrá cubrir, y determinar si hay rumbos con riesgo de colisión. Para cuando uno quisiera haber hecho esos cálculos el autobús ya lo habría atropellado, de no ser capaz de parar o esquivarlo. Nadie hace esos cálculos. Vemos venir el autobús y automáticamente retrocedemos, o aceleramos el paso, para evitar cualquier riesgo. Lo hacemos sin pensar; es una respuesta automática, una decisión tomada por el sistema 1. Menos evidente pero igual de cierto es, por ejemplo, cuando vemos a una persona de determinada raza o etnia y automáticamente tenemos pensamientos sobre sus cualidades o posible conducta. El sistema 1 ha actuado de nuevo, en base a los modelos mentales que tengamos construidos. O cuando a sabiendas de cómo deben escribirse los requisitos de *stakeholder* o grupos de interés para un nuevo sistema y, sin embargo, incurrimos en errores conocidos; en este caso el sistema 1 ha tomado el control, mientras que, si hubiéramos actuado con plena conciencia y poniendo nuestro conocimiento en acción, el resultado habría sido diferente. Eso explica por qué hay gente que posee formación teórica, pero luego con frecuencia no la aplica en la práctica. Se trata de aplicar de manera consciente e intencional lo sabido, hasta que ese hábito se convierte en rutina y ya puede aplicarse de manera subconsciente. La reiterada actuación en sistema 2 programa (o re-programa) el sistema 1. El sistema 1 consume poca energía y actúa muy rápido; el sistema 2 consume mucha energía y es lento; esa diferencia entre ambos es vital. No basta con aprender la teoría; es necesario convertirla en práctica y hacerlo de manera sistemática. Desde la época de Aristóteles se ha considerado que es la razón lo que diferencia a los humanos del resto de animales. Según esa creencia, el comportamiento irracional se atribuía o bien a las emociones, o bien a primitivos instintos animales. Sin embargo, los estudios de Kahneman y Tversky (Kahneman, 2013) pusieron de manifiesto que el razonamiento de los seres humanos tiene fallos o imperfecciones significativos. La mente humana no aplica todo su poder de razonamiento en cada instante, por el consumo de energía que requiere el sistema 2, y trabaja casi siempre en sistema 1, que puede entenderse como un conjunto de reglas heurísticas que están basadas en la propia evolución de la especie y en las experiencias que cada uno ha vivido.

El ingeniero, economista, filósofo y sociólogo italiano Vilfredo Pareto estableció a finales del Siglo XIX su famoso principio 20/80. Estudiando la distribución de la riqueza en Italia llegó a la conclusión de que aproximadamente el 20% de la población atesoraba el 80% de la riqueza del país. La distribución era claramente asimétrica, con el 20% concentrando mucha riqueza y el 80% restante disfrutando de muy poca. Se refirió a esos grupos como el de los pocos relevantes (el 20%) y el de los muchos triviales (80%).

Esa ratio ha demostrado ser cierto, de manera conceptual o aproximada, en muchos entornos. Por ejemplo, es frecuente que en una empresa el 80% de los ingresos vengan del 20% de los clientes, o que el 80% de los problemas los generen el 20% de los suministradores o proveedores.

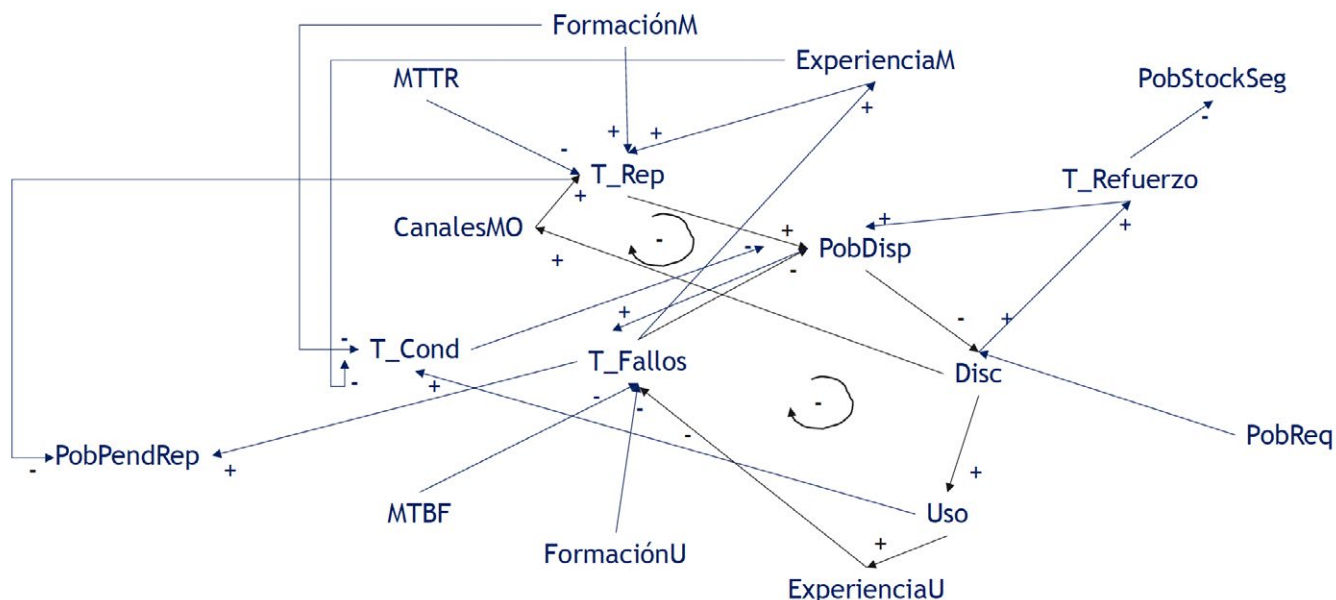
En el pensamiento sistémico tan importante es tener una visión de conjunto, en la que estén presentes todos los puntos de vista, como identificar aquellos aspectos o elementos especialmente relevantes (los pocos relevantes, ese 20% de manera orientativa que indicó Pareto). Hay que saber ver el bosque en su conjunto y, al mismo tiempo, saber identificar los árboles que por alguna razón destaquen. Esta habilidad, como todas, se desarrolla con la práctica.

---

## DINÁMICA DE SISTEMAS

Parte de la complejidad del mundo radica en las profundas relaciones causa-efecto, en las que causas dan lugar a efectos, que se convierten en nuevas causas que originan sus propios efectos, y así sucesivamente. Las relaciones causa-efecto no son, por ello, siempre inmediatas en el tiempo o en el espacio. Eso hace en algunas ocasiones muy complicado el identificar algo como resultado o consecuencia de una determinada acción, lo que dificulta el aprendizaje y la auténtica adquisición de experiencia.

Existen diferentes tipos de diagramas causales, que son los que representan las relaciones causa-efecto en un sistema de interés. La dinámica de sistemas es una metodología de análisis muy popular, por su extraordinaria capacidad de modelizar complejas relaciones causales. Su origen se remonta a finales de la década de los 50 cuando Jay Forrester fue llamado por General Electric para estudiar la situación de una fábrica de electrodomésticos que tenían en Kentucky. A pesar de lo cautivo que era ese mercado, en el que el fabricante tenía una posición dominante, la empresa no iba bien económicamente. Eso llevó a sus directivos a pensar que algo no estaban gestionando bien y contrataron al profesor Forrester, del Massachusetts Institute of Technology, para analizar la situación. Forrester creó una técnica para modelizar el comportamiento de la fábrica, lo que le permitió identificar la raíz de los problemas, que estaba en la falta de sincronización de los flujos de materiales y de información. Dio lugar a un estudio que tituló *Industrial Dynamics* (Forrester, 1961), que alcanzó tanta popularidad por su capacidad para modelizar entornos complejos que fue rápidamente adoptado para planificar desarrollos urbanos, dando lugar a *Urban Dynamics* (Forrester, 1969). Años después el Club de Roma encargó un estudio del planeta Tierra modelizado con dicha técnica, para tratar de comprender mejor los problemas de la humanidad. El resultado fue el informe *The Limits to Growth* (Meadows et al., 1974), que introdujo y popularizó el término desarrollo



**Figura 2 »** Diagrama causal de población de equipos o sistemas reparables. (Elaboración propia)

sostenible. A partir de ese momento, y por su capacidad de analizar complejos retos socio-técnicos, pasó a ser conocida como *System Dynamics*.

La dinámica de sistemas permite entender el comportamiento de organizaciones y sistemas complejos, en los que las múltiples relaciones causa-efecto, muchas veces inter-conectadas, hacen extremadamente difícil tener la adecuada visión global. Los modelos creados con dinámica de sistemas permiten, además, simular los efectos o consecuencias de distintas políticas de actuación, lo que representa una extraordinaria herramienta para gestores y responsables de toma de decisiones.

Los modelos creados con dinámica de sistemas se elaboran en tres pasos, que son realizados en el siguiente orden:

**a) »** Modelo verbal. Consiste en una descripción narrativa de todo lo que se conoce del funcionamiento del sistema. No es necesario que siga un orden determinado. Lo importante es que recoja todo aquello que sea conocido. Lo ideal es que en su elaboración participen varias personas, porque nadie suele poseer la visión completa y porque siempre hay un tema de perspectivas; si no hay consenso sobre algo, deben darse las distintas apreciaciones que se tengan. El modelo verbal tiene la ventaja de que al estar escrito en lenguaje natural es fácilmente comprensible por otros. Al hacerse explícita la percepción del funcionamiento o comportamiento de un sistema, se permite que otros puedan aportar sus propios puntos de vista, bien sea confirmando lo expuesto en el modelo, o complementándolo o modificándolo según fuere necesario.

**b) »** Diagrama causal. Una vez se dispone del modelo verbal se identifican las variables presentes en él. Las variables se dividen en niveles, flujos y auxiliares. Los niveles son variables cuya variación en el tiempo es significativa para el

estudio del sistema. Son magnitudes que acumulan y reflejan los resultados de acciones anteriores. Los flujos son variables que modifican el valor temporal de los niveles; son tasas de cambio. Finalmente están las variables auxiliares, necesarias en ocasiones para explicar la relación entre los flujos y los niveles. Las variables identificadas se representan en un diagrama en el que se explicitan las relaciones directas causa-efecto entre ellas. En definitiva, tanto el modelo verbal como el diagrama causal hacen transparente el análisis que se hace del sistema. Las diferentes variables del sistema (niveles, flujos y auxiliares) se conectan entre sí mediante flechas. La cabeza de la flecha indica el sentido de la conexión: qué variable influye sobre cuál. Sobre la flecha se coloca un signo “+” cuando ambas variables se modifican en el mismo sentido (si la causa crece, aumenta el efecto; si la causa decrece, disminuye el efecto) y un signo “-” cuando ambas variables se modifican sentidos opuestos (si la causa crece, disminuye el efecto; si la causa decrece, aumenta el efecto). El diagrama causal permite identificar bucles de realimentación, positiva o negativa, y cadenas de relaciones causa-efecto que ayudan a entender por qué las consecuencias de ciertas acciones no serán inmediatas en el tiempo y/o en el espacio. El diagrama causal elaborado a partir del modelo verbal constituye una nueva explicitación del entendimiento que se tiene del comportamiento del sistema, lo que ayuda tanto a visualizarlo como conjunto, como a permitir a otros interlocutores su análisis constructivo para la introducción de las modificaciones y mejoras necesarias.

**c) »** Modelo matemático. Una vez que se tiene el diagrama causal es necesario definir las relaciones matemáticas que definen las relaciones causa-efecto identificadas entre variables. Puede usarse cualquier tipo de función, incluidas

las tablas. Es la parte más compleja del modelo, pues requiere cuantificar relaciones que hasta el momento sólo se manifestaban de manera cualitativa (causa-efecto, ya fuera del tipo “+” o “-”).

Como ejemplo podemos considerar una población de sistemas o equipos reparables. Podría ser una flota de autobuses, o un conjunto de ordenadores portátiles, o un lote de receptores GPS. La gran mayoría de las empresas y organizaciones utilizan equipos o sistemas de los que poseen un determinado número de unidades; son equipos que podrán sufrir averías y deberán ser reparados. Para satisfacer una determinada necesidad de equipos o sistemas disponibles, habrá que tener en cuenta sus características de fiabilidad y mantenibilidad, así como un cierto stock de seguridad que permita mantener el nivel de disponibilidad operativa deseado. Además de los fallos reparables los equipos sufrirán una cierta tasa de condenación (por averías no reparables, o por sustitución programada). Por lo que habrá una tasa de nuevas adquisiciones. Los niveles clave en este modelo son la población requerida (PobReq) y la población disponible (PobDisp); ambas se ven afectadas por la tasa de fallos (T\_Fallos) y la tasa de reparación (T\_Rep). Hay un stock de seguridad (PobStockSeguridad), una población de equipos o sistemas pendientes de reparación (PobPendRep), una tasa de condenación (T\_Cond) y una tasa de refuerzo o traslado de unidades del stock de seguridad a campo (T\_Refuerzo). La T\_Rep depende del tiempo medio de reparación (MTTR, Mean Time To Repair), del número de canales de mantenimiento (CanalesMO), de la experiencia de los mantenedores (ExperienciaM) y de la formación de los mantenedores (FormaciónM). De forma análoga, T\_Fallos depende del tiempo medio entre fallos (MTBF, Mean Time Between Failures), de la experiencia de los usuarios (ExperienciaU) y de la formación de los usuarios (FormaciónU). El diagrama causal simplificado de la población de equipos o sistemas reparables se muestra en la [figura 2](#).

Los diagramas causales de dinámica de sistemas constituyen una herramienta de simulación extraordinariamente poderosa para experimentar diferentes políticas de actuación. Como siempre, la simulación ofrece la ventaja de la rapidez, relativo poco coste y muy alta seguridad de la prueba de distintas posibles acciones. La ventaja específica de los diagramas causales es que permiten identificar las complejas cadenas de relaciones causa-efecto que ayudan a explicar el comportamiento de sistemas complejos.

---

## CONCLUSIÓN

Para resolver un problema, primero hay que entenderlo lo bastante bien. Eso significa ser capaz de elaborar un buen modelo mental de la parte del mundo objeto de interés. La dinámica de sistemas es especialmente útil para modelizar sistemas complejos, generando conocimiento sobre los mecanismos que gobiernan su comportamiento. Una vez entendido suficientemente bien un problema puede formularse el objetivo concreto que se persigue, lo que permitirá aplicar ingeniería de sistemas para el diseño y desarrollo del sistema que satisfaga la necesidad u oportunidad detectada.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bayer, H. C. (1993). *The Fermi Solution*. Random House.
- Boardman, J., & Sauser, B. (2013). *Systems Thinking - Building Maps for Worlds of Systems*. Wiley Publishing.
- Cabrera, D., & Cabrera, L. (2018). *Systems Thinking Made Simple - New Hope for Solving Wicked Problems*, 2nd Edition. Plectica Publishing.
- Checkland, P. (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley & Sons.
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. The MIT Press.
- Forrester, J. (1969). *Urban Dynamics*. The MIT Press.
- Gharajedaghi, J. (2011). *Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity*. Morgan Kaufmann.
- Haber, J. (2020). *Critical Thinking*. The MIT Press.
- Hodgson, A. (2019). *Systems Thinking for a Turbulent World*. Routledge.
- Jackson, M. (2003). *Systems Thinking*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kahneman, D. (2013). *Thinking Fast, and Slow*. Farrar, Straus and Giroux.
- Meadows, D. (2008). *Thinking in Systems*. Chelsea Green Publishing.
- Meadows, D.; Meadows, D.; Randers, J.; Behrens, W. (1972). *The Limits to Growth*. Potomac Associates - Universe Books.
- Quintás, G. (2013). *El Discurso del Método de Descartes*. Alianza.
- Sherwood, D. (2002). *Seeing the Forest for the Trees*. John Murray Press.
- Stroh, D. P. (2015). *Systems Thinking for Social Change*. Chelsea Green Publishing.

---

## BIOGRAFÍA

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*; e *Inspiring your Audience*. 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 como ingeniero de sistemas, ocupando diversos cargos de responsabilidad en CONSTRUNAVES, Aries Industrial y Naval, ISDEFE y ELECTROOP. 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).

