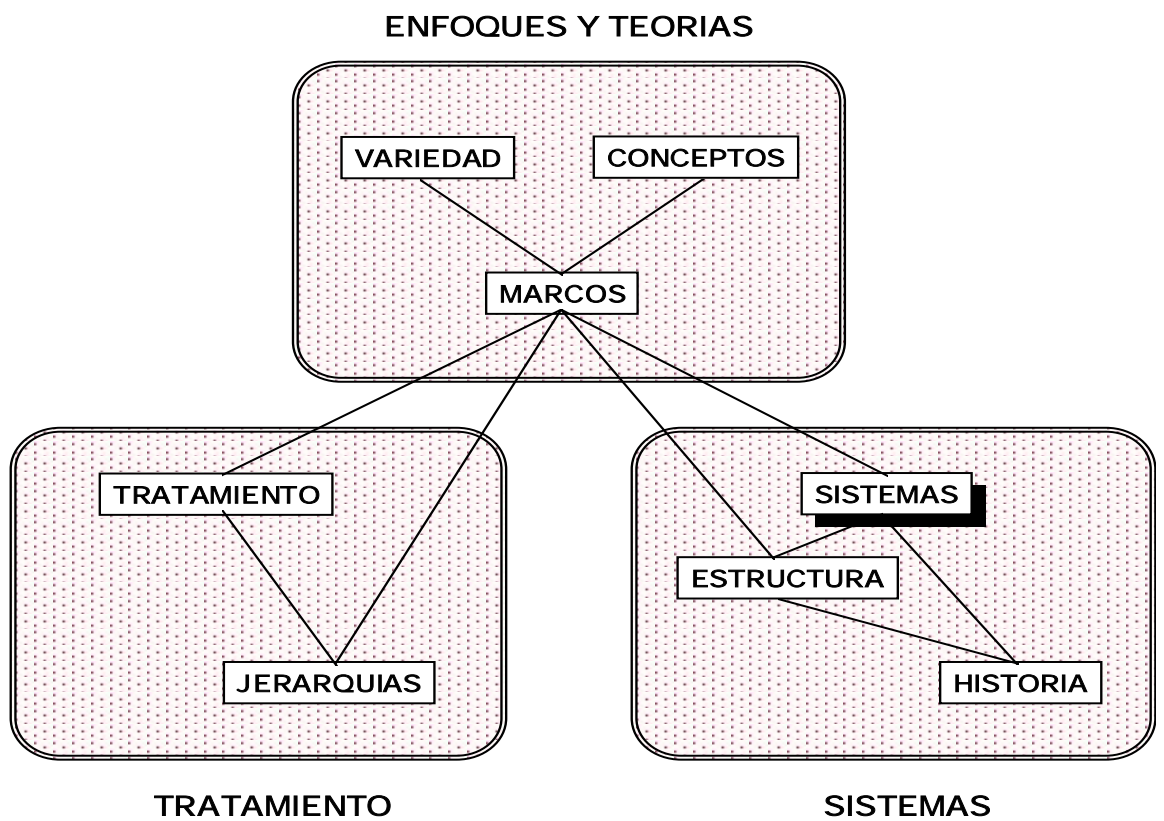
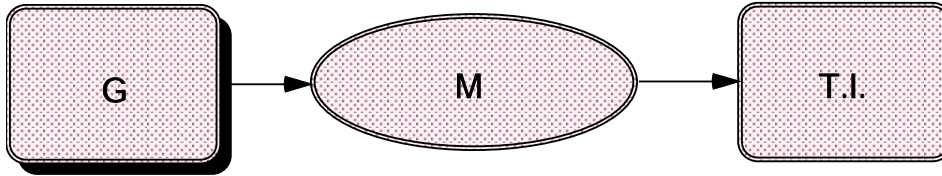


COMPLEJIDAD Y SISTEMAS

Introducción
De la célula al Universo
Sistemas y Complejidad
 Complejidad en la ciencia
 Complejidad en el hombre
Sistemas Sociales: una complejidad distinta
Resumen
Bibliografía

"La ciencia ha explorado el macro y el microcosmos, tenemos una idea más o menos clara de la disposición de la Tierra. La gran frontera sin explorar es la complejidad. Los sistemas complejos incluyen el cuerpo y sus órganos, especialmente el cerebro, la economía, los sistemas de población y evolución, el comportamiento animal, las grandes moléculas, todos ellos objetos muy complicados. Algunos de estos objetos se pueden simular con un ordenador y se pueden modelar de forma bastante precisa; otros no pueden simularse de forma más sencilla que el sistema mismo. Los científicos, en este nuevo esfuerzo interdisciplinar, han comenzado a enfrentarse a los sistemas complejos y, de forma destacada, están entendiendo cómo la complejidad puede surgir de la simplicidad. Por ejemplo, los autómatas celulares, un conjunto artificial de puntos en una pantalla que se organizan a sí mismos de acuerdo con reglas definidas y simples, son ejemplos de un comportamiento complejo que surge de la simplicidad. ... Toda lo que existe puede verse como sistemas complejos contruidos a base de componentes simples"

H.R. Pagels [1989, p. 12]



1. Introducción

La relación entre la complejidad y la idea de sistema va a ser una constante a lo largo de todos estos apuntes. La máxima "el todo es más que la suma de las partes", atribuida a Aristóteles, reconoce de forma explícita la existencia de una complejidad asociada al conjunto que no es directamente extrapolable de los elementos que lo forman, por lo tanto, el reconocimiento de la existencia de una sistema en un determinado objeto lleva aparejado el hecho de la complejidad producida por la interacción múltiple entre los elementos que lo forman.

Pero, ¿qué es un sistema?, la definición no es fácil y depende en gran medida de lo que se pretenda hacer con el sistema (consultar al respecto el capítulo sobre la **Visión Estructural y Funcional de los Sistemas**). A grandes rasgos, distinguir un sistema es reconocer la existencia de un conjunto de elementos que interaccionan entre sí definiendo en esa interacción unos objetivos o un comportamiento globales que no son directamente deducibles de los elementos aislados. Esto significa que el estudio de un sistema no se puede hacer limitándose a estudiar los elementos que lo forman, sino que hay que tomar el "todo" como referencia.

En el campo de los sistemas se ha trabajado mucho intentando clasificar los diferentes tipos de "todos" que se pueden encontrar, buscando criterios que indiquen cómo se deben considerar los sistemas. Nuestra idea es partir de una de estas clasificaciones y con un análisis cuidadoso se puede establecer qué tipo de complejidad presenta cada uno de los niveles de esa clasificación y, de esta forma, profundizar en el significado de la complejidad.

2. De la célula al Sistema Solar

Si únicamente nos valemos de la noción genérica de la complejidad es difícil contestar a esta pregunta: ¿qué es más complejo, el sistema solar o una célula?. De acuerdo con las definiciones de complejidad que habitualmente se manejan, esta cuestión es prácticamente irresoluble. Ambos, sistema solar y célula, son difíciles de entender, requiere un gran esfuerzo describirlos por completo, hay diferentes formas de verlos e interpretarlos, etc. Pero tenemos una idea intuitiva de cómo pueden ser las cosas: el sistema solar está compuesto de cientos de miles de cuerpos, sin duda muchos más de los que componen la célula. El sistema solar tiene un radio aproximado de unos 12.000 millones de kilómetros y es cerca de 20 órdenes de magnitud más grande que una célula. Ha existido desde mucho antes que cualquier célula conocida y lo seguirá haciendo cuando éstas hayan desaparecido de la tierra. Y, a pesar de todo ello, a efectos prácticos, una célula es más compleja que el sistema solar. Podría argüirse que si se intenta describir el sistema solar con el nivel de resolución de la célula éste resultaría mucho más complejo, es cierto, pero no es un problema real, no tiene ningún sentido, de igual forma que no tiene sentido estudiar la célula a la escala del sistema solar.

Se dice que hoy en día es más fácil llevar un hombre a la Luna que comprender por qué una célula crece o no crece. ¿Por qué?. Ha de existir una respuesta desde el punto de vista de la complejidad. ¿Qué propiedades o características tiene la célula que la hacen más compleja que el sistema solar?. Una de ellas es definitiva: que está viva. Una primera conclusión sería pensar que todo organismo vivo es más complejo que uno inanimado, estableciendo así una frontera entre dos niveles de complejidad, la complejidad de la materia viva y la complejidad de la materia inerte (por supuesto, considerando el sistema solar como soporte de la vida y sin tomar en consideración los

elementos vivos que lo componen). El siguiente paso sería establecer diferentes categorías dentro de estos dos niveles atendiendo a algún criterio que nos indique donde hay más o menos complejidad. Es decir, intentaríamos establecer una serie de factores que cuando aparecen indican complejidad. Uno de ellos podría ser el hecho de estar vivo. Este tipo de razonamiento es el que se ha hecho frecuentemente para identificar distintas clases de sistemas, por eso nos vamos a tomar el estudio de los sistemas como base para profundizar en la complejidad.

3. Sistemas y Complejidad

Una de las primeras clasificaciones sobre sistemas es la que proporcionó Boulding en 1956, en un trabajo ya clásico de Teoría de Sistemas, cuyo título era: "Teoría General de Sistemas. El esqueleto de la Ciencia" (Boulding fue uno de los promotores de la Sociedad Internacional para la Investigación de los Sistemas Generales) (ver la Historia del Enfoque Sistémico). Esta clasificación aparece en el cuadro adjunto (extraída de [Checkland, 1981]).

Para mejor comprender esta clasificación hay una serie de ideas que se deben tener en cuenta. La primera de ellas es que las propiedades que caracterizan a un nivel aparecen con ese nivel, es decir, no aparecen en niveles inferiores y se mantienen en niveles superiores. La segunda es que la complejidad aumenta a medida que se sube de nivel (asumiendo el 1 como el inferior). Es decir, para un observador exterior se hace progresivamente más difícil predecir el comportamiento del sistema, que depende cada vez más de decisiones no programadas. Finalmente, los sistemas de nivel inferior están incluidos en los de nivel superior, por ejemplo, los hombres presentan todas las características de los niveles inferiores (del 1 al 6), además de las nuevas propiedades que hace que se les considere como un nuevo nivel.

Boulding, cuando publicó este trabajo, intentaba evitar la generalidad absoluta "todo lo que podemos decir acerca de prácticamente todo es casi nada", y para ello buscó situarse en un nivel intermedio entre "lo muy específico, que no significa nada, y lo general, que no tiene contenido". Históricamente, el nivel 2 representa el área de interés de las teorías de organización debidas a Taylor y el nivel 3 representa el campo de la cibernética, al menos en sus inicios después del libro de Wiener y cuando nació la teoría de control. Los niveles superiores son el campo de estudio de las teorías de dirección, teorías sociales, psicología, etc.

La clasificación de Boulding presenta el problema de que la distribución de complejidad entre los niveles no es uniforme, es decir, el salto para pasar de un nivel a otro no es siempre del mismo orden de magnitud. Como señala Checkland, la jerarquía es intuitivamente correcta, pero mientras que para los niveles inferiores se puede establecer una relación con una serie de parámetros que los determinan (estructuras = masa y tamaño; máquinas = masa, tamaño y tiempo; mecanismos de control = masa, tamaño, tiempo e información) esta relación es muy difícil de establecer para organismos superiores. En cualquier caso, es una jerarquía muy expresiva de las diferencias existentes entre los sistemas que se mencionan y de la diferencia de complejidad entre cada uno de ellos. En esta clasificación se puede establecer una línea divisoria muy clara definida por la propiedad de estar vivo. Esto establece una distinción importante en la complejidad como ya hemos mencionado. También se puede trazar otra división entre los sistemas humanos y los que no lo son, pues en los primeros aparece una complejidad radicalmente diferente a la que se puede distinguir en el resto de los sistemas.

NIVEL	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS CONCRETOS O ABSTRACTOS	DISCIPLINAS RELEVANTES
<i>1. Estructuras</i>	<i>Estático</i>	<i>Estructuras cristalinas puentes</i>	<i>Descripción verbal o gráfica en cualquier disciplina</i>
<i>2. Máquinas</i>	<i>Movimiento predeterminado</i>	<i>Relojes, Máquinas, Sistema Solar</i>	<i>Física, Ciencias Naturales clásicas</i>
<i>3. Mecanismos de control</i>	<i>Control en bucle cerrado</i>	<i>Termostatos, Mecanismos homeostáticos</i>	<i>Teoría de control, cibernética en organismos</i>
<i>4. Sistemas abiertos</i>	<i>Estructuralmente automantenidos</i>	<i>Células biológicas (teoría de la información)</i>	<i>Teoría del metabolismo</i>
<i>5. Organismos inferiores</i>	<i>Todos organizados con partes funcionales, crecimiento y reproducción</i>	<i>Plantas</i>	<i>Botánica</i>
<i>6. Animales</i>	<i>Un cerebro gestor del comportamiento, habilidad para aprender</i>	<i>Animales en general</i>	<i>Zoología</i>
<i>7. Hombre</i>	<i>Conciencia de sí mismo, conocimiento sobre el conocimiento, lenguaje simbólico</i>	<i>Seres humanos</i>	<i>Biología, Sociología</i>
<i>8. Sistemas socio-culturales</i>	<i>Roles sociales, comunicación, transmisión de valores</i>	<i>Familias, Boy Scouts, clubs de bebedores, naciones</i>	<i>Historia, Sociología Antropología, Ciencia del Comportamiento</i>
<i>9. Sistemas Trascendentes</i>	<i>Conocimiento Inaprehensible</i>	<i>La idea de Dios</i>	<i>Teología</i>

(A partir de Boulding, 1956 Citado por Checkland, 1981)

Disponiendo de una clasificación de este tipo ya se puede responder razonadamente a preguntas como la que nos planteábamos al principio. La diferencia entre el sistema solar y la célula es que el primero es un sistema que pertenece al nivel 2, el de las máquinas, con movimiento predeterminado y que puede estudiarse con las leyes de la Física clásica. La célula, por el contrario, es un sistema de nivel 4, un sistema abierto, estructuralmente automantenido, lo que se traduce en una capacidad de supervivencia y adaptación que no tienen los sistemas de nivel 2.

Ésta es la utilidad principal de este tipo de clasificaciones, que nos permiten identificar la complejidad inherente y relevante en cada sistema como si dispusiéramos de un mapa que nos proporcionara los datos necesarios para reconocer el terreno en el que nos movemos.

2.1 Complejidad en la ciencia

Los seis primeros niveles de la jerarquía de Boulding se corresponden aproximadamente con sistemas relativos a lo que tradicionalmente se considera como "ciencia", en contraposición a "letras" o humanidades. Matemáticas, Física, Química, Biología, Zoología, Botánica, etc. Cada nivel exhibe unas determinadas características que se traducen en una complejidad propia de los sistemas que pertenecen a ese nivel. La división de la que antes hablábamos separa la complejidad que emana de factores como los considerados por Yates de la complejidad que surge con la vida (ver la clasificación de Yates, citado por Flood, en el capítulo de Marcos Conceptuales).

En los tres primeros niveles de la jerarquía sí es posible hablar de no linealidades, de muchos grados de libertad, de asimetrías, etc. En estos niveles se puede aplicar generalmente el principio de superposición y las interacciones están limitadas por niveles jerárquicos, es decir, las interacciones sólo se producen entre iguales, de ahí la posibilidad de aplicar la simplificación. En el estudio de la dinámica del sistema solar se puede desprestigiar la existencia de partículas en el espacio y considerar únicamente las interacciones entre masas comparables. En la caída de un cuerpo suficientemente pesado se puede desprestigiar la fricción del aire. En una máquina de estados finitos se puede prescindir del entorno para predecir su comportamiento. Son sistemas cerrados con un comportamiento más o menos determinista. La complejidad en estos sistemas radica en nuestra falta de conocimiento sobre las leyes que rigen su comportamiento, las escalas a las que hay que operar, por ejemplo en microelectrónica, y en general la aparición de cualquiera de los factores que propone Yates.

En los tres niveles siguientes sólo se puede hablar propiamente de multiplicidad de interacciones a todos los niveles, un fenómeno que no se da en los inferiores. Aquí ya no es aplicable, salvo en raras excepciones, el principio de superposición y las simplificaciones han de hacerse con mucho más cuidado. No existen criterios tan evidentes como antes para poder hacer suposiciones sobre la importancia de un determinado elemento y grandes tendencias del comportamiento dependen a veces de una cantidad muy pequeña de una sustancia química. Los mecanismos son mucho más complejos, no sólo por nuestra falta de conocimiento sobre ellos sino por su propia estructura donde las interacciones múltiples juegan un papel decisivo en el comportamiento. Procesos como la reproducción, el crecimiento o la muerte son infinitamente más complejos que cualquier problema que se pueda plantear en los tres niveles anteriores. Esta complejidad alcanza un máximo cuando el objeto de estudio es el cerebro humano. En él se produce un salto cualitativo de los procesos meramente físicos, los seis niveles anteriores, a los procesos de orden psíquico que ya entran dentro de las categorías que distinguen los niveles 8 y 9.

Esta jerarquía de sistemas recoge el principio del que ya hablábamos al principio: el todo es más que la suma de las partes. Cada uno de estos niveles aparece cuando surge "algo más", varios átomos forman una molécula, varias moléculas un compuesto químico, determinados compuestos químicos unidos pasan a formar una cadena de ADN, frontera entre la química y la biología; un paso más sería la célula, formada por multitud de compuestos químicos pero ciertamente algo más

que eso, varias células forman un tejido, varios tejidos un órgano y varios órganos un ser superior. Y aún podemos ir más lejos, un hombre puede verse desde el punto de vista de la anatomía o de la medicina, pero también de la psicología; varias personas forman una familia o un grupo social, varias familias una comunidad, una ciudad, una región, una nación, una sociedad.

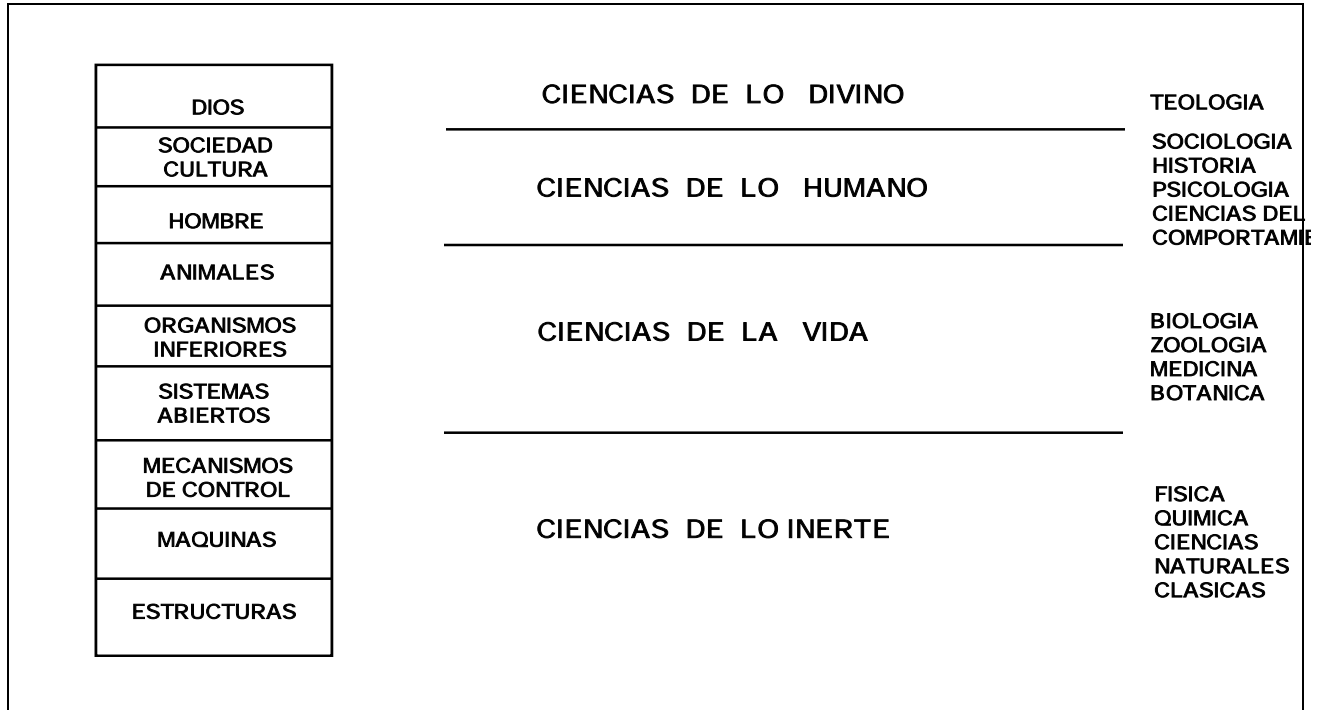


Fig. 1. Jerarquía de sistemas y las ciencias asociadas.

Cada uno de estos sistemas es más complejo que el anterior y esto se refleja en las ciencias que los estudian. Checkland [Checkland, 1981] propone una clasificación de la ciencia de acuerdo con esta jerarquía de complejidad:

Física -- Química -- Biología -- Psicología -- Ciencias Sociales

Jerarquía que refleja el eje "hard-soft" de la ciencia, desde las más duras a las más blandas y, en lo que a nosotros interesa, un mapa de niveles de complejidad en la ciencia. Al igual que sucede con la jerarquía de sistemas propuesta por Boulding, con la que guarda bastante paralelismo, lo que sucede en un determinado nivel no puede explicarse sólo con conocimientos relativos a niveles inferiores - en esa escala la Física ocuparía el lugar más bajo-. Y también pone de manifiesto el mismo hecho: que las ciencias sociales son las que se enfrentan a más complejidad, en el cuadro adjunto se explica en detalle este último punto.

2.2 Complejidad en el ser humano

El humano introduce una complejidad radicalmente distinta a todas las anteriores. Conceptos como la no linealidad o la multiplicidad son casi absurdos cuando se habla de la sociedad o de cualquier fenómeno humano. La multiplicidad, la no linealidad, la no holonomicidad y la asimetría son presupuestos de partida básicos, no factores que aparezcan en determinados casos. A éstos se puede añadir la borrosidad, la desorganización, la irracionalidad o la inestabilidad permanente, características siempre presentes en todo lo humano.

Aquí ya no existen criterios de simplificación y mucho menos casos en que el principio de superposición sea medianamente aplicable. Este hecho se puede ver muy claramente si consideramos el tipo de jerarquía que se puede distinguir en unos sistemas y en otros. En los sistemas físicos y biológicos la jerarquía se hace de acuerdo con criterios espaciales o de proximidad. Partícula subatómica, átomo, molécula y gas, o mitocondrias, membrana, núcleo, célula, tejido y órgano, son ejemplos de jerarquías en los sistemas no humanos. Estas jerarquías se distinguen al ser localizadas espacialmente subestructuras diferentes dentro de una estructura más grande. Son jerarquías de elementos. En cambio, en los sistemas humanos las jerarquías no se establecen por proximidad espacial o tamaño de los elementos que las forman, sino por interacciones. Son jerarquías de interacciones [Simon, 1969]. Sólo este hecho ya pone de manifiesto la diferencia de complejidad que va a existir entre unos sistemas y otros.

Jerarquías, ciencias y lenguajes

La jerarquía de ciencias que propone Checkland es un ejemplo magnífico para enlazar estas ideas con otros conceptos tratados en estos apuntes. En virtud de la constante limitación humana para abordar la comprensión y descripción de la complejidad, cada ciencia maneja un lenguaje distinto con una precisión también distinta. Las ciencias más "hard", como puede ser la ingeniería, las matemáticas o la física trabajan con una precisión muy elevada: puentes, estructuras metálicas, máquinas, materiales, ecuaciones, son ejemplos de los objetos que se manejan en uno de los extremos del eje. Pero a medida que se avanza hacia el otro extremo la imprecisión empieza a ser mucho mayor y prueba de ello es la diferenciación entre los lenguajes que se utilizan.

Esto podemos verlo si apreciamos la similitud que tiene con el modelo jerárquico del ordenador que proponen Bell y Newell, cada nivel, en este caso cada ciencia, tiene su propio lenguaje, lenguajes que se van haciendo cada vez más borrosos y difusos a medida que subimos por esa jerarquía hacia el extremo "soft".

También se puede interpretar a la luz de la jerarquía epistemológica de sistemas que propone Klir (recogida en el capítulo de "Marcos Conceptuales"). Y, sobre todo, siguiendo sus principios generales de la complejidad, que nos indican que si reducimos la complejidad descriptiva aumenta la complejidad relacionada con la incertidumbre y viceversa. En el extremo "hard" la complejidad descriptiva es máxima (en muchos casos se llega hasta los átomos, por ejemplo en la física del estado sólido o la física de partículas) y por ello la incertidumbre muy pequeña. En el otro extremo, las ciencias blandas reducen la complejidad descriptiva al máximo y de ahí la enorme incertidumbre que se maneja en ciencias como la sociología, la psicología, la historia, ciencias del comportamiento, etc.

Para terminar este cuadro queremos resaltar una peculiaridad muy interesante. Hasta las ciencias más duras, como la física o la química, se encuentran con el dilema de no poder describir todo y tener, por tanto, que introducir la incertidumbre en sus cálculos. Esta es la misma discusión que se establece en torno al Azar (ver el capítulo dedicado a los conceptos asociados a la complejidad).

4. Sistemas sociales: una complejidad distinta

Simon no es el único autor que ha destacado la importancia de los sistemas sociales desde el punto de vista de su complejidad. Checkland propone una clasificación de sistemas, de la que no nos ocuparemos aquí de momento, en las que aparecen los Sistemas de Actividades Humanas en los que se pretende recoger la emergencia de "... una dificultad que está más allá de la mera complejidad ..." [Checkland, 1981]. Flood dibuja un mapa bidimensional de las ciencias en el que el eje ciencias blandas y ciencias duras -la más dura, la física, las más blandas las ciencias sociales- se desdobra en una clasificación más avanzada al considerar la línea Homo Sapiens, es decir, la de las ciencias relacionadas con el humano -Psicología y Ciencias Sociales- [Flood, 1987]. Otros autores hablan, por ejemplo, de complejidad organizada relacional [Clemson, citado en Flood, 1987], intentando resaltar el hecho de que el ser humano introduce una complicación adicional en los sistemas y en la ciencia. Todos estos ejemplos muestran la importancia del factor humano en lo que al tratamiento de complejidad se refiere.

Aunque inicialmente pensado para aplicarlo en informática, Sáez Vacas propone también un modelo de complejidad que recoge la importancia del factor humano [Sáez Vacas, 1983] (recogido en el capítulo de Marcos Conceptuales). En él distingue tres niveles de complejidad, el primero de ellos es la complejidad de los elementos aislados. En informática esta sería la complejidad de los algoritmos o de los circuitos. El segundo nivel de complejidad se considera cuando ya no se trabaja con estos elementos aislados sino con sistemas, que introducen una complejidad distinta a la de los elementos. En informática esta sería la complejidad de un ordenador completo, de un programa, de una red de ordenadores, etc. Estos dos niveles corresponden a la concepción tradicional de informática, el núcleo "duro" de la tecnología en el que trabajan los ingenieros, informáticos y tecnólogos. Pero existe aún un nivel más. Cuando esos sistemas tecnológicos se ponen en contacto con la sociedad a través de los usuarios y de los entornos de trabajo donde se implementan aparecen problemas inabordables desde el punto de vista de la complejidad de segundo nivel, esto se debe a que ya no es una complejidad puramente técnica sino complejidad sociotécnica en la que el hombre y la sociedad juegan un papel definitivo.

5. Resumen

Comprender qué es un sistema y los diferentes tipos que existen puede ser muy útil a la hora de enfrentarse con la complejidad. En primer lugar, identificar un sistema como de una determinada clase puede orientarnos mucho a la hora de saber con qué orden de complejidad nos vamos a enfrentar y por qué. En segundo lugar, permite establecer diferencias entre sistemas con un criterio suficiente. Nuestro objetivo en este capítulo ha sido trazar una panorámica general e intuitiva sobre las distintas ciencias, sus lenguajes y la precisión que se puede esperar de ellas.

Esto último nos ha permitido distinguir la complejidad de los sistemas sociales y situarla por encima de la del resto de los sistemas, algo de primordial importancia en el campo de los ordenadores, por citar un ejemplo que nos es más cercano, pues indica que va a existir una problemática social y humana por encima de los problemas puramente tecnológicos, ya sean hardware o software.

Para ilustrar de alguna forma esta realidad podemos intentar asociar parámetros a la jerarquía de Boulding y de acuerdo con éstos relacionar a cada sistema una o varias fuentes de complejidad. No deja de ser un tanto arbitrario, sobre todo cuando se trata de sistemas superiores y más teniendo en cuenta que no disponemos de ningún criterio para hablar de fuentes de complejidad en sistemas como pueden ser los animales, el hombre o la sociedad. Aún así, nosotros proponemos las siguientes correspondencias entre sistemas, parámetros que los caracterizan y fuentes de complejidad. Y dado que la intención es más aclarar ideas que teorizar sobre la complejidad, animamos al lector a criticar ésta y proponer la suya.

SISTEMA	PARAMETROS CARACTERISTICAS	FUENTES DE COMPLEJIDAD
DIOS	?	CONOCIMIENTO INAPREHENSIBLE
SOCIEDAD CULTURA	IDEALES	IRRACIONALIDAD
HOMBRE	META CONOCIMIENTO	INDETERMINISMO
ANIMALES	CONOCIMIENTO	OBJETIVOS DINAMICOS
ORGANISMOS INFERIORES	ORGANIZACION	SUPERSISTEMAS ESPECIALIZADOS
SISTEMAS ABIERTOS	ADAPTACION	INTERACCIONES
MECANISMOS DE CONTROL	INFORMACION	NO HOLONOMICIDAD
MAQUINAS	TIEMPO	NO LINEALIDAD
ESTRUCTURAS	MASA TAMAÑO	ASIMETRIAS MULTIPLICIDAD

Fig. 2. Sistemas, características y fuentes de complejidad.

Bibliografía

La dividimos en dos apartados. En el apartado de Notas Bibliográficas se comentarán aquellos trabajos que más profusamente han servido para redactar las páginas anteriores. El apartado de Referencias Bibliográficas contiene todos los trabajos citados.

Notas bibliográficas

Muchas de las referencias utilizadas en este capítulo han aparecido ya en otros anteriores por lo que no nos vamos a detener en ellas, sin embargo, sí queremos destacar el libro **Systems Thinking, Systems Practice**, de Peter Checkland [J. Wiley & Sons, Chichester, 1981], en el que desarrolla la teoría y metodología de los sistemas blandos. La primera parte del libro es un repaso, ameno e interesante, de la historia de la ciencia desde la perspectiva de los sistemas. En la segunda parte se introduce la metodología de sistemas blandos, de una forma clara y fácil de entender. Esta metodología se puede considerar una meta-metodología por su carácter general y la presentación de la misma como herramienta de resolución de problemas. Puede incluso verse como un auténtico software intelectual para la gestión, no sólo tecnológica sino de cualquier problema de carácter

sistémico y, muy especialmente, por supuesto, de aquéllos en los que aparezca el factor humano. Para los entusiastas de los sistemas ésta es una referencia imprescindible.

Referencias bibliográficas

Checkland, P. (1981) **Systems Thinking, Systems Practice**, J. Wiley & Sons, Chichester, 1981.

Flood, R.L. (1987) "Complexity: a definition by construction of a conceptual framework", **Systems Research**, vol. 4, num. 3, pp. 177-185.

Pagels, H.R. (1989) **The dreams of reason: the computer and the rise of the sciences of complexity**, Bantam Books, N.Y., 1989.

Simon, H.A. (1969) **The sciences of the artificial**, MIT Press, Cambridge, Ma. 1969.