

SOBRE LA COMPLEJIDAD

Asdrúbal Valencia Giraldo*

ABSTRACT

The paper begins recognizing that man and its world are fragmented. It is shown how knowledge fragmentation is a problem of our society, it is indeed acute in our university, and it is very notorious among engineers. It is pointed out how society problems are of an interdisciplinarian nature while the university is organized, not according to its mission but according to its disciplines. To overcome this situation, several ways have been used and complexity is, perhaps, the most powerful tool to gain a holistic approach to this problem. Starting with some considerations about chaos theory, the concept of complexity is presented, its origin and formulation. Also the concept of plectis is introduced and a claiming for interdisciplinary work in the university, in which complexity has to play an important rol.

RESUMEN

El punto de partida de este trabajo es reconocer la fragmentación del hombre y su entorno. Se muestra la fragmentación del conocimiento y como este es un problema de nuestra universidad, bastante agudo entre los ingenieros. Se señala como los problemas de la sociedad son interdisciplinarios y la universidad no está organizada de acuerdo con su misión sino de acuerdo con las disciplinas. Para superar esto se han utilizado varios modelos y sin duda la complejidad es una poderosa herramienta para tener un acercamiento holístico del problema. Partiendo de algunas consideraciones sobre el caos se presenta el concepto de complejidad, su origen y formulación. Así mismo se da una breve introducción a la pléctica y hace un llamado al accionar interdisciplinario en la universidad, dentro del cual debe jugar papel importante el estudio y aplicación de la complejidad.

INTRODUCCION

Para la manera de pensar humana ha sido necesario dividir las cosas hasta cierto punto, y separarlas para reducirlas a unas proporciones manejables, porque es evidente que, si se intentara tratar con toda la realidad en su conjunto, los seres humanos tendríamos graves problemas de inconmensurabilidad y más aún con respecto a la información considerada en la actualidad

prácticamente infinita. Así que, en cierto sentido, la creación de los temas especiales de estudio y la división del trabajo fueron pasos importantes hacia adelante.

Sin embargo, cuando este modo de pensar se amplía a la noción que el hombre tiene de sí mismo y al mundo entero en el cual vive, deja de considerar las divisiones resultantes como simplemente útiles o

* Profesor, Departamento de Ingeniería de Materiales

convenientes y comienza a verse y a sentirse a sí mismo y a su mundo, como formados realmente por fragmentos con existencia separada. Guiado por este concepto fragmentario el hombre intenta entonces romperse a sí mismo y a su mundo, para que así todo parezca corresponder a su modo de pensar. [1]

Aunque existe un movimiento unificador de la ciencia, del que se ocupará este trabajo, se trata en realidad de una reacción a la división previa del campo intelectual, y por el solo hecho de ser una reacción, la unidad sigue siendo más débil que la división. Vivimos instalados en la diferencia, no en la unidad. El hecho real es que el arte, la ciencia, la tecnología, y el trabajo humano en general, están divididos en especialidades, y cada una de ellas se considera que está en esencia separada de las demás. De acuerdo con estas concepciones hay, pues, dos culturas: la cultura de las masas y la cultura científica cerrada en especializaciones, inaccesibles al profano y ella misma incapaz de autocrítica y de pensarse. En la cultura de masas la información se convierte en ruido, en televisión.

Todo ello preocupa a intelectuales y estudiosos, porque paradójicamente nada ha querido ser más cultural que nuestra época. Este fue el tipo de reflexiones que se hizo una tarde de 1959, en la conferencia REDE en Cambridge, el físico y novelista C. P. Snow [2] quien formuló varias afirmaciones polémicas. La primera es que el término “intelectual” se reserva casi exclusivamente a los intelectuales literarios. La segunda es que la comunicación está casi cortada. Para Snow la vida intelectual en Occidente ha ido separando las ciencias y las artes en dos grupos de creadores intelectuales de tal manera que han llegado a malinterpretarse y despreciarse mutuamente. Obviamente tal ensayo y su secuela de 1964, produjeron una gran polémica, la cual no ha terminado y será objeto de otro trabajo.

Pero, como señalaba Revel, no se trata en este divorcio de “las dos culturas” de una simple distancia, por decirlo así, topográfica, como la que existe, por la fuerza de las cosas, entre medios socio-profesionales muy diferentes, digamos entre los ciclistas y los diplomáticos de carrera. Tampoco se trata de la

dificultad clásica, de unir hoy una cultura científica a una cultura filosófica, literaria y artística. En primer lugar, esta dificultad se da en sentido único: es el literato el que ignora lo que sabe el científico. Este, por su parte, ha leído con frecuencia tantos libros, ha visto tantas obras de teatro, películas o cuadros como el literato: en todo caso, puede hacerlo. [3]

Después, el nudo del cisma se sitúa mucho más en el plano de las intenciones que en el de las posibilidades prácticas. No es sólo por causa de un desarrollo menor de la ciencia, sino también por causa de un concepto diferente del papel de la ciencia, por lo que D’Alembert o Diderot no vivían este cisma. No es sólo por causa de la amplitud, sino por causa del carácter de la ciencia, por lo que gran parte de la cultura filosófica y literaria contemporánea adopta ante ella una actitud de desconfianza o de indiferencia.

El hecho está ahí: en la cultura no hay ciencia. Hay, pues dos culturas o, si se prefiere, una sola cultura, que no reconoce, que no incluye a la ciencia. Y esta paradójica ocultación ha comenzado precisamente en el momento en que la ciencia, que se convertía en tecnología, comenzaba a revolucionar las condiciones de existencia de la humanidad. Explicar la separación de las dos culturas sería largo y tocaría puntos sensibles. Comprobar esta separación, en todo caso, es comprobar un fenómeno de civilización y plantear un problema muy interesante: “¿por qué sigue medio relegado por lo *cultural*?, precisamente el sector de la cultura, gracias al cual el hombre ha *transformado* el mundo en lugar de *interpretarlo*.» [4]

Así pues la famosa fórmula de las dos culturas se ha convertido en un hábito del pensamiento. Se ha dicho que las ciencias duras se identifican con la complejidad y las ciencias blandas con el sentido. Sin embargo, de acuerdo con Luhman, el sentido es una representación de la complejidad. Es decir, que el sentido no es un modelo usado por los modelos síquicos o sociales, sino simplemente, una nueva y poderosa forma de afrontar la complejidad [5]. Pero antes de entrar a considerar la complejidad como herramienta unificadora, es necesario considerar, brevemente, el problema de la fragmentación del conocimiento en la universidad.

EL PROBLEMA EN LA UNIVERSIDAD

Si existe una cultura de masas y otra científica, si hay cultura literaria y científica, si hay división entre la cultura tecnológica y las otras, tal vez no haya un lugar donde la fragmentación sea tan evidente como la universidad. En ella las facultades se fragmentan a lo largo de las fallas de las subculturas natural-científico-técnicas, social-científico-políticas y artístico-espiritual-religiosas. Esta estructura por facultades es una tradición que ha impedido un trabajo interdisciplinario y las cátedras, en algunos casos, son verdaderos feudos difíciles de remover, renovar o integrar. En síntesis a una sociedad piramidal, como la nuestra, ha correspondido una Universidad también piramidal y cerrada. En ella el curriculum tiene por principal característica la proliferación de disciplinas particulares en un conjunto múltiple pero no-articulado y menos integrado. Sin embargo, ya no hay necesidad de mantener una rígida separación entre nuestra comprensión de los procesos, naturales, humanos y sociales. Con el avance de las ciencias contemporáneas de los sistemas, de la complejidad y la evolución, está abierto el camino para una concepción que vea las cosas como son, es decir como totalidades y no como fragmentos. La reforma del sistema educativo hacia una visión holística, es de la mayor trascendencia.[6, 7]

Esto se plantea no sólo por el conocimiento mismo, sino por la presencia que la universidad debe hacer en la sociedad, pues con razón se ha dicho que la comunidad tiene problemas y la universidad tiene departamentos. Y esta frase expresa con claridad la dificultad que generalmente tiene la Universidad para responder a los crecientes requerimientos de la comunidad. Como se ha anotado, las estructuras de la educación superior y más particularmente de las universidades están basadas, en su mayoría, en el crecimiento del conocimiento y la práctica unidisciplinarios. Cuando la comunidad plantea situaciones complejas, y por tanto dimensionales, y solicita acción múltiple (porque un problema real nunca es exclusivamente técnico, social o científico), todo lo que las universidades pueden ofrecer es una colección de estructuras analíticas.

Debe recordarse que la misión de la sociedad es resolver sus variados problemas y virtualmente ninguno se puede resolver con la aplicación de una sola disciplina. De otro lado, las universidades en vez de estar “orientadas por la misión” “están “orientadas por la disciplina”. Además de esto, el rápido crecimiento del conocimiento tiende a que aumente el grado de fragmentación y especialización, lo cual a su vez lleva a dificultades crecientes en la comunicación y esto con el tiempo puede significar que las universidades pierdan el contacto con la sociedad que las soporta.

Así que la interdisciplinariedad no es simplemente un nuevo enfoque de la educación sino la clave del cambio en la misión y el estatus social de la universidad. El término interdisciplinariedad utilizado aquí está asociado con cinco tipos de demandas: *el desarrollo de la ciencia, la demanda del estudiante los problemas de operación de la universidad o incluso de su administración, los requerimientos de entrenamiento vocacional y la demanda social original.*

De estos cinco tipos de demanda tres fueron cuestión de desarrollo intrauniversitario y los dos últimos de desarrollo en la comunidad.

Se pueden concebir varias estructuras universitarias para desarrollar el tipo de interdisciplinariedad necesario para responder a los problemas de la comunidad. De una vez debe señalarse que la interdisciplinariedad implica una unidisciplinariedad de facto y que por consiguiente no es cuestión de abolir los departamentos unidisciplinarios. En vez de eso, el objetivo es desarrollar mecanismos institucionales que permitan diferentes enfoques ya sea ocasional o permanentemente.

Se han observado tres tipos de respuestas institucionales en la instauración de actividades interdisciplinarias de enseñanza o investigación.

- “Grupos” (profesores, estudiantes, organismos de la comunidad) organizados para realizar determinados proyectos específicos, en un tiempo

fijo y que por consiguiente constituyen una institución no permanente.

- Facultades o escuelas interdisciplinarias constituidas para estudiar ciertos problemas (transporte, planeación urbana, ambiente, energía, telecomunicaciones, etc.). Estas dependencias están necesariamente conectadas con los departamentos unidisciplinarios de la universidad.
- Universidades enteras creadas o dirigidas a problemas de gran importancia social o económica como la tecnología, el ambiente, la salud, etc.

Este último concepto es muy ambicioso, pero se ha experimentado en diferentes países.

Además de los mecanismo propuestos, es necesario reflexionar sobre estrategias como la interdisciplinariedad y teorías totalizantes (con base matemática) como la complejidad, pues lo cierto es que las últimas décadas de este variopinto - dramático pero también profundamente creativo - siglo XX se han visto marcadas por la irrupción de una serie de resultados, teorías y planteamientos que abren nuevas posibilidades y maneras de entender la realidad - la inorgánica al igual que la orgánica - y que afectarán sin duda a la ciencia del futuro. Y no sólo a la ciencia, sino también a nuestra propia visión filosófica de la naturaleza. Se trata de disciplinas - o teorías - como el caos y otras relacionadas como los objetos fractales y la complejidad, que partiendo de la física y las matemáticas se están difundiendo con gran rapidez por el resto de las ciencias, naturales al igual que sociales. [8]

Como señala Morin la complejidad no está solamente en los desarrollos científicos, también está en la vida cotidiana. El mundo se organiza desorganizándose: orden y desorden. Los físicos reemplazan la materia por el espíritu, pero el espiritualismo generalizado no vale mucho más que el materialismo generalizado. La biología es el epítome de la complejidad. [9]

Ha comenzado una revolución paradigmática. Una revolución orientada, evidentemente, hacia la complejidad. Se puede plantear el problema en tres planos: ciencias físicas, ciencias del hombre (o del conocimiento del hombre) y el de la política. [10]

Tal parece que la ciencia del siglo XXI será la de los sistemas complejos pues la emergencia es la característica de la complejidad. De acuerdo con muchos analistas estamos a punto de salir de un universo de determinismos simples, mecanicistas, para entrar en un mundo de complejidad en el que la incertidumbre, la estrategia, la innovación y la cultura, aparecen fuertemente vinculadas. Pero su imbricación sigue siendo altamente enigmática

El presente trabajo tiene por objeto presentar unos elementos de la teoría de la complejidad, para lo cual es necesario hacer una breve introducción a lo que es la teoría del caos.

EL CAOS

La teoría del caos se encuentra entre las ciencias más jóvenes y desde sus oscuros orígenes en la década del setenta ha ganado cada vez más popularidad. Se supone que su área de estudio es el desorden, pero en realidad el caos es la esencia misma del orden. [11] Hay dos enfoques para esto. En el primero se considera el caos como precursor y socio del orden y no como su opuesto. Aquí se concentra la atención en el surgimiento espontáneo de autoorganizaciones que emergen del caos, o, en términos físicos, en estructuras disipativas que surgen en sistemas fuera de equilibrio, cuando la producción de entropía es alta. La comprensión de que los sistemas ricos en entropía facilitan en vez de impedir la autoorganización fue coyuntura decisiva para la reevaluación contemporánea del caos. Figura central de esta aproximación al asunto es Ilya Prigogine [12,13]

El segundo enfoque destaca el orden oculto que existe dentro de los sistemas caóticos. En este sentido caos difiere de aleatoriedad, porque se puede demostrar que contiene estructuras profundamente codificadas, llamadas "atractores extraños". El descubrimiento de que el caos posee dentro de sí profundas estructuras de orden es tanto más notable debido a la amplia gama de sistemas que demuestran este comportamiento.

Los dos anteriores enfoques difieren en que el del orden a partir del caos tiene más filosofía que resultados, mientras que el de los atractores extraños

tiene más resultados que filosofía. Pero en este último se destaca la capacidad de los sistemas caóticos para generar nueva información.

Si bien, en general, la teoría del caos establece que los cambios diminutos pueden causar fluctuaciones gigantescas, uno de los conceptos más importantes de esta teoría es que aunque resulte imposible predecir el estado futuro de un sistema, no lo es modelar su conducta global. Esto puede hacerse mediante la iteración y la recursión donde se toma el resultado de una ecuación y se retroalimenta una y otra vez mientras se observa su desarrollo; esto permite descubrir conductas fascinantes. Al unirse los matemáticos con estos investigadores, contando con computadores poderosos, dieron origen a esta nueva ciencia, la que a su vez cambió la manera en que ésta se hace. Se entiende que apenas ahora se pueda explorar el caos. El completo análisis de la conducta exhibida por una sencilla ecuación puede requerir millones de operaciones y ningún matemático, con la excepción de Cantor, dedicaría años de esfuerzo a una tarea tan tediosa y repetitiva como ésta; sin computador, de hecho, no existiría manera de explorar el caos.

En las ecuaciones más deterministas (ecuaciones diferenciales lineales) había lugar para que existieran fenómenos tales como la turbulencia, la irregularidad y la imprevisibilidad, pero se suponía que esto no era más que un ruido que se producía como un efecto secundario a la manera como el mundo está estructurado. Se pensaba que este caos era el resultado de una complejidad que, al menos en teoría, se podía simplificar hasta llegar a descubrir un orden subyacente. Hoy se reconoce que ese supuesto es erróneo: el avance científico y tecnológico de los últimos años ha permitido observar que la mayoría de los sistemas biológicos y gran parte de los sistemas físicos son evidentemente discontinuos, no homogéneos e irregulares.[14]

Lo más curioso de estos sistemas es que parecen encontrarse justo en medio del azar y el orden por lo que, tanto su estructura como su conducta, resultan ser tan complicadas y variables que se cruzan de una a otra frontera imprevisiblemente.

La perspectiva más ampliamente aceptada en la actualidad es que el caos y el orden no son más que diferentes facetas de una misma realidad, pero lo que ya no resulta tan intuitivo es que el mismo universo no sea un ámbito de orden en donde el caos se encuentre oculto sino todo lo contrario: un sitio caótico donde hay contadas zonas aisladas de orden que son extremadamente pequeñas y raras. Esta perspectiva ha permitido demostrar que las leyes del caos pueden explicar muchos fenómenos que llaman la atención tanto por su regularidad como por su irregularidad, mejor que las leyes del orden. Ello ha obligado a que los especialistas en muchas áreas deban adoptar una visión holística o globalizadora de lo que es la ciencia y así, por ejemplo, los matemáticos estudian biología para desarrollar modelos de vida, los físicos estudian neurofisiología para descubrir los mecanismos de la memoria y los neurofisiólogos estudian matemáticas para crear una teoría que explique la cognición.

Formalmente la teoría del caos se define como el estudio de los sistemas dinámicos no lineales y complejos. Un sistema complejo es el que está compuesto por muchas partes y, de hecho, el campo de las matemáticas que se conoce como teoría de la complejidad, está integrado por una gran cantidad de temas complementarios que se traslapan entre sí; se podría decir que es un sistema con muchos grados de libertad no equivalentes entre sí y, a diferencia del caos que es el estudio de cómo los sistemas simples pueden generar conductas complicadas, la complejidad es el estudio de cómo los sistemas complejos pueden generar conductas sencillas, lo que quedaría ejemplificado por la sincronización de los sistemas biológicos desde las luciérnagas hasta las neuronas. [15]

LA COMPLEJIDAD

Como se indica más adelante, la complejidad tiene, al menos, dos conceptualizaciones diferentes. La primera se basa en la distinción entre elementos y relaciones. Si en un sistema hay un número creciente de elementos, cada vez se hace más difícil interrelacionar cada elemento con los otros. El número de relaciones posibles se hace demasiado grande con

respecto a la capacidad de los elementos para establecer relaciones. Se pueden encontrar fórmulas matemáticas que calculen el número de relaciones posibles, pero toda operación del sistema que establece una relación tiene que elegir una entre muchas - la complejidad impone selección -. Un sistema complejo surge sólo por selección. Esta necesidad de selección cualifica los elementos, es decir, da cualidad a la pura cantidad. Esta cualidad es la neguentropía, contraria a la entropía y ésta significa que todas las relaciones lógicas posibles son igualmente probables. Este concepto de complejidad se basa en el concepto de operación. La complejidad de las operaciones.

El otro concepto es un problema de observación. Si un sistema tiene que seleccionar sus relaciones, es difícil predecir qué relaciones seleccionará; incluso si es conocida una selección particular, no es posible predecir qué otras selecciones serán realizadas. El conocimiento de un elemento no conduce al conocimiento de todo el sistema; la observación de otros elementos dará, sin embargo, información adicional sobre el sistema. La complejidad del sistema, desde esta perspectiva es una medida de la falta de información. Sin embargo, hay muchas otras maneras de visualizar la complejidad.[16]

El término complejidad fue acuñado por Christophe Langton y Norman H. Packard, quienes en experimentos con autómatas celulares concluyeron que la capacidad computacional de los sistemas - esto es, su habilidad para almacenar y procesar información - alcanzaba su máximo en un estrecho régimen entre un comportamiento altamente periódico y otro caótico.

En el procedimiento del modelo de autómata celular, el espacio de simulación está dividido en células, y a cada una de ellas, se le asigna uno de tres estados: activo, receptivo o inmóvil. Una célula activa puede excitar a una célula adyacente si esa célula adyacente se encuentra en estado receptivo. Luego de determinado tiempo, las células activas se degradan y quedan inmóviles. Después de un tiempo aun más prolongado, las células inmóviles pueden tornarse nuevamente receptivas. Estas reglas de secuenciación

significan que los estados activos no pueden propagarse dentro de zonas que ya son activas, y tampoco pueden propagarse dentro de zonas inactivas. Este mecanismo permite, entre otras cosas, explicar cómo pueden nacer espontáneamente complejas organizaciones espaciales.

El descubrimiento de que el procesamiento universal de información está en equilibrio entre el orden y el caos en los sistemas dinámicos es importante en sus analogías con las transiciones de fase del mundo físico. Sería muy interesante que los sistemas complejos adaptativos estuvieran inevitablemente situados en el límite del caos.[17] Así pues, se han propuesto varias definiciones de complejidad, pero la mayoría de ellas incluyen conceptos como entropía, aleatoriedad e información y todas tienen limitaciones. [18]

Se entiende que el caos es un subconjunto de la complejidad. Es un análisis del comportamiento de sistemas dinámicos continuos o discretos que muestran características recurrentes y una alta sensibilidad a las condiciones iniciales, de manera que cambios mínimos en dichas condiciones iniciales pueden hacer que el sistema se comporte de una manera distinta. Un cambio infinitesimal en las condiciones iniciales conduce a diferentes caminos en la evolución del sistema, como es el caso del famoso efecto mariposa. Estos caminos se denominan trayectorias y pueden ser divergentes o convergentes. Hay sistemas complejos que parecen haber evolucionado aprendiendo a equilibrar convergencia y divergencia, de manera que se instalan entre el caos y el orden.[19]

En este punto es adecuado indicar que un sistema conservativo es aquel que puede describirse con una ecuación diferencial lineal y es determinístico y previsible como el péndulo, un oscilador armónico o la propagación de la luz en el vacío. De otro lado un sistema disipativo se describe con una ecuación no - lineal como es el caso de los sistemas mecánicos donde hay rozamiento.

Como ya se indicó, la complejidad se ha relacionado con la capacidad de poder pasar de un comportamiento a otro cuando cambian las condiciones del entorno. La flexibilidad y

adaptabilidad consecuencia de dicha capacidad, conducen a su vez al concepto de elección entre diversas posibilidades que se ofrecen. Esto se lleva a cabo a través de la dinámica de fluctuaciones y exige la participación de sus dos manifestaciones antagónicas: la aleatoriedad de corto alcance, como elemento innovador, para que pueda explorar el espacio de estados; y el orden de gran alcance, para que el sistema pueda mantener un régimen colectivo en áreas macroscópicas del espacio y a lo largo de intervalos temporales macroscópicos.

Suposición necesaria para todos estos fenómenos es una dinámica no lineal que, cuando hay las limitaciones adecuadas, conduce a inestabilidad del movimiento y bifurcaciones, es decir a cambios de comportamiento. Y esto ocurre en ciencias de los materiales, en los fenómenos de valor umbral en la dinámica celular, en el modelamiento del clima, en el comportamiento probabilístico y en las estrategias de adaptación de los insectos sociales, y en la autoorganización de los sistemas humanos.[20]

De hecho, en cualquier momento hay muchos mecanismos de autoorganización funcionando, lo cual se traduce en orden local, aunque en promedio el desorden del universo aumenta en consonancia con la segunda ley de la termodinámica, como se explica más adelante. La autoorganización da lugar, por ejemplo, a los brazos de las galaxias espirales y a las miríadas de formas geométricas de los cristales de hielo en la nieve.[21]

Vistas así las ciencias de la complejidad constituyen un terreno de reflexión interdisciplinaria, un esfuerzo por comprender como ciertos patrones de comportamiento complejos pueden ser el fruto de los efectos colectivos de las interacciones entre múltiples elementos individualmente simples. De esto se han desarrollado dos consecuencias centrales.

La primera, reconoce que para estudiar sistemas complejos ya no es adecuado el tradicional enfoque reduccionista de la ciencia, donde el comportamiento global de un sistema complejo se intenta explicar como consecuencia de las diferentes interacciones entre sus componentes. Esto porque, tal como se señaló antes, los comportamientos observados

aparecen con una riqueza, complejidad y estructura, mucho mayores de lo que las reglas de interacción de los componentes individuales sugieren a primera vista.

La segunda consecuencia es la convicción de que existen muchos sistemas complejos cuyos comportamientos globales comparten características entre sí, a pesar de las diferencias que puede haber entre sus componentes individuales, es decir, que tiene sentido hablar de las reglas de la complejidad.

La finalidad de estas propuestas teóricas sería intentar dilucidar dichas reglas, con el ánimo de realizar afirmaciones de carácter explicativo y aún predictivo acerca de muchos sistemas complejos encontrados en la naturaleza.[22] Muchas de las personas que trabajan en complejidad como Murray Gell-Mann, Stuart Kauffman, Harold Morowitz y otros, han imaginado que el mundo está lleno de sistemas altamente organizados y complejos, pero que las leyes fundamentales han sido simplemente fijadas de antemano, por Dios o por las matemáticas. Sin embargo, hay quienes explican mecanismos de autoorganización que van de las mayores escalas a las más pequeñas, y que explican tanto las propiedades de las partículas elementales como la historia y estructura del universo entero. Es decir, que una buena teoría que fusione la relatividad y la cosmología con la teoría cuántica debe ser también una teoría de la autoorganización.[23]

Saliendo del campo de las ciencias, la complejidad o la complicación son conceptos que provienen del lenguaje cotidiano. Como señala Morin: "Se puede decir que hay complejidades donde quiera se produzca un enmarañamiento de acciones, de interacciones, de retroacciones. Y este enmarañamiento es tal que ni siquiera un computador podría captar todos los procesos en curso. Pero hay también otra complejidad que proviene de la existencia de fenómenos aleatorios, que no se pueden determinar, y que, empíricamente agregan incertidumbre al pensamiento. Se puede decir, en lo que concierne a la complejidad que hay un polo empírico y un polo lógico y que la complejidad aparece cuando hay a la vez dificultades empíricas y dificultades lógicas." Ejemplo del polo empírico es el efecto mariposa en el sentido de que nada está

realmente aislado en el universo y todo está en relación, en la física y la política. Ejemplo de lo lógico ocurre cuando la lógica deductiva es insuficiente y surgen contradicciones que devienen insuperables. Tal es el caso de la microfísica ondulatoria y corpuscular. [24, 25].

Donde más fácilmente se adoptó la complejidad fue en la biología. Incluso la complejidad estaba equiparada a la vida, mas no es así, la convección térmica es un prototipo de fenómenos de autoorganización en física, pero también los hay en química (la reacción de Belousov-Zhabotinski, que bajo determinadas condiciones de no equilibrio, ofrece todo un espectro de formas de comportamiento). De hecho siempre hubo distancia entre la biología y la termodinámica. Había una aparente discrepancia entre la decadencia entrópica y la complejidad biológica. Incluso los biólogos pensaban que la termodinámica era irrelevante para sus preocupaciones científicas. Pero esto fue superado por Ilya Prigogine y su Escuela de Bruselas.

De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica un sistema aislado (es decir, que no intercambia ni materia ni energía con sus alrededores) si es complejo tiende a evolucionar espontáneamente, hacia las configuraciones más estables, las de máxima entropía.

Si embargo, cuando el sistema no es aislado sino cerrado (que no intercambia materia aunque si energía con los alrededores), puede suceder y sucede a menudo, que su configuración más probable no sea la más desordenada sino que llegue a una situación de mayor orden. Cuando el sistema se vuelve más ordenado ello sucede porque entrega su desorden a otra parte: el desorden colectivo es el mismo de acuerdo con la segunda ley.

En el caso de los sistemas vivos debe tenerse en cuenta que no son sistemas aislados y además viven en un ambiente alejado del equilibrio termodinámico y están, ellos mismos, lejos de dicho equilibrio; ni siquiera son sistemas cerrados. Los seres vivos son sistemas abiertos (que intercambian materia y energía con el ambiente) que extraen comida del medio y descargan en éste sus desechos. El comportamiento de un sistema, especialmente cuando en su interior

ocurren reacciones químicas, cambia mucho según sea cerrado o abierto,

Prigogine razonó que el término general de la entropía puede dividirse en dos partes. Una refleja los intercambios entre el sistema y el mundo exterior (los alrededores); la otra describe cuánta entropía se produce dentro del sistema mismo. La segunda ley exige que la suma de estas dos partes sea positiva, excepto en el estado de equilibrio, cuando es cero. Pero si el sistema está muy lejos del equilibrio, el primer término será tan abrumadoramente positivo que, aun cuando el segundo término sea negativo, la suma puede seguir siendo positiva. Esto significa que, sin violar la segunda ley, los sistemas muy alejados del equilibrio pueden experimentar una disminución de la entropía local. Para los sistemas que interesaron a Prigogine, esta disminución se manifiesta como un impresionante aumento de la organización interna. Para destacar la conexión entre los procesos autoorganizativos y la gran producción de entropía Prigogine llamó a tales reacciones “sistemas disipativos”.

Hay autoorganización de los sistemas fisicoquímicos; como en los inducidos por la tensión superficial; los fenómenos electromagnéticos cooperativos; los circuitos eléctricos, el láser y la bioestabilidad óptica y en la transición magnética en el hierro. La hay también en dimensiones planetarias y cósmicas y en organismos tan simples como las amebas de la especie *Dictyostelium discoideum*.

Sin embargo, en comparación con la naturaleza, la realidad social es mucho más compleja y complicada. Se quiere evitar la complejidad, se tiene gusto por las ideas simples, leyes simples, fórmulas simples, para comprender y explicar lo que ocurre alrededor y en nosotros. Pero como estas fórmulas simples y leyes simples son cada vez más insuficientes, estamos confrontados al desafío de la complejidad. Un desafío al que hay que responder en primer lugar tratando de señalar qué quiere decir “complejidad”. Los límites de las diversas ramas de la ciencia coinciden parcialmente, y en la zona de contacto entre las disciplinas establecidas surgen nuevas teorías. La diferenciación y la integración son dos aspectos de un mismo proceso dialéctico de desarrollo de la ciencia moderna y constituyen su esencia misma. [26]

De acuerdo con el análisis de Wagensberg [27] y según el nivel de complejidad que se enfrente, se imponen diferentes métodos para elaborar el conocimiento. En los casos más simples puede ser útil el método científico, pero si no es posible separar el sujeto del objeto del conocimiento, si el observador altera lo observado, si el creador no puede dejar de influir en lo creado, si la complejidad no se puede descomponer, si no hay experimento ni modelo, es necesario cambiar de método. Además de este primero hay otros dos posibles.

El segundo consiste en aceptar «comunicabilidad de complejidades ininteligibles», es decir la manera como se elabora el conocimiento artístico. El artista es un demiurgo, pero el acto artístico puede ocurrir o no. Por ello queda un tercer método, el conocimiento revelado por un sujeto para el que todo es objetivo e inteligible y tiene a bien revelarlo. Tal sujeto puede ser Dios, la conciencia u otra entidad de las que abundan ahora.

De acuerdo con tal análisis hay sólo tres formas fundamentales de conocimiento: el científico, el artístico y el revelado. Todo conocimiento real es una superposición ponderada de las tres formas. Por ello es necesario pensar en tantos temas concretos que muestran la unidad y diversidad de las tres formas de conocimiento. Una interacción intensa entre ellas integrará una gran plataforma triangular de tres vértices y grandes zonas de traslape, sobre la cual podría edificarse la cultura y el tipo de conocimiento que muchos deseamos para el milenio que nos llega [28]

Por las razones anteriores hay que valorar las contribuciones igualmente fundamentales de aquellos que se atreven a dar lo que se llama “vistazo a la totalidad”. Esto porque es común que las personas tengan cierto estilo de pensamiento. Nietzsche introdujo la distinción entre “apolíneos”, aquellos que dan preferencia a la lógica, la aproximación analítica y el peso desapasionado de la evidencia, y “dionisiacos”, aquellos más inclinados a la intuición, la síntesis y la pasión. Estos rasgos se suelen correlacionar de forma burda con el uso preferente de los hemisferios cerebrales izquierdo y derecho,

respectivamente. Algunos de los estudiantes de la complejidad, parecen pertenecer a otra categoría: los “odiséicos”, que combinan las dos predilecciones en su búsqueda de conexiones con ideas. La gente así suele sentirse sola en las instituciones convencionales, pero encuentran un ambiente particularmente agradable en el Instituto Santa Fe (Nuevo México, USA).

Una buena parte de la investigación que hoy se lleva cabo sobre la simplicidad, la complejidad y los sistemas complejos adaptativos se realiza en el Instituto Santa Fe. Como se ha mencionado, quienes se dedican a estudiar sistemas complejos adaptativos comienza ya a encontrar algunos principios generales subyacentes en este tipo de sistemas; la búsqueda de estos principios requiere intensas discusiones entre especialistas de muchas áreas. Por descontado, el estudio meticulado e inspirado en cada especialidad sigue siendo vital como siempre, pero la integración de las diferentes especialidades es también una necesidad urgente. [29]

También se hacen estudios interdisciplinarios y de complejidad en la École Normale Supérieure de París; el Instituto Max Planck de Química Biofísica en Gotinga, El Instituto de Química Teórica de Viena, el Grupo Bach de la Universidad de Michigan, el Instituto Interdisciplinario de la Universidad Complutense de Madrid, la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad de Osaka, la Universidad de Stuttgart, la Universidad Libre de Bruselas. La Universidad de Utrecht, el ATR cerca Kioto, el Departamento de Ciencias Puras y Aplicadas de la Universidad de Tokio, el Centro de estudios de sistemas no lineales en distintos campus de la Universidad de California, la Universidad de Arizona, el Instituto Beckman de la Universidad de Illinois, el Instituto Tecnológico de California, NODITA de Copenhague, el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas en Viena, el Instituto para el intercambio científico en Turín y la fundación INTERFAS de Buenos Aires.

Quizá para mayor complejidad, personajes como Murray Gell-Mann, Nobel de física en 1969 por su descubrimiento del quark, proponen otros nombres y definiciones. Se habla así de la pléctica.

LA PLECTICA

Pléctica, derivado de la palabra que en griego significa *retorcido* o *trenzado*. De la palabra latina correspondiente, *plexus*, que también significa *trenzado*, deriva *complejo*, que en su origen significa *entretelado*. De la misma raíz es el verbo latino *plicare*, *plegar*, relacionado con *simplex*, que significa *plegado una vez* y da origen a *simple*.

La pléctica, pues, es el estudio de la simplicidad y la complejidad. Se incluyen en ella las diversas definiciones de complejidad propuestas, el estudio de los papeles respectivos de la simplicidad y la complejidad y de la información clásica y cuántica en la historia del universo, la física de la información, el estudio de la dinámica no lineal, incluyendo la teoría del caos, los atractores extraños y autosimilitud en los sistemas complejos no adaptativos de la física, y el estudio de los sistemas complejos adaptativos, incluyendo la evolución química prebiótica, la evolución biológica, el comportamiento de los organismos individuales, el funcionamiento de los ecosistemas, el funcionamiento del sistema inmunitario de los mamíferos, el aprendizaje y el pensamiento, la evolución de los lenguajes humanos, el auge y caída de las culturas humanas, el comportamiento de los mercados y el funcionamiento de los computadores diseñados o programados para desarrollar estrategias en juegos o en resolución de problemas. [30,31]

CONCLUSION

El problema de la fragmentación del saber es tangible y problemático en nuestra universidad, el divorcio de las “culturas” es evidente. Ello pone de manifiesto un notable retraso en nuestra manera de elaborar el conocimiento y revela una visión reduccionista que en todo el mundo trata de superarse. Es

perfectamente válido lo que se ha dicho que “ la sociedad tiene problemas y la universidad tiene departamentos”, es decir que mientras los problemas del mundo real son complejos y exigen un tratamiento interdisciplinario, la universidad tiene sus saberes atomizados en departamentos y cátedras que muchas veces no se comunican entre sí. Y de esa manera están estructurados los currículos. Y así está atomizado el conocimiento y la universidad.

Todos los organismos universitarios deberían propiciar, de manera real, la interdisciplinaria. Hay que impulsar las corporaciones académicas y los grupos de investigación y estudio de las nuevas disciplinas. Mientras en el mundo, como ya se indicó, hay toda una serie de instituciones que hace tiempo acometieron esas tareas, en nuestro medio la defensa de pequeños saberes y sus feudos y el culto a la especialización siguen estando a la orden del día.

Es posible que, como anotan algunos, la complejidad sólo lleve a la perplejidad, pero el mero hecho de que ella conduzca al trabajo interdisciplinario, es una razón suficiente para acometer su estudio y aplicación. Además debemos pensar en sus amplios alcances, pues como afirma Godwin desde la biología: «Somos tan cooperativos como egoístas, tan creativos y lúdicos como destructivos y repetitivos. Estamos biológicamente anclados en relaciones que operan a todos los niveles de nuestro ser, una propiedad que compartimos con todas las demás especies y que es la base de nuestra naturaleza como agentes de emergencia evolutiva creadora. No se trata de anhelos románticos ni ideales utópicos. Todo esto surge de un replanteamiento de nuestra naturaleza biológica que deriva de las ciencias de la complejidad y está llevando a una ciencia de cualidades, la cual nos puede ayudar en nuestra búsqueda de una relación más equilibrada con los demás miembros de nuestra sociedad planetaria». [32]

REFERENCIAS

- [1] Bohm, David, *La totalidad y el orden implicado*, Kairós, Barcelona, 1987, p. 12.
- [2] Snow, C. P., *Las dos culturas y un segundo enfoque*, Alianza Editorial, Madrid, 1977.
- [3] Revel, Jean Francois, *Temas de nuestro tiempo*, Sala Editorial, Madrid, 1972, p. 30
- [4] Snow, C. P., *Op. Cit.*
- [5] Luhman, Niklas, *Complejidad y modernidad. De la unidad a la diferencia*. Editorial Trotta, Madrid, 1998.
- [6] Peña, Luis Bernardo, *La revolución del conocimiento: sus consecuencias para la universidad*, ASCUN-ICFES, Bogotá, 1983.
- [7] Witker V. Jorge, *Universidad y dependencia científica y tecnológica en América Latina*, Universidad Autónoma de México, México, 1976.
- [8] Binnig, Gerd, *Desde la nada*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 1996.
- [9] Morin, Edgar, *Introducción al pensamiento complejo*, Gedisa, Barcelona, 1998.
- [10] Morin, Edgar, “Epistemología de la complejidad”, *Nuevos paradigmas, cultura y subjetividad*, Dora Fried Schnitman (ed.), Paidó, Buenos Aires, 1994, p. 421.
- [11] Mainzer, K, *Thinking in Complexity: The Complex Dynamics of Matter, Mind and Mankind*, Spinger-Verlag, Munich, 1994.
- [12] Prigogine, Ilya. “La lectura de lo complejo”, *¿Tan solo una ilusión?*, Tusquets, Barcelona, 1993, p. 45.
- [13] Prigogine, Ilya. “La evolución de la complejidad y las leyes de la naturaleza”, *¿Tan solo una ilusión?*, Tusquets, Barcelona, 1993, p. 221.
- [14] Hayles, N. Katherine, *La evolución del caos*, Gedisa, Barcelona, 1993.
- [15] Monroy Olivares, César, *Teoría del caos*, Alfaomega, México, 1997.
- [16] Gell-Mann, Murray, *El Quark y el jaguar*, Tusquets, Barcelona, 1995.
- [17] Luhmann, Niklas, *Op. Cit.*
- [18] Lewin, Roger, *Complejidad*, Tusquets, Barcelona, 1995.
- [19] Pérez, Fernando, “El desorden: ¿una pregunta científica?”, *Revista Universidad de Antioquia*, no 243, Enero, 1996, p. 36.
- [20] Nicolis, Grégoire e Ilya Prigogine, *La estructura de lo complejo*, Alianza Universidad, Madrid, 1994.
- [21] Nicolis, Grégoire e Ilya Prigogina, *Op. Cit.*
- [22] Horgan, J., “From complexity to perplexity”, *Scientific American*, June, 1995, p. 104..
- [23] Kauffman, Stuart, “Orden gratuito”, *La tercera cultura*, Tusquets, Barcelona, 1996, p. 315.
- [24] Morin, Edgar, *Op. Cit. [8]*
- [25] Morin, Edgar, *El Método I. La naturaleza de la naturaleza*, Cátedra, Madrid, 1993.

- [26] Ganovski, Sava “ La unidad de las ciencias sociales y las exactas y naturales”, *Repercusiones sociales de la revolución científica y tecnológica*, R. S. Cohen (ed.) Tecnos, Madrid, 1982, p. 137.
- [27] Wagensberg, Jorge, *Ideas sobre la complejidad del mundo*, Tusquets, Barcelona 1994.
- [28] Díaz, José Luis, *El ábaco, la lira y la rosa. Las regiones del conocimiento*, Fondo de Cultura Económico, México, 1997.
- [29] Gell-Mann, Murray, “Pléctica”, *La tercera cultura*, Tusquets, Barcelona, 1996, p. 298.
- [30] Gell-Mann, Murray, *Op. Cit [15]*.
- [31] Lewin, Roger, *Op. Cit.*, Tusquets, Barcelona, 1995.
- [32] Goodwin, Brian, *Las manchas del leopardo. La evolución de la complejidad*, Tusquets, Barcelona, 1998, p. 16.