

Textos sobre Complejidad.

Introducción.

El conocimiento, oculto detrás de la complejidad.

Subjetividad en la complejidad.

Aspectos de la complejidad.

La sobrespecialización, causa y efecto de la complejidad.

Necesidad de un nuevo discurso del método.

Los sistemas, un instrumento.

Los modelos y las jerarquías.

"Filosofía" e Ingeniería.

Tecnología versus Complejidad.

El ordenador, instrumento para manejar complejidad.

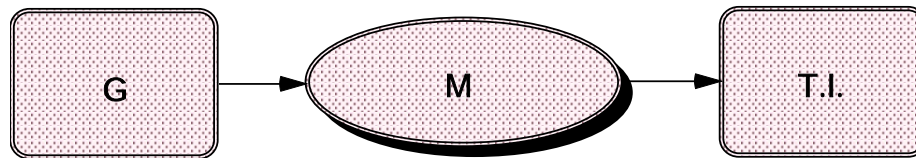
Ingeniería, complejidad y economía de medios. El caso del software.

Bibliografía.

En las páginas anteriores se ha desarrollado un conjunto de conceptos, teorías, métodos e ideas sobre la complejidad a un nivel desprovisto de formalizaciones elevadas. Por el contrario, se ha procurado más bien acentuar su tratamiento intuitivo.

Ahora entraremos en el planteamiento de un modelo muy general que recoja las esencias de una aproximación global al problema de la comprensión de "situaciones" complejas. Como preámbulo, en este capítulo seleccionaremos un conjunto de textos sobre complejidad y nociones conexas, que plantean, entre muy diversas cuestiones interesantes, una perspectiva de la vastedad de aspectos de la complejidad.

Estos textos, aparte de servir como pie al capítulo siguiente y principal, deberían suscitar en el lector una reflexión sobre diferentes cuestiones presentadas en anteriores capítulos.



1. Introducción.

Este capítulo se compone de un ramillete de textos extraídos de la bibliografía sobre ciencia, filosofía, tecnologías de la información e informática, que por sí solos muestran la importancia y la riqueza (complejidad) de este asunto de la complejidad. Prácticamente, cada cita textual expresa una tesis, o casi.

2. El conocimiento, oculto detrás de la complejidad.

Famosos pensadores, desde Pascal hasta Whitehead, pasando por Valery, Bachelard y otros muchos, nos dicen que el conocimiento sólo es posible dentro de la complejidad, y que para conseguirlo el método cartesiano ya no es suficiente, como no lo es tampoco un método exclusivamente globalista. Tal vez sea Edgar Morin el autor que mejor haya expresado modernamente el pensamiento de la complejidad a través de su enciclopedia y todavía inacabada síntesis en varios volúmenes, genéricamente titulada *La Méthode*.

Lo cierto es que la preocupación por la complejidad empieza a salir fuera de estos círculos reflexivos minoritarios. Pueden citarse varios ejemplos.

A mediados de los ochenta, el Club de Roma situó la complejidad del mundo como la principal causa para construir un tipo de enseñanza que promueva el aprendizaje innovador.

Otra manifestación indicativa es que la Association for Computing Machinery, una de las dos asociaciones profesionales de Informática más importantes, que organiza al cabo del año varias decenas de congresos muy especializados, inicia a finales de 1990 una serie de conferencias anuales sobre temas críticos en la informática: el primero ha versado sobre "Managing Complexity".

Y ya, para acabar, es pertinente saludar la aparición de libros, tal como uno recientemente publicado y escrito por un científico prestigioso, H.R. Pagels, que extienden a un público más amplio algo de ese pensamiento representado por Morin y por varios de los autores recogidos en este capítulo. Para nosotros es significativo el subtítulo del referido libro de Pagels, "The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity", porque conjuga los dos pilares que nos interesan aquí: la tecnología y la complejidad.

No existe lo simple, sólo lo simplificado (**Bachelard**).

Lo simple no es más que un momento arbitrario de abstracción, un medio de manipulación arrancado a las complejidades (**Morin**).

El nuevo reino del conocimiento es, aquí, el de la complejidad (**Morin**).

Todo lo que es simple, es falso; todo lo que es complicado, es inutilizable (**Valery**).

El estudio de la complejidad organizada es el problema clave de todas las ramas de la ciencia moderna (**Gravitz**).

Toda realidad es unidad compleja (**Whitehead**).

Siendo todas las cosas causadas y causantes, ayudadas y ayudantes, mediatas e inmediatas, y relacionándose todas por un lazo natural e insensible que liga las más alejadas y las más diferentes, tengo por imposible conocer las partes sin conocer el todo, tanto como conocer el todo sin conocer particularmente las partes (**Pascal**).

Reduccionista u "holística" (globalista), la explicación, en uno y otro caso, busca simplificar el problema de la unidad compleja. Una reduce la explicación del todo a las propiedades de las partes concebidas aisladamente. La otra reduce las propiedades de las partes a las propiedades del todo, igualmente concebido como algo aislado (**Morin**).

La gran frontera inexplorada es la complejidad (...) Estoy convencido de que las naciones y personas que dominen las nuevas ciencias de la complejidad se convertirán en las superpotencias económicas, culturales y políticas del próximo siglo (**Pagels**).

Nuestros instrumentos nos han mostrado el mundo visible e invisible del mundo de la materia -átomos, moléculas, protones, y células; Sabemos lo que hay ahí. Lo que no sabemos es cómo está organizado, en detalle: un problema de complejidad. Si los tres primeros siglos de la ciencia moderna han extendido el sensorio humano, aprendido las propiedades de la materia y la vida, los tres próximos verán la emergencia de la complejidad (**Pagels**).

El informe al Club de Roma "Aprender, horizonte sin límites" define el aprendizaje innovador como el instrumento para salvar la distancia que media entre la creciente complejidad del mundo y nuestra capacidad para hacerle frente (**Club de Roma**).

2.1. Subjetividad en la complejidad.

La naturaleza poliédrica -aunque por su carácter geométrico de estructura ordenada ni siquiera la voz 'poliédrica' termine de ser la expresión adecuada- del concepto de complejidad hace realmente poco factible una clasificación adecuada de los textos seleccionados, que, por lo demás, expresan con frecuencia lógicas diferentes. No obstante, necesidades prácticas nos han llevado a agruparlos en apartados y titularlos de una manera aproximada, eligiendo en cada caso el criterio que nos ha parecido más significativo.

Este apartado recoge varias citas en las que queda muy patente el condicionamiento sobre la complejidad por parte del observador, del sujeto que define o utiliza un objeto o su conocimiento de él. Sus percepciones, sus métodos, sus instrumentos, sus construcciones mentales, el lenguaje empleado, su cultura, su visión del mundo (Weltanschauung), su voluntad, su interés o el punto de vista elegido se confabulan para producir, no la realidad, sino un fragmento de ella, una imagen, más o menos conveniente o abarcable, de la realidad. Esto es, la complejidad no es una propiedad absolutamente objetivable.

El método no puede separarse de su objeto (**Heisenberg**).

Cuenta Needham la ironía con la cual los letrados chinos acogieron, en el siglo XVIII, el anuncio por los jesuitas de los triunfos de la ciencia moderna; la idea de que la naturaleza podía estar sometida a leyes simples y conocibles constituía para los mandarines un ejemplo de ingenuidad antropomórfica (**Prigogine, Stengers**).

Hay que saber que la información no existe. No es más que un desvío teórico para comprender lo real (**Attali**).

La percepción de los sentidos está regida por mecanismos que hacen nuestro conocimiento del mundo exterior altamente inferencial. No recibimos impresiones que sean elementales. Nuestras impresiones sensoriales están ellas mismas construidas por el sistema nervioso, de tal modo que, automáticamente, llevan consigo una interpretación de lo que ven, oyen o sienten (**Bronowsky**).

El ser vivo es en parte una fábrica química, en parte una máquina calculadora, en parte un alma pensante... Estas representaciones se complementan, pero ninguna agota el asunto (**Brillouin**).

Los hechos son mudos: sin una preconcepción no se puede saber cuáles son datos relevantes al propósito investigador y cuáles no lo son; cada instrumento de observación lleva implícitas unas hipótesis sobre la naturaleza de la realidad investigada (...) De ello se desprende que la objetividad científica absoluta es teóricamente imposible; toda teoría o programa de investigación lleva en su raíz una decisión subjetiva, que favorece ciertos aspectos e ignora otros (**Racionero**).

Cuan compleja o simple sea una estructura depende críticamente de la forma en que la describamos (**Simon**).

La definición de un objeto se hace por triangulación: pondera una definición funcional (lo que hace el objeto), una definición ontológica (lo que el objeto es) y una definición genética (lo que el objeto deviene) (**Le Moigne**).

¿Quién soy yo? Puedo concebirme como un sistema físico de miles de billones de átomos; un sistema biológico de treinta mil millones de células; un sistema orgánico de centenas de órganos; un elemento de mi sistema familiar, o urbano, o profesional, o social, o nacional, o étnico...(**Morin**).

¿Qué es más simple, un círculo o un polígono? Depende de cómo se mire. Desde un punto de vista orientado a los números, un polígono es simple y un círculo es complejo: un polígono se obtiene por el fácil método de enlazar juntos un cierto número de segmentos lineales iguales, mientras que un círculo emerge sólo como un límite ideal -un polígono con un número infinito de lados infinitesimales. Desde un punto de vista orientado al espacio, podemos usar ecuaciones algebraicas para hablar de curvas espaciales y nos encontramos con que el círculo tiene una fórmula muy simple, mientras que un polígono tiene una clase de fórmula mucho más compleja, con muchos términos, uno para definir cada uno de los lados del polígono (**Rucker**).

En ciertos momentos, bajo ciertos ángulos, la parte puede ser más rica que la totalidad (**Morin**).

Hay siempre en la extracción, delimitación, definición de un sistema algo incierto o arbitrario: hay siempre decisión y opción, lo que introduce en el concepto de sistema la categoría del sujeto. El sujeto interviene en la definición del sistema en y por sus intereses, sus selecciones y metas, es decir, que él aporta al concepto de sistema, a través de su sobredeterminación subjetiva, la sobredeterminación cultural, social y antropológica (**Morin**).

Al cambiar lo que conoce del mundo, el hombre cambia el mundo que él conoce; al cambiar el mundo en el que vive, el hombre se cambia a sí mismo (**Dobshzhansky**).

La tragedia de la complejidad se sitúa a dos niveles, el del objeto del conocimiento y el de la obra de conocimiento. Al nivel del objeto, estamos situados incesantemente ante la alternativa, por un lado, del cierre del objeto del conocimiento, que mutila sus solidaridades con los otros objetos así como con su propio entorno (y que excluye de golpe los problemas globales y fundamentales) y, por otro lado, de la disolución de las fronteras y contornos que anega todo objeto y nos condena a la superficialidad. Al nivel de la obra, el pensamiento complejo reconoce a la vez la imposibilidad y la necesidad de una totalización, de una unificación, de una síntesis. Por tanto, debe afrontar trágicamente la totalización, la unificación, la síntesis, luchando al tiempo contra la pretensión a esa totalidad, a esa unidad, a esa síntesis, en la conciencia plena e irremediable del inacabamiento de todo conocimiento, de todo pensamiento y de toda obra (**Morin**).

Preguntas como ¿qué es más complejo, un círculo o un polígono, una rosa o tal teorema matemático? carecen de sentido. En un objeto cualquiera podemos ver mil objetos distintos, como de manera muy didáctica expresa el ejemplo de las cinco formas matemáticas de modelar la mano humana, tomado de un delicioso libro de Rucker. En su extremo, como muy bien dice Morin, la complejidad nos plantea el problema trágico de los límites del conocimiento y de la acción.

Tomemos un objeto específico y mostremos cómo puede ser pensado, en tanto que patrón matemático, en cinco formas diferentes. Usemos para ello la mano derecha.

1. **La mano, como número.** En el nivel más superficial, una mano es un ejemplo del número 5. Fijándose en los detalles, uno advierte que la mano tiene un cierto número de pelos y de surcos. Los dedos tienen longitudes numéricas específicas que pueden medirse en milímetros. Puede calcularse el área de cada una de las uñas, así como su masa. Mediciones internas de la mano pueden producir muchos más números: temperaturas, tasas de flujo sanguíneo, conductividad eléctrica, salinidad, etc. La mano codifica un buen montón de números.

2. **La mano, como espacio.** La mano es un objeto en un espacio tridimensional. No tiene agujeros y está conectada a nuestro cuerpo. La superficie curvada bidimensional de la piel es convexa en algunas regiones y cóncava en otras. Los vasos sanguíneos forman una ramificación unidimensional. La huella de su pulgar es aproximadamente elipsoidea y sus dedos parecen conos truncados. Las uñas son paraboloides aplanados y sus células epiteliales son cilíndricas. La mano es un muestrario de formas espaciales.

3. **La mano, como lógica.** Los músculos, huesos y tendones de la mano constituyen una clase de máquina, y las máquinas son especiales suertes de patrones lógicos. Si se tira de este tendón por aquí, se mueve aquel hueso de ahí. Aparte la cuestión mecánica, la mano posee varias pautas de comportamiento que se conjuntan en una forma lógica. Si nuestra mano toca el fuego, se retira bruscamente. Si toca un conejito, lo acaricia. Si aprieta, sus nudillos se vuelven blancos. Si andan en el lodo, sus dedos ennegrecen. Nuestro conocimiento lógico de la mano podría llenar un pesado manual.

4. **La mano, como infinitud.** Hablando en abstracto, la mano contiene infinitos puntos espaciales. A título práctico, escalas progresivamente más pequeñas revelan más y más estructura. Mirada de cerca, la superficie de la piel es un patrón complejo y sin fin del tipo conocido como "fractal". Lo que conocemos de nuestra mano se relaciona con lo que conocemos acerca de una red de otros conceptos -es difícil despegar nuestra mano del mar infinito de todo el conocimiento. Otra clase de infinitud proviene del hecho de que nuestra mano es parte de nosotros, y la esencia viva de una persona está fuertemente relacionada con las infinitudes paradójicas de la teoría de conjuntos (la versión de los matemáticos de la teología).

5. **La mano, como información.** La mano está diseñada de acuerdo con ciertas instrucciones codificadas en nuestro ADN. La longitud de estas instrucciones da una medida de la cantidad de información en nuestra mano. En el curso de la vida nuestra mano se ha visto sometida a diversas influencias que han dejado cicatrices, pecas, etc. Podríamos desear incluir estas influencias en nuestra medida de la información sobre la mano. Una manera de hacerlo consistiría en asociar el contenido de información sobre la mano con el número de preguntas a las que habría que contestar para poder construir una réplica de esa mano. Otra manera sería estimar la longitud del programa de ordenador más corto que fuera capaz de responder a toda pregunta relacionada con esa mano (**Rucker**).

2.2. Aspectos de la complejidad.

Las citas que hemos seleccionado en este apartado son una breve muestra de los múltiples aspectos que surgen en el estudio o en la gestión de la complejidad.

Destacan cuestiones como su relación con el indeterminismo, el desorden, la imprecisión y hasta el azar. El humorista Perich, a la pregunta de ¿qué es el azar? respondía: “el motivo de que las cosas nos salgan mal, no como cuando nos salen bien que se debe a nuestro talento”. Más poético, pero no por eso más penetrante, resulta Borges, cuando dice: el azar, tal es el nombre que nuestra inevitable ignorancia da al tejido infinito e incalculable de causas y efectos.

Bromas aparte, es evidente que a esa concepción de la complejidad se añade otra, bien distinta y tan importante como la primera, que la considera como una máscara (un código desconocido) de la simplicidad o al menos del orden.

A veces, ni siquiera hay desorden sino que, al revés, el objeto se nos puede aparecer como una muy ordenada pero intrincada maraña formada por patrones muy elementales, como sucede con los dibujos islámicos, tanto florales (tauriq) como geométricos (tastir), cuya significación y reglas de estructuración pertenecían al orden secreto de lo religioso. Los modernos mosaicos de Penrose, los dibujos y grabados de Escher, las formas de Ostwald y los fractales de Mandelbrot son diversas demostraciones en los dominios de la matemática, la física y la plástica de estructuras complejas generadas a partir de formas extremadamente simples. Dichas demostraciones sugieren un modelo de complejidad, pero de ninguna manera agotan su contenido.

Podemos conocer más de lo que nos es posible decir, y, por eso mismo, una rigurosa lucidez que pretenda precisar todos los detalles puede impedir la comprensión de temas complejos: al analizar los componentes vagamente conocidos, destruimos el conjunto que forman y perdemos el conocimiento del conjunto (**Racionero**).

Nos encontramos en un mundo azaroso, un mundo en el cual la reversibilidad y el determinismo son solamente aplicables a situaciones límites y casos simples, siendo al contrario la regla la irreversibilidad y la indeterminación. (...) Queremos mostrar que la irreversibilidad surge cuando los conceptos básicos de las Físicas clásica y cuántica, como trayectorias y funciones de onda, corresponden a idealizaciones excesivas. No es que las leyes fundamentales de las físicas clásica y cuántica sean falsas, sino que representan en algunos casos una simplificación desmedida, inaccesible a cualquier experimento concebible (**Prigogine, Stengers**).

La complejidad es un desorden aparente, en el que hay razones para suponer un orden oculto. La complejidad es un orden cuyo código no se conoce (**Atlan**).

Ninguna cosa o ser organizado puede escapar a la degradación, la desorganización, la dispersión (**Morin**).

No hay organización sin anti-organización. La anti-organización es a la vez necesaria y antagonista a la organización. Para la organización fija, la anti-organización es virtual, latente. Para la organización activa, la anti-organización deviene activa (**Morin**).

El crecimiento de complejidad y el crecimiento de desórdenes están ligados (**Morin**).

A todo crecimiento de complejidad en la organización le corresponden nuevas potencialidades de desorganización (**Morin**).

Toda concepción ideal de una organización que no fuera más que orden, funcionalidad, armonía, coherencia es un sueño demente de ideólogo o de tecnócrata. La racionalidad que eliminase el desorden, la incertidumbre, el error no es otra cosa que la irracionalidad que eliminaría la vida (**Morin**).

Juntad lo que está completo y lo que no, lo que concuerda y lo que no, lo que está en armonía y lo que está en desacuerdo (**Heráclito**).

Es sorprendente, pero cierto, que la complejidad del mundo es una consecuencia de la combinación de unas seis docenas de átomos diferentes (**Pagels**).

La tarea central de la ciencia natural es mostrar que la complejidad, correctamente considerada, es sólo una máscara de la simplicidad; encontrar patrones escondidos en el aparente caos (**Simon**).

Sucede que para algunos sistemas complejos hay una simplicidad subyacente -sólo unas pocas variables son realmente importantes. Puede demostrarse que la interacción de unos pocos componentes de acuerdo con un conjunto de reglas produce fenómenos complejos. Quizá todos esos miles de variables son sólo superficiales, y en su base las cosas son muy simples. Pero hasta que esa simplicidad, si es que existe, sea puesta de manifiesto, tendremos que manejar directamente la complejidad. Afortunadamente, esto ya es posible, gracias al ordenador (**Pagels**).

El pensamiento complejo no enfoca la "totalidad", en el sentido en que este término sustituye una simplificación atomizante por una simplificación globalizante, en la que a la reducción a las partes sucede la reducción al todo. (...) El pensamiento complejo afronta, no lo elemental -donde todo se funde en la unidad simple y el pensamiento claro- sino lo radical, donde aparecen incertidumbre y antinomias (**Morin**).

(...) complejidad por superposición de simplicidades, una complejidad que sólo percibo en su globalidad, pero que estoy muy lejos de describir satisfactoriamente. Existen complejidades, es verdad, a cuya descripción debo renunciar (**Wagensberg**).

El problema de la definición precisa de la noción de complejidad como concepto científico fundamental (análogo a los de energía, entropía, etc) está todavía planteado (**Atlan**).

Por consiguiente, no existe ninguna droga que no tenga efectos secundarios. Y cuanto más prestigiosa sea la receta (antibióticos, cortisona, tranquilizantes, compuestos contra la hipertensión, relajadores musculares), mayor resulta el problema de los efectos secundarios adversos. Los medicamentos pueden alterar o modificar los equilibrios del torrente sanguíneo. Pueden hacer que la sangre coagule más o menos rápidamente. Pueden reducir el nivel de oxígeno de la sangre. Pueden estimular el sistema endocrino, aumentar el flujo de ácido hidrocólico

hacia el estómago, o acelerar o disminuir el paso de sangre a través del corazón, desequilibrar la producción de sangre del cuerpo reprimiendo la médula ósea, reducir o aumentar la presión sanguínea o afectar el intercambio entre sodio y potasio que juega un papel vital en el equilibrio químico del cuerpo (**Cousins**).

Con motivo de la concesión del Premio Nobel de Física de 1990 a unos investigadores que colaboraron destacadamente a la elaboración del modelo de los quarks, la Academia Sueca nos recordaba que éstas son las partículas más elementales conocidas. Toda la materia del universo, incluido el cuerpo humano, está formada en más de un 99% por quarks y gluones (partículas que unen los quarks) y el resto son electrones. Estas partículas no son formas muy simples, pero aunque lo fueran, tal circunstancia sólo nos adelanta un ápice para conocer la complejidad del hombre y del universo en la inmensa mayoría de las situaciones que nos interesan.

En líneas generales, es necesario aceptar que la complejidad tiene componentes de orden y de desorden, que imbrica la organización y la anti-organización, que implica armonía y desacuerdo, que genera efectos positivos y negativos: un ejemplo tomado de la fisiología lo pone bien de manifiesto. Cuando sólo se aprecia una vertiente, es porque la otra está latente, salvo que estemos hablando de construcciones teóricas o artificiales, como los citados arabescos.

El observador siempre está obligado a elegir entre los muchos aspectos de la complejidad de su objeto.

3. La sobrespecialización, causa y efecto de la complejidad.

La fragmentación del conocimiento en numerosas disciplinas es una consecuencia de los progresos de la ciencia y de la cultura, lo que ha dado origen a una frase célebre del poeta Eliot relativa al exceso de información y la pérdida del saber: "¿adónde se fue el saber que hemos perdido en el conocimiento, adónde el conocimiento que hemos perdido en la información?". El mismo sentido tiene esta otra, más escueta, de Daumel: "lo sé todo, pero no comprendo nada".

Es una evidencia que la multiplicación de especialidades tiene el efecto de facilitar la división del trabajo y la formación, pero produce una dificultad geoméricamente creciente en lo que atañe a afrontar la realidad compleja que nos circunda. Si la interdisciplinariedad es conveniente, aunque cada día más difícil de conseguir, ¿qué decir entonces de la multidisciplinariedad!.

Ante un exceso insostenible de especialización comienzan también a multiplicarse -aunque todavía en número relativamente modesto en el plano práctico- las voces que reclaman difundir una "ciencia de la complejidad". Desgraciadamente, la estructura oficial del conocimiento y del mundo laboral e industrial, arrastrados por una inercia de decenas y decenas de años se muestran muy cerrados a estos nuevos/viejos planteamientos.

El conocimiento aislado obtenido por un grupo de especialistas en un campo estrecho no tiene en sí mismo valor alguno de ninguna clase. Sólo tiene valor en el sistema teórico que lo une a todo el resto del conocimiento (**Schrödinger**).

En quince años el número de especialidades reconocidas por la Asociación Médica de los Estados Unidos ha aumentado a más del doble y en la actualidad (1975) comprende sesenta y siete campos. Dentro de cada campo se forma un feudo, en el que se reconocen enfermeras, técnicos, revistas, congresos y algunas veces grupos organizados de pacientes que pugnan por obtener más fondos públicos. El costo de coordinación del tratamiento del mismo paciente por varios especialistas crece exponencialmente con cada competencia que se agrega en el proceso, y lo mismo ocurre con el riesgo de que se cometan errores y la probabilidad de provocar lesiones a causa de la inesperada sinergia de diferentes terapéuticas (**Illich**).

La rarefacción de las comunicaciones entre ciencias naturales y ciencias humanas, la disciplinaria cerrada (apenas corregida por la insuficiente interdisciplinaria), el crecimiento exponencial de los saberes separados hacen que cada uno de nosotros, especialista o no, sea cada día más ignorante del saber existente (**Morin**).

La nueva ciencia de la complejidad, como el computador, atraviesa las fronteras disciplinarias. Algunos problemas en Biología, Física, Ingeniería eléctrica, Economía y Antropología se pueden tratar por medio de métodos similares, no por causa de solapamiento alguno en cuanto a la naturaleza de esos campos, sino porque las técnicas requeridas para resolverlos son similares. La futura organización de las ciencias, ejemplarizada por la forma en que los departamentos científicos son categorizados en las universidades, cambiará para reflejar esta nueva estructura interdisciplinaria de los problemas. Eso sucederá, o si no, emergerán nuevas instituciones que asumirán esta nueva arquitectura de las ciencias (...) De hecho, esto ya está ocurriendo en la medida en que se están estableciendo nuevos centros para el estudio de la complejidad dentro de algunas universidades o como institutos independientes (**Pagels**).

A medida que se vaya desarrollando nuestra comprensión de la complejidad, podrían encontrarse leyes de los sistemas complejos aplicables a una variedad de sistemas con independencia de la disciplina en la que estén localizados (**Pagels**).

De hecho, cabe esperar una resistencia considerable, porque la simplicidad es bastante más satisfactoria (más newtoniana) intelectualmente que la complejidad. Esta se toma habitualmente como una tara que hay que soportar, si no hay más remedio, pero que es preferible evitar cuando ello es posible. Y esta toma de postura no está ni mucho menos desprovista de razones, como demostró el famoso libro de Schumacher "Small is beautiful".

Como reflejo sarcástico de posiciones sociales muy generalizadas frente a la complejidad traemos a colación unos cuantos "aforismos" de un autor americano apellidado Gall que ha "sufrido" ciertas consecuencias de la complejidad de algunos sistemas creados por el hombre. ¿Fueron esos sistemas diseñados por conjuntos de gentes sobrespecializadas?.

Teoría avanzada de sistemas:

1. Todo es un sistema
2. Todo es parte de un sistema mayor.
3. El universo está infinitamente sistematizado, tanto en el sentido ascendente (sistemas mayores) como en el descendente (sistemas menores).
4. Todos los sistemas son infinitamente complejos (La ilusión de simplicidad se basa en focalizar la atención en una o en pocas variables).

Los programas de ordenador nunca funcionan a la primera. Los programas complejos nunca lo hacen.

Un sistema complejo puede fallar de un número infinito de formas.

Cuanto mayor es el sistema, más especializada y estrecha su interfaz con los individuos.

Los sistemas complejos tienden a producir respuestas complejas (no soluciones) a los problemas.

Nada complicado funciona. Los sistemas complicados raramente superan el 5% de eficiencia.

Los sistemas complejos tienden a oponerse a su propia específica función.

4. Necesidad de un nuevo discurso del método.

Es preciso reconocer que los sarcasmos anteriores ilustran un estado intelectual deficitario, una carencia de conocimientos o de métodos, probablemente un desarme frente a la evolución extremadamente rápida del mundo, de sus instituciones, de sus sistemas sociales y de su tecnología. Ciertamente, reflejan la manifestación de excesos incontrolados y de falta de prudencia (o de sabiduría, como dirían Eliot y Fourastié, entre otros muchos).

Microscopio, telescopio: estas palabras evocan los grandes avances científicos hacia lo infinitamente pequeño y hacia lo infinitamente grande. (...) Hoy nos enfrentamos a otro infinito: lo infinitamente complejo. Pero esta vez no poseemos instrumento alguno. (...) Ciertamente es que el ordenador es un instrumento indispensable. Sin embargo, no es más que un catalizador, no todavía esa herramienta que tanto necesitamos. (...) El macroscopio no es una herramienta como las demás. Es un instrumento simbólico, hecho de un conjunto de métodos y de técnicas tomadas de muy diferentes disciplinas. (...) El macroscopio filtra los detalles, amplifica lo que une, destaca lo que aproxima. No sirve para ver más grande o más lejos, sino para observar lo que a la vez es demasiado grande, demasiado lento y demasiado complejo a nuestros ojos (como la sociedad humana, ese organismo gigantesco que nos es totalmente invisible). Antaño, para tratar de penetrar los misterios de la complejidad buscábase las unidades más simples que permitían explicarla: la molécula, el átomo, las partículas elementales (**Rosnay**).

LOS CUATRO PRECEPTOS DEL NUEVO DISCURSO DEL METODO (Le Moigne)

El precepto de pertinencia: Convenir en que todo objeto que consideremos se define por relación a las intenciones implícitas o explícitas del modelador. Jamás prohibir poner en duda esta definición si, habiéndose modificado nuestras intenciones, se modifica la percepción que teníamos del objeto.

El precepto de globalismo: Considerar siempre el objeto a conocer por nuestra inteligencia como una parte inmersa y activa en el seno de un todo mayor. Percibirlo primero globalmente, en su relación funcional con su entorno sin preocuparse exageradamente de establecer una imagen fiel de su estructura interna, cuya existencia y unicidad jamás se darán por conseguidas.

El precepto teleológico: Interpretar el objeto no en sí mismo, sino por su comportamiento, sin buscar en explicar a priori su comportamiento por alguna ley implicada en una eventual estructura. Por el contrario, comprender este comportamiento y los recursos que moviliza por relación a los proyectos que, libremente, el modelador atribuye al objeto. Tener la identificación de estos hipotéticos proyectos por un acto racional de la inteligencia y convenir en que su demostración muy raramente será posible.

El precepto de agregatividad: Convenir en que toda representación es partidaria, no por olvido del modelador, sino deliberadamente. En consecuencia, buscar algunas fórmulas susceptibles de guiar la selección de agregados tenidos por pertinentes y excluir la objetividad ilusoria de un censo exhaustivo de los elementos a considerar.

La visión de la naturaleza ha sufrido un cambio radical hacia lo múltiple, lo evolutivo, lo complejo, una nueva situación que no tiene precedentes en la historia de la ciencia. (...) El interés de la ciencia se está trasladando desde lo simple a lo complejo. (...) ¿Cuáles son las hipótesis de la ciencia clásica de las cuales la ciencia actual se ha liberado? Fundamentalmente aquéllas que se centran alrededor de la convicción básica de que el mundo microscópico es simple y está gobernado por leyes matemáticas simples. Esto nos parece hoy día una idealización engañosa. Esta situación sería similar a la reducción de un edificio a un conglomerado de ladrillos; con los mismo ladrillos podríamos construir una factoría, un palacio o una catedral. Es al nivel del edificio en su conjunto donde vemos el efecto del tiempo y del estilo en el cual fue concebido el edificio (**Prigogine, Stengers**).

Ello no quita, sin embargo, para que la complejidad esté ahí, desafiándonos, exigiéndonos planteamientos y visiones diferentes, llámense macroscopios o nuevos discursos del método. Un problema es inventarlos o perfeccionarlos, y otro, no menor, y puede que incluso mucho mayor, cómo conjugarlos con el potente proceso de sobrespecialización hoy vigente.

4.1. Los sistemas, un instrumento.

El concepto de "sistema" genera uno de los principales enfoques para el estudio de la complejidad. De hecho, nació para eso, bajo la pretensión de unificar el estudio de las ciencias. A nuestro parecer, es uno de los más eficaces instrumentos "cognitivos", y, como es fácil de comprobar, muchos de los autores citados en los apartados anteriores han hecho uso de él.

Existen muchas definiciones de "sistema", casi todas equivalentes a las dos categorías representadas en la tabla adjunta por las citas de Ashby y de Morin.

Los objetos pueden representar una infinidad de sistemas igualmente plausibles, que difieren los unos de los otros por sus propiedades (**Ashby**).

Sistema: unidad global organizada de interrelaciones entre elementos, acciones o individuos (**Morin**).

La complejificación de la organización social es necesaria en el marco de las sociedades relacionales. Complejificación significa apertura de un gran número de nuevos canales de comunicación para multiplicar las interdependencias entre subsistemas (**Attali**).

Principio de emergencia: El todo es más que la suma de las partes. Principio de constricción: El todo es menos que la suma de las partes (**Morin**).

Tanto en ciencia como en ingeniería, el estudio de los "sistemas" es una actividad crecientemente popular. Esto es más una respuesta a la necesidad opresiva de sintetizar y analizar la complejidad que a cualquier gran desarrollo de un cuerpo de conocimiento y técnica para afrontar la complejidad (**Simon**).

De manera más general, puede concebirse la evolución de sistemas organizados, o el fenómeno de auto-organización, como un proceso de aumento de complejidad a la vez estructural y funcional resultante de una sucesión de desorganizaciones recuperadas seguidas cada vez de un restablecimiento a un nivel de variedad mayor y de redundancia menor (**Atlan**).

Numerosas grandes empresas y administraciones son insuficientemente complejas: se presentan como un ensamblado demasiado complicado (múltiples códigos, múltiples normas, múltiples cadenas de control,...) de actividades y de procesos pobres y fragmentarios. Tales organizaciones sufren a la vez de un déficit global de variedad (en el sentido de la riqueza de percepciones, de los significados, de las comunicaciones,...) y de un insuficiente reparto de esta variedad entre las unidades de los diversos niveles: cada una de las unidades es simple (su función y su trabajo son a veces incluso simplistas) y su imbricación es complicada. Para el individuo alojado en una de estas unidades, su entorno próximo de trabajo y su entorno lejano, la fábrica, la empresa, el medio socio-económico, es indescifrable (**Mélèse**).

La noción de instrumentación es concebida de manera demasiado estrecha. Cuando pensamos en instrumentos pensamos en microscopios, telescopios, dispositivos electrónicos de medida: artefactos materiales. Sin embargo, las personas también crean "instrumentos cognitivos", especialmente técnicas matemáticas que pueden ser herramientas utilizadas por la mente humana para promover el descubrimiento (...) Otro ejemplo más actual de instrumento cognitivo es el software innovador (**Pagels**).

En cualquier caso, es recomendable una visión muy amplia de los sistemas, que incluya las constricciones y no sólo las emergencias, y que alcance a los sistemas evolutivos, como son los sistemas vivos y los sistemas sociales. A través de los fenómenos de organización, de auto-organización y de desorganización, la complejidad adquiere un sentido muy rico, que abarca también muchos de los aspectos positivos ligados a la evolución.

En efecto, nosotros hemos escrito hace tiempo lo siguiente: "El progreso tecnológico incrementa la complejidad organizativa y la Biología nos enseña que no hay evolución sin aumento de la complejidad interna. Es precisamente gracias a su enorme, inimitable y adecuada complejidad que la mano humana es entre todos los instrumentos mecánicos naturales y artificiales el más fino y multifuncional. Por lógica, los riesgos y problemas ocasionados por su pérdida o deterioro se miden en la misma escala de importancia".

Hoy es impropio estudiar la complejidad en relación con la tecnología si no se integra a ésta en un conocimiento de los sistemas humanos organizados e incluso de los sistemas biológicos.

4.2. Los modelos y las jerarquías.

Se ha dicho que los sistemas no existen en la naturaleza, sólo son una aproximación con la que construimos modelos mentales. Estos modelos muchas veces adquieren diversas formas jerárquicas, porque éstas han demostrado su eficiencia para comprender o diseñar sistemas complejos.

El estudio de las jerarquías se ha convertido desde hace años en uno de los campos más fructíferos de la epistemología científica, y en el nivel práctico representa una indudable herramienta intelectual, una modalidad de abstracción inseparable del enfoque sistémico. En el campo de la tecnología su impronta se deja ver en cualquier sistema medianamente complejo, desde la estructura de un ordenador o de un sistema gestor de bases de datos hasta la arquitectura de una red informática de comunicaciones.

La visión del mundo que cada uno de nosotros se ha formado no es sino un modelo. Tomamos todas nuestras decisiones a partir de modelos. Todas las leyes son escritas fundándose sobre modelos (**Forrester**).

El concepto de sistema es, de hecho, inseparable del concepto de modelo, concebido como sistema representativo de un sistema concreto. Todo sistema real no es conocido en efecto más que a través de modelos representativos (representaciones mentales individuales o representaciones explicitadas formalmente) (**Walliser**).

Es evidente el inmenso alcance de la clasificación jerárquica: se trata del método de clasificación más poderoso que emplea el cerebro-y-entendimiento humano para poner orden en la experiencia, las observaciones, las entidades y la información; y, aunque no se ha asentado aún como tal de modo inconcuso en la neurofisiología y la psicología, este tipo de clasificación representa probablemente el modo primario de coordinación u organización: a) de los procesos corticales, b) de sus correlatos mentales, y c) de la expresión de éstos mediante simbolismos y lenguajes (**Whyte**).

El hecho de que muchos sistemas complejos tengan una estructura jerárquica cuasi-descomponible es un factor mayor que nos facilita la comprensión, la descripción y la "visión" de tales sistemas y de sus partes (**Simon**).

Entre posibles formas complejas, las jerarquías son unas que tienen el tiempo para evolucionar (**Simon**).

Casi por definición, los sistemas verdaderamente escapan a una descripción completa y detallada. Cuando hemos de describir algo, el dilema con que nos encontramos es el que existe entre la sencillez, que es uno de los requisitos previos de la comprensión y la necesidad de tener en cuenta los numerosos aspectos del comportamiento de un sistema complejo. Es posible intentar una vía de salida a tal dilema mediante una descripción jerárquica: se describe el sistema mediante una familia de modelos, cada uno de los cuales se ocupe de su comportamiento mirado desde un nivel de abstracción distinto. Entonces, para cada nivel existe un conjunto de rasgos, variables, leyes y principios pertinentes mediante las cuales describiremos el sistema en cuestión; ahora bien, para que semejante jerarquía sea efectiva es necesario que la descripción correspondiente a un nivel cualquiera se considere independiente de las relativas a los demás niveles, cosa que puede hacerse admitidas su clausura y su independencia frecuencial (**Bunge**).

Para el espíritu simplificador, la organización ideal procede de la estructura piramidal centralista/ jerárquica/ especializada. En la cúspide, el centro de computación/ decisión/ mando. En escalones, las jerarquías de control, función, transmisión. En la base, los operadores especializados. (...) De hecho, cada vez que nuestra mirada toma amplitud o afina en el detalle, vemos que la combinación de centrismo/ policentrismo/ acentrismo, jerarquía/ heterarquía/ anarquía, especialización/ polivalencias/ no-especializaciones es el carácter finalmente fundamental de los fenómenos vivos (**Morin**).

Puede que no existan los sistemas en la naturaleza, pero en la tecnología, sí, porque son objetos artificiales, esto es, entidades construidas por el hombre, a imagen y semejanza de sus modelos mentales: sistemas y jerarquías, entre otros instrumentos cognitivos.

Referencias obligadas para estudiar las jerarquías son los libros de Simon, Whyte y Morin.

5. "Filosofía" e Ingeniería.

A mediados de 1990, A. Penzias, vicepresidente de investigación en la empresa AT&T, decía lo siguiente: "La complejidad está creciendo a causa de que la tecnología nos capacita para hacer más cosas y nos fuerza a hacerlas mejor (...) Contrariamente a lo que podía esperarse, la complejidad de la tecnología nos está empujando a los ingenieros a asignarle un mayor valor a nuestras capacidades en relaciones humanas, porque tenemos que lidiar con más gente en el curso de nuestro trabajo".

La observación anterior es correcta, pero tal vez insuficiente. Muchos observadores piensan que el ingeniero debería preocuparse por variadas cuestiones filosóficas y epistemológicas, al menos una brizna más de lo que por lo regular lo hace ahora. Siendo así que ciertas aplicaciones de la informática, como la Inteligencia Artificial, modifican el concepto que de sí mismo pueda tener el ser humano ¿sería lógico evadirse completamente de esas y otras implicaciones para acantonarse en un reducto exclusivamente tecnológico?.

(...) los ingenieros no parecen ser conscientes de las cuestiones filosóficas que su trabajo pueda entrañar. Para entrar en conversación con mis amigos ingenieros a veces pregunto: ¿cuáles son los fundamentos de su disciplina?. La pregunta siempre es recibida con perplejidad. Incluso después de haber explicado qué es lo que me ocupa, esto es, un informe coherente de la naturaleza y significado de la rama de ingeniería en la que ellos trabajan, la pregunta carece de significado para ellos. Los muy pocos que formulan preguntas importantes acerca de sus profesiones técnicas por lo general son considerados por sus colegas maniáticos, peligrosos y radicales (**Winner**).

¿Quién tiene más necesidad de la epistemología? Son los ingenieros quienes tienen la necesidad más urgente de una teoría del conocimiento y la mejor probabilidad de creer en ella (**Papert y Voyat**).

Si el ingeniero falla en estudiar metainformática, o, peor aún, si permanece inconsciente del hecho de que hay límites a la aplicabilidad de la computación y de las tecnologías de la información, es probable que caiga en una clase de error similar a la de ciertos teólogos medievales que intentaban establecer cuestiones de física por medio de citas bíblicas (Paráfrasis de **Schumacher**).

Los técnicos suelen ofenderse cuando se les dice que están empapados de filosofía. (...) Por más que rehuya a los filósofos, el técnico no puede evitar el contagio filosófico, ya que maneja ideas que presuponen conceptos e hipótesis filosóficos: hace filosofía sin saberlo. Y, puesto que la hace, mejor sería que la hiciese bien. Para esto tendría que aprender algo de filosofía (**Bunge**).

En conjunto, parece que es posible anotar, como también se señalaba en un congreso reciente, que los ingenieros resultan con frecuencia ser demasiado ingenieros (técnicos) y tienden a "ver el mundo por un agujero", alejándose de la visión global de los problemas, de la capacidad de planificar y de la intuición del futuro.

Así pues, los textos adjuntos tienen el aire de querer decirnos que, complementariamente a los principios del nuevo método y al enfoque sistémico y demás técnicas abstractas, una cierta formación humanística ayudaría a combatir el "exceso" de especialización, -no la especialización que de todas formas es ineludible. Entre los textos se intercala alguno que interpreta muy libremente (sustituyendo sólo alguna palabra por otra) párrafos por lo demás literales de Schumacher.

6. Tecnología versus Complejidad.

Se recogen en este apartado las que pueden reputarse como las dos caras de la tecnología (aquí ejemplarizada por la informática, tecnología de la información por excelencia) con respecto a la complejidad. Resumiendo mucho, la informática es un instrumento para comprender y manejar la complejidad, pero también genera complejidad.

6.1. El ordenador, instrumento para manejar complejidad.

De diversas formas, diversos autores nos indican la potencia del ordenador con vistas a afrontar la complejidad, unas veces para ayudar a gestionar materialmente las instituciones y sistemas sociales del mundo real, otras para modelar un mundo simulado, otras simplemente para profundizar en el conocimiento, ordenando y procesando grandes masas de información.

En cualquier caso, junto a las técnicas de la informática, todos los textos nos manifiestan su insuficiencia si no se acompañan de otras técnicas y métodos: técnicas de sistemas y de cibernética, técnicas de modelación y simulación, técnicas matemáticas de formalización,...

En el mundo real sucede que el aumento de libertad (incluyendo nuevas oportunidades) incrementa la variedad (complejidad) a un punto tal que nuestras respetadas instituciones no son ya capaces de manejarla (...) Sugiero una lista de tres herramientas básicas disponibles para amplificar la variedad de las instituciones: el ordenador, las telecomunicaciones y las técnicas de la ciencia de la organización efectiva (la cibernética) (...) Estoy simplemente proponiendo que la sociedad debería usar estas herramientas para rediseñar sus instituciones, y operarlas de una manera completamente diferente (**Beer**).

El computador, el instrumento de las ciencias de la complejidad, revelará un nuevo cosmos nunca antes percibido. A causa de su capacidad para manejar y procesar enormes cantidades de información en una forma fiable, mecánica, el ordenador, en tanto que herramienta de investigación científica, ya ha revelado un nuevo universo. Este universo era antes inaccesible, no porque fuera muy pequeño o estuviera muy lejos, sino porque era tan complejo que ninguna mente humana podía desentrañarlo (**Pagels**).

¿Podemos entonces eludir las limitaciones al progreso científico impuestas por las limitaciones, cada vez más definitivas, de la observación y de la experimentación? (...) ...aunque la complejidad del mundo real nos impida su observación y experimentación, sí podemos experimentar y observar un mundo simulado. Y para ello disponemos también de una ayuda exosomática, las computadoras. (...) La simulación es, en suma, la gran esperanza para penetrar en la complejidad del mundo (**Wagensberg**).

Complejidad es una evaluación que hacemos de nuestra capacidad para describir, computar o predecir con precisión fenómenos en un dominio (**Denning**).

6.2. Ingeniería, complejidad y economía de medios. El caso del software.

Líneas arriba se hablaba de filosofía, aunque fuera en forma entrecomillada. Pues bien, las dos primeras citas que contiene la tabla adjunta se deben a dos filósofos y nos orientan sobre la conveniencia de no introducir en los objetos observados o diseñados más complejidad de la necesaria.

Hasta tal punto es ése un buen consejo que, parafraseando de nuevo muy libremente un texto de Schumacher, podría decirse que "la buena ingeniería es el estudio sistemático de cómo alcanzar metas determinadas con la mínima complejidad general". Únicamente hay que tener en cuenta la pertinencia de considerar la complejidad en el sentido más amplio que permitan las circunstancias, y, a ser posible, en un plano sociotécnico, dado el impacto social de las modernas tecnologías.

Si dos fórmulas de distinta longitud explican un mismo fenómeno con igual mérito, la más corta es verdadera, falsa la otra (**Occam**).

La ciencia debe buscar las explicaciones más simples de los fenómenos más complejos (**Whitehead**).

Los programadores siempre estamos rodeados de complejidad; no podemos evitarlo. Si nuestra herramienta básica, el lenguaje en el que diseñamos y codificamos nuestros programas es también complicado, el lenguaje se convierte en una parte del problema más que en parte de la solución (**Hoare**).

Una regla bastante normalizada es que, si quieres que algo se mantenga simple, la organización que lo desarrolle ha de ser simple (**Warnock**, creador de PostScript).

Todo se debe hacer tan simple como sea posible. Pero para hacerlo hay que dominar la complejidad (**Sampson**, creador de Alto).

Una seña de identidad de los programas muy buenos es que incluso internamente siguen la filosofía de la simplicidad. Si quieren hacer algo complejo llaman al código internamente con operaciones simples, en lugar de hacer la operación compleja desde el principio (**Gates**, fundador de Microsoft).

El verdadero reto es diseñar software que sea simple por fuera, pero complejo por dentro. (...) Yo creo muy firmemente que el diseño y la estructura de alto nivel deben ser hechos por una sola persona, desde luego nunca más de dos. (...) Los programas complicados son mucho más fáciles de escribir que los sencillos y directos. (**Page**, creador de PFS:FILE).

Estudio tras estudio muestran que los diseñadores muy buenos de software producen las estructuras más rápidas, pequeñas, simples, limpias y que requieren menor esfuerzo (**Sackman**).

Si los programas están bien, tienen una especie de simplicidad y de simetría (**Sachs**, creador del programa 123).

La buena ingeniería siempre ha tenido mucho que ver con una economía de medios, con la "usabilidad" (en terminología actual) y con la simplicidad interna del diseño. Sin duda, puntos de vista de programadores de éxito, diseñadores de productos de software reconocidos como triunfadores, pueden aportarnos motivos de reflexión en torno a la complejidad, aunque, como es fácil de constatar, no son mutuamente consistentes.

Y con estos textos finales, si el lector se detiene en compararlos con los del primer apartado, podrá apreciar la profundidad del ámbito de la complejidad, extensible desde un planteamiento global que presenta un panorama prácticamente inabarcable hasta un intento de concreción para los efectos prácticos de un campo tan especializado como es el diseño de programas de ordenador.

Bibliografía.

Las referencias que se anotan a continuación contienen la mayoría de los textos de donde se han extraído las citas que han servido para componer este capítulo. La bibliografía no ha tratado en ningún momento de ser exhaustiva, como es la tónica general del resto de los capítulos de estas Notas.

Atlan, H.(1979): **Entre le cristal et la fumée**, Seuil, Paris.

Attali, J.(1975): **La parole et l'outil**, P.U.F. Paris.

Beer, S.(1974): **Designing Freedom**, J. Wiley, Londres.

Bunge, M.(1990-91): El sistema técnica-ciencia-filosofía, un triángulo fértil, **Telos**, 24.

Cousins, N.(1979): **Anatomía de una enfermedad**, Kairós, Barcelona.

Denning, P.(1990): Modeling Reality, **American Scientist**, pp.495-498.

Gall, J.(1975): **Systemantics**, Quadrangle, Nueva York.

Gerstner, K.(1988): **Las formas del color**, H. Blume, Madrid.

Illich, I.(1975): **Némesis Médica**, Barral, Barcelona.

Lammers, S.(1988): **Programadores en acción**, Microsoft-Anaya Multimedia, Madrid.

Le Moigne, J.L.(1983): **La théorie du système général**, 2a ed., P.U.F., Paris.

Mélèse, J.(1979): **Approches systémiques des organisations**, Ed. Hommes et Techniques, Suresnes.

Morin, E. (1977, 1980, 1986): **La Méthode, Vols. 1, 2 y 3**, Seuil, Paris.

Pagels, H.R.(1989): **The dreams of reason**, Bantam, Nueva York.

Prigogine, I., I. Stengers.(1983): **La nueva alianza**, Alianza, Madrid.

Racionero, L.(1986): **Arte y ciencia**, Laia, Barcelona.

Rosnay, J.(1977): **El macroscopio**, AC, Madrid.

Rucker, R.(1987): **Mindtools**, Houghton Mifflin, Boston.

Sackman, H.(1968): Experimental studies comparing online and offline programming performance, **C.A.C.M.**, vol. 11, 1.

Sáez-Vacas, F.(1990): **Ofimática compleja**, Fundesco, Madrid.

Schumacher, E.F.(1973): **Small is beautiful**, edición de 1989, Abacus, Londres.

Simon, H.A.(1970): The architecture of complexity, en **The sciences of the artificial**, M.I.T. Press, Mass.

Walliser, B.(1977): **Systemes et modèles**, Seuil, Paris.

Wagensberg, J.(1985): **Ideas sobre la complejidad del mundo**, Tusquets, Barcelona.

Whyte, L.L., A.G. Wilson, D. Wilson.(1973): **Las estructuras jerárquicas**, Alianza, Madrid.

Winner, L.(1987): **La ballena y el reactor**, Gedisa, Barcelona.