

January 2013

Aproximación a las ciencias de la complejidad

Óscar Augusto Elizalde Prada

Universidad de La Salle, Bogotá, oelizalde@unisalle.edu.co

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls>

Citación recomendada

Elizalde Prada, Ó. A. (2013). Aproximación a las ciencias de la complejidad. *Revista de la Universidad de La Salle*, (61), 45-66.

This Artículo de Revista is brought to you for free and open access by the Revistas de divulgación at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in *Revista de la Universidad de La Salle* by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Aproximación a las ciencias de la complejidad*

Óscar Augusto Elizalde Prada**

■ Resumen

Las ciencias de la complejidad son ciencias de punta y como tales se encuentran en la mira de la sociedad del conocimiento y del mundo académico. Este trabajo propone algunas pistas para su comprensión, distinguiéndolas del pensamiento complejo y del enfoque sistémico. Sin exhaustividad se ofrecen algunos elementos que apuntan a una doble pregunta ¿qué son y cuáles son las ciencias de la complejidad?

Palabras clave: ciencias de la complejidad, ciencias de frontera, revolución científica, no linealidad, emergencia, incertidumbre.

* Frente a las diferentes perspectivas epistémicas que fundamentan los estudios y gestión del desarrollo, este artículo da cuenta de la revisión de un tema específico: las ciencias de la complejidad.

** Licenciado en Educación con Especialidad en Ciencias Religiosas y Magíster en Estudios y Gestión del Desarrollo (Universidad de La Salle). Docente del Departamento de Formación Lasallista. Integrante del grupo de investigación Intersubjetividad y Educación Superior de la Universidad de La Salle. Jefe de redacción de la revista *Vida Nueva*, Colombia. Correo electrónico: oelizalde@unisalle.edu.co

Introducción

En el contexto de las revoluciones científicas, Campos (2010) refiere una serie de reconocidos personajes que han dado rostros y nombres a las crisis y al surgimiento de las teorías científicas —de las que hablaba Kuhn (2006) en su clásico *The Structure of Scientific Revolutions*—. Al lado de Galileo Galilei (1564-1642), René Descartes (1596-1650), Isaac Newton (1642-1727) y Adam Smith (1723-1790), aparecen figuras más recientes como Edward Lorenz (1917-2008) y Benoit Mandelbrot (1924-2010), que hacen parte del grupo de científicos que durante la segunda mitad del siglo XX dieron origen a las llamadas ciencias de la complejidad.¹ “Entre los retos de la universidad está el de entender los conceptos y visiones del mundo que han surgido de las revoluciones científicas” (Campos, 2010), entre las cuales las ciencias de la complejidad merecen una atención especial, por sus implicaciones en el campo de la investigación científica interdisciplinar, de las escuelas de pensamiento y de los estudios sobre el desarrollo, entre otros.

A pesar de su relativa *juventud* en los terrenos de la ciencia y de la investigación, la complejidad convoca, impacta, inquieta y, con frecuencia, fascina el mundo de la academia, tan exigente como plural, hasta el punto de que cada vez más crece el puñado de filósofos, ingenieros, matemáticos, físicos, químicos, administradores, economistas, arqueólogos... que arriesgan su capital científico en procura de nuevos horizontes marcadamente interdisciplinares, donde las ciencias carecen de fronteras, y las certezas (siempre provisorias) dan lugar a nuevas interpelaciones. Este es el camino abierto por las ciencias de la complejidad.

El creciente interés por comprender la complejidad como ciencia, conlleva implícitamente a la superación de los *lugares comunes* (cliché) en los que la complejidad ha sido homologada y reducida a una sumatoria de elementos diversos, difíciles y prácticamente indescifrables.² También precisa de algunas aclaraciones para diferenciar las ciencias de la complejidad, del pensamiento

¹ En el mundo de las ciencias de la complejidad, son ampliamente reconocidos los aportes de Edward Lorenz a la *teoría del caos*, y de Benoit Mandelbrot a la *geometría fractal*, como se verá más adelante.

² De hecho, el Diccionario de la Real Academia Española es lacónico al definir complejidad como “cualidad de complejo” (Real Academia Española, 2001) y pobre al señalar que, como adjetivo, complejo es “complicado; que se compone de elementos diversos” y, como nombre, complejo hace referencia a un “conjunto o unión de dos o más cosas” (Real Academia Española, 2001).

complejo y del enfoque sistémico. Desde allí, es posible bosquejar sus elementos característicos y vislumbrar, sin mayores pretensiones, las oportunidades que ofrecen a las comunidades académicas, en general, y al desarrollo humano integral y sustentable (DHIS), en particular. Ese es el alcance propuesto para esta breve aproximación a las ciencias de la complejidad.

Aclaraciones pertinentes

Si bien es cierto que la complejidad hace parte de los nuevos lenguajes (¿de moda?) que permean los círculos intelectuales y científicos, no en todos los casos su recurrencia corresponde a un mismo significado u horizonte de comprensión. Así, al hablar de complejidad, hay quienes aluden a un *método* (pensamiento complejo), otros se refieren a una *cosmovisión* (enfoque sistémico), y algunos más a un conjunto de *ciencias* (ciencias de la complejidad). Este último es el horizonte por donde se orienta este trabajo.

Se constata, por tanto, la existencia de diversas miradas sobre la complejidad (figura 1). En varias oportunidades, esta pluralidad de perspectivas se ha evidenciado tanto en eventos académicos como en publicaciones realizadas en torno a experiencias e investigaciones inscritas desde una perspectiva compleja. En la introducción del libro *Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicación*, por citar un ejemplo, se lee: “A primera vista, los textos compilados darían, íntegramente, la apariencia de una mirada ecléctica, pero es que éste es justamente uno de los rasgos de la complejidad: una mirada hologramática” (Maldonado, 2007). Frente a este asunto, ya se han dado pasos significativos en el reconocimiento y la distinción de las intencionalidades que encierran las distintas miradas desde las cuales se aborda la complejidad.

Con todo, y para favorecer la función propedéutica que este artículo puede tener para quienes comienzan a aproximarse a estas cuestiones, conviene subrayar algunos elementos que permitan diferenciar, *a priori*, las perspectivas propuestas por los teóricos del pensamiento complejo y del enfoque sistémico, para abordar luego los elementos característicos de las ciencias de la complejidad.³

³ Seguimos aquí los planteamientos de Maldonado (2007, 2009 y 2012).

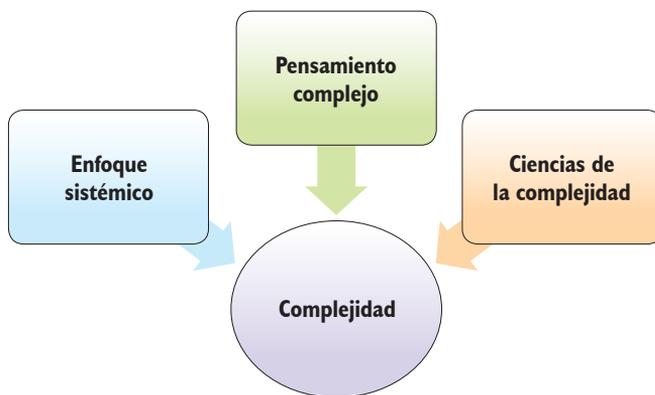


Figura 1.

Diversas miradas sobre complejidad

Fuente: elaboración propia a partir de Maldonado (2012).

Pensamiento complejo

La complejidad vista como método tiene nombre propio: Edgar Morin. El método expuesto por el padre del pensamiento complejo “consiste en poner al descubierto un universo cambiante frente al cual la ciencia, el pensamiento o la cultura anteriores o normales ya no son suficientes” (Maldonado, 2012). Dicho con otras palabras, el pensamiento complejo entraña un modo de aproximación al mundo y al ser humano, que rechaza cualquier intento de interpretación simplificada y reduccionista. De ahí que, en palabras del mismo Morin, “el paradigma de complejidad provendrá del conjunto de nuevos conceptos, de nuevas visiones, de nuevos descubrimientos y de nuevas reflexiones que van a conectarse y reunirse” (1994).

En su apuesta antropocéntrica, el pensamiento complejo entraña una invitación a situarse ante el mundo con una actitud diferente, a fin de captar la realidad como verdaderamente es, asumiéndola con pertinencia. Traducido al mundo de la educación en *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro* (Morin, 1999), el pensamiento complejo adquirió amplia popularidad y acogida, particularmente entre humanistas y científicos sociales.

Enfoque sistémico

Los principales exponentes del enfoque sistémico —también llamado pensamiento sistémico— provienen de la escuela de Palo alto, en California (Estados Unidos). Entre sus creadores se encuentran F. Capra, Von Bertalanffy, Von Foester, H. Maturana y G. Bateson. Desde el punto de vista del enfoque sistémico, “la complejidad es una cosmovisión que le adscribe un papel determinante al sujeto, denominado genéricamente como ‘observador’”. De acuerdo con esta línea de interpretación, la complejidad del mundo es relativa al punto de vista del observador” (Maldonado, 2009), y así es como, a través de relaciones, nodos y sinergias, se procura que todas las piezas del rompecabezas tengan cabida dentro de un todo coherente.

Uno de los aspectos plausibles del enfoque sistémico, y tal vez su mayor logro, es su aproximación al conocimiento, con sus temas, objetos y problemas, en términos bastante funcionales e integrativos.

Ciencias de la complejidad

“Las ciencias de la complejidad nacieron en y desde los institutos de investigación” (Maldonado, 2010). Principalmente acogen los trabajos de los teóricos e investigadores del Instituto Santa Fe, en Nuevo México (Estados Unidos), de la Universidad Libre de Bruselas (Bélgica) y de otros centros e institutos de investigación en todo el mundo,⁴ incluyendo entre sus máximos exponentes a científicos de la talla de Ilya Prigogine e Immanuel Wallerstein.

A diferencia del pensamiento complejo y del enfoque sistémico, Maldonado afirma que las ciencias de la complejidad tienen un significado, una importancia y una extensión perfectamente diferentes y más amplios que los dos anteriores, semejante a una *caja de herramientas* que permite entender y explicar qué es la complejidad y en qué sentido, cómo y por qué se han vuelto complejas

⁴ No se puede desconocer la labor de algunos institutos y centros de investigación que dieron algunos pasos previos con relación al estudio de la complejidad a finales de los setenta e inicios de los ochenta. Es el caso del Centro de Estudios para la Dinámica No-lineal, el Instituto Santa Cruz para la Ciencia No-lineal, el Centro para Estudios No-lineales y el Instituto para la Ciencia No-lineal (Maldonado, 2012).

las cosas, el mundo, la sociedad y la naturaleza (2012). Se trata de una búsqueda irrenunciable e inaplazable, si se acepta que “el hombre es un suceso del mundo que cree tener la facultad de tirar de los hilos de su propio drama, algo que, naturalmente, depende del conocimiento que aquél haya conseguido de sí mismo y del resto del universo. Es por eso que inventa ideologías y confecciona utopías” (Wagensbert, 2007).

Comprender la complejidad en términos de ciencia conlleva al reconocimiento de una *teoría (theory of complexity)* que, de entrada, cuestiona las distinciones entre sujeto-objeto, presentes en los planteamientos metodológicos del pensamiento complejo y en la cosmovisión que propone el enfoque sistémico.

Además de esto, las ciencias de la complejidad se sitúan en contravía de las llamadas ciencias tradicionales, que son hijas de la modernidad y portadoras de promesas positivistas.

De las ciencias tradicionales a las ciencias de la complejidad

Las ciencias de la complejidad están señalando una nueva ruta hacia el conocimiento. A diferencia de las ciencias tradicionales que, en muchas oportunidades, prometen certezas, respuestas y soluciones, las ciencias de la complejidad se mueven entre la incertidumbre y la irregularidad que devienen de las periferias del conocimiento. En este punto coinciden con la intuición que Zygmunt Bauman propuso, en el preludio de su *modernidad líquida*: “formular las preguntas correctas constituye la diferencia entre someterse al destino y construirlo, entre andar a la deriva y viajar” (1998).

Bajo esta connotación *mayéutica* de la actividad científica e investigativa, el concepto tradicional de ciencia cede ante los horizontes científicos de las denominadas *ciencias de punta* —entre las que se ubican las ciencias de la complejidad—, hasta el punto de que se abandona la tentativa de considerar como ciencia toda actividad acumulativa de descubrimientos e invenciones particulares, para reconocer que con las ciencias de la complejidad se están abriendo espacios no-lineales ni convencionales que permiten una mejor aproximación a la complejidad de los sistemas, sus problemas y posibles soluciones. Así visto,

las *ciencias de punta* jalonan la comprensión compleja de los fenómenos y de los sistemas que antes se abordaban de manera lineal y disciplinar, lo cual supone también una profunda revolución para los gestores de las ciencias, justo en la perspectiva señalada por Thomas Kuhn:

Los cambios de paradigma hacen que los científicos vean de un modo distinto el mundo al que se aplica su investigación. En la medida en que su único acceso a dicho mundo es a través de lo que ven y hacen, podemos estar dispuestos a afirmar que tras una revolución los científicos responden a un mundo distinto. [...] Por consiguiente, en tiempos revolucionarios, cuando cambia la tradición de la ciencia normal, la percepción que tiene el científico de su medio ha de reeducarse (2006).

Una nueva percepción de las ciencias es uno de los resultados visibles de las revoluciones científicas, con sus implicaciones deconstructivas y reconstructivas. Esto significa que es necesario *indisciplinar* las ciencias y sus métodos para que emerja la complejidad. Por encima de sus dogmas, las ciencias amplían sus niveles de libertad. Una mirada científicamente unidimensional —entiéndase disciplinar— tampoco tiene cabida ante la complejidad de la vida y sus acuciantes interpelaciones. En definitiva, desde la complejidad la ciencia adquiere nuevos matices.

Comparativamente hablando, si por una parte, las ciencias tradicionales han representado para las sociedades del conocimiento una serie de promesas, por otra parte, las ciencias de la complejidad se sitúan abiertamente como una *no promesa* en términos positivistas, cargada de nuevos sentidos y significados.

La *no-promesa* de las ciencias de la complejidad

En la historia del pueblo semita, la *tierra prometida* representó una posibilidad y un riesgo, una búsqueda sin retorno, comparable tal vez con la osadía de quienes hace más de cinco siglos se lanzaron al mar en procura de nuevas rutas hacia *las indias*, o con la audacia de Charles Darwin, quien en sus años de juventud se embarcó en el *Beagle* sin sospechar que aquella expedición científica en realidad sería el inicio de su teoría evolucionista.

Si bien es cierto que las ciencias tradicionales concretaron su *tierra prometida* y sus conquistas, a través de elaboraciones teleológicas y misionales, en el caso de las ciencias de la complejidad, la *tierra prometida* es una pregunta abierta y la conquista es un problema por resolver, tan impredecible como indefinido. Por eso, el terreno en el que se sitúan las ciencias de la complejidad conserva un carácter provisorio, como si se tratara de un espacio en permanente construcción y carente de protagonismos hegemónicos. No tiene que ver, por lo tanto, con un estado de perfección y tranquilidad, colmado de promesas, donde todo está resuelto de antemano.

Dicho de otro modo, las ciencias de la complejidad, como ciencias de punta, “buscan correr las fronteras del conocimiento; es decir, ampliar el perímetro, y por consiguiente el área del conocimiento” (Maldonado, 2010).

La promesa que se deriva de las ciencias de la complejidad tiene que ver entonces con una no-promesa y un no-equilibrio, es decir, se ubica en el extremo del caos como gestor de un nuevo orden de las cosas.

Utilizando la paradoja de la *tierra prometida*⁵ del pueblo de Israel, se podría decir que es en la incertidumbre de atravesar el desierto y no en la seguridad de llegar a un terreno fértil, donde se gesta la novedad revolucionaria de las ciencias de la complejidad. A la luz de estas aclaraciones, todavía es necesario precisar qué son y cuáles son las ciencias de la complejidad.

¿Qué son y cuáles son las ciencias de la complejidad?

Antes de esbozar algunos elementos para ahondar en una definición y en una posible clasificación sobre las ciencias de la complejidad, es importante advertir que de ninguna manera se trata de un ejercicio concluido ni infalible. Lo que se plantea a continuación debe leerse anteponiendo una frase a manera de prefijo: *hasta el punto donde han llegado las investigaciones se puede decir que...* Esta precaución, que en realidad podría aplicarse a cualquier ámbito de las ciencias,

⁵ La paradoja referida se puede leer en el libro del Éxodo. Concretamente, a partir de Ex 13,17.

en el caso de la complejidad se justifica por dos motivos: uno de tipo temporal y otro teórico.

Por una parte, las ciencias de la complejidad *acaban de nacer*, a lo sumo la actual generación de complejólogos es apenas la segunda, lo cual implica que se trata de un territorio relativamente nuevo —y sin embargo creciente— que está siendo abordado por “gente que se ha formado en una disciplina, en una ciencia particular, y que, por diversas razones, al cabo, ha accedido a pensar, a trabajar y a vivir en términos de interdisciplinariedad” (Maldonado y Gómez, 2011).

Por otra parte, y relacionado con lo anterior, es importante señalar que hasta la fecha no existe una teoría básica, general, fundamental o unificada de la complejidad. Ante esto, sobreviene el cuestionamiento sobre si es posible hablar de ciencias de la complejidad sin haber definido aún una teoría de la complejidad. Algunos como Andrade se preguntan “si es posible formular una teoría de la complejidad o si, más bien, deberíamos convivir con muchas teorías de la complejidad, toda vez que un sistema complejo no puede ser descrito por una sola teoría, es decir, no puede ser descrito por un único sistema formal” (2009). Al respecto, Maldonado señala que “el aspecto verdaderamente significativo [de este asunto] estriba en el reconocimiento de que al tiempo que se trata de una falencia [...], no impide —y quizá paradójicamente impulsa— la investigación ni el trabajo teórico y práctico en torno a la comprensión [de las ciencias de la complejidad]” (2012). El mismo Maldonado, en una exploración previa,⁶ había intentado allanar el camino hacia una teoría general de la complejidad, a partir de tres vías negativas o de contraste: “Tesis 1: no es posible una teoría general de la complejidad en el sentido de una teoría unificada (teoría de campo), o como una teoría general; tesis 2: no es deseable ni tampoco es necesaria una teoría general de la complejidad en cualquiera de estos sentidos; tesis 3: una teoría general de la complejidad no debe ser axiomática” (2009). De este modo, se confirma que “una teoría de la complejidad posee al mismo tiempo estas características: incompletud, indecibilidad, apertura, incertidumbre e inacabamiento” (Maldonado, 2007).

⁶ El texto *Exploración de una teoría general de la complejidad* al cual nos referimos, corresponde a los resultados parciales de una investigación que Maldonado adelanta en la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario, centrada en el desarrollo de una teoría general de la complejidad y particular de las organizaciones.

Ciertamente, aunque los conceptos sean cuestiones normalmente referidas al campo de las discusiones filosóficas, en el caso de las ciencias de la complejidad no es un dominio exclusivo de los filósofos, como tampoco lo es de los científicos. “En verdad, cuando tratamos de contextos, temas y problemas propios de las ciencias de frontera, lo mínimo que podemos decir es que se trata de un encuentro polifónico en el que diversas tradiciones, fortalezas y necesidades confluyen y se retroalimentan (creemos positivamente)” (Maldonado, 2012).

Hacia una definición polifónica

Bajo estas premisas y evitando caer en una mirada reduccionista, disciplinar y excluyente, se propone como definición una polifonía de comprensiones en torno a lo que son las ciencias de la complejidad. Puesto que no existe una sola definición de complejidad, “vale siempre recordar que la buena ciencia no parte de definiciones ni trabaja tampoco con ellas [...]. La buena ciencia trabaja con problemas. Y aquí el problema es ‘complejidad’” (Maldonado y Gómez, 2011).

Campos sugiere que las ciencias de la complejidad pueden conducir a una cuarta revolución de las ciencias si se logra “entender las leyes que subyacen en el estudio de sistemas complejos, si es que esas leyes existen, y entender la emergencia de propiedades colectivas” (2009). En este sentido, y desde la clasificación que hace de los modelos de ciencia como sistemas simples, complicados y complejos (2006), propone que “la ciencia de la complejidad, que carece aún de una definición simple y universal, se puede definir como la ciencia dedicada al estudio de los sistemas complejos. Sin embargo, en sentido estricto, no se trata de una ciencia sino de un conjunto de ciencias que enfrentan el problema de estudiar sistemas complejos y problemas específicos por diferentes métodos” (2009).

En consonancia con esta definición, se hace necesario ahondar en la comprensión de los llamados *sistemas complejos*. En este punto es muy significativo y amplio el aporte de la ingeniería de sistemas complejos:

Los sistemas complejos tienen varias o todas de las siguientes características: presencia de muchos componentes autónomos y heterogéneos que difieren en importancia y característica (variedad), componentes que se relacionan dinámica-

mente y generan diversas configuraciones (modos de organización). Son capaces de demostrar comportamientos emergentes a escalas globales y, con frecuencia, presentan cambios súbitos, inesperados y sorprendidos. Sus fronteras regularmente son difusas o no son fácilmente deductibles. Las condiciones iniciales de sus variables son altamente sensibles a efectos del medio o a cambios por interacciones en el largo plazo; y su dinámica es no lineal, a veces caótica, y es estable lejos del equilibrio termodinámico. Estos sistemas, en general, aumentan su complejidad a medida que evolucionan y tienen la capacidad de generar nuevos sistemas complejos; como son sistemas abiertos, en su interacción con el entorno se autoorganizan en respuesta a las perturbaciones, haciendo uso útil de los intercambios de materia y energía (Villamil y Gómez, 2009).

De un modo más amplio —y aceptado por varios como Mikulecky, Lareo (2007) y Trujillo (2012)—, Robert Rosin ofrece importantes luces a la definición de las ciencias de la complejidad, desde un concepto bastante operativo de complejidad: “Complejidad es la propiedad de los sistemas del mundo real que se manifiesta en la inhabilidad de cualquier formalismo existente para capturar todas sus características. Se requiere encontrar formas diferentes de interactuar con estos sistemas. Formas diferentes en el sentido que cuando se construyen modelos exitosos los sistemas formales requieren que las descripciones de cada aspecto no sea derivable de otro” (1991).

Con todo, es en el reconocimiento de los cambios súbitos que afectan los sistemas complejos del mundo real que las ciencias de la complejidad devienen con niveles de libertad y dinámicas de no-equilibrio, que hacen posible pensar y comprender el mundo de manera diferente y con nuevas posibilidades hacia el futuro de la vida. De ahí que Maldonado afirme que:

Las ciencias de la complejidad representan una filosofía determinada del cambio. No tanto de los cambios continuos, regulares, predecibles y controlables, sino, mejor aún, de los cambios súbitos e irreversibles. El lenguaje, en general, de las ciencias de la complejidad es al respecto suficientemente claro: catástrofes, punto crítico y estado crítico, orden por fluctuaciones, inestabilidades, equilibrios dinámicos, atractores extraños, fractales, rupturas de simetrías, autoorganización, no-linealidad, emergencia(s), y otros semejantes (2005b).

Así, es preciso señalar que las ciencias de la complejidad no representan propiamente un paradigma de control de los sistemas ni de los fenómenos. Si así fuera, sería de antemano predecible. Corresponde más bien a ellas la comprensión de dichos sistemas y fenómenos, acercándose desde perspectivas plurales y entendiéndolos desde su misma complejidad (en el sentido propuesto por Rosin, enunciado arriba).

Por eso, a las ciencias de la complejidad se atribuye la aparición de nuevas racionalidades, desde la premisa de que, en realidad existe más de una manera de pensar y comprender el mundo y, por tanto, más de una manera de vivir. Las nociones de no-equilibrio o de caos, por ejemplo, abandonan las racionalidades clásicas, los movimientos mecánicos y los vuelve complejos. Desde la complejidad, las ciencias renuncian a la tentación de predecir, controlar, programar, planear, organizar... y asumen, en su lugar, la preocupación por los movimientos no controlados, imprevisibles, súbitos y, de alguna forma, marginales.

Dicho de otro modo, en el terreno de las ciencias de la complejidad, la incertidumbre, lo incompleto y lo inacabado, se constituyen en el eje dinamizador de nuevas búsquedas plurales e interdisciplinarias, que con toda seguridad seguirán siendo inciertas, incompletas e inacabadas, contradiciendo así los saberes clásicos de la ciencia occidental, marcados por el conocimiento de realidades estables, inamovibles y, en el mejor de los casos, regulares o cíclicas.

Este abanico de aproximaciones que apuntan hacia una conceptualización de las ciencias de la complejidad, puede apreciarse mejor si se complementa con el intento de enunciar, así sea brevemente, cuáles son las ciencias a las que se hace alusión.

El grupo de las ciencias de la complejidad⁷

Hasta el momento nadie se ha atribuido una lista única ni definitiva sobre el grupo que constituyen las ciencias de la complejidad. Tampoco lo han hecho los centros ni los institutos de investigación de punta, aunque algunos como

⁷ No obstante, los múltiples abordajes que puede tener este asunto, seguimos aquí los planteamientos de Maldonado (2012) en uno de sus más recientes trabajos: *¿Qué son las ciencias de la complejidad?*

Santa Fe y NECSI se han referido a la física de los sistemas complejos; emergencia, innovación y robustez en los sistemas evolutivos; procesamiento de información y computación en la naturaleza y en la sociedad; dinámica y estudios cuantitativos en comportamiento humano, historia e instituciones sociales; emergencia, organización y dinámica de los sistemas vivos.⁸

No obstante, desde una mirada amplia y crítica de la historia y la filosofía de la ciencia, Maldonado ha postulado seis ciencias de la complejidad con sus respectivos autores: los llamados *padres de la complejidad* (figura 2). “Entre los autores clásicos de complejidad, I. Prigogine ha sido el que con mayor claridad y lucidez ha reconocido este rasgo y lo ha puesto suficientemente de manifiesto, a plena luz, sobre la mesa. Prigogine (1980) habla del estudio físico de la complejidad como la física del devenir” (Maldonado, 2012).

Entre las muchas características que comparte este grupo de ciencias de la complejidad, una de las más relevantes tiene que ver con su doble posibilidad de medición o, poniéndolo en términos más complejos, de comprensión de la realidad y de los fenómenos que tienen lugar o pueden llegar a tenerlo.

Por un lado, la complejidad es una medida cuantitativa de un sistema [... Las ciencias de la complejidad] emplean y, sobre todo, crean, matemáticas altamente sofisticadas, y se refieren o pueden referirse a los sistemas dinámicos no-lineales en términos cuantitativos [...]. Por otra parte, las ciencias de la complejidad permiten una comprensión de los sistemas dinámicos que no se funda ni se reduce, de manera imperativa, a mediciones de tipo cuantitativo, por el contrario, admiten una explicación y una comprensión más amplia de los sistemas complejos adaptativos. En muchas ocasiones se ha hablado de esta segunda comprensión como de ‘matemáticas cualitativas’” (Maldonado, 2012).

⁸ Maldonado (2012) propone este listado a partir de las presentaciones de los Institutos Santa Fe y NECSI .



Figura 2.

Las seis ciencias de la complejidad según la historia y la filosofía de la ciencia

Fuente: elaboración propia a partir de Maldonado (2012).

Decir una palabra sobre cada una de estas ciencias, no es más que una provocación para profundizar en ellas.⁹

Termodinámica del no equilibrio (I. Prigogine)

La irreversibilidad, como núcleo de la nueva termodinámica, ha revelado que los sistemas dinámicos se encuentran lejos del equilibrio. Más aún, desde esta mirada, estar en equilibrio es estar próximo a colapsar. Esto explica por qué la

⁹ Las descripciones que siguen se basan en el artículo de Maldonado (2005a): *Ciencias de la complejidad: ciencias de los cambios súbitos*.

termodinámica del no-equilibrio se propone remontar la flecha del tiempo de la termodinámica clásica, la cual conduce hacia la muerte (=equilibrio).

“Los sistemas alejados del equilibrio son altamente sensibles a las novedades o a las innovaciones, a los eventos (*events*), o al azar. Pues son estas novedades las que generan dinámicas no-lineales en dichos sistemas” (Maldonado, 2005a). De aquí se deriva que el tiempo es y, ante todo, implica creación. En un proceso creciente, la ruptura con la simetría temporal trae consigo bifurcaciones, fluctuaciones e inestabilidades, de manera que “tiempo y autoorganización son fenómenos concomitantes, y marcan de manera definitiva a este tipo de fenómenos, sistemas y procesos conocidos como complejos, es decir, de complejidad creciente” (Maldonado, 2005a).

Caos (E. Lorenz-D. Ruelle)

Aunque el caos podría confundirse con lo *aleatorio*, solo lo es en apariencia. En realidad, “los sistemas caóticos son altamente sensibles a las condiciones iniciales y responden a la presencia de un atractor. Los tipos de atractores que se suelen identificar en el estudio del caos son el atractor fijo, el periódico y el atractor extraño” (Maldonado, 2005a), siendo este último el más significativo. La búsqueda e identificación de estos atractores extraños es, justamente, el núcleo de las investigaciones de la ciencia del caos.

El cambio, que para este caso equivale a turbulencia e inestabilidad, se da de modo inesperado e irreversible. Por eso, el tipo de sistemas de los cuales se ocupa la ciencia del caos son disipativos, “una categoría que se debe en sus comienzos a Prigogine, pero que resulta de inmenso valor lógico, metodológico y heurístico en muchas otras teorías y modelos explicativos, comenzando por el Caos” (Maldonado, 2005a).

El asunto fundamental que abordan los sistemas o comportamientos caóticos —y probablemente su mayor enseñanza— es el de la impredecibilidad. El caos le ha permitido aprender a la ciencia que su cometido no consiste ni culmina en la elaboración del algún tipo de predicción. “Por el contrario, lo propio de la ciencia es llevar a cabo explicaciones. Predecir no es explicar, y la predicción es

tan sólo un valor agregado de la actividad de la ciencia, pero no su fundamento ni su finalidad” (Maldonado, 2005a).

Geometría de fractales (B. Mandelbrot)

La geometría de fractales tiene que ver con el estudio de lo *amorfo*, es decir, de las formas irregulares, los sólidos imperfectos, las rugosidades y sinuosidades, primero en la naturaleza y más recientemente en el mundo social humano. Es un asunto de geometría, donde la abstracción juega un papel determinante y ese es, justamente, su aporte a la teoría de la turbulencia que se deriva del caos.

Se ha reconocido que un fractal es un objeto con una dimensión no integral, no entera, así como la existencia de diversos tipos: escalantes, no-escalantes, imagen de sí mismos, aleatorios estratificados, brownianos fraccionarios. En esencia, “la geometría de fractales consiste en una aplicación de lo infinitesimal a lo finito, y así, la invariancia resultante nos revela un universo pletórico de formas y estructuras, todas sólidamente conectadas entre sí, a pesar de su irregularidad y movilidad” (Maldonado, 2005a).

Catástrofes (Thom)

Aunque la teoría de las catástrofes se inicia en la matemática, no es propiamente matemática. Tampoco se ubica en el estudio de las formas, que sería equivalente a geometrizar. Se trata, más bien, de una teoría cualitativa, en consonancia con la teoría de bifurcaciones. Maldonado explica que:

Contra la idea de tipo fiscalista según la cual lo primero es el espacio-tiempo, Thom resalta que la entidad primitiva es el fenómeno visto por un observador. Pero, dado que existen o pueden existir varios (o muchos) observadores sobre un mismo fenómeno, el problema consiste, entonces, en sintetizar las diversas versiones que tenga cada observador. Esta labor de síntesis es la teoría de catástrofes (2005a).

Dicho con otras palabras, las transiciones que se dan entre orden-desorden son objeto de atención de las catástrofes, que como ciencia se ocupa de descubrir y entender las discontinuidades que se pudieran presentar en la evolución

del sistema. Es en este sentido que Thom identifica siete catástrofes elementales, que, sin embargo, no son sinónimo de catástrofes simples o sencillas.¹⁰

Ciencia de conexiones (L. Barabasi, S. Strogantz, D. Watts)

Las redes complejas han revelado que la complejidad de los fenómenos tiene que ver, entre otras razones, con los procesos dinámicos, que a su vez generan mapas móviles e interconectados, según el tipo de relación que se da entre los componentes de un sistema entre sí y con el entorno.

De este modo, “el rasgo más radical de las ciencias de conexiones es el hecho de que varios modelos, teorías y ciencias que antes tenían un cuerpo propio quedan integrados en el estudio de las redes complejas” (Maldonado, 2012). Para ello, se valen de nodos (*links*), *clusters* y *hubs* (sistemas de *clusters*), en orden creciente de complejidad.

Uno de los valores más destacados de la ciencia de conexiones estriba en la posibilidad que ofrece al investigador de enfocarse en los detalles finos, en los giros focales y en las singularidades o contingencias que se ocultan detrás de los planos generales —aparentemente carentes de complejidad—, lo cual implica, de paso, una intensa labor de *filigrana*.

Lógicas no-clásicas (numerosos autores)

En el transcurso de la historia de la lógica formal o clásica, algunos temas, conceptos y problemas fueron dejados de lado. Esta es, precisamente, la justificación de las denominadas lógicas no-clásicas. “Mientras que la lógica formal clásica es deductiva y da prevalencia a modelos, teorías y explicaciones de corte hipotético-deductivo, las lógicas no clásicas no responden necesariamente a la deducción o, lo que es equivalente, la deducción no figura como fundamento del trabajo ni de los temas y problemas en estas lógicas” (Maldonado, 2005a).

¹⁰ Las siete *catástrofes elementales* propuestas por Thom son: catástrofe de pliegue, catástrofe en cúspide, catástrofe en cola de milano, catástrofe en mariposa, catástrofe umbilica hiperbólica, catástrofe umbilica elíptica y catástrofe umbilica parabólica.

Al día de hoy, se considera que las lógicas no clásicas constituyen una alternativa y una complementariedad a la lógica formal. “En ocasiones, debido a que la lógica formal clásica es demasiado rígida; en otras, porque sucede todo lo contrario, y no aporta el rigor suficiente en la comprensión y en la elucidación de las estructuras y modos de racionalidad de la ciencia, de la vida y del mundo en general” (Maldonado, 2012). Por lo anterior, las lógicas no-clásicas resultan altamente relevantes en el estudio de los sistemas complejos no-lineales.

Entre las lógicas no-clásicas se destacan: la lógica paraconsistente, la lógica de la relevancia, la lógica del tiempo, la lógica difusa, la lógica polivalente, la lógica modal, la lógica cuántica, la lógica epistémica, la lógica libre y la lógica intuicionista.

Evidentemente, al llegar a este punto, conviene recordar que el propósito de este trabajo es ofrecer una aproximación breve —y por tanto no exhaustiva— a las ciencias de la complejidad. Una mirada más detallada podrá ser objeto de futuras investigaciones.

Para quien interese profundizar en las ciencias de la complejidad y explorar otras aristas interdisciplinarias, la segunda parte del libro *El mundo de las ciencias de la complejidad* (Maldonado y Gómez, 2011) ofrece un amplio estado de arte, con su correspondiente bibliografía. Algo así como un vademécum para complejólogos.

Cuestiones abiertas

La complejidad ha abierto el problema del conocimiento y de la verdad a un prisma de incertidumbres, inestabilidades, flujos, emergencias, procesos y, en últimas, a nuevas dinámicas racionales que se retroalimentan entre sí y generan nuevos conocimientos y, por qué no, nuevas verdades. Por ahí transitan las ciencias de la complejidad que desde hace un tiempo interesan, de manera particular, a la sociedad del conocimiento.

Frente al panorama expuesto, se podría afirmar que, de alguna manera, las ciencias de la complejidad están problematizando la hegemonía racional que desde hace siglos dominaba (¿o domina?) el pensamiento occidental —una

alusión explícita a Grecia, Roma y Jerusalén— interpelando y corriendo raudamente las fronteras de las ciencias.

Hay quienes reconocen que “las ciencias de la complejidad son ciencias recientes en el ámbito de la humanidad, sin embargo ya han dado muestras muy profundas de resolver problemas que la ciencia clásica no había podido siquiera abordar” (Villamil y Gómez, 2009).

Dado el propósito y las limitaciones de este trabajo, basta con acentuar que las ciencias de la complejidad pueden ayudar a generar nuevos caminos interdisciplinarios de investigación para asumir con pertinencia la agenda propuesta por las actuales escuelas de pensamiento.¹¹

Más concretamente, en torno a la escuela de pensamiento que se está gestando sobre el DHIS se ha dicho que esta es “la respuesta a las injusticias que las distintas formas de organización de las sociedades a través de la historia han promovido y profundizado en favor de unos pocos, llegando incluso a anular las capacidades de los individuos” (Isaza, 2012).

Lo anterior recuerda que “no es posible entender el desarrollo si este no es humano, si no se refiere al mejor estar de la humanidad en la sociedad. Y es imposible hablar de desarrollo humano sin que tenga una connotación con responsabilidad frente al equilibrio ecológico del planeta: se trata del DHIS” (López, 2006).

Para el mundo de la academia, las ciencias de la complejidad traen consigo impredecibles procesos de cambio y transformación, que en buena hora pueden llegar a secundar apuestas tan revolucionarias como el DHIS con sus necesarias implicaciones:

El desarrollo humano integral y sustentable implica que el respeto y defensa de la dignidad de la persona es el centro de los procesos de desarrollo social, científico y cultural tanto para las presentes como para las futuras generaciones. Como

¹¹ Esta revista dedicó su edición nro. 58 a las escuelas de pensamiento en la Universidad de La Salle.

referente, que debemos preservar y reforzar, entendemos que nuestra misión se articula en torno al desarrollo con las siguientes características: socialmente participativo, culturalmente apropiado, técnicamente limpio, ecológicamente compatible, económicamente viable y sostenible, políticamente impactante, y éticamente responsable y pertinente¹² (Universidad de La Salle, 2007).

Indisciplinar estas características del DHIS que plantea el *Proyecto Educativo Universitario Lasallista* —como imperativo ético del estilo y la intencionalidad educativa lasallista— es, sin lugar a dudas, una ambiciosa prospectiva que podrá abrirse con la ayuda de las ciencias de la complejidad o, por lo menos, con las intuiciones que de ellas se derivan.

Bibliografía

- Andrade, E. (2009). Hacia una teoría general de la complejidad. En C. E. Maldonado, *Complejidad: revolución científica y teoría* (págs. 83-112). Bogotá: Universidad del Rosario.
- Bauman, Z. (1998). *La globalización, consecuencias humanas*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Campos, D. (2009). Caos y complejidad en el marco de cuatro revoluciones científicas. En C. E. Maldonado, *Complejidad: revolución científica y teórica* (págs. 21-33). Bogotá: Universidad del Rosario.
- Campos, D. (2010). De los sistemas complejos a la educación. *Expediitio*, 81-86.
- Isaza, J. (2012). Hacia una escuela de pensamiento alrededor del desarrollo humano, integral y sustentable. *Revista de la Universidad de La Salle*, (58), 183-209.
- Kuhn, T. (2006). *La estructura de las revoluciones científicas*, 3ª ed. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lareo, L. R. (2007). Ciencia de la complejidad, modelaje y simulación multiescala, y ciencias nano-bio-info-cogno. En C. E. Maldonado, *Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicación* (págs. 63-87). Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

¹² Es importante señalar que a la luz del Seminario sobre Alternatividad del Desarrollo, en torno al DHIS, que se realizó entre el 9 y el 13 de junio de 2008, una octava característica se sumó a las ya existentes: espiritualmente significativo.

- López, A. et. ál. (2006). El Desarrollo Humano Sustentable. Bases teóricas y prácticas para la implementación en la Universidad de La Salle. *Revista de la Universidad de La Salle*, (41), 79-87.
- Maldonado, C. (2005a). Ciencias de la complejidad: ciencias de los cambios súbitos. *Odeón*, 88-125. Recuperado de http://www.uexternado.edu.co/finanzas_gob/cipe/odeon/odeon_2005/%203.pdf.
- Maldonado, C. (2005b). *Termodinámica y complejidad. Una introducción para las ciencias sociales y humanas*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Maldonado, C. (2007). *Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicación*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Maldonado, C. (2009). La complejidad es un problema, no una cosmovisión. *UCM, Revista de Investigación*, 42-54.
- Maldonado, C. (2010). *Fronteras de la ciencia de la complejidad*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Maldonado, C. y Gómez, N. (2011). *El mundo de las ciencias de la complejidad*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Maldonado, C. (2012). *Derivas de la complejidad. Fundamentos científicos y filosóficos*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Morin, E. (1994). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Unesco.
- Prigogine, I. (1980). *From being to becoming. Time and complexity in the physical sciences*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Lengua Española*, 22ª ed. Recuperado el 5 de junio de 2013, de <http://lema.rae.es/drae/>.
- Rosen, R. (1991). *Life Itself: a comprehensive inquiry into the nature, origin, and fabrication of life*. Columbia University Press.
- Salle, U. (2009). *Ciencia y pensamiento cristiano en la educación posgradual*. Bogotá: Unisalle.
- Trujillo, R. (2013). Ciencias de la complejidad y las nano-bio-info-cogno ciencias. En C. E. Maldonado, *Derivas de complejidad. Ciencias sociales y tecnologías convergentes* (págs. 7-36). Bogotá: Universidad del Rosario.
- Universidad de La Salle. (2007). *Proyecto Educativo Universitario Lasallista*. Bogotá: Unisalle.

Villamil, J. y Gómez, N. (2009). Ingeniería de sistemas complejos. En C. E. Maldonado, *Complejidad: revolución científica y teoría* (págs. 71-82). Bogotá: Universidad del Rosario.

Wagensbert, J. (2007). *Ideas sobre la complejidad del mundo*, 6a ed. Barcelona: Tusquets.