

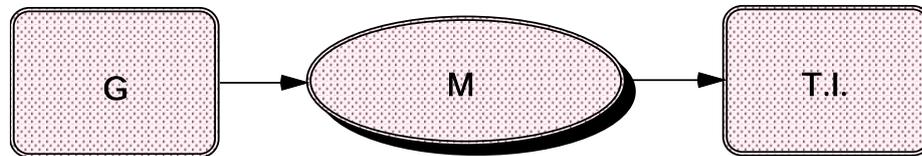
Un marco universal para la construcción de modelos

Introducción
Los elementos
 O: el objeto
 I: la interfaz
 H: el observador
 IO: la imagen del objeto
UFM: un marco general para la construcción de modelos
 El proceso
 Significación "dinámica" de H, I, O
Aplicación del U.F.M. al estudio de la complejidad
 Situaciones de complejidad y sus factores componentes
 Construcción de marcos específicos
Resumen

En este capítulo consagramos el concepto de "situación compleja", que, a nuestro juicio, tiene la capacidad de integrar coherentemente las muy diversas concepciones de "complejidad". Cualquier situación viene definida en todo momento por la interacción de valores particulares extraídos de tres conjuntos a los que llamamos H (observador, generalmente un ser Humano), I (Interfaz, Instrumental) y O (Objeto). Al resultado de la interacción se le denomina IO (Imagen del Objeto).

Probablemente, no hay nada en ese modelo que no haya sido estudiado en una u otra forma por la filosofía, en particular por la epistemología, pero a él se ha llegado en este caso desde un planteamiento técnico orientado a sintetizar una herramienta muy condensada, sencilla de recordar, y práctica para comprender y afrontar un número ilimitado de situaciones reales envueltas en complejidad.

Pero en realidad lo que veremos es, más que un modelo, un marco para construir modelos y por tanto su alcance desborda aparentemente el objetivo inicial, que lo relacionaba con la complejidad. Si decimos "aparentemente" es porque, en definitiva, modelar es siempre una manera de "manejar complejidad".



1. Introducción.

Este capítulo trata de un modelo general que da cohesión y sentido a todo este texto. Si lo hemos situado en medio y no al principio del mismo ha sido por una decisión muy meditada. Queríamos respetar el orden epistemológico personal, es decir, la génesis del modelo, que ha surgido dentro del autor después de varios años de pelear con cuestiones de sistemas y de complejidad. Por analogía, los capítulos anteriores deberían actuar sobre el lector como preparación psicológica del terreno para poder asumir mejor este modelo como un planteamiento global de todo lo que ya ha visto.

La distribución del capítulo es sencilla. Primero, veremos el marco para la construcción de modelos, a través de una exposición del significado de las letras H, I, O e IO y de su manejo constructivo. A continuación, abordaremos su aplicación, que hace emerger el concepto de "situación compleja o de complejidad", con el que reencontraremos varios de los tipos de complejidad ya visitados en capítulos anteriores o sugeriremos algunos nuevos que serán tratados en capítulos posteriores.

Dedicaremos una atención especial a la letra I, por su impacto decisivo en el filtraje de la complejidad del objeto, y por tanto en su construcción mental. Habitualmente, la I engloba todo el arsenal teórico, conceptual o instrumental a disposición del observador. La teoría de sistemas o el enfoque sistémico son elementos del conjunto I, por ejemplo. Por un razonamiento recursivo, incluso el modelo H x I x O es otro elemento del mismo conjunto.

Para terminar, se harán algunas anotaciones acerca de la capacidad del modelo para absorber los variadísimos conceptos que destilan los textos sobre complejidad seleccionados en el capítulo anterior.

2. Los elementos.

A estas alturas del texto, puede que el lector tenga una idea bastante aproximada de lo que es la complejidad, sobre todo si ha trabajado personalmente las referencias bibliográficas o si ha debatido en clase las cuestiones. Pero también es posible que esté hecho un lío después de tantas clasificaciones, aproximaciones, enfoques y definiciones.

Aquí intentaremos encajar en un sencillo esquema conceptual la mayoría de las ideas que sobre complejidad han aparecido hasta el momento.

El punto de partida es un hecho bien conocido: nuestra mente es limitada. Carece de la capacidad para aprehender todos los hechos que ocurren en el "mundo real", todos los elementos e interrelaciones. No es capaz de manejar directamente la complejidad. Para ser más exactos, ni siquiera lo intenta.

De forma más o menos consciente, todos filtramos la realidad y afrontamos una complejidad drásticamente reducida. Ciertamente, en lugar de tratar directamente con la realidad -entendida como el conjunto completo de factores que determinan un objeto- construimos modelos de ella. EL proceso mediante el cual se obtienen estos modelos y las implicaciones sobre reducción de complejidad que de él se desprenden, constituyen la materia de este capítulo.

2.1. O: el objeto

Cuando contemplamos el mundo, sólo percibimos una parte de él. Centramos nuestros sentidos, nuestra atención o nuestro estudio en algo, en un **objeto**, al que nos referimos por un nombre. De la infinidad de componentes del universo, elegimos un subconjunto: digamos que definimos las "fronteras" de lo que nos interesa. Pueden delimitar éstas lo que llamaremos una piedra, un ordenador, una institución o una célula. Y esta delimitación no es únicamente espacial: también fijamos la realidad en el tiempo, centrándonos en su estudio en un intervalo temporal limitado.

Parece claro que la complejidad que hemos de manejar disminuye cuando pasamos de considerar el "mundo real" en su totalidad a ocuparnos sólo de uno de sus fragmentos. Esta disminución puede entenderse si tenemos en cuenta la drástica reducción en el número de elementos y relaciones consideradas. Pero en cualquier caso, el nivel de complejidad, pese a haber disminuido mucho respecto al universo entero, puede seguir siendo grande si continuamos manejando un número elevado de interrelaciones.

Veámoslo con un sencillo ejemplo. En él, el *O* elegido es una piedra concreta. En términos, por ejemplo, de partículas, hemos pasado de considerar todas las del universo a tener en cuenta únicamente las que forman la piedra. Pero aún así, nos queda un ingente número de ellas (la piedra estará compuesta por una grandísima cantidad de átomos, por ejemplo).

2.2. I: la interfaz.

Cuando nos ocupamos del objeto que hemos elegido para nuestro estudio, lo hacemos de una cierta manera. Utilizamos siempre, de una forma más o menos explícita, unos instrumentos y unas técnicas. Estos instrumentos y técnicas constituyen lo que Sáez Vacas llama **interfaz** o instrumento. Es evidente que aquí la voz "interfaz" se utiliza en el sentido más general posible, que incluye por supuesto a la interfaz tecnológica de manejo de un aparato.

En el caso más directo, percibimos la realidad a través de nuestros propios sentidos, que ya por su propia naturaleza realizan un importante filtrado de complejidad y nos focalizan sobre ciertas características del objeto. Y utilizamos unas técnicas, como por ejemplo las que comprende lo que solemos llamar "sentido común". (Por razones que se explicarán más adelante, los sentidos, y en general el aparato perceptivo, los englobaremos como un componente del factor H).

Podemos usar, también, un microscopio. Así centraremos nuestra atención de forma que todo lo que sea mayor de un cierto tamaño nos resultará irrelevante, simplemente no lo veremos. Lo mismo pasará con lo que sea menor que la capacidad de resolución del aparato. Con un microscopio electrónico pueden verse las cadenas moleculares, mientras que para ver las estructuras celulares, que son construcciones arquitectónicas de cadenas moleculares, es suficiente con un microscopio óptico; por su parte, las células se pueden estudiar con un microscopio óptico y, a veces, con una lupa. Sin embargo, si lo que utilizamos es un telescopio, la realidad cercana desaparece, y nos centraremos en los cuerpos que queden dentro de su alcance.

Veamos otro ejemplo. Si estudiamos un ordenador con las herramientas conceptuales que nos proporciona la electrónica, sólo podremos ocuparnos de lo que podríamos llamar "nivel electrónico", y no percibiremos el nivel lógico, ni por supuesto nada que tenga que ver con los procesos que en él se realizan y que se organizan por las técnicas de la programación.

En resumen, con un instrumento vemos una cosa pero dejamos de ver otras. Si vemos la molécula, no vemos la luna. Y viceversa. Todos los instrumentos producen simultáneamente un efecto amplificador y limitador.

De estos ejemplos parece desprenderse la idea de que hay dos tipos de interfaz (cuya naturaleza discutiremos con posterioridad):

- a. Por un lado, lo que podríamos llamar "**herramientas**": métodos o instrumentos físicos utilizados en la percepción del objeto considerado.
- b. Por otro, lo que serían "**técnicas**": métodos conceptuales de análisis de los datos que nos han aportado los instrumentos o, simplemente, sistemas de representación. En un sentido amplio, todos éstos son también **herramientas cognitivas**.

En cualquier caso, ambos tipos de interfaz están muy relacionados: según las características de los datos que hayamos obtenido, tendrá sentido utilizar unas técnicas y no otras. Incluso, en bastantes ocasiones la técnica viene "impuesta" por un determinado tipo de datos, con lo que la herramienta queda definida dentro de un estrecho margen.

La elección del instrumento condiciona la observación del objeto, su complejidad y por tanto su solución, si se trata de un problema. El observador tiene ante sí la difícil alternativa de distribuir complejidad entre dos dimensiones ortogonales, la dimensión de profundidad y la de amplitud de campo, partiendo naturalmente de la base de que hay un insoslayable fenómeno de reducción de variedad en comparación con la que percibiría un hipotético "observador omnipotente". (Nota: el lector debe tener muy claro que cuando se habla de variedad es habitual manejar dos puntos de referencia en cuanto a la categoría del observador, el observador omnipotente y el observador a

secas, o sea, nosotros. Con respecto al segundo, un instrumento adecuado puede amplificarle la variedad del objeto observado. Si no fuera así, no tendrían sentido los instrumentos tecnológicos ni los sistemas de enseñanza).

Amplitud de campo significa más elementos, con menos detalles. Por ejemplo, eligiendo el microscopio, no sólo se desdeñan las características que quedan fuera de su amplitud de campo, sino también todas las que no producen un efecto luminoso dentro de las longitudes de onda para las cuales las lentes son transparentes. A cambio, este instrumento revela muchos detalles de una pequeña porción del objeto. Profundidad igual a menos elementos, con más detalles. Un voltímetro de precisión aplicado sobre un circuito eléctrico nos proporciona certeramente un número entre muchos posibles, pero es ciego a una gran variedad de fenómenos o propiedades, como forma, temperatura, interacciones electrónicas, propiedades químicas, etc.

Desde el punto de vista de la teoría de la variedad, podemos considerar a todo I como un filtro de variedad, colocado entre el objeto y la mente humana.

2.3. H: el observador.

Y por último, tenemos a la **persona**¹ que está analizando (o haciendo cualquier otra operación, a la que genéricamente llamamos "observación") el objeto. Y la tenemos no como un "ente neutro", sino como un ser pensante, con su historia, su forma de ser, sus facultades perceptivas, sus conocimientos, sus opiniones y sus intereses: no es lo mismo observar una piedra para desentrañar su composición que para lanzarla. Utilizamos la letra H como símbolo recordatorio de que generalmente el observador es un ser **humano**.

De nuevo tenemos un filtraje de complejidad o de variedad: entre todos los aspectos del objeto accesibles a través de la interfaz, el observador sólo capta o toma en cuenta aquéllos que son conformes a su capacidad o intereses. En cualquier caso, el conjunto de sus circunstancias personales le impiden ser "objetivo" y considerar todos los datos por igual y ello al margen de las características de la interfaz. Dos observadores, con los mismos instrumentos, y usando las mismas técnicas, pueden obtener visiones o al menos interpretaciones radicalmente distintas de un mismo problema, en especial si éste involucra aspectos humanos.

Un caso particularmente interesante para nosotros sucede cuando el propio H es quien elige el objeto y la interfaz entre un conjunto de posibilidades, de acuerdo con sus intereses y necesidades. Tal elección es fundamental, puesto que en ella se juega el diseño del filtro de complejidad, esto es de la clase y cantidad de información que va a contar en el proceso de observación.

De los elementos vistos hasta el momento (H, I, O), es H con seguridad es el que de forma más explícita e insistente nos hemos encontrado en otros capítulos y siempre le hemos llamado **observador**. Así, cuando estudiamos la variedad, llegamos a la conclusión de que ésta era una

¹.- En sentido amplio, el observador no ha de ser necesariamente una persona: el marco permite también que sea, por ejemplo, una máquina quien se enfrente al objeto.

propiedad del binomio objeto-observador: recuérdese cómo, en el ejemplo del neurofisiólogo y el carnicero contemplando un cerebro -"sesos" para el segundo-, cada uno percibía una variedad diferente. En el capítulo sobre **marcos conceptuales**, las definiciones de complejidad debidas a G. Klir, F. Sáez Vacas o R. Flood integraban al observador. Este último desagrega la complejidad en atributos relacionados con el observador y en atributos relacionados con el objeto. Y, para redondear, el capítulo sobre **Textos** contiene una sección muy explícita acerca de la "subjetividad en la complejidad".

2.4. IO: La imagen del objeto.

Todos los filtrajes de variedad (en un sentido absoluto: reducciones de variedad), nos dan al final un objeto modelizado, idealizado, de una complejidad incomparablemente menor que la del "universo real". Con esta complejidad es con la que se enfrenta nuestra mente. Lo que aquí llamamos modelo es un concepto muy parecido al de sistema, según la concepción que de "sistema" nos ha dejado primero Ashby, y después se ha encargado Klir de reforzar: cuando se establece un conjunto de variables como resultado de nuestra interacción con el objeto que nos interesa, entonces se dice que se distingue un sistema en el objeto. Un sistema es la abstracción creada a partir de un objeto real, una **imagen**.

En el **modelo** (o **Imagen del Objeto**, de ahí lo de *IO*), los elementos son muchos menos, y las relaciones entre ellos mucho más sencillas que en la realidad. Naturalmente, para llegar hasta aquí hemos perdido una cantidad importante de información. Pero como contrapartida, nos enfrentamos con algo mucho más sencillo de comprender. Así, lo que varía de una situación a otra, de un problema a otro, no es la complejidad propia de la cuestión que estemos tratando, sino la del modelo del universo que hemos creado para ese caso particular. En muchos casos podría decirse que cuando se considera a algo como muy complejo, lo que ocurre es que no se ha encontrado un modelo de ello que sea suficientemente sencillo.

Conviene advertir una vez más, no obstante, que decir que la modelización supone una reducción de variedad por referencia a la variedad generalmente inabarcable del objeto no es contradictorio con el hecho de que el progreso tecnológico, al aumentar el poder de las herramientas o interfaces, amplifica ante los observadores, para bien y para mal, la variedad perceptible del mundo (véase al respecto más adelante el capítulo dedicado a **las tecnologías de la información**). Precisamente, esta última circunstancia reclama a gritos la necesidad cada día más urgente y la dificultad de manejar todo ese flujo de variedad que recorre la tarea humana, la necesidad de crear y distribuir macroscopios.

3. U.F.M.: un marco universal para la construcción de modelos.

Ya hemos introducido todos los elementos del marco conceptual que propone Sáez Vacas. Después de haber tomado contacto con ellos uno por uno, nos adentraremos en hacernos una idea de cómo se relacionan entre sí.

Hemos dicho que siempre que se intenta manejar la complejidad del mundo, aunque no sea más que simplemente para comprenderlo, se produce un "**proceso de modelación**", que representamos mediante el siguiente esquema-fórmula:

$$HxIxO \rightarrow IO$$

Podemos entenderlo como un modelo de adquisición de conocimiento, de percepción de la realidad: un modelo para construir modelos. En definitiva, como la forma en que manejamos un mundo que es, por definición, extremadamente complejo, con una mente que sólo puede abarcar parte de esa complejidad. Por su total generalidad y máximo grado de abstracción bien la podemos considerar como un marco universal para la construcción de modelos, de ahí sus siglas U.F.M. (Universal Framework for Modeling, en inglés).

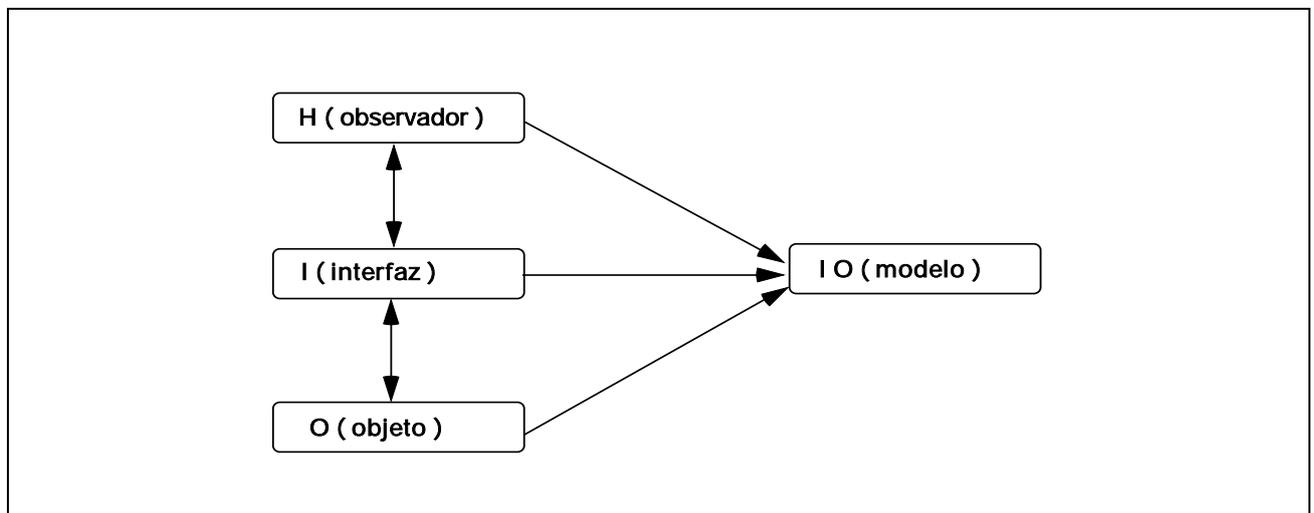


Fig. 1. Los elementos del marco $HxIxO \Leftrightarrow IO$ (F.SáezVacas)

3.1. El proceso

En el esquema (o fórmula), aparecen todos los elementos que hemos venido presentando anteriormente. Pero, además, aparecen relacionados de una determinada forma, similar a la expresión matemática del producto de conjuntos. En una primera aproximación, podría leerse "La interacción entre un observador, una interfaz y un objeto determinados produce un modelo del objeto". Por tanto, la complejidad que podamos observar en ese modelo (imagen del objeto) será la consecuencia de la interacción de los tres elementos del primer miembro de la fórmula.

Siempre que nos acercamos a un problema, delimitamos una parcela de la realidad² (el objeto, O), usamos ciertas técnicas e instrumentos (en nuestro esquema, el I), con unos determinados objetivos,

².- En un sentido más amplio, deberíamos decir que delimitamos una parcela del universo de discurso ya que, como veremos, O puede ser un objeto intelectual (por ejemplo, un modelo).

intereses y motivaciones (los del ser humano, H). Y así "creamos" nuestra propia visión del asunto. Sobre ella resolvemos el problema. Y luego extrapolamos de nuevo sobre la realidad.

Aquí es donde se ve si la reducción (a veces simplemente elección) de complejidad es la apropiada para nuestros fines, o si hemos despreciado alguna relación o elemento que deberíamos haber tenido en cuenta. Como toda reducción de complejidad implica pérdida de información, puede ser que hayamos eliminado en el proceso algo que es determinante para lo que buscamos. De ahí la gran importancia de haber elegido bien el objeto y la interfaz.

Conviene decir alguna palabra más sobre el concepto de interfaz. Antes hemos hablado de dos grandes tipos: interfaces o herramientas físicas y herramientas cognitivas. En una primera aproximación, las primeras se aplican directamente al mundo real y producen un "salto" del mundo físico al de los modelos, al de las ideas: el I "transforma" el objeto real en un conjunto de datos. En tales casos, la interfaz suele ser ella misma un objeto real (sentidos de una persona, microscopio, sensor de temperatura, un computador,...). Hay que hacer notar que el microscopio, por sí mismo, no produce el modelo. Lo que "sale" por su objetivo no es más que luz. Será en la mente del observador donde se genere la "imagen del objeto", entendida como modelo.

Y por otro lado están los interfaces que actúan sobre modelos, producto de un proceso de modelación anterior. Ahora no hay "cambio de mundo", aunque sí se produce un modelo (IO) menos complejo. La reducción de complejidad viene dada por el desprecio de relaciones y datos, lo que se puede hacer de una forma más o menos acertada. Además, estas interfaces son ellas mismas de naturaleza "intangibles": son modelos de acercamiento al conocimiento (en general, IOs producidos por otros procesos de modelización). A estas interfaces las llamamos técnicas, métodos, teorías, modelos, etc. El software de ordenadores entra más en esta categoría que en la primera.

Finalmente, ambas categorías pueden combinarse, y de hecho es lo que sucede mayormente en la práctica actual, en la que los instrumentos, cada día más sofisticados, están controlados por ordenador, cuyo software a su vez es manipulado por el usuario por medio de una interfaz (en su acepción informática) conveniente.

Veamos como ejemplo el caso de un biólogo estudiando una célula.

En una primera etapa, tenemos un proceso de modelación donde el objeto es la célula, el observador es el biólogo, y la interfaz, el conjunto formado por el sistema de visión del biólogo y el microscopio que está usando. Este instrumental material permite la elaboración de un modelo a partir de un objeto real. En este caso el modelo sería una "imagen" de la célula en el cerebro del investigador.

Pero no es esta imagen con la que trabaja nuestro biólogo. De una forma más o menos consciente, tiene lugar un segundo proceso de modelación: ahora el O es la imagen de la célula, el H sigue siendo el mismo, y el I son las técnicas de identificación de estructuras celulares, que usa para identificar la célula en términos de los elementos que la forman (membranas, citoplasma, ribosomas, etc.). La elaboración del modelo ha partido ahora de otro modelo: para ello hemos utilizado (ha utilizado el biólogo) una técnica. Insistiremos sobre este proceder.

3.2. Significación dinámica de H, I, O.

Aquí, nos vamos a ocupar de ilustrar al lector sobre algunas de las múltiples posibilidades interactivas, que no son sólo las que se evidencian a primera vista, estáticamente, sino las que pueden secuenciarse jugando a conveniencia con los términos de nuestra fórmula. Esta es la razón para utilizar el adjetivo "dinámico".

Hasta ahora hemos considerado únicamente objetos, interfaces y personas, "sin más adornos". Pero se puede ampliar el sentido del proceso de modelación descrito si consideramos que H , I y O pueden ser a su vez modelos (IO), o conjuntos de modelos, producidos por otro proceso previo de modelación ($H \times I \times O \rightarrow IO$). Podríamos estudiar desde este punto de vista la jerarquía de sistemas propuesta por Klir (ver Marcos Conceptuales): cada nuevo nivel epistemológico aparecería al considerar el sistema (IO) del nivel anterior como objeto (O), y aplicar sobre él un proceso de modelación.

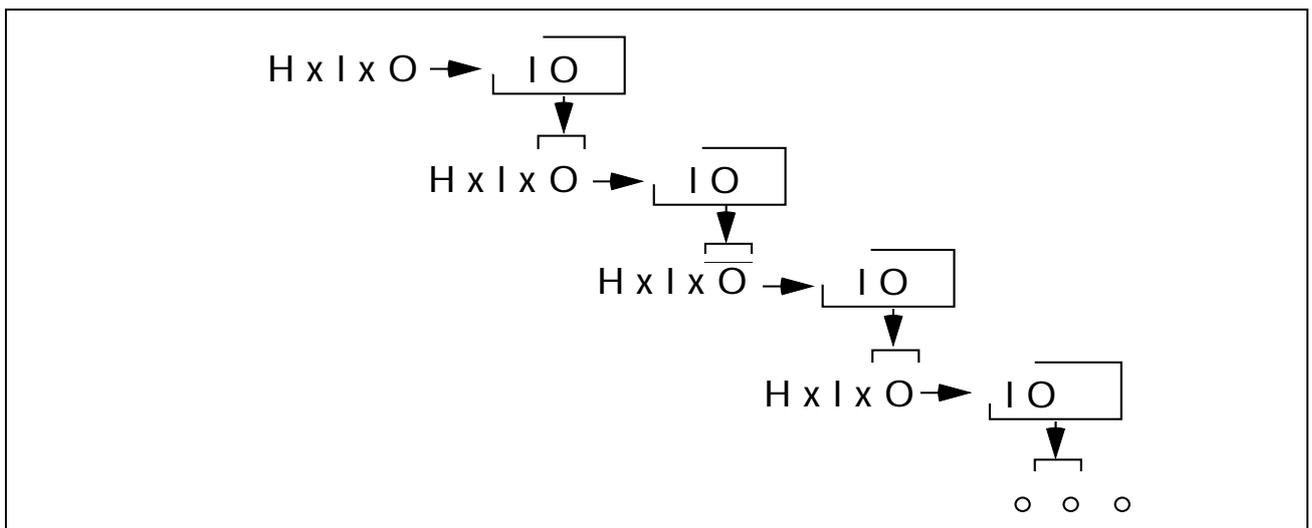


Fig. 2. Cadena de procesos de modelado (donde el O de cada uno es el IO del anterior).

De esta manera, O será, bien el resultado de una parcelación de la realidad, bien un IO o conjunto de IO s producidos en otros procesos previos. En este último caso, estaremos ante un "modelo de modelo", esto es, una mayor reducción de la complejidad respecto a la de la realidad con que tratamos. Es lo que ocurre, por ejemplo, cuando estudiamos un problema típico de mecánica: primero modelamos cada uno de los objetos y relaciones que intervienen en él (obtenemos así "puntos materiales", "fuerzas", etc.), y luego, tomando el conjunto de estos modelos como O (que sería el enunciado del problema), los relacionamos según nuestros conocimientos, y obtenemos el IO , que es el modelo del problema que utilizamos para resolverlo³.

³.- Otro ejemplo que puede ayudarnos es el del estudio de un sistema electrónico (como una CPU). Comenzamos por considerar los elementos reales (cables, resistencias, transistores, chips, placas de

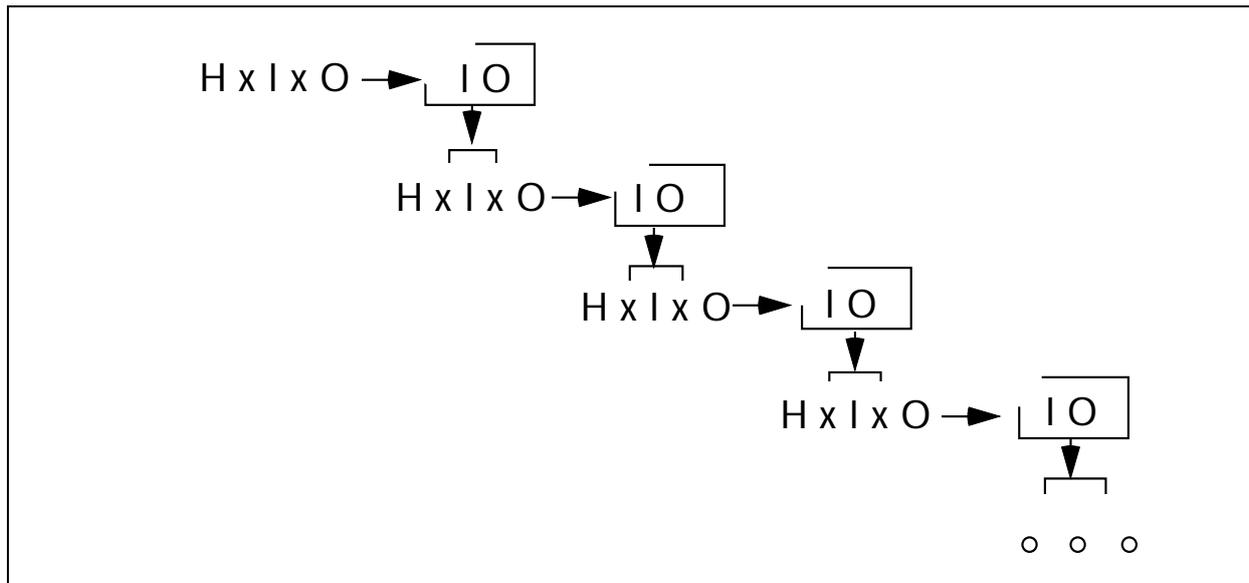


Fig. 3. Cadena de procesos de modelado (donde el I de cada uno es el IO del anterior).

De igual forma, podemos usar un *IO* como técnica para disminuir la complejidad de un objeto. En este caso, actuaría como interfaz en el proceso de modelado correspondiente. Podemos encontrar un ejemplo electrónico para esta posibilidad. Considerando como *O* un variado conjunto de circuitos electrónicos, y usando como *I* el método científico, puede deducirse la teoría de circuitos (*IO*). A través de un nuevo proceso de modelación podremos usar esta teoría como *I* aplicada ahora a un circuito concreto (el nuevo objeto), obteniendo como imagen del objeto su imagen circuitual.

La recursividad del proceso alcanza también al observador (*H*), que muy bien podría ser un modelo (*IO*) de un observador real. Esta situación es muy corriente. Cada vez que uno de nosotros utiliza un método de trabajo en una empresa, esta manejando un instrumento (*I*) que alguien, otro *H*, ha diseñado o elegido anteriormente pensando en un observador abstracto promedio al que nos asemejamos por conocimientos y características cognitivas.

Supongamos un caso habitual en la profesión de ingeniero: un proyecto de diseño y construcción de software. El equipo humano formado para tal cometido es un conjunto de *Hs* con un *H* responsable al frente, al que se llama jefe del proyecto. La tarea básica de este último, consistente en distribuir y coordinar el trabajo de los demás, se concreta en definir un conjunto adecuado de subesquemas $H(i) \times I(i) \times O(i)$, un subesquema para cada miembro o subconjunto de miembros del equipo, sean éstos diseñadores, analistas, programadores, documentalistas, técnicos de sistemas, etc. El jefe del proyecto se fabrica una imagen (*IO*) del software, la fragmenta en subimágenes ($IO(i)$) - subsistemas, etapas o lo que sea-, que entrega como objetos (*O*) a los distintos miembros del equipo, $H(i)$, junto con la definición de la técnica de trabajo (*I*) a utilizar por éstos -método de

circuitos,...) como objeto. Los analizamos mediante las herramientas que nos proporciona la teoría de circuitos y obtenemos una imagen del objeto: el esquema del circuito. En un nuevo proceso de modelado, ese esquema será el objeto. Otro observador (especializado en electrónica digital) analizará ese circuito y obtendrá a partir de él una nueva imagen del objeto: un diagrama de puertas lógicas, por ejemplo. Así se ha llegado a algo que podríamos llamar "la imagen de la imagen del objeto".

análisis, lenguaje de programación, instrumental informático, manual de procedimiento documental, controles de calidad, planificación-. De esta manera tan condensada, queda descrito el amplio espectro de tareas, saberes y experiencias que hipotéticamente habría de abarcar un jefe de proyecto de algo tan complejo como es un proyecto de software, tan amplio que incluso se extiende de manera predominante a la modelación de los seres humanos.

Con esta inmersión en las diversas posibilidades significativas del esquema U.F.M, ya podemos postular que lo que venimos llamando "proceso de modelación" es un marco suficientemente vasto como para que encaje en él cualquier forma de acceso a la realidad, y que supera el objetivo propuesto de manejar la complejidad.

4. Aplicación del U.F.M. al estudio de la complejidad.

A lo largo de estas notas nos hemos encontrado y nos encontraremos aún con diversos tipos y definiciones de complejidad, lo que crea una sensación enojosa de falta de coherencia, consistente en que cada cual maneja "su" noción de complejidad. Es evidente que carecemos de una teoría unificada al respecto, pero como aquí tratamos de construir una **arquitectura socio-técnica de las tecnologías de la información tomando como hilo conductor sus dimensiones de complejidad**, necesitábamos un concepto que acogiera y diera sentido diferenciado a todos los tipos de complejidad. Dicho concepto es el esquema H x I x O. En otras palabras, cualquier tipo o definición de complejidad se enmarcaría en un caso particular de valores de los términos de este esquema.

Sólo por dar un ejemplo, capítulos atrás (Conceptos relacionados con la complejidad) se establecía una distinción entre complicación y complejidad. La complicación de un algoritmo se medía por el número de instrucciones necesarias para describirlo en un lenguaje específico, mientras que la complejidad de ese mismo algoritmo podía medirse por el tiempo necesario para su ejecución en una determinada clase de máquina. Según nuestro enfoque, complicación y complejidad de un algoritmo son dos aspectos particulares de complejidad relativas a un mismo objeto, el algoritmo.

En el primer caso, sucede que un observador -caso particular de H- está interesado en un cierto tipo de dificultad con relación al algoritmo, el objeto O. Las herramientas de observación o de medida I que aquél aplica, movido por su interés y profesión, son un lenguaje de programación (máquina virtual específica) y alguna métrica específica, quizá técnicas derivadas de la ciencia del software, basadas en el número de operadores y operandos de Halstead (véase más adelante capítulo sobre Medidas de la complejidad del software). Resumiendo, la imagen IO que el programador obtiene es un conjunto de valores proporcionados por esa métrica concreta.

El segundo caso se suscita ante otro tipo de observador y de situación, muy frecuente en el campo del diseño de algoritmos y computadores paralelos, y cuyo interés se concentra en desplazar los límites físicos de la computación. El observador suele ser un avezado especialista que, aplicando sobre el algoritmo ciertas técnicas matemáticas estimativas del volumen de operaciones elementales necesarias, proyecta una imagen del algoritmo resumida en una expresión formal (en casos sencillos, función del tamaño de los datos de entrada al algoritmo).

Como se ha podido ver, un mismo objeto provoca dos situaciones bien distintas. Detrás de una de ellas puede haber motivaciones relativas a la dificultad de programación y toda su secuela de problemas de coste del software a lo largo de su ciclo de vida. Detrás de la otra, se esconde el deseo de computar cada vez más deprisa y más. Sin embargo, ambas son interpretables por el mismo esquema utilizado sistemáticamente.

4.1. Situaciones de complejidad y sus factores componentes.

En cada situación emerge o puede emerger una circunstancia genuina generadora de complejidad, con objetos, observadores e instrumental específicos. Vamos a llamarla, para entendernos, situación de complejidad.

Tal noción eliminaría parte del confusionismo reinante, del que, como muestra ilustre -por su autor- citamos el libro de H.R. Pagels, referenciado en la Presentación de estas Notas y profusamente extractado en el capítulo sobre **Textos**. Ahora nos referiremos a su capítulo tercero, titulado Orden, Complejidad, y Caos. Pagels empieza preguntándose ¿qué es complejidad?, para declarar inmediatamente después la necesidad de ir hacia una definición fuerte, hacia una medida cuantitativa, "que pueda ser asignada a un sistema físico o a una computación, y que se sitúe entre la medida del orden simple y del caos completo".

Examina varios conceptos (tipos, decíamos antes) de complejidad: complejidad algorítmica, complejidad computacional, complejidad basada en la información, complejidad física y profundidad lógica. Sin embargo, no llega a ninguna conclusión. Cualquier lector de estas Notas podría ahora describir sin vacilar esos cinco conceptos como cinco situaciones concretas de complejidad, denotando sus valores H, I, O, e IO.

Con respecto al trabajo de identificación práctica de estos valores, daremos a continuación un bosquejo de algunos de los más corrientes.

intereses	objetivos/propósitos	implicaciones
actividades	funciones	efectos
factores cognoscitivos	factores perceptivos	factores ideológicos
modelos epistemológicos	conocimientos	estructura organizativa
...

Tabla 1: Componentes de H (observador Humano).

Con respecto a un objeto un observador puede tener diversos intereses, objetivos o propósitos. Pero también producen imágenes distintas de un objeto sus implicaciones o efectos sobre el observador (un sistema informático tiende a ser visto de forma bien diferente por el director de una agencia bancaria y por el empleado que se ve obligado a convertirse en operador), y las actividades y funciones que con respecto al objeto tienen que realizar los distintos observadores. De forma parecida actúan los factores cognoscitivos y otros factores muy profundamente arraigados en la persona individual, como pueden ser los factores ideológicos, si éstos tuvieran alguna relación con el ámbito de propiedades del objeto considerado. Un ejemplo puede ser la condición de marxista

militante frente al problema del diseño social. Pero no debe el lector concluir a partir de este ejemplo que los factores ideológicos se asocian necesariamente a planteamientos políticos, económicos o religiosos, sino que son asociables, y mucho, a los campos científico y técnico. En el campo técnico, el autor de estas Notas ha detectado y definido cinco subculturas informáticas (véanse referencias bibliográficas en la Presentación), que impregnan de forma muy diferenciada la actuación de sus respectivos "militantes" frente a un mismo "objeto" informático.

Muy especialmente influyen los factores perceptivos: la percepción es no sólo limitada ("si se abriesen las puertas de la percepción, cada cosa parecería al hombre como es: infinita", escribió William Blake), sino muy distinta de una persona a otra.

¿Quién puede dudar de que nuestros conocimientos filtran absolutamente la realidad que percibimos? Un ingeniero de telecomunicación, un empresario y un miembro del servicio de espionaje, puestos a redactar un informe sobre lo que "ven" en un sistema telefónico, diferirán bastante, y no exclusivamente por sus intereses y actividades peculiares. En cuanto a la diferenciación de imágenes generadas por el modelo epistemológico aplicado, recordemos el ejemplo, expuesto en el capítulo anterior, de las cinco formas matemáticas de describir la mano humana. De modo más general, los filósofos han acuñado el término de "Weltanschauung" para denominar al conjunto de factores culturales profundos que en un momento histórico determinado configuran la visión del mundo de una colectividad. La "Weltanschauung" es un modelo epistemológico diferenciador de colectividades, tanto en el tiempo como en el espacio. En la época de Newton el universo estaba gobernado por una sola fuerza, la gravitatoria, mientras que hoy es comúnmente aceptada entre los físicos la existencia de cuatro fuerzas: la gravitatoria, la electromagnética, la débil y la fuerte.

Podrían considerarse otros muchos factores, aunque sería inadecuado extenderse más en estas Notas, y, además, hay que dejarle al lector la iniciativa de intentarlo por su cuenta. Le sugerimos que anote que, de una u otra forma, todos ellos podrán ser clasificados aproximadamente en **dos grupos**: el de relaciones del observador con el objeto o el grupo de sus posibilidades discriminatorias **personales**.

Lo que sí interesa resaltar, antes de acabar con el término H, es que éste, aparte de poder ser un objeto artificial (caso cuyo tratamiento estamos ignorando), también puede ser un grupo de personas, unido por una estructura organizativa. Este caso es muy interesante, ya que, siendo aplicable a entidades tales como un grupo de trabajo, el conjunto de una empresa o un colectivo ciudadano, su impacto en la observación de un mismo objeto se desglosa en una multiplicidad de imágenes: una fuente muy habitual de complejidad (y de dificultades).

instrumental	interfaz	método
sistema de representación	norma operativa	teoría
ideología	modelo	cultura empresarial
...

Tabla 2: Componentes de I (Interfaz).

Asimismo, el término I puede representar una variedad de valores, de los que en el cuadro adjunto explicitamos algunos a título de ejemplos. Haremos muy pocos comentarios.

De forma habitual, y por razones de oficio, de afición u otros, el factor I va asociado al H concreto. Pero en todo caso involucra **componentes** que le son **externos** o relativamente externos, en el sentido de que no están integrados profundamente en su personalidad y quehacer, y por tanto tienen posibilidad de ser alterados, es decir, cambiados, complementados, elegidos o adecuados. Esta es una frontera un tanto difusa entre los términos H e I, sobre la que es preciso que el lector reflexione, para que pueda distinguir qué ideologías, modelos o teorías son clasificables a un lado u otro de la misma.

El modelo HxIxO entra en la categoría I. Más exactamente, es un instrumento epistemológico muy general con el que un observador H_1 observa un objeto constituido por otro(s) observador(es) H_2 observando mediante un I_2 a un objeto O_2 . Y recuérdese que "observar" es el nombre que empleamos genéricamente para observar, diseñar, construir, usar, etcétera. Hemos visto un buen ejemplo de este mecanismo recurrente de observación de segundo orden cuando describíamos el trabajo del jefe de un proyecto de software, pero ahora, después de desvelar estos cuadros de componentes, el lector tiene más posibilidades de concretar nuestra mención de entonces al "amplio espectro de tareas, saberes y experiencias" convenientes para realizar ese trabajo.

Como extensión de lo que se dijo en apartados anteriores dedicados a I, introduciremos ahora una consideración acerca de la significación amplia que estamos queriendo atribuir a epígrafes como el de "sistema de representación". Con él designamos tanto un nivel descriptivo de computadores, como un lenguaje de programación, una formulación matemática o un sistema de proyección geométrica, pero también una campaña de propaganda, una conferencia académica o una clase magistral en la universidad. Todas estas instancias filtran la realidad, de la que capturan una imagen más o menos conveniente, interesante o útil, según los puntos de vista. Si repasamos el ejemplo en el que tomábamos en cuenta la posibilidad de que H sea un colectivo, la actividad de definir, construir y difundir un determinado conjunto de ideas e informaciones, tomada como un sistema de representación, puede jugar un papel consistente en reducir la multiplicidad de imágenes en el colectivo, y por tanto la complejidad de manejo de su estructura organizativa.

El pedazo de realidad al que hemos llamado **O** se proyecta por la interacción con **H** e **I** en apariencias muy diversas, de las que en el cuadro adjunto recogemos algunas muestras.

ente	proceso	actividad
área de conocimiento	área de actividad	SISTEMA
relación	conjunto	concepto
imagen gráfica

Tabla 3: Formas de IO (Imagen del Objeto).

Así, cuando miramos un objeto con el enfoque sistémico la imagen que de él producimos es un sistema.

La imagen gráfica es un ejemplo trivial de imagen de un objeto real, pero también puede ser un caso especial cuando se trata de la generación de formas computadas. Ahí, el objeto (O) es un conjunto de números e I es el algoritmo y el grupo de técnicas que los organizan, les dan significado y los proyectan de alguna forma gráfica (IO) sobre una pantalla o un papel.

4.2. Construcción de marcos específicos

Hemos hablado de la frontera difusa entre H e I. Otra cuestión a subrayar es que, además, H e I son siempre **elementos multidimensionales** o multivaluados, lo que quiere decir que cualquier situación viene caracterizada no por uno sino por varios (a veces, muchos) valores a la vez de los componentes reflejados en los cuadros anteriores.

Con frecuencia, dichos **componentes** pueden ser también **interdependientes**, como muestra la siguiente observación de D. Bohn y D. Peat en su libro "Ciencia, orden y creatividad". Los experimentos demuestran que el flujo de información procedente de niveles más elevados del cerebro a las áreas de construcción de imágenes visuales supera la cantidad de información que llega de los ojos. Dicho en otra forma, lo que "vemos" es tanto producto de un conocimiento previo como de la acción fisiológica específica. "Así pues, la percepción sensitiva se halla fuertemente determinada por la disposición global de la mente y del cuerpo. Pero, a su vez, esta disposición se relaciona de manera significativa con la totalidad de la cultura y de la estructura social".

Generalmente, todo eso es lo que hace compleja a una situación, y, precisamente, en seleccionar una o pocas dimensiones adecuadas para obtener una IO razonable es en lo que consiste mayormente la operación de simplificación (releer ahora capítulo sobre Simplificación), lo mismo que la complejificación planificada podría consistir en introducir dimensiones o valores no considerados inicialmente o en afinar el aparato de observación ampliando el ancho de banda.

Fijando, eligiendo o desechando valores de los términos H, I y O es también como se construyen los marcos de estudio o de acción sobre los objetos. El único problema es que estas operaciones no se suelen explicitar.

Así, por ejemplo, S. Beer, un H concreto, cuyas características personales no tienen por qué conocer sus lectores, en su libro "Designing Freedom" considera ciertos objetos llamados instituciones sociales, a los que ve como sistemas, puesto que él es un destacado sistemista. Aplicando este enfoque, los caracteriza de una manera típica como sistemas inestables, incapaces de dar servicio al ciudadano. Una vez explicado este diagnóstico como si fuera una verdad absoluta, y no una "situación", diseña otra situación en la que él ya no interviene, sino que lo harán unos Hs abstractos (los componentes humanos que controlarán dichas instituciones), desprovistos de cualquier otra dimensión, quienes, aplicando un instrumental I, formado por las nuevas tecnologías de la información y por la herramienta intelectual cibernética, conducirán a la institución (es decir, a su imagen, el sistema), primero a la estabilidad, luego a la libertad y después a la eficacia: o sea, a convertirse en un nuevo sistema, dado que ahora la institución incorpora tecnología y se ha reorganizado.

Estudiando el mismo asunto -las instituciones sociales y su mal funcionamiento-, Illich, un crítico social, en su libro "La convivencialidad" llega a imágenes diferentes, que nada tienen qué ver con la estabilidad, y sí en cambio con la opresión del ciudadano por parte de esas instituciones. La tecnología (más exactamente el exceso de tecnología), pero en particular la tecnología derivada de la cibernética, permitirá a los mismos Hs de Beer dominar ("esclavizar") mejor al personal. Es decir, en la visión de Illich H es la "nomenklatura" de la institución o el especialista, la tecnología cibernética es I, y O es el ciudadano de a pie. Como puede deducir fácilmente el lector, tanto Illich como Beer, además de partir de objetivos diferentes -en uno es la crítica social, en el otro la propuesta de soluciones activas- aplican en sus observaciones una ideología distinta. Podemos sostener, sin temor a errar, que en el caso concreto de Beer el enfoque de sistemas ha pasado de ser un instrumento I externo a convertirse en un factor ideológico personal.

Otro marco específico que podemos comentar un momento a la luz del U.F.M. es nuestro modelo de complejidad de tres niveles (véase capítulo de Marcos conceptuales y anexos), que venimos aplicando fructíferamente a la informática y a la ofimática.

Todo el modelo es un I diseñado inicialmente para dar a los técnicos de la información de alta cualificación (el H implícito) una visión sociotécnica de un objeto constituido por la tecnología junto con su proceso de implantación en las instituciones sociales. Sus tres niveles se corresponden con tres esquemas típicos de complejidad que el modelo pretende abarcar en una visión integral. En el primero, el objeto es un elemento tecnológico (convencionalmente) aislado, como puede ser un ordenador o un programa, y su observador es un especialista, que utiliza sus técnicas propias. Ahí emerge una complejidad especializada, como por ejemplo la complejidad computacional.

El segundo nivel considera un objeto formado por elementos del anterior interrelacionados, situación que es la propia a manejar por un jefe de proyecto o un director de sistemas. Con el tercer nivel se configura una triplete H, I, O que dibuja situaciones de complejidad plenamente sociotécnica, situadas bajo la responsabilidad de un director de informática o del director de la institución, que observa (diseña, construye, etc) con ciertas herramientas -tal vez con la ayuda de metodologías blandas como la Soft Systems Methodology de Checkland- un objeto formado por la interacción propositiva de un sistema tecnológico y de un sistema social.

Por su alto grado de abstracción y su sencillez conceptual, el modelo de los tres niveles es también un instrumento adecuado para directivos no profesionales de la tecnología, además de para tecnólogos, quienes, como se ha dicho, son sus destinatarios principales.

Muchos otros marcos se han creado a los que ahora podemos "observar" con nuestro esquema H x I x O. Pueden ser tanto instrumentos físicos como cognitivos. Citemos, por su actualidad, toda la tecnología CSCW (Computer Supported Cooperative Work), cuyos productos son a fin de cuentas herramientas para manejar la complejidad de interacciones en un grupo humano. De hecho, algún producto muy concreto es una interfaz que la técnica proporciona a los ejecutivos para que éstos "vean" el objeto ordenador como el potente soporte de una red de conversaciones.

Los entornos de interfaz WYSIWYG (What You See Is What You Get) y en general toda la tecnología derivada del campo ahora conocido como C.H.I. (Computer Human Interaction), las técnicas relacionales para bases de datos, los sistemas expertos y otros muchos desarrollos,

enfoques o teorías pueden considerarse útilmente, por lo menos en un plano conceptual, desde una perspectiva **U.F.M.** También sería útil como ejercicio que el lector relejera los capítulos anteriores intentando consolidarlos bajo esta perspectiva, aunque pueda resultar especialmente difícil en el caso de los textos, tan densos, del capítulo anterior.

A diferencia de los capítulos previos, en los que siguen, dedicados expresamente a algunos aspectos de las tecnologías de la información, haremos casi siempre explícita una breve interpretación dentro del marco U.F.M.

5. Resumen.

Hemos expuesto un modelo de modelos -un marco para la construcción de modelos-, de aplicación universal, al que hemos denominado U.F.M.

Se expresa por la fórmula $H \times I \times O = IO$, cuyos términos hemos analizado aisladamente, interactivamente y recursivamente. Para tratar de hacerla comprensible y usable se han detallado algunos posibles componentes, valores o dimensiones de los términos de esta fórmula, y comentado diversos casos prácticos.

Esta fórmula es un programa epistemológico que puede guiar la acción de conocer la realidad (el objeto), pero también es un marco para la acción sobre ella, función ésta genuinamente específica de la ingeniería. Por tanto, es una guía para determinar las causas, condiciones y efectos de la complejidad, y, consiguientemente, sus tipos.

En este último sentido, hemos podido comprobar que la fórmula introduce muy directamente una clarificación en el tratamiento de la complejidad, al que hoy por hoy es imposible encauzar según una teoría unificada o algo parecido. Desafortunadamente, los autores que desarrollan teorías, métodos y técnicas o los diseñadores que usan algún procedimiento no suelen desvelar nítidamente ninguno de los términos de su esquema, con lo que siembran confusión, dejando en una nebulosa los límites de validez de su trabajo o de sus propuestas.

Por último, merece subrayarse la especial relevancia que para el estudio de la complejidad en su relación con la tecnología tiene para nosotros -**por su carácter de magnitud controlable**- el término **I**, tanto si se trata de herramientas físicas como de herramientas cognitivas.