Publicado en: *Perspectivas epistemológicas*. Memoria III Encuentro Nacional de Filosofía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Septiembre, 2003, págs. 30-43 (sin ISBN)

# UN PROBLEMA DIFÍCIL EN CIENCIA Y FILOSOFÍA: CÓMO MEDIR LA COMPLEJIDAD DE UN SISTEMA

Carlos Eduardo Maldonado
Profesor-investigador, CIPE
Universidad Externado de Colombia
E-mail: carlos.maldonado@uexternado.edu.co

## Introducción

Las cosas tienden siempre a volverse más complicadas, en cualquier acepción de la palabra, y generalmente más pronto que tarde, y más inesperadamente de lo que habríamos esperado o nos hubiera gustado. Es necesaria una explicación de este hecho. Pues bien, el marco para una tal explicación es el estudio de (la dinámica de) los sistemas complejos, esto es, el estudio de esa clase de fenómenos, comportamientos, procesos y sistemas que se caracterizan por una complejidad creciente; justamente, por el hecho de que si por ejemplo se traza su historia, esta nos muestra claramente que la tendencia natural consiste en un proceso de creciente complejización. Es necesaria una epistemología de esta clase de fenómenos y comportamientos, y es posible llamar sin dificultades a una epistemología semejante como una "epistemología de la complejidad". Pues bien, a mi modo de ver, una epistemología de la complejidad tiene tres ejes referenciales. Estos tres ejes referenciales comprenden los tres problemas que a mi modo de verlo, son fundamentales para el conocimiento –explicación y comprensión- de los fenómenos de complejidad creciente; ellos son:

a) Es preciso distinguir que y cómo todos los sistemas simples son igualmente simples, pero cada sistema complejo posee su propia complejidad;

b) El estudio de los sistemas complejos equivale a determinar la complejidad máxima de un sistema;

c) La complejidad de un sistema es el grado como el sistema nos sorprende y se hace súbito y único.

Estos tres ejes referenciales constituyen una sola unidad. El objetivo de este texto consiste en mostrar la articulación de esta unidad. Para ello, sin embargo, se imponen dos precisiones preliminares. En primer término, se trata de atender el hecho de que la complejidad no es un estudio simplemente de relaciones entre fenómenos, comportamientos, escalas y problemas, una idea popular extendida incluso entre quienes en apariencia se dedican al estudio la complejidad. Y, en segundo lugar, y en estrecha relación con esta última observación, hay que decir que la complejidad debe ser entendida en el sentido de las ciencias de la complejidad, y en absoluto con las propuestas de E. Morin. Con respecto a la primera precisión, la tarea de establecer o revelar nexos o relaciones múltiples, inadvertidas o implícitas entre dos o más fenómenos es un rasgo específico del pensamiento sistémico y de la cibernética de segundo orden. No se requiere trabajar sobre complejidad para reconocer y hablar de relaciones. En cuanto a la segunda precisión, referente al pensamiento de E. Morin, es preciso distinguir claramente dos cosas: una, es que el hecho de que Morin hable de complejidad o de pensamiento complejo no lo sitúa en manera alguna dentro de la perspectiva que aquí me interesa y que es la de las ciencias de la complejidad o, más precisamente, el estudio de los sistemas complejos adaptativos; y dos, que lo que hace Morin -un autor perfectamente popular entre muchos intelectuales y en especial en parte del magisterio colombiano-, es justamente trazar conexiones y mostrar redes, e incluso mostrarlo de una manera bastante satisfactoria, con lo cual, en rigor, el pensamiento de Morin se revela como no otra cosa que como la elaboración de una gran cosmovisión de orden sistémico[1].

La idea que quiero defender aquí es la de que el estudio de la complejidad supone un tipo de racionalidad perfectamente novedosa de la que ha imperado en la historia oficial de la ciencia y la filosofía hasta ahora. Esta nueva racionalidad puede ser denominada de

[1] En otros lugares ya me he referido, más ampliamente, a estas observaciones puntuales sobre Morin; cf. (Maldonado, 2002) (en prensa), y (Maldonado, 2001). Por lo demás, un muy buen texto sobre Morin, y que apoya mi punto de vista sobre su obra, es el de W. E. Solano Rojas, "Orden y desorden: de las leyes de la naturaleza a la naturaleza de las leyes", en: *Ludus Vitalis*, Vol. II, No. 3, 1994, págs. 115-136.

diversas maneras, y todas apuntan a una sola y misma cosa: teoría de los sistemas complejos no-lineales, sistemas complejos adaptativos, ciencias de la complejidad; aquello a lo cual apuntan es a la emergencia de una forma novedosa de racionalidad científica que poco tiene que ver con la ciencia clásica, y por consiguiente con las relaciones que la ciencia clásica tenía con la filosofía. Una manera de apuntar a qué se refiere esa nueva racionalidad y esa ciencia distinta de la ciencia clásica se observa perfectamente en el libro de I. Prigogine e I. Stengers, *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*.

Como quiera que sea, una epistemología de la complejidad es, en realidad, la capacidad de la razón para sorprenderse consigo misma, y con el mundo. Pues bien, el problema fundamental de una epistemología de la complejidad consiste en determinar la complejidad de un fenómeno, un comportamiento o un sistema. La tesis que quiero sostener en este texto es la de que la tarea de *la determinación de la complejidad de un sistema* equivale exactamente a la determinación de la *complejidad máxima* del sistema de estudio.

Me propongo demostrar esta tesis, y con ella, allanar el camino hacia lo que puede ser denominado con propiedad una epistemología de la complejidad a través de tres argumentos, así: en primer lugar, me concentraré en la explicitación de los modos posibles de estudiar la complejidad de un sistema, un problema que no es, en manera alguna, fácil. Es justamente alrededor de este primer argumento que se puede entender mejor la idea según la cual el estudio de la complejidad es el estudio al mismo tiempo de la complejidad de un sistema y de la complejidad de ese sistema con respecto a otro u otros sistemas similares. El segundo argumento afirma que la complejidad de un sistema se determina relativamente al tiempo, pero que el tiempo no puede ser adoptado con un criterio Newtoniano o kantiano, esto es, como una constante o una variable permanente e invariable. Así, se hará claro que la complejidad de un sistema equivale a la vida misma del sistema, un asunto manifiestamente sensible. El tercer argumento desarrolla la idea de que una epistemología de la complejidad o, más generalmente, las ciencias de la complejidad, son exactamente una epistemología y ciencias de la sorpresa, pero que si se adopta con rigor esta idea, entonces el estudio de los sistemas complejos tiene consecuencias al mismo tiempo teóricas y prácticas perfectamente anodinas a la luz de la tradición de la ciencia y la

filosofía. Al final, concluiré que, consiguientemente, el estudio de la complejidad contiene una carga fuertemente política de cara a un contexto y un tiempo como en el que nos encontramos nosotros.

1-. La dificultad de hablar sencillamente de complejidad

No existe una única determinación de la complejidad de un sistema. Pero, de entrada, sí cabe distinguir dos sentidos de complejidad. En un caso, se trata de los fenómenos, comportamientos y sistemas de *complejidad decreciente*. Se trata de la clase de sistemas que pueden ser explicados descomponiendo un todo en sus partes, hasta llegar a los elementos últimos constitutivos del todo para, a partir de allí, proceder entonces a una reconstrucción del todo en función de los elementos fundamentales. Un buen ejemplo de esta clase de complejidad y de explicaciones es la biología molecular y su expresión más acabada, la genética. En el campo de las ciencias sociales el mejor ejemplo es la economía clásica y neoclásica, la cual explica una sociedad o un conglomerado y comportamientos económicos a partir de los individuos, sus preferencias y comportamientos. Pero los ejemplos abundan y podrían ser mencionados en una variedad de campos y de disciplinas. No es esta clase de fenómenos y de sistemas los que propiamente le interesan a las ciencias de la complejidad. En rigor, los sistemas de complejidad decreciente tanto implican como afirman una filosofía de la ciencia y una epistemología bastante bien conocidas y que ha sido la predominante en la historia de la humanidad occidental: el reduccionismo. En efecto, el reduccionismo es el procedimiento (= método, lenguaje, pensamiento) mediante el cual se descompone un todo a fin de identificar los elementos fundamentales últimos constitutivos de ese todo, y a partir de los cuales cabe entonces comprender el todo en cuestión. La contraparte del reduccionismo es el constructivismo.

En contraste con la complejidad decreciente, son los fenómenos, comportamientos y sistemas caracterizados por una *complejidad creciente* los que propiamente hablando pueden y deben ser denominados como *no-lineales y adaptativos*. Dicho negativamente, esta clase de sistemas no pueden ser comprendidos ni explicados a partir de la identificación de algunos elementos fundamentales, puesto que el comportamiento y la

historia misma de ese sistema son bastante más que la suma o el agregado de los elementos fundamentales. Exactamente en este sentido se dice que existe una *sinergia* entre los elementos, de tal suerte que el todo es el resultado de las interacciones no lineales entre ellos. Justamente por ello, el todo es más que la suma de las partes, y su historia es de creciente complejización. Pues bien, los comportamientos, sistemas y fenómenos de complejidad creciente son al mismo tiempo los más apasionantes y los más difíciles de comprender y explicar. Su descubrimiento es un acontecimiento perfectamente reciente en la historia de la humanidad y son ellos los que dan lugar al surgimiento del estudio de la *dinámica de los sistemas complejos*. El caso por excelencia de sistemas de complejidad creciente son los sistemas vivos y, en general, la vida. Justamente por esta razón se ha llegado a identificar correctamente a las ciencias de la complejidad como ciencias de la vida, puesto que los sistemas vivos y los sistemas y comportamientos que exhiben propiedades propias o análogas a la de los sistemas vivos en la naturaleza son los más complejos que pueden existir.

Justamente de esa clase de sistemas vivos, o adaptativos o no-lineales –tres maneras distintas para referirnos a una sola y misma cosa-, no existe una única definición de complejidad. La suya es, por el contrario, una complejidad que se dice y que existe de múltiples maneras, en diversas dimensiones y escalas, en fin, con expresiones diferentes. Las formas más importantes de complejidad son: la complejidad funcional, la complejidad orgánica o estructural, la complejidad informacional, la complejidad algorítmica, la complejidad computacional, aunque podrían mencionarse otras más. Como quiera que sea, el hecho verdaderamente significativo radica en atender a dos cosas fundamentales. De una parte, que la medida de la complejidad de un sistema implica un cierto contexto pero que la adopción de un contexto –con todo y su historia- no se corresponde inmediata ni necesariamente con la adopción de otro contexto. Este primer reconocimiento pudiera dar la impresión de que el estudio de la complejidad es un asunto puramente relativista, y que no sería posible ni tendría sentido ocuparse seriamente con esta clase de fenómenos. Contra esta impresión, errónea, hay que decir que, precisamente, el estudio de la complejidad atraviesa por el reconocimiento de los contextos diversos, pero que exige la superación de los mismos hacia otros marcos referenciales, pero no en el sentido de un abandono de los

contextos precedentes, sino, todo lo contrario, estudiando, problematizando la manera en que la medición de la complejidad de un contexto puede y debe corresponderse y de qué manera, con la medición de la complejidad en otro(s) contexto(s). Así, por ejemplo, la medición de la complejidad funcional con la complejidad estructural, o de esta a su vez con la complejidad algorítmica, esto es, la longitud del programa más breve para efectuar una computación. En una palabra, el estudio de la complejidad de un sistema supone y exige atender a los diversos ordenes y parámetros –"contextos"-, así como a los tiempos que corresponden a cada uno de los parámetros considerados y unos en relación con los otros. Como se aprecia, la tarea de estudiar los sistemas y comportamientos complejos no es, en manera alguna, un asunto fácil.

En segunda instancia, de otra parte, pero en estrecha relación con la observación anterior, el estudio de la dinámica compleja de un sistema supone y exige al mismo tiempo la consideración de la complejidad estudiada relativamente a otro u otros sistemas o comportamientos igual de complejos que el que se estudia o, acaso idealmente, más complejos aún. Dicho de una manera directa, este segundo reconocimiento tiene una regla altamente importante para la investigación en ciencia y en filosofía. Se trata de que el estudio de un fenómeno de complejidad creciente debe ser comparado, evaluado, referido a un fenómeno de igual o de mayor complejidad a fin de comprender y explicar mucho más adecuadamente en qué consiste la complejidad de ese sistema y por qué y cómo es justamente lo que nos interesa: un sistema complejo (creciente). Esta regla va en contravía con el procedimiento usual en la historia de la ciencia y de la filosofía, el cual consistía, en el mejor de los casos, en una referenciación del sistema o fenómeno considerado en función de su propia historia, y de otro u otros sistemas o comportamientos similares, pero de menor complejidad. De menor complejidad real, implícita o asumida. El mejor de los ejemplos lo aporta la historia de las ciencias sociales y humanas, y la filosofía que les pudiera corresponder. Así, por ejemplo, se trataría de la confrontación entre los Españoles y Europa en general, con los pueblos precolombinos durante el Descubrimiento y la Conquista de América; o de la visión de los Cristianos durante la Edad Media con los moros y otros pueblos que no pertenecían a la tradición de la Cristiandad; o también, a la actitud de los Chinos durante el imperio de Gengis Kahn y de su nieto Kublai Kahn. En

todos estos ejemplos, se trata siempre de la visión predominante, jerárquica y excluyente de un pueblo, conjunto de creencias o cultura sobre otras. Es preciso siempre recordar que todos los pueblos se han considerado y definido a sí mismos como el centro del universo, un reconocimiento posible gracias a la antropología cultural y la antropología comparada. Los ejemplos son numerosos y podría encontrárselos en muchos dominios.

En cualquier caso, es preciso atender al hecho claro de que la complejidad es una medida cuantitativa que puede serle asignado a un fenómeno, sistema o comportamiento que se encuentra a medio camino entre el orden más elemental y el total caos. Precisamente por ello, desde otro punto de vista, un investigador importante de los sistemas complejos ha sugerido que el estudio de la complejidad debe atender a los procesos, comportamientos, sistemas y fenómenos en una escala mesoscópica (Bar-Yam, 1997), esto es, un sistema que contiene más que unos pocos elementos y procesos o comportamientos, y menos que demasiados.

La complejidad de un sistema es la complejidad del propio sistema – su historia y sus posibilidades: su evolución, tanto como la complejidad de ese sistema con respecto a otros. Se trata de otros sistemas de igual o de mayor complejidad.

## 2-. La medida de la complejidad y el tiempo

Quisiera avanzar un paso en la idea presentada. Para ello, es necesario antes recordar que lo que hace a un fenómeno complejo –o también, desde otra perspectiva, lo que hace que las cosas se compliquen- es el tiempo, lo sorpresivo y novedoso suyo, o también, desde otro ángulo, el hecho mismo de que el tiempo sea irreversible. De esta suerte, la complejización de un sistema se corresponde exactamente con el hecho de que el tiempo es irremediablemente irreversible. Así, la complejidad de las cosas es la complejidad misma del tiempo o de la flecha del tiempo. En esto se distinguen de una manera precisa los sistemas complejos de los sistemas simples, a saber: los sistemas simples no sufren el tiempo o el tiempo los afecta imperceptiblemente, casi de una manera insignificante. Por ello mismo las cosas son simples. Los mejores ejemplos se pueden ilustrar en dominios tan

diversos como la vida de las plantas, la vida de los animales observados desde el sentido común, o los fenómenos físicos (clásicos), tales como el péndulo, la caída de los cuerpos, el rozamiento, la inercia, y demás. Es posible, sin mucha dificultad, dejar de lado –por lo menos provisionalmente- los sistemas y las cosas simples, para volver la mirada hacia aquella clase de cosas y sistemas para los que el tiempo es un factor absolutamente esencial e inescapable. Esta distinción trazada aquí se explica perfectamente en términos de la termodinámica clásica -cuyo núcleo problemático es el segundo principio conocido también como la entropía-, y de la termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio. En verdad, el tiempo descentra los comportamientos y fenómenos, y pone inmediatamente ante la mirada el hecho de que las cosas no están nunca en equilibrio, que el equilibrio es tan sólo un momento puntual o singular en la historia o evolución de los sistemas, y, mejor aún, que el equilibrio mismo es dinámico, es decir, que se mueve y varía.

Si hemos dicho que la complejidad de un sistema equivale a la vida misma del sistema, ello coloca justamente al tiempo como el problema central de los sistemas dinámicos alejados del equilibrio. Para decirlo con el lenguaje común y corriente: es cierto que el tiempo resuelve las cosas y todo lo alivia *a largo plazo*, pero que, a mediano plazo e inmediatamente, el tiempo es convulsión, movimiento, incertidumbre, inestabilidad, en una palabra, caos.

Se hace entonces aquí imperativa una observación importante aunque larga. Se trata del hecho de que, tanto más cuando se habla, se estudia o se reconocen sistemas complejos, el tiempo no es una constante ni un hecho inmutable, como sucede en filosofía de Kant o en la física de Newton, así como en las filosofías que son herederas de Kant o de los modelos explicativos dependientes de la física Newtoniana. *El tiempo mismo varía*. De aquí la importancia y la dificultad, al mismo tiempo, de establecer la complejidad de un sistema.

Los sistemas son complejos o se hacen complejos en razón de que las interacciones entre las partes del sistema de estudio interaccionan entre sí de maneras cada vez más entrecruzadas y libres estableciendo múltiples nexos y subconjuntos que tienden, generalmente, a reforzarse con el tiempo. Justamente, esa interacción espontánea y múltiple

entre los elementos o las partes del sistema es lo que se conoce como interacciones no-lineales, y la no-linealidad comprende bajo sí ambos aspectos: la libertad de las relaciones, y los conjuntos y subconjuntos que se van formando al interior del sistema. De este modo, las interacciones literalmente van constituyendo ordenes temporales en función exactamente tanto de las conexiones de diverso tipo que se establecen, como de los subconjuntos, con todo y su variablidad, movilidad e (in)estabilidades. La complejidad del sistema es una sola con la complejidad de la flecha del tiempo. Así, se hace claro que no existe algo así como *el* tiempo –o *un* tiempo- en el cual se lleven a cabo los dinamismos entre las partes de un todo, sino, por el contrario, el tiempo es la obra misma de la dinámica de las interacciones entre las partes de un sistema.

Precisando mejor, la medición de la complejidad de un sistema cualquiera corresponde a por lo menos tres determinaciones paralelas y que se encuentran fuertemente entrelazadas:

a) La medida de la complejidad de un sistema equivale a estudiar los múltiples ordenes temporales que el sistema -tanto como todo, como en relación con las interacciones entre sus partes-, va constituyendo en su propia dinámica;
b) De esta suerte, en rigor, no existe un único tiempo –por ejemplo el tiempo del sistema, o el tiempo de las interacciones no-lineales entre los componentes del sistema-, sino múltiples temporalidades;
c) Estas temporalidades diversas deben ser estudiadas en la relación entre el sistema de estudio y otro u otros sistemas de igual o mayor complejidad, puesto que existen influencias inmediatas y directas tanto como indirectas y de mediano y largo plazo, entre los ordenes temporales de cada sistema, y los de su entorno, o las temporalidades de otro u otros sistemas análogos.

Desde este punto de vista, la medida de la complejidad de un sistema equivale exactamente a la medida misma de vitalidad del sistema, y ello sin caer en animismos o en expresiones literarias o poéticas, por ejemplo. En verdad, la complejidad de un sistema está dada en proporción directa a la irreversibilidad del tiempo y de los ordenes temporales múltiples mencionados en la triple distinción anterior. Sólo que se hace imperativo subrayar el reconocimiento de que las conexiones entre la dinámica de un sistema y la temporalidad

supone la variación misma del tiempo; para decirlo ampliamente, supone la variación de los flujos, intensidades, velocidades y sorpresas de los flujos temporales.

Surge aquí una dificultad grande. Se trata, en verdad, de la idea –en disputa- acerca de si el tiempo fluye o no, y que constituye un serio capítulo, inacabado, de la física, la filosofía de la física, la biología y la filosofía de la biología, la química y la filosofía de la química, notablemente. Aquí sólo puedo mencionar el tema diciendo, sin embargo, que, para el tema específico de la medición de la complejidad de un sistema las conexiones y ordenes temporales entran en consideración de la medición de la complejidad máxima de un sistema, una idea sobre la cual deberé regresar aún.

Pues bien, la complejidad de un sistema no se corresponde automáticamente con las mediciones de la temporalidad en el sentido lineal de la palabra. Así, por ejemplo, si un sistema se encuentra actualmente en un tiempo $T^2$, la complejidad *máxima* del sistema puede no hallarse en ese mismo tiempo, sino, por ejemplo, en un futuro tiempo $T^{13}$, o acaso también en un tiempo anterior, $T^{-1}$. Exactamente en este punto creo que radica la dificultad y la importancia al mismo tiempo de la medición de la complejidad de un sistema relativamente al tiempo. Por ello mismo, la complejidad de un sistema no debe ser entendida en el sentido lineal, o histórica y ni siquiera evolutiva del tiempo del sistema. Por el contrario, es de gran ayuda aquí la incorporación –y quizás la traducción o ampliación- de un concepto proveniente de la física pero válida igualmente en otras disciplinas científicas. Me refiero al concepto de "espacio de fases", y que hace referencia no a los tiempo reales, por ejemplo empíricos, del o de los comportamientos de un sistema, sino a los tiempos posibles – de evolución del sistema, o de despliegue de comportamientos del sistema. Así, el estudio de la complejidad se revela, en realidad, como el estudio de los posibles de un sistema, una idea con inmensas consecuencias e implicaciones y que no puede ni debe ser tomada a la ligera. La medición de la complejidad de un sistema equivale, por tanto, a la consideración de los posibles de un sistema, y no simple y llanamente a las realidades y/o actualidades del sistema. Desde este punto de vista, la realidad o la actualidad, tanto como la historia acontecida de un sistema se convierten en simples momentos particulares de la evolución posible de un sistema o fenómeno. No hay que

confundir, reducir ni identificar un momento de la evolución de un sistema con los espacios de fase –posibles, por definición-, del sistema del caso, así como tampoco confundir cualquier momento de la historia de un sistema con los posibles de la evolución del sistema. En una palabra, dado que, como quiero sugerirlo aquí, la tarea de las ciencias de la complejidad se revela en realidad como la medición de la complejidad máxima de un sistema, esa complejidad máxima puede no coincidir –y generalmente no coincide- con la identificación de los ordenes temporales reales o acontecidos. En este sentido, las ciencias de la complejidad se encuentran en las antípodas de un realismo ingenuo o de cualquier tipo de determinismo.

3-. La epistemología como sorpresa o la epistemología de la sorpresa

Bien entendido, el estudio de la complejidad es, en rigor, el estudio de la sorpresa, pero esto tiene consecuencias al mismo tiempo teóricas y prácticas. Hemos sido formados, durante siglos, con la creencia de que los procedimientos, lógicas, lenguajes y formas de relacionarnos con nuestro entorno en términos del reduccionismo y/o del determinismo es algo absolutamente esencial y natural. Psicológicamente hemos sido habituados a la filosofía del determinismo y del reduccionismo, y emocionalmente nos cuesta pensar que ellos no son mas necesarios. Abandonamos siempre la sorpresa, o nos obstinamos, obcecadamente, en hacerla previsible. La razón, nos dijimos, debía controlarlo todo.

Ciertamente que esta clase de creencias y la psicología en que se fundan y que promueven a la vez tuvieron ventajas selectivas pues gracias a ellas logramos sobrevivir, imponernos a la selección natural, hacernos seres absolutamente culturales, y avanzamos hasta, por ejemplo, todo lo que se reúne en torno a lo que genéricamente reunimos en torno a esfuerzos de clasificación histórica como el tercer milenio de la era cristiana, o la era de la información, o la edad contemporánea, por ejemplo.

Pero esa historia y tradición fueron necesarias hasta que, por razones apasionantes que no cabe entrar aquí a detallar, hicimos el aprendizaje, completamente anodino a los ojos de la tradición, de los sistemas complejos adaptativos, de los sistemas alejados del equilibrio, en

fin, de los sistemas complejos no-lineales. Pues bien, el estudio de la complejidad equivale al estudio de los grados de libertad de un sistema, pues la complejidad de un sistema es exactamente los grados de libertad de ese sistema. (Los grados de libertad es la expresión empleada para la dinámica de los sistemas complejos a fin de designar lo que clásicamente se conocía como las "variables" de un sistema. La razón del cambio de categoría radica en la instrumentalización que se hacía de, y que contiene por sí misma, la categoría de "variables"). Pues bien, esa libertad de los sistemas de complejidad creciente hay que tomarla en el sentido más radical de la palabra. La complejidad de un sistema es equivalente a sus grados de aleatoriedad e incertidumbre, y la incertidumbre está directamente referida a la dificultades o imposibilidad de *predicción* del comportamiento futuro del sistema o del fenómeno de estudio. Los sistemas complejos –análogamente a los sistemas caóticos-, tienden muy pronto a olvidar su pasado, debido justamente a dos cosas: la sensibilidad a las condiciones iniciales, y la sensibilidad a la historia que se sigue de la sensibilidad de las condiciones iniciales. Debido a la tendencia natural de todos los sistemas complejos (= vivos) a olvidar muy pronto su pasado es por lo que esos sistemas tienden hacia el o los futuros, y que poseen futuro. Sólo un sistema libre posee futuros, y cuanto mayores sean sus grados de libertad, tanto mayores serán, correspondientemente, sus futuros posibles, uno de cuyos casos podrá ser un futuro real.

Los problemas concernientes a la complejidad de los sistemas se refieren, puntualmente dicho, a las transiciones del orden al desorden, o acaso también inversamente, las transiciones del desorden al orden. Estas transiciones pueden ser explicadas de varias maneras, así por ejemplo, identificando atractores en los comportamientos de un sistema o de los componentes de un sistema; estableciendo las regiones y los momentos de transición; o también, precisando los puntos críticos en los estados de un sistema que permiten justamente trazar mapas acerca de las inestabilidades y/o evoluciones del sistema del caso. Pues bien, el tema de la medición de la complejidad de un sistema corresponde al estudio de las transiciones de fase del orden al desorden, o acaso también, y según la perspectiva adoptada, del desorden al orden. Que las cosas se vuelvan complejas o tiendan a complicarse es un rasgo irreversible de las mismas, pero ello no quiere denotar, en absoluto, una característica negativa en cualquier acepción de la palabra. Las transiciones

del orden al desorden o del desorden al orden ponen al descubierto que el estudio de la complejidad es en realidad el estudio tanto *del hecho* de que las explicaciones y comprensiones de un único tipo o de un tipo prevaleciente sobre otros no es, en manera alguna, satisfactorio, como que, al mismo tiempo, *del modo* en que la complejidad puede abordarse desde más de una perspectiva. Más exactamente, si asumimos que el tema de base es el de la medición de la complejidad máxima de un sistema, ello equivale, de una manera precisa, a establecer el estado crítico máximo de un sistema:

a) Justo antes de que se produzca una transición de fase;
b) Debido precisamente a que puede ocurrir una transición de fase, o bien, porque va a ocurrir dicha transición de fase;
c) Como una manera de visualizar, por así decirlo, los futuros posibles que, dado el estado crítico del sistema, pueden seguirse de dicho estado crítico.

Como se recordará, el concepto de transición de fase procede de la física pero es igualmente empleado en disciplinas científicas como la hidrodinámica, la meteorología, la geología o la química, por ejemplo. Las ciencias sociales poseen otros conceptos, propios, para designar exactamente la misma idea: por ejemplo, los cambios históricos, las revoluciones políticas, el suministro y consumo de bienes, y varios más.

De esta suerte, el problema, difícil, de medir o determinar o establecer la medida de la complejidad de un sistema cualquiera es exactamente el de hacer una epistemología o una ciencia de la sorpresa, esto es, de lo inesperado. En apariencia, esto podría parecer una tarea imposible o incluso, desde el punto de vista lógico, contradictoria. En efecto, ¿cómo hacer una ciencia de algo que es por definición perfectamente inesperado? Parte de la razón que justifica esta pregunta radica en la creencia clásica de acuerdo con la cual el objeto primero de la reflexión científica son los datos y los hechos –justamente en el sentido positivo de la palabra-, a partir de lo cual se seguiría toda una filosofía de la ciencia de corte tradicional fundada en criterios como observación, experimentación, inducción, deducción, verificación, falseación, y demás.

Pues bien, el tipo de racionalidad científica que implican las ciencias de la complejidad es completamente diferente tanto a la de la filosofía como a la ciencia clásicas. Esto es, historiográficamente hablando, desde la Grecia clásica hasta las teorías anteriores (e incluso varias posteriores) a la emergencia de las ciencias de la complejidad.

La ciencia y la filosofía clásicas poco y nada saben de sorpresas, y ciertamente no en el sentido de novedades e imprevistos. La filosofía y la ciencia clásicas tienen por característica básica la reducción de lo novedoso a lo conocido. Seguramente por esta razón no solamente la historia oficial del conocimiento humano es la presencia de muy pocas, aunque altamente significativas, revoluciones científicas, sino, además, de muy pocas revoluciones científicas teóricas – dado que, como es conocido a partir del estudio de la obra de T. Kuhn, la mayor parte de las revoluciones científicas son en realidad técnicas y tecnológicas.

Medir la complejidad de un sistema equivale, de parte del investigador a una perfecta y total apertura a las sorpresas, esto es, a los procesos, comportamientos y propiedades emergentes del sistema. De esta suerte, el concepto de "emergencia" permite traducir los resultados mismos de la sorpresa y visualizar así la complejización de los fenómenos. Esto implica un auténtico reto para la propia racionalidad humana, acostumbrada, mejor aún, habituada a explicar, reducir, controlarlo todo. No en vano, numerosos teóricos del caos y de la complejidad han llamado la atención acerca de la importancia psicológica y cultural que el estudio de los sistemas dinámicos no lineales implican para los seres humanos. El problema de la medición de la complejidad de un sistema corresponde a la apertura de la mente humana hacia fenómenos, realidades, procesos y comportamientos inesperados. Nunca como en este contexto ha sido tan válido el principio enunciado por Heráclito en la antesala de la historia de la humanidad occidental: "Sólo quien espera lo inesperado hallará".

Pues bien, extrapolando una idea clásica proveniente de la filosofía de Aristóteles, la medición de la complejidad de un sistema equivale al reconocimiento de que esa complejidad puede y debe decirse de múltiples maneras, y que la medición de la

complejidad corresponde a las múltiples maneras como un sistema se hace irreversible, no lineal y de complejidad creciente en alguna, en cualquiera, en varias o en todas las formas de determinación de la complejidad. Y sin embargo, ello no equivale, en manera alguna, a una aseveración de tipo relativista o ecléctico, dado que las múltiples maneras como se dice (*legein*) la complejidad de un sistema o de un comportamiento es, en cada caso, absolutamente relativo o pertinente a un sistema o a un comportamiento, o acaso mejor, a un tipo de sistema y un tipo de comportamiento. Por ello mismo, justamente, todos los sistemas simples son igualmente simples pero cada sistema complejo posee su propia complejidad. Una manera significativa de avanzar en el tema delicado de la medición de la complejidad de un sistema consiste en elaborar tipologías, así por ejemplo, tipos de comportamientos, tipos de relaciones, tipos de fenómenos y de sistemas.

Quisiera terminar con una observación puntual. Me refiero a las consecuencias políticas, en la acepción más amplia de la palabra, del estudio de los sistemas complejos. Hacia finales del siglo XX escribía el físico H. Pagels: "Estoy convencido que las sociedades que dominen las nuevas ciencias de la complejidad y puedan convertir ese conocimiento en productos nuevos y formas de organización social, se convertirán en las superpotencias culturales, económicas y militares del próximo siglo" (1991: 54). Esto quiere decir que aquellas organizaciones sociales, universidades y centros académicos, y más globalmente, aquellas sociedades que sepan prepararse para la sorpresa, en el sentido indicado por Heráclito, hallarán, y que las ciencias de la complejidad contienen y preparan una cultura perfectamente distinta de aquellas que hemos conocido hasta la fecha. El rasgo de esta cultura en emergencia consiste en el descubrimiento y el manejo de la incertidumbre –además de las certezas, es claro-; el estudio y la familiariedad con la no-linealidad, y en consecuencia con el descubrimiento de la existencia de más una solución posible a los problemas y de más de una dimensión con respecto al futuro –lo cual significa vivir de cara a futuribles-; la circunscripción de lo real y lo actual en un marco inmensamente más amplio, de mayores sensibilidades y alcances, a saber: el de los espacios de fases, espacios y tiempos imaginarios y posibles; en fin, el reconocimiento de que la regla no es la estabilidad ni el equilibrio, sino los equilibrios dinámicos y variables, en fin, la irreversibilidad. No cabe la menor duda: estos son temas de inmensa envergadura política y

social, además de envergadura lógica, metodológica y epistemológica. Las ciencias de la complejidad abren ante la mirada reflexiva campos y horizontes vastos y ricos.

Por consiguiente, debe ser posible adoptar la complejidad en serio, y no simplemente como un discurso, o acaso como una moda. La aseveración seria de la complejidad implica, de entrada, si es cierto lo que sostiene Pagels (y estoy perfectamente convencido que así es), una carga, un significado y un compromiso políticos. A ese compromiso, ese significado y esa carga contribuyen inmensamente las ciencias de la complejidad. Dicho de una manera más laxa, en ello consiste, adicionalmente, la idea de una epistemología de la complejidad. En verdad, son pocas las epistemologías que se revelan inmediata y directamente también como cuestiones políticas. Es en esta dirección a la que apunta la observación de Pagels.

Las ciencias de la complejidad ejercen un efecto sobre la realidad y sobre el conocimiento de la realidad. No es cierto ya que la ciencia sea observación –es decir, observación de hechos y estados de cosas-, y que la filosofía sea teoría (*theoría* en griego, esto es, contemplación); y tampoco lo es que la filosofía sea especulación (*speculum*, reflejo de la realidad o de las cosas), así como la ciencia busque simplemente explicar o comprender a las cosas, al mundo, a la naturaleza. Decir eso sólo es posible de la ciencia y de la filosofía clásicas, esto es, de la filosofía y de la ciencia anteriores a la emergencia de las ciencias de la complejidad, o también, y con toda seguridad, a la ciencia y la filosofía posteriores al surgimiento de las ciencias de la complejidad y que no saben o no quieren saber nada de la complejidad creciente de las cosas.

Las ciencias de la complejidad simulan la realidad, y la simulación es una forma de comprender: mejor, como ya lo sostiene uno de los padres de las ciencias de la complejidad desde 1969, H. Simon, “hay que simular para comprender”. La simulación puede ser entendida en el sentido del recurso a los programas de simulación de los computadores, o al juego de la imaginación y la creación de sistemas arborescentes, por ejemplo. En cualquiera de los casos, si el estudio de la complejidad de un sistema equivale exactamente a la determinación de los grados de libertad de dicho sistema, análogamente, en el estudio de los sistemas, comportamientos, fenómenos y procesos complejos es fundamental la libertad

del pensamiento, la libertad de la imaginación y la fantasía, algo a lo que la cultura dominante, con sus instituciones y fuerzas no están preparadas y tampoco, por alguna extraña razón, nos han preparado. Así, la carga cultural del estudio de la complejidad se revela al mismo tiempo como una carga política en el más excelso de los sentidos.

Existen fuerzas y tradiciones a las que no les interesa o no les conviene la complejidad, el estudio de los sistemas dinámicos no lineales, en fin, las ciencias de la complejidad. Se trata de fuerzas y tradiciones temerosas de las sorpresas y que prefieren mantener todo lo que sea posible, bajo control y como previsión total. Son numerosas las ingenierías sociales agenciadas y en circulación actualmente. Para esas fuerzas y tradiciones les es más conveniente el denominado pensamiento complejo de E. Morin o cosas parecidas, con lo cual en realidad, se trata de una circunscripción de lo complejo bajo el dominio de lo conocido y bajo la mirada del interés de la tradición. Es lo que Th. Kuhn denomina, el imperio de la ciencia normal. Pues bien, las ciencias de la complejidad, y por extensión una epistemología de la complejidad constituyen, sin lugar a dudas, una auténtica revolución científica, un nuevo paradigma en el conocimiento. Pero con el conocimiento, también un nuevo paradigma en las relaciones que dicho conocimiento supone con nuestros semejantes y con todo el entorno, natural y artificial, real y posible. El estudio de la complejidad es una verdadera revolución científica. Pero entonces debemos tomar al pie de la letra a Kuhn: las revoluciones científicas son justamente eso: rupturas sociales y políticas.

Bibliografía

Bar-Yam., Y., (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Reading, MA: Adisson-Wesley

Cowan, G., Pines, D., Meltzer, D., (eds.), (1994). *Complexity. Metaphors, Models and Reality*. Cambride, MA: Perseus Books

Maldonado, C.E., (ed.), (2001). *Visiones sobre la complejidad*. Bogotá: Universidad El Bosque

----------, (2002). "El problema de la filosofía del conocimiento y el estudio de los sistemas complejos", en: *Praxis*, Universidad del Valle (en prensa; será publicado en el 2003)

Mainzer, K., (1994). *Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mandkind*. Berlín: Springer Verlag

Pagels, H., (1991). *Los sueños de la razón. El ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*.Barcelona: Gedisa

Prigogine, I., (19). *El fin de la certidumbre*. Santiago de Chile: Ed. Andrés Bello

Rescher, N., (1998). *Complexity*. *A Philosophical Overview*. New Brunswick/London: Transaction Publishers

Simon, H., (1991). *Sciences des systèmes, sciences de l´artificiel*. Paris: Bordas