Edgar Serna M.

CIENCIA Y PENSAMIENTO COMPLEJO

Desarrollo Transdisciplinar de un Paradigma

Editorial
Instituto Antioqueño de Investigación

Serna, M.E.
CIENCIA Y PENSAMIENTO COMPLEJO – Desarrollo Transdisciplinar de un Paradigma -- 1a ed.
Medellín, Antioquia: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación, 2015.
189 p. Investigación Científica.
ISBN: 978-958-59127-1-7

CIENCIA Y PENSAMIENTO COMPLEJO – Desarrollo Transdisciplinar de un Paradigma
© Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Edición: octubre 2015
ISBN: 978-958-59127-1-7
Hechos todos los depósitos legales
Publicación electrónica gratuita

Copyright © 2015 Instituto Antioqueño de Investigación (IAI)™. Except where otherwise noted, content in this publication is licensed under the Creative Commons Attribution, NonCommercial, ShareAlike 3.0 Unported License.

Global Publisher: Instituto Antioqueño de Investigación (IAI)
Cover Designer: IAI, Medellín, Antioquia - Colombia.
Editorial Instituto Antioqueño de Investigación is trademarks of *Instituto Antioqueño de Investigación*. All other trademarks are property of their respective owners.

The information, findings, views, and opinions contained in this publication are responsibility of the author and do not necessarily reflect the views of *Instituto Antioqueño de Investigación* (IAI), and does not guarantee the accuracy of any information provided herein.

Diseño, edición y publicación: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación (IAI)
Instituto Antioqueño de Investigación
http://fundacioniai.org
contacto(AT)fundacioniai.org

© 2015 Editorial Instituto Antioqueño de Investigación
Medellín, Antioquia – Colombia

ISBN: 978-958-59127-1-7

PRÓLOGO

El profesor Edgar Serna cuenta con un importante trabajo académico en Colombia y América Latina. Desde su formación como Ingeniero ha incursionado en temáticas diversas, incluyendo la educación. Destaco esta relación entre el investigador, el especialista y el educador, porque en este documento se muestra una trayectoria digamos *natural*: el recorrido de un indagador inquieto por implicarse en aquello que le conmueve para este trabajo, a saber: la transdisciplina.

Tránsito entre disciplinas que, con seriedad y con afán didáctico, permite el abordaje de temas relevantes para la formación de profesionistas, no sólo del campo de la ingeniería. Así, con un sano aire atípico, se supera la relación de ciencia-civilización, para pensar sobre la relación ciencia-humanidad; problema central para nuestra época.

Ya el siglo XX nos enseñó bastante de lo que se puede hacer con el conocimiento científico en manos de los defensores de la civilización. Cuando nos referimos a ésta solemos suponer que se trata de un estado superior en la evolución técnica, social y cultural, mientras que cuando mentamos a la humanidad, solemos pensar en una diversidad amplia y quizás vaga, que no irreconocible, de hombres y mujeres en el mundo. Así, el investigador como el lector hallará en la frontera de lo conocido, de lo cognoscible y de lo que estamos por conocer: el problema del método, de la estrategia que otorga identidad al quehacer científico, que hace huella al andar con pretensiones personales y colectivas.

El especialista, el ingeniero, se halla en los lindes de su disciplina, generalmente asociada a la técnica, procurando salir del resguardo en el prestigio de la profesión, para lidiar con la encrucijada en la encrucijada: procurar el entendimiento de la ciencia y sus disciplinas, con un concepto que propone trascenderlas. El educador interesado en la ciencia, que como dijera el Dr. Arturo Rosenblueth en su pequeño libro El método científico: *difícilmente logrará expresar en definitiva lo que la ciencia es*. Sin embargo, quienes participan de ella le conocen por haberse iniciado con otros. Y si la vaga idea de las ciencias, que por el aprendizaje se llega a tener, nos lleva a valorar las intuiciones y las excursiones que de éstas derivan, entonces crece la experiencia y madura la iniciativa científica. Solamente así, talvez, nos reconozcamos en transición de aprendices a maestros, capaces de guiar a nuevas generaciones.

Sea bienvenida esta obra, no sólo a la biografía de su autor, sino a la tarea de conmover a nuevas generaciones y a promover la aceptación: de la inquietud como fuerza de indagación, de la especialización como el refinamiento necesario para transitar las fronteras disciplinares del método, como estrategia que hace de la intuición organización razonable de los hallazgos, de la transdisciplina como exigencia de la multidimensionalidad que logramos arrancar de cierto a la complejidad y a lo real.

Dr. Gustavo Casas
Director Académico
Multiversidad Mundo Real Edgar Morin
Octubre de 2015

CONTENIDO

PRÓLOGO 1
CONTENIDO 2
INTRODUCCIÓN 5

Capítulo I. Ciencia y Conocimiento Científico
1 Introducción 9
2 Ciencia socio-cultural 12
3 Confianza y verdad en la disciplinariedad científica 15
4 Ciencia democrática y socio-responsable 18
5 Orden y raciocinio en la ciencia 21
6 Conclusiones 25
Referencias 27

Capítulo II. Ciencia y Disciplinariedad
1 Introducción 30
2 Qué es ciencia 30
3 Para qué se hace ciencia 32
3.1 Ciencia y cambio 33
3.2 Ciencia y conocimiento 33
4 Qué no es ciencia 34
4.1 La ciencia no es arte 35
4.2 La ciencia no es tecnología 36
4.3 La ciencia no es verdad ni certeza 36
4.4 La ciencia no es religión 37
5 La disciplinariedad científica 39
6 Conclusiones 40
Referencias 42

Capítulo III. Necesidad de Cambiar el Paradigma del Método Científico
1 Introducción 43
2 Evolución del método científico 44
3 Los problemas del método científico 48
4 Las limitaciones del método científico 50
5 Complejidad y método científico 51
6 Pensamiento complejo y método científico 52
7 Conclusiones 53
Referencias 55

Capítulo IV. De la Disciplinariedad a la Transdisciplinariedad
1 Introducción 56
2 Recorrido conceptual 57
3 Construcción epistemológica de la Transdisciplinariedad 60
4 Conclusiones 65
Referencias 67

Capítulo V. La Transdisciplinariedad en el Pensamiento de Paulo Freire
1 Introducción 69
2 Freire en el desarrollo de la transdisciplinariedad 71
3 Transdisciplinariedad y educación en Freire 75
4 Transdisciplinariedad y conocimiento en Freire 78
5 Conclusiones 81
Referencias 84

Capítulo VI. La Investigación Transdisciplinar
1 Introducción 86
2 La investigación transdisciplinar 87
3 Características y desafíos de la investigación transdisciplinar 89
4 Metodología de la investigación transdisciplinar 92
5 Conclusiones 95
Referencias 97

Capítulo VII. Conocimiento y Formación Transdisciplinar
1 Introducción 100
2 Lo transdisciplinar en la formación 102
3 Conclusiones 105
Referencias 109

Capítulo VIII. Pensamiento Multidimensional y Procesos Formativos
1 Introducción 110
2 Antecedentes 111
3 Estado del arte 113
4 Pensamiento Complejo multidimensional 118
5 Conclusiones 120
Referencias 122

Capítulo IX. Transdisciplinariedad y Multidimensionalidad en la Ingeniería del Software
1 Introducción 125
2 Contextualización 126
3 La Ingeniería de Requisitos 129
3.1 Gestión de la Ingeniería de Requisitos 130
4 Estado del arte 132
5 Conclusiones 137
Referencias 141

Capítulo X. Gestión del Conocimiento Transdisciplinar
1 Introducción 145
2 Transdisciplinariedad 147
3 Conocimiento transdisciplinar 148
4 Modelo de madurez de la gestión del conocimiento transdisciplinar 151
4.1 Operacionalización del modelo de madurez 153
5 Conclusiones 156
Referencias 158

Capítulo XI. Complejidad y Sistemas Adaptativos Complejos
1 Introducción 160
2 Complejidad 161
2.1 Complejidad del mundo y sus modelos 164
2.2 Itinerario a través de la complejidad 166
3 Pensamiento Complejo 169
4 Sistemas Adaptativos Complejos 172
5 Pensamiento Complejo: Un paradigma en construcción 175
5.1 Complejidad y Sistemas Adaptativos Complejos 178
5.2 Pensamiento Complejo y Sistemas Adaptativos Complejos 181
6 Conclusiones 185
Referencias 187

INTRODUCCIÓN

Uno de los cambios más importantes de finales del siglo XX fue el creciente papel de la información en la vida de la humanidad. Los investigadores proclamaron el inicio de la Era de la Información como la transición a una nueva sociedad. Para ello, propusieron un conjunto de conceptos y la describieron como una sociedad del conocimiento, de la información, de la red, o post-industrial. Todo esto dio inicio a una serie de discusiones sobre el carácter de la sociedad contemporánea y el papel de las tecnologías, la información y la comunicación en el cambio al nuevo milenio. La naturaleza de estos cambios afectan todas las esferas de la vida humana, desde el comercio, lo social y cultural hasta la educación-formación. Este nuevo contexto puso en nuevamente escena el papel de la ciencia y la producción científica, porque la complejidad de este escenario necesitaba una nueva forma de comprensión.

Desde entonces, mucho se ha escrito acerca de la responsabilidad del científico en la resolución de los conflictos que surgen de la interacción entre la ciencia y la sociedad. Ordinariamente se discuten cuestiones particulares, como si es posible introducir el conocimiento científico para resolver conflictos políticos. Por ejemplo, analizar la conveniencia o no de construir un transporte supersónico, o si debe o no continuar con los viajes espaciales. Estas situaciones pueden ser perfectamente divididas en dos elementos claramente separables: una científica y otra política. Por lo tanto, se espera que el científico pueda decidir si los viajes espaciales son factibles, o si el transporte supersónico causa cáncer de piel. Mientras que del político se espera que decida si la sociedad debe proceder en una u otra dirección. Es decir, el científico y la ciencia proporcionan los medios, y el político y la política deciden los fines.

Por su puesto, esta es una visión simplificada del papel del científico, y de hecho de la ciencia misma, particularmente porque incluso, donde hay respuestas claras a las preguntas científicas implicadas en un asunto público, los fines y medios apenas son separables. La percepción es que un fin político o social resulta tener numerosas repercusiones, que deben caer en la jurisdicción legítima de la ciencia, y cada una debe evaluarse también en términos morales, políticos y sociales. Por eso es que la relación entre la ciencia, la política y la sociedad es mucho más complicada que esta sencilla descripción.

Por otro lado, el surgimiento de las disciplinas a menudo lleva al olvido su ímpetu en la vivencia de los sujetos humanos y en su papel crucial en el mantenimiento y la transformación de las prácticas de producción de conocimiento. Los resultados son un tipo especial de decadencia. Uno de ellos es la decadencia disciplinar, que es la ontologinalización o reificación de una disciplina. En este sentido, los sistemas tratan a cada disciplina como si siempre o nunca hubiese existido, o como eterna e incambiable, y en algunos casos la desechan y muere. Por eso es que para algunos el cambio de paradigma científico, que de acuerdo con Edgar Morin es un producto de la segunda revolución científica en el siglo XX y que para Thomas Kuhn se caracteriza por ser revolucionario y catastrófico, provoca una reorganización de todo el sistema de conocimiento en una nueva visión holística-ecológica-sistémica-reticular-compleja del mundo y la vida. Esta revolución paradigmática, que se inició a finales del siglo XX, parece llevar a la sociedad a

través del *tercer camino* promulgado por Habermas y Karl Otto Apel, es decir, entre la metafísica y el relativismo gnoseológico.

Pero, de acuerdo con los escenarios de principios del siglo XXI, esta reorganización tiene que ser pensada y actuada en términos de una colaboración transdisciplinar, en lugar de una competición o conflicto. Por lo tanto, libertad, igualdad y fraternidad podría ser un lema para esta revolución epistemológica-democrática. En tal sentido, el imperialismo disciplinar implícito en la metáfora vertical del árbol de la ciencia, imaginado por Galileo, deja espacio para el proceso de igualación ética y gnoseológica de las disciplinas y las diferentes áreas del conocimiento que aparecen en la nueva metáfora horizontal de la red. Hay que reconocer que en la naturaleza no existen ningún arriba o abajo, y tampoco las jerarquías. Solamente hay dimensiones dentro de dimensiones. La trama de la vida está hecha de redes, cuyos nodos son redes cada vez más pequeñas. Así como las sinapsis en el cerebro, las disciplinas abren formas reticulares de pensamiento, que están interconectadas y son autónomas al mismo tiempo. La naturaleza es un sistema de red no-jerárquico, en el que cualquier nivel no es más importante o fundamental que otro, pero en el que cada uno colabora igualmente en pro de la vida de todo el sistema. Esta es la propuesta del Pensamiento Complejo, que se abre camino como un paradigma dentro de este nuevo paradigma.

En este proceso democrático de pensamiento y conocimiento, conocido como transdisciplinariedad, cae la línea de demarcación entre la ciencia de la naturaleza y la ciencia del espíritu, y las fronteras entre las diferentes áreas del conocimiento se funden y son fluidas, flexibles, elásticas y permeables. En el proceso, si bien existe el riesgo de una pérdida en el rigor disciplinar (que debe evitarse), también se introducen nuevas capacidades para gestionar la transformación cultural caótica y compleja que vive la sociedad en este siglo, y abre nuevos horizontes de pensamiento que son irrenunciables. Aquí es donde cobran importancia los principios de la complejidad y la multidimensionalidad, porque se convierten en soportes para que el Pensamiento Complejo se desarrolle como paradigma.

Por eso es que la crisis radical de esta reorganización cultural requiere ciencia y pensadores transdisciplinares, que sean *indisciplinados* en el sentido de que deben ser capaces de atravesar y superar las fronteras y conexiones disciplinarias, para llegar a la zona libre de la tierra donde los problemas no tienen una solución estrictamente codificada y estructurada. Por eso es que se debe considerar a la transdisciplinariedad como un epifenómeno emergente y de reforma de pensamiento, que muchos intelectuales han invocado y que predicen como la nueva ciencia para este milenio. Una ciencia con conciencia, en respuesta al desafío de una complejidad urgente, mordaz, aterradora, obscena, fascinante, ligera que, como expresa Morin, se deslizó dentro y penetró como un desafío a la vida y al sentido de la existencia, y que está haciendo llamamientos precoces a una reforma de la inteligencia y la razón.

Por lo tanto, el enfoque transdisciplinar aparece como producto emergente de la crisis actual del pensamiento, y en respuesta a la crisis de la vida que promulgó Husserl como parte de la humanidad europea y que se convirtió en planetaria en los últimos años. Una crisis revolucionaria y turbulenta, porque se trata de los fundamentos culturales, y que produce un cambio profundo en la visión humana del mundo y mantiene a la sociedad en un estado evolutivo absolutamente impredecible y parcialmente incomprensible. En

esta crisis de agonía, la humanidad flota entre los poderes de la vida y de la muerte. Es por esto que es necesario tomar conciencia de la responsabilidad del pensamiento, la inteligencia y el conocimiento para salvarla de la deriva. La multidimensionalidad y la transdisciplinariedad significan exactamente esta asunción de la responsabilidad de la razón, y toman forma a partir de la necesidad de un adecuado principio de conocimiento y acción para percibir la realidad compleja y multidimensional, que se materializa en el Pensamiento Complejo como transdisciplinar. De hecho, como escribe Nicolescu, la complejidad pulverizó la articulación piramidal de disciplinas, originando un verdadero *Big Bang* disciplinar. Por su parte, Edgar Morin expresa que toca la campana de una teoría del hombre cerrada, fragmentaria y simplificada. Por eso es que con el nuevo siglo comienza la edad de una teoría abierta, multidimensional y compleja, la del Pensamiento Complejo.

Esta nueva era trae consigo a la ciencia con conciencia, que requiere violar obligaciones disciplinares para alcanzar la comunicación profunda y el diálogo entre disciplinas, y que tienen que colaborar democráticamente para alcanzar una nueva visión clara y coherente del mundo a través de toda la información y el conocimiento en que está inmersa la humanidad. Pero este diálogo es particularmente difícil, porque exige un acto de humildad de todas las instituciones disciplinarias que pretenden ser un imperialismo absoluto de normas informativas y formativas. De esta manera, el Pensamiento Complejo se presenta como un paradigma que despierta el intelecto que duerme en el especialista, y que con la transdisciplinariedad lo salva del demonio de la competencia disciplinar. De esta manera, podría resurgir un nuevo equilibrio entre razón y conocimiento, a partir de una sólida cooperación entre disciplinas conscientes de tener diferentes puntos de vista sobre una misma facultad del conocimiento, en lugar de presentar oposición.

Este *tercer ojo* transdisciplinar lleva a un meta-visión global, poli-ocular y multi-focal de la realidad. De hecho, mientras que las disciplinas son ventanas privilegiadas al mundo, también son, de acuerdo con Foucault, prácticas de poder, porque controlan la producción y la distribución del conocimiento. Sin embargo, el enfoque y la actitud transdisciplinar necesitan reflexión y análisis profundos para apropiarse de instrumentos pragmáticos y formativos, sobre la lingüística espontánea y las contaminaciones semánticas y los cruzamientos y fertilizaciones que tienen lugar. El Pensamiento Complejo debe encontrar maneras para apropiarse de la transdisciplinariedad como una meta-disciplina, una meta-metodología y una meta-paradigmatología, sin llegar a ser una especie de *disciplina transdisciplinar* y evitar la vaguedad teórica y terminológica. La ciencia y los científicos tenemos por lo tanto que encontrar juntos nuevas reglas y lenguajes intelectuales y éticos, para hacer posible el uso y la transferencia de conceptos y estrategias correctas de una disciplina a otra, y entre una y todas las demás, en un diálogo continuo y vital entre los diferentes niveles de la realidad y las perspectivas del conocimiento. De esta forma, la transdisciplinariedad emergerá como un una propiedad compleja del sistema de conocimiento y como una calidad de la descripción del nivel auto-reflexivo del mismo. Como nivel de conciencia de este sistema, la transdisciplinariedad será una virtud de aquel, lo que producirá un nuevo equilibrio de las condiciones caóticas y de la crisis del sistema disciplinario.

El primer paso para lograr desarrollar al Pensamiento Complejo como paradigma basado en la multidimensionalidad y la transdisciplinariedad, es sin duda promover y crear equipos mixtos de investigación y formación en todo el mundo. Cuyos miembros

sean instituciones privadas y públicas, ciudadanos especialistas y no-especialistas, trabajadores, intelectuales, agentes sociales, científicos y estudiantes. De esta forma se lograría que todos estudien y discutan casos concretos y que se hagan preguntas sobre cómo encontrar soluciones a los problemas, pero juntos, como hermanos e iguales que viven libremente y que tienen derechos y deberes por igual para habitar en el hogar común llamado Tierra.

Des este punto vista se propone experimentar con la ingeniería como trans-ciencia, especialmente en sus disciplinas de mayor desarrollo en este siglo y en las que normalmente implica tomar decisiones sobre la base de datos incompletos. El ingeniero trabaja en contra de los horarios rígidos y con un presupuesto definido. No puede permitirse el lujo de examinar todas las preguntas en la medida en que el rigor científico exige. De hecho, *el juicio de ingeniería* connota esta capacidad, así como la necesidad, para tomar buenas decisiones, con base en los datos científicos que tiene a la mano. A veces, los datos cruciales son insuficientes para el ingeniero proceder, por lo que su proyecto debe esperar mayor investigación científica. Sin embargo, generalmente se conforma con los datos que tiene, y luego utiliza su ingenio, llamado *juicio de ingeniería*, como guía.

Al ser precavido, el ingeniero ejerce su juicio. Si no está seguro del comportamiento del producto en la realidad, normalmente hace acopio de todo el conocimiento científico a su disposición, proveniente de muchas y diversas disciplinas y dimensiones, para moldear y simular la solución, y ordinariamente orienta sus acciones para que el producto pueda soportar las peores condiciones que se imagina. Pero todo esto está determinado en gran parte por el presupuesto, porque un importante incentivo para adquirir más datos es el deseo de evitar posteriores efectos desastrosos de sus creaciones.

Por esto es que la incertidumbre es, en cierto sentido, inherente a la ingeniería. A menos que el ingeniero esté dispuesto a construir un prototipo a escala real y probarlo en las condiciones precisas que encontrará en la práctica, siempre existe la incertidumbre de la extrapolación a circunstancias nuevas y no-probadas. Mientras que en el diseño los productos son pequeños, como un motor a reacción, cuando el prototipo se construye a escala real habitualmente aparecen dificultades que se deben resolver en éste o en los modelos de producción temprana. Pero cuando el producto es enorme, como la presa de Asuán, un reactor de plutonio de 1000-Mw, o un gran puente, un prototipo a escala real está fuera de la imaginación. Además, su vida útil puede ser extensa, por lo que incluso si se construyera un prototipo, no tendría mucho sentido esperar que aparecieran debilidades antes que fuera funcional. Así, en cada avance de la ingeniería hay elementos inherentes de incertidumbre científica que, como una cuestión de principios, nunca podrán ser totalmente resueltos. En este sentido, la ingeniería es trans-científica, o al menos posee elementos trans-científicos, y de hecho, se necesitan ingenieros con los conocimientos y las habilidades necesarias para hacer uso de la transdisciplinariedad y la multidimensionalidad que, junto con su ingenio y juicio, les permitan encontrar la mejor forma de materializar las ciencias en los productos ingenieriles.

Capítulo I

Ciencia y Conocimiento Científico

El estudio de las dimensiones sociales del conocimiento abarca los efectos de la investigación científica sobre la vida humana y las relaciones sociales y culturales, las implicaciones de estas relaciones y los valores en la investigación científica, y los aspectos socio-culturales de la misma investigación. En este capítulo y desde las perspectivas de la multidimensionalidad y la complejidad se hace una descripción de los aspectos de confianza, verdad y disciplinariedad, de ciencia democrática y socio-responsable, y de orden y raciocinio del conocimiento científico; además, se presenta un análisis a la construcción disciplinar del mismo.

1 Introducción

¿Por qué es importante comprender las bases de la construcción disciplinar del conocimiento científico? Varios factores se han combinado para hacer que este tipo de preguntas aparezca en la filosofía de la ciencia contemporánea: el surgimiento de los movimientos sociales; el ecologismo; el feminismo; la crítica a la ciencia dominante; la preocupación por los efectos sociales de las tecnologías; las cuestiones epistemológicas sobresalientes de la llamada *gran ciencia*; las nuevas tendencias en la historia de la ciencia, sobre todo el abandono de la historiografía internalista; y los enfoques anti-normativos en la sociología de la ciencia, entre otros.

Por eso parece absurdo para nosotros hoy en día que anteriormente las personas creyeran que la Tierra era plana. ¿Cómo es que no pensaban en el planeta como un disco gigante en medio del universo? Pero aunque los detalles difieren de una cultura a otra esa era la opinión dominante en el mundo antiguo. No fue sino hasta que los exploradores navegaron alrededor del mundo que finalmente se cambió esa idea, aunque no antes de acumular previamente muchas pruebas. La cuestión es que ya en el siglo VI AC los filósofos griegos se referían a un planeta esférico. Observaron que la luna parecía ser una esfera y por tanto dedujeron que la Tierra también podría serlo. Doscientos años más tarde, Aristóteles observó que durante un eclipse la sombra de la Tierra sobre la Luna era curva, lo que proporcionó algunas de las primeras pruebas de que era redonda. En el siglo III AC, el matemático Eratóstenes observó en la ciudad egipcia de Siena que al mediodía del solsticio de verano el sol daba directamente sobre la cabeza, y como tal los objetos no proyectaban una sombra. Él era de Alejandría, a unos 500 kilómetros al norte, y sabía que en esa ciudad y en esa época del año una torre alta proyectaba una sombra. Al usar estas observaciones y haciendo mediciones de la longitud de la sombra y de la distancia entre las ciudades, infirió que la superficie de la Tierra era curva y calculó con estimación muy precisa la circunferencia del planeta. Algunos años más tarde, el geógrafo Estrabón añadió más evidencias, cuando escuchó que los marineros describían que los objetos distantes se movían hacia abajo en el horizonte, y que desaparecían mientras navegaban lejos de ellos. Propuso que esto se debía a que la Tierra se curvaba y que esos marineros simplemente no se movían más lejos de los objetos, sino que mientras navegaban también su ruta se curvaba alrededor del planeta.

Aristóteles, Eratóstenes y Estrabón no se llamaron a sí mismos científicos, sin embargo, estaban utilizando el proceso de la ciencia mediante observaciones y proporcionando explicaciones para las mismas. Por lo tanto, mucho antes que Fernando de Magallanes navegara todo el camino alrededor de ella en 1522, o antes de que los

astronautas del Apolo 8 enviaran fotos de la Tierra desde el espacio en 1968, se tenían indicios de que la Tierra era una esfera y se disponía de la documentación necesaria que lo corroboraba. De hecho, los astronautas tuvieron que estar absolutamente seguros que la Tierra era una esfera que gira alrededor del Sol, o nunca habrían sido capaces de entrar en órbita. Fue la naturaleza de la ciencia y el conocimiento científico lo que les dio esa confianza, porque la comprensión de la diferencia entre el conocimiento científico y otros tipos de conocimiento es fundamental para comprender la propia ciencia.

Pero, ¿a qué se llama ciencia? La ciencia consiste de dos cosas: 1) un cuerpo de conocimientos y 2) un proceso por el cual se produce ese conocimiento. Comúnmente, únicamente se observa el segundo componente, porque proporciona una forma de pensar y de conocer el mundo y porque presenta los conceptos científicos de forma proposicional (la Tierra es redonda, los electrones tienen carga negativa, el código genético está contenido en el ADN, el universo tiene 13.7 billones de años), y con poco fondo sobre el proceso que los origina y la razón por la que se puede confiar en el conocimiento. Pero existe una serie de cosas que distinguen el proceso científico y dan confianza en el conocimiento que se produce a través del mismo. Así que, ¿cuál es el proceso científico? Se trata de una forma de construir conocimiento y hacer predicciones sobre el mundo, de manera que sean comprobables. Por ejemplo, la cuestión de si la Tierra es plana o redonda podría ser puesta a prueba, podría ser estudiada a través de múltiples líneas de investigación y evaluar la evidencia para determinar si se admite un planeta esférico o plano. Diferentes disciplinas científicas suelen utilizar diferentes métodos y enfoques para investigar el mundo natural, pero para los científicos la prueba se encuentra en el núcleo de la investigación científica.

Debido a que los científicos analizan e interpretan sus datos, entonces pueden generar hipótesis, teorías, o leyes que les ayudan a explicar los resultados, y los ponen en los contextos de un cuerpo mayor de conocimientos. Esas diferentes explicaciones son probadas a través de experimentos, observaciones, modelados y estudios teóricos adicionales. Por lo tanto, el cuerpo de conocimiento científico se basa en las ideas anteriores y está en constante crecimiento. Además, deliberadamente, los científicos comparten con sus colegas a través de procesos de revisión, donde comentan sobre el trabajo de otros, que luego se publica en la literatura científica, donde puede ser evaluado e integrado en el cuerpo de conocimiento por la comunidad en general. Y esto no es el final: una de las características de este cuerpo es que está sujeto a cambios, como cuando se recogen datos nuevos o se hacen reinterpretaciones de los existentes. La principales teorías, apoyadas por múltiples líneas de evidencia, rara vez se cambian por completo, pero los nuevos datos y explicaciones probados les añaden nuevas matices y detalles.

Por otro lado, en cualquier momento una persona puede aplicar una forma científica para dirigir sus pensamientos, ya sea que esté o no en el proceso de desarrollo de nuevos conocimientos y explicaciones. Pensar científicamente implica hacer preguntas que se puedan contestar analíticamente, mediante la recopilación de datos o la creación de un modelo, para luego probarlas. Pensar de esta forma implica inherentemente incluir creatividad para abordar las explicaciones que se encuentran dentro de los confines de los datos. Pensar científicamente no significa rechazar la cultura y el pasado, sino reconocer el papel que desempeñan para el nuevo conocimiento. Mientras que algunas explicaciones comprobables son un componente crítico del pensar científico, hay otras formas válidas de pensar sobre el mundo, que no siempre ofrecen explicaciones comprobables. Estas diferentes formas de pensamiento son complementarias (no en competencia), ya que abordan diferentes aspectos de la experiencia humana.

Por todo esto es fácil, cuando se aportan pruebas irrefutables, tener confianza en el proceso científico y en el conocimiento, como el hecho de haber sido capaces de orbitar alrededor de la Tierra en una nave espacial y tomar fotografías del planeta. Pero la mayoría de las investigaciones científicas no conducen con tanta facilidad a resultados comprobables, y sin embargo todavía se depende de y confía en el conocimiento que se produce a través del proceso científico. ¿Por qué se confía? Porque funciona. La ciencia tiene una larga historia de creación de conocimiento que es útil y que ofrece una visión más clara del entorno natural. Por ejemplo, al analizar una de las afirmaciones que se presentó anteriormente: el universo tiene 13.7 billones de años, ¿por qué hay que confiar en esta declaración? ¿Por qué creer lo que los científicos dicen sobre la edad del universo? No se cuenta con registros escritos de su origen y nadie ha sido capaz de *salir* del sistema, como lo hicieron los astronautas cuando tomaron fotografías de la Tierra, para medir su edad. Sin embargo, la naturaleza del proceso científico permite afirmar, con cierta precisión, la edad del universo observable. Estas predicciones fueron desarrolladas por múltiples investigadores y probadas a través de diversos métodos de investigación; han sido presentadas a la comunidad científica a través de publicaciones y presentaciones públicas; y han sido confirmadas y verificadas por muchos y diferentes estudios. De todos modos, en el futuro se podría desarrollar nuevos estudios o métodos de investigación que posiblemente refinen la actual estimación de la edad del universo, o la nieguen. Pero no es sutil, porque aunque la estimación de su edad pueda ser refinada es poco probable que se modifique la idea de un universo en expansión. Así es como funciona el proceso de la ciencia, siempre está sujeto a cambios a medida que se dispone de más información y de nuevas tecnologías, pero a la vez que se acumulan evidencias para construir una idea también crece la confianza alrededor de la misma.

Incluso Albert Einstein, al ver el trabajo de Hubble, cambió de opinión acerca de un universo estático, y llamó a la inserción de la constante cosmológica el *mayor error* de su carrera profesional. Aunque el descubrimiento de Hubble en realidad confirmó la teoría de la relatividad general, que predice que el universo debe estar en expansión o contracción, él se negó a aceptarla debido a sus prejuicios culturales. Su trabajo no pronosticaba un universo estático, pero asumió que éste debía ser el caso dado que siempre lo había creído. Cuando se enfrentó a los datos reconoció que sus creencias anteriores eran defectuosas y llegó a aceptar las conclusiones de la ciencia detrás de la idea. Esta es una característica de la ciencia: si bien las creencias de un individuo pueden estar sesgadas por su experiencia personal, la empresa científica trabaja para recopilar datos y llegar a una conclusión más objetiva. Las ideas incorrectas pueden ser defendidas por un cierto periodo, pero con el tiempo la preponderancia de la evidencia ayuda a corregirlas. Por ejemplo, aunque alguna vez se trató como un término menospreciado, la teoría del *Big Bang* es hoy la principal explicación, al menos la más aceptada, para el origen del universo tal como se conoce.

En todo caso, existen otras preguntas que se pueden formular acerca del origen del universo, pero no todas pueden ser respondidas por la ciencia. Los científicos pueden responder cuándo y cómo comenzó, pero no pueden calcular la razón por la que lo hizo. Ese tipo de preguntas debe ser explorado a través de la filosofía y otras formas de pensamiento, porque las preguntas que la ciencia se hace deben ser comprobables. Los científicos han proporcionado respuestas a preguntas de este tipo que han ayudado a calcular la edad del universo, tales como la distancia a ciertas estrellas y lo rápido que se alejan del observador, pero sea que se tenga o no una respuesta definitiva, se puede tener confianza en el proceso por el cual se desarrollaron las explicaciones, lo que permite creer en el conocimiento que se produce a través del proceso de la ciencia. Algún día se

encontrarán pruebas para ayudar a entender por qué se originó el universo, pero por el momento la ciencia se limita a investigar los fenómenos de los últimos 13.7, más o menos, billones de años; y eso es lo racional del saber científico: *no se embrolla en cuestiones que no puede responder o demostrar*.

2 Ciencia socio-cultural

La crítica de Kuhn (1962, 1977) al empirismo lógico incluyó un fuerte naturalismo. La racionalidad científica debía entenderse mediante el estudio de episodios reales en la historia de la ciencia, no por análisis formales desarrollados a partir de conceptos *a priori* del conocimiento y la razón. Los sociólogos y los historiadores, inclinados socialmente por la ciencia, tomaron esto como un mandato para revisar todo el espectro de las prácticas científicas, sin ningún juicio previo acerca de cuáles eran epistemológicamente legítimas y cuáles no. Esa misma distinción se produjo bajo la sospecha de los nuevos estudiosos sociales, a menudo etiquetados como *constructivistas*. Ellos argumentaban, que la comprensión de la producción de conocimiento científico requería mirar todos los factores causalmente relevantes para la aceptación de una idea científica, no solamente aquellos que el investigador piensa que deben ser relevantes.

Se inició entonces una amplia gama de enfoques en estudios sociales y culturales de la ciencia, bajo el paraguas etiquetado como *constructivismo social*. Ambos términos en la etiqueta se entienden de manera diferente en distintos programas de investigación. Por un lado, los constructivistas están de acuerdo en considerar que deben ser tratados como evidencia, o aceptados como justificación racional. Opinan que no deben ser privilegiados a costa de otros factores causalmente relevantes, y en tal sentido difieren en su visión de cuáles son los causales o cuáles vale la pena examinar. Los enfoques macro-analíticos, como los asociados con el llamado Strong Programme en la Sociología del Conocimiento Científico, tratan las relaciones sociales como una variable externa independiente, y al juicio científico y al contenido como variables dependientes. Por otro lado, los micro-análisis o estudios de laboratorio renuncian a la separación implícita del contexto social y la práctica científica, y se centran en las relaciones sociales dentro de los programas y las comunidades, en las que se reúnen las de investigación productiva y las de investigación receptiva.

Los investigadores también difieren en el grado en que tratan, como independientes o interactivos, los aspectos sociales y las dimensiones cognitivas de la investigación. Los asociados al Strong Programme, como Barry Barnes, David Bloor, Harry Collins, Donald MacKenzie, Andrew Pickering y Steve Shapin, entre otros, están particularmente interesados en el papel de los fenómenos sociales a gran escala, tanto en ideologías socio-políticas muy extendidas como en grupos de intereses profesional, sobre la solución de las controversias científicas. Algunos reportes de referencia en este género incluyen al de Andrew Pickering (1984), quien estudia la rivalidad de intereses profesionales en la interpretación de experimentos de alta energía en la física de partículas, y el de Steven Shapin y Simon Shaffer (1985) acerca de la controversia entre Robert Boyle y Thomas Hobbes sobre la interpretación adecuada de experimentos con bombas de vacío.

En este contexto, también se ubica el pensamiento de Murray Gell (1995), quien aporta visibilidad a un aspecto crucial de la existencia que no se puede ver realmente: las partículas elementales. De acuerdo con este autor, la aparición de más y más formas complejas no es un fenómeno restringido a la evolución de los Sistemas Adaptativos Complejos (CAS), aunque para ellos surge la posibilidad de una ventaja selectiva, que en determinadas circunstancias, se asocia con una mayor complejidad. Pero a medida que el

universo crece y los accidentes se acumulan, aparecen oportunidades para que la complejidad efectiva se siga acumulando. Por lo tanto, hay una tendencia a que se expanda, a pesar de que cualquier entidad dada puede aumentar o disminuir su complejidad durante un período de tiempo determinado. Las cantidades necesarias para medir algo como la complejidad de una entidad en el mundo real es casi una utopía, debido a que esas cantidades son, en cierta medida, dependientes del contexto e incluso subjetivas de lo que se desea medir. Dependen del nivel de detalle de la descripción de la entidad, de los conocimientos previos, de la comprensión del mundo en que se asume, del lenguaje empleado, del método de codificación utilizado y del equipo idealizado elegido como estándar. Sin embargo, si se considera una secuencia de entidades similares de tamaño y complejidad creciente, y se está interesado solamente en cómo se incrementan y se comportan, entonces muchas de las características arbitrarias se vuelven insignificantes. Probablemente se pueda afirmar que cualquier medida de la complejidad es más útil para hacer comparaciones entre las cosas, al menos, cuando alguna de ellas presenta una alta complejidad de medida objeto (Glenn, 1995).

Por su parte, el enfoque micro-sociológico, o de laboratorio, cuenta con estudios etnográficos de grupos particulares de investigación, que trazan múltiples actividades e interacciones que concursan en la producción y aceptación de un hecho o dato científico. Por ejemplo, Karin Knorr (1981) reporta su estudio de laboratorio en ciencias de las plantas en Berkeley, y Bruno Latour y Steven Woolgar (1986) el de neuroendocrinología en el Instituto Salk. Estos estudiosos argumentaron posteriormente que sus trabajos mostraban que los análisis filosóficos de la racionalidad, de la evidencia, de la verdad y del conocimiento, eran irrelevantes para la comprensión del conocimiento científico. En el estudio comparativo de Sharon Traweek (1988), acerca de las culturas de comunidades japonesas y norteamericanas de la física de alta energía, se señala el paralelismo entre la cosmología y la organización social, pero sin hacer afirmaciones epistemológicas extravagantes y provocativas. Para estos eruditos los esfuerzos de los filósofos de la ciencia por articular normas de razonamiento y juicio científico estaban mal dirigidos, porque en la práctica de la ciencia los científicos se basan en tipos de consideraciones muy diferentes. Por otro lado, los filósofos que estudian el carácter social del conocimiento científico, pueden rastrear su linaje por lo menos hasta John Stuart Mill. Tanto Mill como Charles Sanders Peirce y Karl Popper tomaron algún tipo de interacción crítica como elemento central de la validación de las afirmaciones del conocimiento. Por un lado, Mill presenta sus argumentos en el ensayo político *On Liberty* (1859), antes que en el contexto de sus escritos lógicos y metodológicos, pero deja claro que éstos han de aplicarse a cualquier tipo de conocimiento o a la pretensión de la verdad. A partir de la falibilidad del conocimiento humano argumenta por la necesidad de oportunidades sin obstáculos para la práctica de la discusión crítica de las ideas, porque solamente así se puede asegurar la justificación de las creencias (verdades), y se puede ayudar a evitar la falsedad o la parcialidad de las mismas o de opiniones enmarcadas en el contexto de un sólo punto de vista. Por lo que el logro del conocimiento es una cuestión social o colectiva, no individual.

Comúnmente, se toma la contribución de Peirce (1878) a la epistemología social de la ciencia como su *teoría consensual de la verdad*: la opinión que a la larga está predestinada a ser reconocida por todos los que investigan es lo que se entiende por verdad, y el objeto que representa como real. Aunque a menudo se lee en el sentido de que verdad es aquello en lo que converge a largo plazo la comunidad de investigadores, esta noción se puede interpretar más precisamente como que la verdad (y lo real) depende del acuerdo de la comunidad de investigadores, o que es el efecto de lo real que surgirá de la aceptación de los productos finales por parte de ellos. Por otro lado, cualquiera que sea la

lectura de esta declaración, Peirce deja claro que en su opinión la verdad es a la vez posible y está más allá del alcance de cualquier individuo. Porque individualmente los humanos no pueden alcanzar la filosofía última que persiguen, y que solamente será posible si la buscan como comunidad (Peirce, 1868). Además, pone mucha atención en la instigación de la duda y la interacción crítica como medios de conocimiento. Por lo tanto, si su teoría de la verdad es consensualista o realista, su visión de las prácticas mediante las que se alcanza le otorga un lugar central para el diálogo y la interacción socio-cultural.

Otra cuestión que se debe tener en cuenta a este respecto es el significado del reduccionismo, que para Morin (2004) surge de, y está integrado en, la realidad existencial de la vida diaria. Se manifiesta en la falta de voluntad para ser reduccionista y en la postura ética de no reducir a nadie a su peor característica o acción. Otro elemento clave para este autor es la transdisciplinariedad, porque su investigación nunca está limitada por las fronteras disciplinares, debido a que es transdisciplinar, y se basa en una amplia gama de lo que él llama *conocimiento pertinente* (Morin, 2001). En otras palabras, no se aproxima a sus temas desde lo que otros han llamado una perspectiva disciplinar (Montuori, 2005), lo que significa que no está impulsado por la solución de problemas en el contexto de la agenda de una disciplina específica. Por el contrario, está motivado por su propia experiencia. La investigación es dirigida por las necesidades del contexto, y se mueve a través de disciplinas para dibujar el conocimiento pertinente y arrojar luz sobre el tema. Esto es fundamental en la transdisciplinariedad, porque no se fundamenta en los intentos de crear totalización abstracta sobre marcos teóricos, o en la promoción de una agenda disciplinar. Se basa en la necesidad de encontrar el conocimiento pertinente para la comprensión y para intentar responder las grandes preguntas que cada vez más se quedan por fuera del discurso académico, precisamente porque son demasiado complejas y porque abarcan una amplia variedad de disciplinas. La experiencia en este punto no puede ser reducida satisfactoriamente a la perspectiva de una disciplina.

A menudo se trata a Popper como un precursor de la epistemología social, debido a su énfasis en la importancia de la crítica en el desarrollo del conocimiento científico y a que se evidencia en dos conceptos, el lógico y el práctico, pueden estar relacionados con los sentidos de la falsedad (Popper, 1963). El *lógico*, solamente es la estructura de un argumento de *modus tollens*, en el que una hipótesis es falsa si se demuestra que una de sus consecuencias lógicas es falsa. Esta es una noción de crítica a la vez que una cuestión de relaciones formales entre las declaraciones. El *práctico*, se refiere a los esfuerzos de los científicos por demostrar las insuficiencias de algunas teorías, mediante demostraciones de las deficiencias observables o inconsistencias conceptuales. Esta es una actividad social. Para Popper, la metodología de la ciencia es falsacionista, y la ciencia progresa a través de la demostración mediante la falsificación de la insostenibilidad de teorías e hipótesis. El falsacionismo de Popper es parte de un esfuerzo por diferenciar la ciencia verdadera de la seudo-ciencia, y ha perdido credibilidad como descripción de la metodología científica debido a que el proyecto de demarcación ha sido objeto de desafíos por parte de naturalistas y de enfoques historicistas en la filosofía de la ciencia. Mientras que para algunos puntos de vista actuales de la epistemología social la crítica juega un papel importante, Popper se aproximan más estrechamente a la epistemología evolutiva, especialmente en su versión del progreso cognitivo como efecto de selección.

El trabajo de Mill, Peirce y Popper es un recurso para los filósofos que actualmente exploran las dimensiones socio-culturales del conocimiento científico. Sin embargo, tras el colapso del consenso del empirismo lógico, los debates actuales se enmarcan en el contexto de la evolución de la filosofía de la ciencia y en la historia y los estudios sociales

de la misma. Los filósofos del Círculo de Viena estaban convencionalmente asociados con una forma poco crítica del positivismo y el empirismo lógico, que reemplazaron por el pragmatismo americano en los años 1940 y 1950. Pero de acuerdo con algunos estudiosos la ciencia natural es una fuerza poderosa para el cambio socio-cultural progresivo (Cartwright, Cat y Chang, 1996; Giere y Richardson, 1996; Uebel, 2004). Para estos autores, y con base en la observación y las formas públicas de verificación, la ciencia constituye una alternativa superior a lo que llaman *oscurantismo metafísico*, el cual llevó no solamente a pensar mal sino también a malas políticas. Mientras que uno de los desarrollos de este punto de vista conduce al cientificismo, en el que se puede responder cualquier pregunta significativa por los métodos de la ciencia, otro desarrollo conduce a la investigación, en la que las condiciones sociales y culturales promueven el crecimiento del conocimiento. El *empirismo lógico*, que se desarrolló en los Estados Unidos como una versión filosófica del Círculo de Viena, se centró en los aspectos lógicos e internos del conocimiento científico y desalentó la investigación filosófica en las dimensiones sociales de la ciencia. Este principio alcanzó prominencia nuevamente después de la publicación de *Structure of Scientific Revolutions* (Kuhn, 1962).

Una nueva generación de sociólogos de la ciencia tomó este énfasis sobre el papel de los factores de la comunidad, que no se evidencian en el cambio científico aún más de lo que deben, y argumentaron que el juicio científico está determinado por factores socio-culturales, tales como los intereses profesionales y las ideologías políticas. Esta familia de posiciones provocó una contra-respuesta de los filósofos, que se enmarcaron en un esfuerzo por otorgar cierto carácter social y cultural al conocimiento científico, al mismo tiempo que a mantener su legitimidad epistemológica que tiene que ser socavada por la nueva sociología. Al mismo tiempo, las características de la organización de la investigación científica los obligaron a considerar sus implicaciones para el análisis normativo de las prácticas científicas.

Al referirse al desarrollo cultural oriente-occidente, Boaventura Santos (2010) afirma que tomar distancia no significa descartar o echar a la basura de la historia toda esta rica tradición, y mucho menos ignorar las posibilidades históricas de emancipación social de la modernidad occidental. Para él, significa asumir este tiempo como algo que revela una característica transicional inédita, y porque existen problemas modernos para los que no hay soluciones modernas, tales como igualdad, libertad y fraternidad. Las que se proponen desde el liberalismo y el marxismo ya no sirven, incluso aunque se lleven a su máxima cognición (Goldmann, 1966), como la de la magistral reconstrucción intelectual de la modernidad occidental, propuesta por Habermas (1990). Los límites que propone este autor se inscriben en la versión dominante de la modernidad occidental que, de hecho, constituyen una segunda modernidad edificada a partir de la primera, es decir, la Ibérica de los Conimbricenses del siglo XVI. Pero lo que la caracteriza y le confiere su carácter dominante es la amplia línea que establece entre las sociedades metropolitanas (Europa) y las sociedades coloniales (Santos, 1995).

3 Confianza y verdad en la disciplinariedad científica

La segunda mitad del siglo XX fue testigo de la aparición de lo que ha llegado a ser conocido como la *Gran Ciencia*: la organización de grandes equipos de científicos aportando diferentes cuerpos de conocimiento en grandes proyectos de investigación conjunta. El modelo original fue el proyecto Manhattan, en Estados Unidos, cuyo objetivo fue desarrollar un arma atómica. Los físicos, teóricos y experimentales, se ubicaron en diferentes lugares en todo el país y trabajaron en sub-problemas del proyecto, bajo la

dirección general de Oppenheimer. Desde entonces, la investigación académica y militar se han separado hasta cierto punto, mientras que la investigación experimental en física, especialmente la física de partículas de alta energía, la siguen trabajando grandes equipos de investigadores. En otras áreas de la ciencia, como el trabajo en el marco del proyecto del Genoma Humano, la investigación ha aprovechado algunas de las propiedades de la Gran Ciencia, que requieren experiencias desde múltiples disciplinas. Por otro lado, la dependencia de organismos centrales para la financiación de este tipo de trabajos, genera interrogantes sobre el grado de independencia del conocimiento científico contemporáneo de su contexto social, cultural y económico.

John Hardwig (1985) articula el dilema filosófico que plantea este tipo de trabajo en grandes equipos de investigadores. Cada miembro o sub-grupo que participa en estos proyectos es necesario, porque cada uno aporta un grado de experiencia que no posee ninguno de los otros. Ese conocimiento puede aplicarse, por ejemplo, para instrumentar la capacidad de realizar un tipo de cálculo o cierta medición u observación. Pero los otros miembros no están en condiciones de evaluar los resultados de este trabajo, por lo tanto, todos deben *confiar* en su labor. La consecuencia en el resultado experimental de la medición de una propiedad, como la tasa de atenuación de una partícula dada, es la evidencia de que solamente un participante en el experimento lo comprende totalmente. Esto llevó a Hardwig a hacer dos cuestionamientos: 1) sobre el valor probatorio del conocimiento y 2) acerca de la naturaleza del sujeto conocedor. Con respecto a esta última opina que para conocerla indirectamente deben trabajar como un grupo o hacerlo como un participante individual, pero ninguna de las opciones es aceptable para él. Al hablar sobre el grupo o la comunidad de conocimiento se intuye un súper-organismo y una entidad trascendente, y Hardwig escoge ésta como solución. El conocimiento indirecto, sabiendo sin poseer uno mismo la evidencia de la verdad de lo que sabe, requiere demasiada desviación de los conceptos ordinarios del conocimiento disciplinar (Hardwig, 1985).

Acerca del primer cuestionamiento, Hardwig opina que hace parte de una discusión más general sobre el valor epistémico del testimonio. Gran parte del conocimiento común del pasado es adquirido por otros, y de esta forma se depende de esta línea para aprovecharlo en la construcción del presente y la planeación del futuro. De igual forma, mucho de lo que se conocerá más adelante depende de lo que se aprendió antes o actualmente. El primero es un conocimiento técnico-tecnológico-científico y el segundo es un conocimiento humano-socio-cultural. Pero también se adquiere conocimiento del mundo a través de las instituciones de educación, los medios y la divulgación científica, aunque mayoritariamente los filósofos desaprueban el valor probatorio del conocimiento adquirido de esta forma, porque se ha convertido en una réplica de alguna de las anteriores.

Por su parte, filósofos como Locke y Hume argumentan que únicamente lo que una persona es capaz de observar puede considerarse como una buena razón para creer, y que el testimonio de los otros nunca será suficiente garantía para creer. Aunque este raciocinio es consistente con el empirismo y el racionalismo, no tiene en cuenta la experiencia individual asimilada o la aprehensión racional que origina el conocimiento, lo que trae como consecuencia que se conozca más de lo que se piensa saber. Otros filósofos han ofrecido un análisis alternativo, focalizándose en uno u otro elemento de este problema. Unos argumentan que el testimonio de un *experto* calificado es en sí mismo evidencia suficiente (Schmit, 1988); otros dicen que el testimonio de los *expertos* constituye una buena razón para, aunque no es evidencia suficiente como, testimonio verídico (Hardwig,

1985, 1988); y algunos consideran que el conocimiento trasmitido es testimonio y no contenido proposicional, y que la cuestión no es tratar de encontrar un recipiente como razón para el testimonio (Welbourne, 1981).

Sin embargo, esta disputa parece estar resuelta en la cuestión de la *verdad* y la *autoridad* como puntos fuertes, particularmente en la forma de hacer ciencia, mientras que el dilema de la física experimental (Hardwig, 1985) es una versión específica de un fenómeno más general. Una concepción popular de ciencia, cubierta parcialmente por el *falsacionismo* de Popper, es que es epistémicamente posible, porque los resultados de los experimentos y los estudios son probados y replicados de forma independiente. Pero en la práctica, solamente algunos de esos resultados son realmente probados y muchos simplemente son aceptados como verdaderos, debido el prestigio o el *estatus* de quien los promulga. De esta forma, únicamente en el mundo no-científico se acepta esa información como verdadera, mientras que en el científico el conocimiento se incrementa dependiendo del testimonio de otros. Entonces, ¿cuáles son las implicaciones de aceptar estos hechos para las concepciones de fiabilidad disciplinar del conocimiento científico?

Davis Hull (1988) argumenta que la tendencia general de la ciencia a compensar o castigar es un poderoso incentivo para no mentir. Además, que es innecesario el análisis epistemológico de la misma. Pero algunos episodios científicos resonados, como la fusión en frío, se han caracterizado por el error al intentar replicar el producto del fenómeno. Mientras los defensores estaban convencidos que sus experimentos lo habían producido, también se identificaban casos de fraude. Por lo tanto, incluso si la estructura de la recompensa y el castigo es un incentivo para no mentir, no garantiza la veracidad de todos los informes de investigación. La recompensa para el científico es buscar el crédito, es decir, el reconocimiento cuando su trabajo es citado como importante y necesario para el progreso de la ciencia, porque la comunidad científica busca permanentemente teorías verdaderas o modelos adecuados. El crédito, o reconocimiento, se incrementa en la medida que el aporte es percibido y aceptado por esa comunidad, además de la sociedad. Pero sin fuertes estructuras de *policía comunitaria*, todavía persiste un afanoso incentivo para hacer trampa, para tratar de obtener crédito sin que necesariamente se haya hecho o aportado al trabajo. Por eso es que las comunidades y los individuos se enfrentan al dilema de cuándo es apropiado confiar y cuándo no.

Mediante modelos teóricos de decisión, Philip Kitcher (1993) y Alvin Goldman (1994) tratan la cuestión como una pregunta sin respuesta. Aunque para estos modelos, tanto el crédito como la verdad se ven como servicios públicos. El desafío es idear fórmulas que demuestren que las acciones diseñadas para maximizar el crédito también maximizan la verdad. Kitcher desarrolla fórmulas destinadas a demostrar que incluso en situaciones pobladas por individuos desmotivados epistémicamente, aquellos que buscan el crédito más que la verdad, la estructura de recompensas de la comunidad se puede organizar para maximizarla y fomentar el progreso científico. Kitcher también aplica este enfoque a problemas en la división del trabajo cognitivo, es decir, a las cuestiones de sí y cuándo dedicarse a una investigación que llame a un consenso de la comunidad en el tema, o por el contrario, a la investigación que extiende los modelos y teorías sobre las que una comunidad está de acuerdo.

A su vez, Steve Fuller (1988) y Joseph Rouse (1987) están preocupados por las dimensiones políticas de la autoridad cognitiva. En su analítica integrada y filosofía continental de la ciencia y la tecnología, Rouse desarrolla lo que podría llamarse un *pragmatismo crítico*. Esta perspectiva facilita un análisis al impacto transformador de la ciencia en la vida humana y las relaciones socio-culturales. Por su parte, Fuller acepta

parcialmente la reclamación de los sociólogos empíricos de que los reportes normativos tradicionales del conocimiento científico no pueden tener un apalancamiento en las prácticas científicas reales. Pero toma esto como un desafío para trasladar las preocupaciones normativas a los filósofos, quienes deben discutir la distribución y circulación de los aportes del conocimiento. La tarea de la epistemología social de la ciencia es regular la producción del conocimiento mediante la reglamentación de los medios retóricos, tecnológicos y administrativos de su comunicación.

Otra cuestión de la ciencia moderna es que suele ser interdisciplinaria. Un caso especial se presenta en la evaluación del riesgo que implica tanto la investigación sobre los efectos de varias sustancias o prácticas, como en la evaluación de esos efectos, una vez identificados. La idea es obtener una comprensión de los mismos, tanto positivos como negativos, y del método de evaluación aplicado. En este caso no se trata solamente de un problema de confianza y autoridad entre especialistas de diferentes disciplinas, sino también de los efectos de las nuevas tecnologías en el mundo socio-cultural. Por lo general, esta evaluación está motivada por las perspectivas de la implementación de tecnologías basadas en ciencia, y generalmente los riesgos estudiados son adversos para la salud humana o para el medio ambiente. Por esto se originó el interés en la aplicación del análisis filosófico a la evaluación de los riesgos, en respuesta a los debates sobre el desarrollo y la expansión de las tecnologías de generación de energía nuclear. Además, la aplicación del análisis costo-beneficio y los intentos de comprender la toma de decisiones, bajo condiciones de incertidumbre, se convirtieron en temas de interés como extensiones de las técnicas de modelado formal (Giere, 1991).

Estas discusiones se cruzan con los debates sobre el alcance de la teoría de la decisión racional y se han ampliado para incluir otras tecnologías, así como aplicaciones de la investigación científica en la agricultura y en las múltiples formas de la ingeniería biológica. Los ensayos sobre la relación entre la ciencia y los valores sociales en los riesgos de la investigación, recogidos por Deborah Mayo y Rachelle Hollander (1991), tratan de seguir un curso entre la confianza a-crítica en los modelos costo-beneficio y su rechazo absoluto. Viniendo desde un ángulo ligeramente diferente, el principio de precaución representa un enfoque cambiante del agobio de la prueba en las decisiones regulatorias, desde la demostración del daño a la demostración de la seguridad de las sustancias y prácticas. Carl Cranor (2004) explora las versiones de este principio y defiende su uso en ciertos contextos de decisión; Shrader (2002) escuda los modelos de análisis costo-beneficio éticamente ponderados y aboga por una mayor participación pública en la evaluación de riesgos; los filósofos de la ciencia han trabajado para hacer visible las formas en que los valores desempeñan un papel en la investigación de la evaluación de los efectos de las sustancias producidas tecno-científicamente y las prácticas mismas, a diferencia de los desafíos de la asignación de valores a los riesgos y a los beneficios identificados (Shrader, 1994; Douglas, 2000; Lacey, 2005). Por su parte, los estudios filosóficos de las dimensiones sociales del conocimiento científico se han intensificado desde el pasado; las controversias sociales acerca de las ciencias y las tecnologías basadas en ella, así como el desarrollo en el naturalismo filosófico y la epistemología social, se combinan para orientar el pensamiento en esta área; y los eruditos en una serie de disciplinas afines investigan las relaciones socio-culturales dentro de las comunidades científicas, y entre ellas y sus contextos sociales, económicos e institucionales.

4 Ciencia democrática y socio-responsable

La ciencia moderna ha sido considerada como un modelo de auto-gobierno democrático y como una actividad que requiere y facilita prácticas democráticas en un

contexto social de soporte (Popper, 1950; Bronowski, 1956). Desde esta perspectiva, se ve como incrustada en y dependiente de su contexto socio-cultural, pero aislada en sus prácticas a partir de la influencia del mismo. A medida que el alcance de la ciencia y las tecnologías basadas en ella se han extendido cada vez más en la economía y la vida cotidiana de las sociedades industrializadas, se empieza a prestar atención a la gobernabilidad de la ciencia (Serna, 2012). Por eso es que, independientemente de los puntos de vista sobre el carácter social del conocimiento, hay más preguntas relativas a cuáles son los propósitos de la investigación, qué recursos sociales y culturales se le deben dedicar y quién debe tomar tales decisiones y cómo debe hacerlo.

Philip Kitcher (2001) ha abierto estas preguntas a un escrutinio filosófico, respaldando en gran medida sus puntos de vista epistemológicos (Kitcher, 1993). Sin embargo, sostiene que no existe una norma absoluta del significado (epistémico o práctico) de la investigativa, ni ninguna norma del bien, aparte de las preferencias subjetivas. En ausencia de normas absolutas, la única manera no-arbitraria para defender las decisiones relativas a las agendas de investigación es a través de los medios democráticos y éticos que establecen las preferencias colectivas. Por lo tanto, los intentos de explicar los procedimientos, mediante los que se toman las decisiones relativas al propósito de la investigación, se pueden hacer de manera participativa y desde la disciplinariedad. El resultado, conocido como *ciencia bien ordenada* (Kitcher, 1993), es un sistema en el que las decisiones realmente se toman mediante seguimiento a lo que propone un órgano de representación debidamente constituido, y mediante deliberaciones colectivas con la ayuda de la información pertinente (costos, viabilidad, impacto socio-cultural-ambiental) y suministrada por los especialistas.

Esta propuesta ha llamado la atención de filósofos, científicos y estudiosos de la política pública y, aunque se reconoce como un primer paso, también ha generado una serie de críticas y preguntas adicionales. Las críticas van desde las preocupaciones sobre el idealismo excesivo de la concepción, hasta la preocupación de que se consagren las preferencias de un grupo mucho más pequeño que el que se verá afectado por los resultados de la investigación. Esta propuesta funciona mejor para un sistema en el que la totalidad o la mayor parte de la investigación científica se financian públicamente. Pero últimamente la proporción de la financiación de la ciencia, desde lo privado y corporativo, ha ido en aumento con respecto a la financiación pública, lo que pone en tela de juicio la eficacia de un modelo que presupone el control de gran parte de la sociedad (Mirowski y Sent, 2002; Krimsky, 2003). Cabe señalar que el modelo Kitcher todavía promueve una separación significativa entre la conducta real de la investigación (y las decisiones relativas a la dirección de la misma: lo ético, lo social, lo cultural) y los investigadores, quienes ven una relación más íntima en el contexto entre los procesos y los valores sociales, que en aquellos que va a satisfacer la conducta de la investigación.

El carácter contractual de esta propuesta plantea cuestiones acerca de la medida en que la *ciencia bien ordenada* realmente es democrática. Estas deliberaciones deben conducir a resultados que representen decisiones colectivas informadas (Fishkin, 2009). Como proveedor de conocimientos e información pertinente y requerida para estas decisiones, y de acuerdo con esta visión, la ciencia debería jugar un importante papel al momento de tomarlas. Pero esta idea se enfrenta a dos desafíos:

1. La aparente incapacidad de las personas para hacer uso del conocimiento y de la información obtenida y divulgada por los científicos. Diversas investigaciones han demostrado el grado de desconocimiento público sobre asuntos científicos y su falta de motivación para participar en un estudio serio y de deliberación sobre cuestiones

científicas pertinentes (Serna, 2012). Por otro lado, son bien conocidos los intentos sistemáticos por aprovechar la vulnerabilidad de la población a la manipulación. Por lo tanto, si bien es tarea de la ciencia lograr que las personas tomen decisiones colectivas informadas, lo que razonablemente se encuentra es desinformación y falta de debate público (Fishkin, 2009).

2. La actividad científica no puede ser adecuadamente sensible a los valores, necesidades e intereses de los diferentes sectores de la sociedad. El ejemplo más claro de esto se refiere a la forma como se establece la agenda científica. A menudo, los científicos no prestan suficiente atención a las cuestiones cuyas respuestas servirían a los intereses de las mayorías. En consecuencia, aun cuando el público se interese por el conocimiento y la información científica, esta marginalidad no le permite tomar decisiones informadas.

Si las decisiones reales no tienen que ser el resultado de los procedimientos democráticos, sino de aquellos que resultarían a partir de tales procedimientos, ¿cómo saber si esas decisiones se tomaron a través de un ejercicio ético y responsable de deliberación? Incluso si el proceso se lleva a cabo realmente, hay situaciones, como en la elección de los especialistas a los que se solicitará asesoramiento, que permiten preferencias individuales para subvertir o sesgar las de la totalidad (Roth, 2003). Además, dado que los efectos de la investigación científica son potencialmente globales, mientras que las decisiones democráticas son en el mejor de los casos nacionales, tendrán un efecto mucho más allá de la población representada por los tomadores de decisiones. A este respecto, Sheila Jasanoff (2005) comenta que, incluso en las democracias industrializadas contemporáneas, los regímenes de gobernabilidad de la ciencia no son muy diferentes, porque no hay un modelo democrático único de toma de decisiones sino muchos, y las diferencias se traducen en políticas igualmente diferentes.

Para algunos autores este es un asunto relacionado con la modernidad de la ciencia y la necesaria interpretación desde los escenarios de la sociedad de este siglo (Luhmann y Behnke, 1994; Appadurai, 1996; Voegelin, 1999). Pero, aunque la ciencia y la modernidad son ampliamente consideradas como una de las características más importantes de la civilización humana contemporánea, solamente se deben tomar como elementos definitorios que distinguen los tiempos actuales de los tiempos pasados. Porque al tomarla como una correlación se origina una caracterización más profunda de la actualidad, es decir, se filtra en capas subterráneas de la realidad histórica contemporánea. Si el objetivo es demostrar el éxito de la ciencia en la modernidad, como parte de la remodelación de la civilización humana a lo largo de las líneas del tiempo, esto se ve sospechoso y parece igualmente dudoso en el ámbito de la demanda paralela de la constitución de un nuevo ser humano (uno libre de las garras de las costumbres y la superstición, y equipado con razonamiento lógico, sin nubes y con autonomía moral y ética). Aunque es difícil obtener conocimiento fiable acerca de cómo funciona el mundo, es aún más difícil asumir a la ciencia como un producto de la modernidad (Fukuyama, 1992).

Cuando se trata de relacionar a la ciencia, la tecnología y el progreso, el Pensamiento Complejo va un poco más allá. Sus autores abordan esta cuestión desde la tesis que la organización disciplinar del conocimiento fue uno de los patrocinadores de la concepción de la modernidad de la ciencia, lo mismo que de la degradación de su ética, al ponerse al servicio del desarrollo del capitalismo (Potter, 1998; Delgado, 2010; González, 2012). Después de la Revolución Industrial, la humanidad se convenció de que el progreso solamente se lograría si el origen y la gestión del conocimiento le eran encomendados a la

ciencia, pero actualmente esa base de confianza presenta quiebres, fisuras y falta de auto-regeneración. Porque los elementos incuestionables que entonces le dieron pertinencia, autoridad, soberanía, credibilidad y confiabilidad perdieron su solidez en el marco de una sociedad con problemas complejos, y por la falta de una relación transdisciplinar del conocimiento para resolverlos (Bauman, 2002). Para Edgar Morin (2011), la nave espacial Tierra continúa su carrera a toda velocidad en un proceso de tres caras: la globalización, la occidentalización y el desarrollo. Caras que por ahora son interdependientes, al mismo tiempo que separadas. La llamada unificación tecno-económica del mundo se presenta acompañada de cuestiones raciales, convulsiones religiosas, políticas, economías, irrespeto por el medio ambiente y crisis de las civilizaciones tradicionales, que en conjunto se les denomina *modernidad*. Todos estos factores generan una multiplicidad de dificultades que complican y dificultan aún más la crisis humana, y entonces no puede convertirse en humanidad.

Pero, ¿para dónde vamos como humanidad? ¿Es posible seguir creyendo y confiando en la ciencia? La muerte del totalitarismo despertó el fanatismo religioso, a la vez que estimuló el capitalismo financiero. La humanidad se desarrolla en un contexto en el que la reducción de la pobreza no es únicamente un aumento en el bienestar material, sino también en un enorme incremento de la misma pobreza. La llamada brecha social se ensancha cada día, mientras que para los desarrollos científicos no parece ser un objetivo directo. Si no somos capaces de cambiar de carril, la presunción es que vamos hacia una cadena de rupturas y desastres. En este sentido, Castell (2000) opina que como consecuencia de esta infraestructura tecnológica se incrementa la capacidad para crear riqueza, de procesar información y de generar conocimientos competitivos. Todo esto enmarcado en un *sistema de educación* que funciona en virtud de la generación de ese conocimiento (Serna, 2015). Este carácter informacional de la educación y la economía trae enormes consecuencias sobre las inequidades sociales en todo el mundo, porque cada vez la tecnológica, la información y el conocimiento se distribuyen más desigualmente. Por ejemplo, si de reducir (ampliar la brecha) se trata, hay más líneas telefónicas en Manhattan que en toda África.

Para el Pensamiento Complejo es evidente que el problema actual del desarrollo humano es que se ha hecho creer que es dimensional, cuando la complejidad de esta sociedad demuestra que es multidimensional. Conceptos como el desarrollo sostenible hicieron pensar en un mejor planeta, porque se miraba como una consideración ética, pero la idea de un concepto de desarrollo como locomotora para remolcar a la humanidad se desvaneció, y muchas veces lo que generó fue sub-desarrollos mentales, psíquicos y morales para los que la humanidad no estaba preparada (Morin, 1995). Si a esto se suma la concepción de la ciencia como un motor para el desarrollo, y por tanto como un recurso de las economías globales, no es de extrañar que se generen las poluciones que tienen al planeta al borde de crisis ambientales, sociales y humanas sin precedentes. Todo esto se sustenta en la lógica de la rentabilidad, tal como lo profetizaba Karl Marx al decir que la mercancía iba a reemplazar todas las relaciones humanas. Pero actualmente ya no son únicamente estas relaciones sino también las biológicas, porque la vida misma se ha convertido en mercancías que se puede vender, y por tanto se convierte en propiedad privada.

5 Orden y raciocinio en la ciencia

Desde la década de 1980 se ha venido incrementado el interés en el desarrollo de las consideraciones filosóficas del conocimiento científico que incorporan las dimensiones

sociales de la práctica científica. Algunos filósofos le prestan atención a lo social como una extensión directa de los enfoques desarrollados en la epistemología, y otros se inclinan por alguna forma de naturalismo y han retomado seriamente el trabajo en los estudios sociales empíricos de la ciencia. Pero divergen considerablemente en su tratamiento de lo social. Algunos lo entienden como sesgado o distorsionado y lo ven como opuesto a o en competencia con lo cognitivo o epistémico. Además, ven el desdén de los sociólogos por las cuestiones filosóficas normativas como parte de un descrédito general de la ciencia, que demanda una respuesta, y con su racionalidad última tratan de refutar sus afirmaciones o de reconciliar la demostración del papel de los intereses de la ciencia. Mientras que los demás tratan lo social como constitutivo de la racionalidad. Estos paralelos recalcan de alguna forma el grado de la división entre los macro y micro-análisis en la sociología de la ciencia.

Los filósofos que tratan lo social como sesgado o distorsionado, tienden a centrarse en la opinión de los constructivistas de que no hay principios universales de racionalidad o de prueba que se puedan utilizar para identificar, de alguna manera e independiente del contexto, qué se puede considerar una factor probatorio y qué no. Se dividen en dos bandos que tratan de desarmar los análisis sociologistas incorporándolos en un marco racional más amplio:

1. *Los defensores de la racionalidad de la ciencia*, que tratan de defenderla contra las tergiversaciones sociológicas. Entre ellos se incluye a Larry Laudan (1984), James Brown (1989, 1994), Alvin Goldman (1987, 1995) y Susan Haack (1996). Los detalles de sus enfoques filosóficos son diversos, pero se ponen de acuerdo al sostener que los científicos están convencidos de lo que consideran como la mejor evidencia o argumento, aquello que indica la verdad por su agudeza, y suponen que las tesis y las pruebas son el foco apropiado de atención para comprender la producción del conocimiento científico. En tal caso, cuando las consideraciones probatorias no superan a las no-probatorias, se tiene un caso de *ciencia débil*. Ellos leen los argumentos de los sociólogos y los interpretan como que no se puede dibujar una distinción de principios entre las consideraciones probatorias y no-probatorias, y dedican sus esfuerzos a refutarlos. El carácter socio-cultural de la ciencia se entiende como una cuestión de agregación de individuos, no de sus interacciones, y al conocimiento público simplemente como el resultado aditivo de muchos individuos que promulgan juicios epistémicos. Por eso consideran que la racionalidad y el conocimiento individual son el enfoque adecuado de los filósofos de la ciencia, y que exponer los principios de racionalidad aplicable al razonamiento individual, es suficiente para demostrar la racionalidad de la ciencia, al menos en su forma ideal.

2. *Los reconciliadores*, entre los que se destacan Ronald Giere (1988), que en sus modelos utiliza la teoría de la decisión en el juicio probado para incorporar los intereses de los científicos como un parámetro de la matriz de decisión; y Mary Hesse (1980), que emplea un modelo de red de la inferencia científica con la creencia de que sus componentes son heterogéneos en carácter, pero que están sujetos a revisión en relación con los cambios desde otros lugares y disciplinas. Para ella, los factores sociales son condiciones de coherencia que operan en paralelo con las limitaciones lógicas, para determinar la plausibilidad relativa de las creencias en la red. Pero la posición reconciliadora más elaborada es la que desarrolla Philip Kitcher (1993), quien además de las relaciones de modelado de autoridad y la división del trabajo cognitivo, ofrece lo que llama un *compromiso entre racionalistas extremos* y *detractores sociológicos*. Este modelo apela al principio de racionalidad que Kitcher

llama el *patrón externo*, porque es propuesto como celebración de independencia de cualquier contexto histórico, cultural o social particular. Por lo tanto, no solamente es externo, sino también universal. El principio se aplica para cambiar de creencia (o pasar de una práctica a otra), no a la creencia. Se trata de un cambio racional (en la práctica o la creencia) sí y sólo sí el proceso a través del cual se hizo el cambio tiene un porcentaje de éxito, al menos tan alto como el de cualquier otro proceso utilizado por los seres humanos (Kitcher 1993). Kitcher propone que las ideas científicas se desarrollan con el tiempo y se benefician de las contribuciones de muchos investigadores, motivados de formas diferentes. Esta es su concesión a los eruditos orientados sociológicamente. Sin embargo, al final esas teorías son aceptadas como las que satisfacen el patrón externo. De esta manera se une a Goldman, Haack y Laudan en la opinión de que es posible articular, *a priori*, condiciones de racionalidad o de orden epistémico que operan de forma independiente de, o tal vez se podría decir de manera ortogonal a, las relaciones socio-culturales de la ciencia.

Un tercer conjunto de modelos en este bando es el de *carácter integracionista*. Entre sus proponentes se encuentra Lynn Nelson (1990), quien utiliza argumentos contra el estado fundacional, independientemente de los enunciados de observación, como la base para lo que llama un *empirismo feminista*. Según Nelson, no se puede hacer distinción de principios entre las teorías, las observaciones, o los valores de una comunidad. En su opinión, lo que cuenta como evidencia se fija por todo el complejo de las teorías de la comunidad, los compromisos de valor y las observaciones. No hay ni conocimiento ni evidencia aparte de un complejo compartido. La comunidad es el conocedor primario en este punto de vista, y el conocimiento individual depende de los conocimientos y los valores de la comunidad.

Por su parte, el empirismo social de Miriam Salomon se centra en la racionalidad científica (1992, 1994, 1994a), y también implica negar una distinción de principio universal entre las causas de la creencia. Esta autora se basa en el principio de la literatura de la ciencia cognitiva contemporánea, para argumentar que los prejuicios simplemente son factores que influyen en las creencias, que no necesariamente distorsionan pero que pueden ser productores de agudeza y creencia racional. La prominencia y la disponibilidad (de datos y tecnologías de medición) son sesgos tanto como las ideologías sociales. La característica distintiva de este empirismo es su contraste entre la racionalidad individual y la comunitaria: la teoría o creencia de que es racional aceptarlo es la que tiene la mayor cantidad de éxito empírico. Si la totalidad de las evidencias (datos empíricos) no está disponible, los individuos pueden confiar en creencias que son menos racionales que otras sobre un punto de vista. Sin embargo, lo que le interesa a la ciencia es que los juicios de la comunidad sean racionales. Una comunidad es racional cuando las teorías que acepta son las que tienen todos o la mayoría de aciertos empíricos, por lo tanto, puede serlo incluso cuando sus miembros son irracionales. De hecho, cuando los individuos comprometidos con una teoría, que da cuenta de sus datos, la mantienen en la gama de fenómenos que con el tiempo cualquier teoría, también aceptada por la comunidad, los pueda explicar, la irracionalidad individual puede contribuir a la racionalidad comunitaria. Con el fin de que la totalidad de las restricciones relevantes sobre la aceptación de la teoría permanezcan a disposición de toda la comunidad, los prejuicios se deben distribuir adecuadamente. Así, Salomon propone una distribución de los prejuicios como condición normativa sobre la estructura de las comunidades científicas.

Por su parte, en el empirismo contextual crítico de Helen Longino (1990) los procesos cognitivos involucrados en el conocimiento científico son así mismos sociales. Su punto de partida es una versión del argumento de la indeterminación, es decir, la brecha semántica entre las declaraciones, que describen los datos, y las que expresan las hipótesis o teorías a ser confirmadas o negadas. Porque los datos significan que las relaciones de evidencia no se pueden especificar formalmente, debido a que no pueden apoyar la exclusión de una teoría o de una hipótesis de entre todas las posibles. En su lugar, estas relaciones están mediadas por supuestos históricos. Eventualmente, en la cadena de la justificación, se llega a supuestos para los que no se dispone de evidencias. Si este es el contexto en el que se constituyen las relaciones evidenciales, surgen preguntas con respecto a cómo puede ser legitimada la aceptación de tales supuestos. Según Longino (1990), en estos casos el único freno contra la dominación arbitraria de la preferencia subjetiva (estética, metafísica, política) es la interacción fundamental entre los miembros de la comunidad científica, o entre los de las diferentes comunidades. Ella toma el argumento de la indeterminación para expresar en términos lógicos lo señalado por los investigadores orientados sociológicamente: los individuos que participan en la producción de conocimiento científico están histórica, geográfica y socialmente ubicados, y sus observaciones y razonamientos reflejan esas ubicaciones. Este hecho no socaba la empresa normativa de la filosofía, pero requiere expansión para incluir dentro de su ámbito de aplicación a las interacciones sociales, dentro y entre las comunidades científicas. Lo que cuenta como conocimiento está determinado por estas interacciones. Por otro lado, las comunidades científicas institucionalizan algunas prácticas críticas (por ejemplo, la revisión por pares), pero este tipo de prácticas y las instituciones deben satisfacer las condiciones de eficacia, con el fin de calificar como objetivo.

Por otro lado están los pensadores de la complejidad, para quienes la ciencia es algo así como *mitología racionalizada*. Por ejemplo, Morin (1999) manifiesta que a diferencia de quienes piensan lo contrario, separar la ciencia de la mitología no es tan simple. Aunque es una cuestión debatible, se comprende desde el mismo punto de vista de la transdisciplinariedad del mundo científico. Porque si se asume que la producción científica es una relación inter y multidisciplinar, también se debe aceptar que la lógica y el mito hacen parte de muchas disciplinas. Además, el método en general se contrapone a la suerte y al azar, pues es ante todo un orden manifestado en un conjunto de reglas, lo que se entiende como un tablero en el que las fichas provienen de todas partes, sin orden ni planes preestablecidos.

En este sentido, la complejidad es en sí el centro del escenario y no una propiedad emergente de la investigación en disciplinas particulares. Para lograrlo, los científicos de una variedad de disciplinas, tales como la física, la biología, la neurociencia, las matemáticas, las Ciencias Computacionales y más, se comprometen con la experiencia de cómputo para llevar a cabo el trabajo transdisciplinario en el comportamiento, por ejemplo, de los Sistemas Adaptativos Complejos. En todo ese proceso han tenido que involucrar cuestiones que apenas si son conocidas en el mundo civilizado, y que hacen parte de ricos acervos culturales ancestrales, donde se observan como mitología. Ellos han construido modelos que se pueden interpretar como la representación de fenómenos biológicos, ecológicos, o económicos. Sin duda, todo esto ha sido un emocionante viaje de descubrimiento intelectual, que ya cuenta con logros muy significativos. Poincaré, el gran matemático del siglo XIX, ha sido aclamado como una figura fundacional de este movimiento, porque *casi* descubrió la complejidad. Pero en efecto, solamente es una figura en los logros de las últimas cuatro décadas. Algunos autores distinguidos creen incluso

que este tipo de trabajos representa un hito para las ciencias, lo que pone fin a siglos de determinismo (Prigogine, 1989).

La teoría del caos (Prigogine, 1977) es otro ejemplo de cómo la magia influye notablemente en la ciencia. Prigogine demostró que, como por encantamiento, unas cuantas moléculas insustanciales e inertes se pueden auto-organizar en una estructura compleja. Además, que no se debe a mera casualidad, porque la ciencia había demostrado validez de sus conceptos dividiendo los sistemas en sus partes más sencillas, y con base en esto universalizó resultados y principios que parecían inamovibles. Pero no fue sino hasta la aparición de esta teoría que en esa realidad idealizada se comprendió que los componentes, en los que se dividían los sistemas, incluían a los propios orígenes biológicos de la vida, que son irreversibles y mucho más complejos que cualquier idealización que ocurra en la ciencia. Y esto no se puede ver sino como un mito salido de una leyenda antigua.

6 Conclusiones

Los estudios filosóficos de las dimensiones sociales del conocimiento científico se han intensificado desde el pasado. Las controversias sociales acerca de la ciencia y de la tecnología basada en ella, así como el desarrollo en el naturalismo filosófico y la epistemología social, se combinan para orientar el pensamiento en esta área. Los eruditos en una serie de disciplinas afines continúan investigando las relaciones sociales dentro de las comunidades científicas, y entre ellas y sus contextos sociales, económicos e institucionales.

Desde entonces se ha incrementado el interés en varios de los temas sociales y racionales de la ciencia y su ámbito de competencia, a la vez que los filósofos han tratado de modelar la distribución del trabajo cognitivo teniendo en cuenta características más realistas de las comunidades científicas. Para explicar esta racionalidad, Strevens (2003) describe la regla de prioridad en la ciencia, argumenta que ofrece una base para la asignación de recursos y explica la distribución entre los líderes y los seguidores. Muldoon y Weisberg (2011) se refieren a las propuestas de Strevens y Kitcher (2001) como informes idealistas, que son poco confiables y poco realistas. En su lugar, se centran en situaciones de modelado en el que los agentes tienen información imperfecta, parcial y diferente. En un giro ligeramente disímil sobre el tema de la distribución, Giere (2002) realiza una aproximación naturalista a la modelización, no tanto a la distribución del trabajo cognitivo sino a la distribución de la cognición. Este enfoque toma como referente a un sistema o comunidad interactiva, en lugar de agentes individuales. Nersessian (2006) extiende la cognición distribuida para modelos basados en razonamiento en las ciencias, y el énfasis de Pablo Thagard (2012) en la naturaleza interdisciplinaria (por tanto social) de la propia ciencia cognitiva, introduce una perspectiva social distintiva para la cognición de la ciencia.

Por otro lado, los modelos del carácter social del conocimiento científico tendrán que tener en cuenta al de Lorraine Daston y Peter Galison (2010) y el de Ian Hacking (2004), quienes se han acercado históricamente a la epistemología de la ciencia, tratando de identificar cambios en la prominencia del deseo epistemológico y de situarlos en las circunstancias cambiantes de la investigación y su contexto. Arthur Fine (2007) defiende lo que llama el *relativismo no-idiota*, articulando el relativismo de los constructivistas sociales en un lenguaje pragmático. Giere (2006) introduce el *perspectivismo* como un nuevo competidor en el esfuerzo por modelar el carácter de la diversidad en las ciencias. Los ensayos reunidos por Kellert, Longino y Waters (2006) abogan por una actitud

pluralista hacia la diversidad teórica, identificada en una variedad de sub-campos científicos. Mientras que el énfasis de Van Fraassen (2008) en la parcialidad y la perspectiva de la dependencia de la medición, proporciona otro punto de entrada a tal diversidad. Estas investigaciones proporcionan material de partida para el análisis filosófico y de los desafíos a los enfoques convencionales para comprender el conocimiento científico.

Mientras que los filósofos se centraron inicialmente en lo que podría denominarse *preocupaciones estrictamente epistémicas* como respuesta a estos trabajos, actualmente están expandiendo ese enfoque para incluir cuestiones éticas y políticas en sus análisis. Un tema que ha llamado la atención es la aparente falta de conexión entre el consenso científico sobre, por ejemplo, el cambio climático, y la actitud del público. Hay temas estándar que les debe interesar a las generaciones futuras, por no mencionar a aquellas comunidades que actualmente se ven afectadas por fenómenos como el aumento del nivel del mar, y que se encuentran en el dominio de la ética. Sin embargo, la resistencia a aceptar el consenso científico evidente ha llevado a los filósofos a pensar en qué forma los modelos de conocimiento les servirían para superar dicha resistencia (Anderson, 2011; Kitcher, 2011). A medida que la vieja distinción entre la investigación básica y la aplicada se desvanece en favor de una comprensión más compleja de su relación con las esperanzas de uso en los entornos del mundo real, los filósofos empiezan a considerar lo que realmente cuenta para hacer fiable a la investigación (Douglas, 2009; Cartwright y Hardie, 2012). Finalmente, las prácticas de publicación y aceptación están atrayendo una atención renovada. El trabajo de Carole Lee (2013), sobre el sesgo en la revisión por pares, es de particular interés; mientras que los de Tatsioni, Bonitsis e Ioannidis (2007) y Young, Ioannidis y Al-Ubaydli (2008) plantean preguntas acerca de las prácticas de publicación en el aseguramiento de esa fiabilidad. También reflexionan, de nuevo, acerca de que posiblemente la regla de prioridad tenga un efecto contaminante sobre la calidad del conocimiento, aun cuando todavía direcciona la distribución del trabajo cognitivo.

Referencias

Anderson, C. (2011). Democracy, public policy, and lay assessments of scientific testimony. Episteme 8(2), pp. 144-164.

Appadurai, A. (1996). Modernity at large: Cultural dimensions of globalization. Minnesota: University of Minnesota Press.

Bauman, Z. (2002). Modernidad líquida. Madrid: Fondo de cultura económica de España.

Bronowski, J. (1956). Science and human values. New York: Harper and Bros.

Brown, J. (1989). The rational and the social. London: Routledge.

Brown, J. (1994). Smoke and mirrors: How science reflects reality. New York: Routledge.

Cartwright, N. & Hardie, J. (2012). Evidence-based policy: A practical guide to doing it better. New York: Oxford University Press.

Cartwright, N.; Cat, L. & Chang, H. (1996). Otto Neurath: Philosophy between science and politics. New York: Cambridge University Press.

Castell, M. (2000). Globalización, sociedad y política en la era de la Información. Bitácora 4(1), pp. 42-53.

Cranor, C. (2004). Toward understanding aspects of the precautionary principle. Journal of Medicine and Philosophy 29(3), pp. 259-279.

Daston, L. & Galison, P. (2010). Objectivity. Cambridge: MIT Press.

Delgado, C. (2010). Diálogos de saberes para una reforma de la enseñanza y el pensamiento en América Latina – Morin, Potter, Freire. Estudios, 93, pp. 23-44.

Douglas, H. (2000). Inductive risk and values in science. Philosophy of Science 67(4), pp. 559-579.

Douglas, H. (2009). Science, policy, and the value-free ideal. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

Fine, A. (2007). Relativism, pragmatism, and the practice of science. In Cheryl, M. (Ed.), New Pragmatists, pp. 50-67. Oxford: Oxford University Press.

Fukuyama, F. (1992). The end of history and the last man. New York: Free Press.

Fuller, S. (1988). Social epistemology. Bloomington: Indiana University Press.

Giere, R. & Richardson, A. (1996). Origins of logical empiricism. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. XVI. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Giere, R. (1988). Explaining science: A cognitive approach. Chicago: University of Chicago Press.

Giere, R. (1991). Knowledge, values, and technological decisions: A decision theoretical approach. In Mayo, D. & Hollander, R. (Eds.), Acceptable evidence: Science and values in risk management, pp. 183-203. New York: Oxford University Press.

Giere, R. (2002). Scientific cognition as distributed cognition. In Carruthers, P.; Stitch, S. & Siegal, M. (Eds.), Cognitive bases of science Cambridge, cap. 2. UK: Cambridge University Press.

Giere, R. (2006). Scientific perspectivism. Chicago: University of Chicago Press.

Glenn, M. (1995). Waht is complexity? Complexity 1(1), pp. 16-19.

Goldman, A. (1987). The foundations of social epistemics. Synthese 73(1), pp. 109-144.

Goldman, A. (1994). Psychological, social and epistemic factors in the theory of science. Proceedings of the 1994 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, pp. 277-286.

Goldmann, L. (1966). Sciences humaines et philosophie. Suivi de structuralisme génétique et création littéraire. París: Gonthier.

González, I. (2012). Van Resselaer Potter y Edgar Morin – Cambios en el pensamiento ético contemporáneo. Revista Latinoamericana de Bioética 12(1), pp. 46-61.

Haack, S. (1996). Science as social: Yes and no. In Hankinson, L. & Nelson, J. (Eds.), Feminism, Science, and the Philosophy of Science, pp. 79-94. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Habermas, J. (1990). Die moderne, ein unvollendetes projekt: Philosophischpolitische. Leipzig: Reclam.

Hacking, I. (2004). Historical ontology. Cambridge: Harvard University Press.

Hardwig, J. (1985). Epistemic dependence. Journal of Philosophy 82(7), pp. 335-349.

Hardwig, J. (1988). Evidence, testimony, and the problem of individualism. Social Epistemology 2(4), pp. 309-321.

Hesse, M. (1980). Revolutions and reconstructions in the philosophy of science. Bloomington: Indiana University Press.

Hull, D. (1988). Science as a process: An evolutionary account of the social and conceptual development of science. Chicago: University of Chicago Press.

Jasanoff, S. (2005). Designs on nature: Science and democracy in Europe and the United States. Princeton: Princeton University Press.

Kellert, S.; Longino, H. & Waters, K. (2006). Scientific pluralism. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Kitcher, P. (1993). The Advancement of science: Science without legend, objectivity without illusions. Oxford: Oxford University Press.

Kitcher, P. (2001). Science, truth, and democracy. New York: Oxford University Press.

Kitcher, P. (2011). Science in a democratic society. Amherst: Prometheus Press.

Knorr, K. (1981). The manufacture of knowledge. Oxford: Pergamon Press.
Krimsky, S. (2003). Science in the private interest. Lanham: Rowman and Littlefield.
Kuhn, T. (1962). The structure of scientific revolutions. Chicago: University of Chicago Press.
Kuhn, T. (1977). The essential tension: Selected studies in scientific tradition and change. Chicago: University of Chicago Press.
Lacey, H. (2005). Values and objectivity: The controversy over transgenic crops. Lanham: Rowman and Littlefield.
Latour, B. & Steven, W. (1986). Laboratory life: The construction of scientific facts. Princeton: Princeton University Press.
Laudan, L. (1984). The pseudo-science of science? In Brown, J. (Ed.), Scientific Rationality: The Sociological Turn, pp. 41-74. Dordrecht: D. Reidel.
Lee, C. (2013). Bias in peer review. Journal of the American Society for Information Science and Technology 64(1), pp. 2-17.
Longino, H. (1990). Science as social knowledge: Values and objectivity in Scientific Inquiry. Princeton: Princeton University Press.
Luhmann, N. & Behnke, K. (1994). The modernity of science. Berlin: New German Critique.
Mayo, D. & Hollander, R. (1991). Acceptable evidence: Science and values in risk management. New York: Oxford University Press.
Mill, J. (1859). On liberty. London: John W. Parker and Son.
Mirowski, P. & Sent, E. (2002). Science bought and sold. Chicago: University of Chicago Press.
Montuori, A. (2005). Gregory Bateson and the challenge of transdisciplinarity. Cybernetics and Human Knowing, 12(1-2), pp. 147-158.
Morin, E. (1995). Estamos en un Titanic. Online [Oct. 2014].
Morin, E. (2001). Seven complex lessons in education for the future. Paris: UNESCO.
Morin, E. (2004). Ethique. Paris: Seuil.
Morin, E. (2011). La Voie – Pour l'avenir de l'humanite. Paris: Fayard.
Muldoon, R. & Weisberg, M. (2011). Robustness and idealization in models of cognitive labor. Synthese 183, pp. 161-174.
Nelson, L. (1990). Who knows: From quine to feminist empiricism. Philadelphia: Temple University Press.
Nersessian, N. (2006). Model-based reasoning in distributed cognitive systems. Philosophy of Science 73(5), pp. 699-709.
Peirce, C. (1868). Some consequences of four incapacities. Journal of Speculative Philosophy 2, pp. 140-157.
Peirce, C. (1878). How to make our ideas clear. Popular Science Monthly 12, pp. 286-302.
Pickering, A. (1984). Constructing quarks: A sociological history of particle physics. Edinburgh: Edinburgh University Press.
Popper, K. (1950). The open society and its enemies. Princeton: Princeton University Press.
Popper, K. (1963). Conjectures and refutations. London: Routledge and Kegan Paul.
Potter, V. (1998). Bioética puente, bioética global, bioética profunda. Cuadernos del programa regional de bioética 7, pp. 22-35.
Roth, P. (2003). Kitcher's two cultures. Philosophy of the Social Sciences 33(3), pp. 386-405.
Rouse, J. (1987). Knowledge and power: Toward a political philosophy of science. Ithaca: Cornell Press.
Santos, B. (1995). Toward a new common sense: Law, science and politics in the paradigmatic transition. Nueva York: Routledge.
Santos, B. (2010). Descolonizar el saber, reinventar el poder. Uruguay: Ediciones Trilce.
Schmitt, F. (1988). On the road to social epistemic interdependence. Social Epistemology 2, pp. 297-307.
Serna, M.E. (2012). Social control for science and technology. In Larrondo, P. et al. (Eds.), 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, pp. 1-7.
Serna, M.E. (2015). Por qué falla el sistema de educación. Medellín: Ed. Instituto Antioqueño de Investigación.
Shapin, S. & Schaffer, S. (1985). Leviathan and the air pump. Princeton: Princeton University Press.
Shrader, K. (1994). Expert judgment and nuclear risks: The case for more populist policy. Journal of Social Philosophy 25, pp. 45-70.
Shrader, K. (2002). Environmental justice: Creating equality; reclaiming democracy. New York: Oxford University Press.
Solomon, M. (1992). Scientific rationality and human reasoning. Philosophy of Science 59(3), pp. 439-354.
Solomon, M. (1994). Social empiricism. Noûs 28(3), pp. 323-343.
Solomon, M. (1994a). A more social epistemology. In Schmitt, F. (Ed.), Socializing Epistemology: The Social Dimensions of Knowledge, pp. 217-233. Lanham: Rowman and Littlefield Publishers.
Strevens, M. (2003). The role of the priority rule in science. Journal of Philosophy 100, pp. 55-79.
Tatsioni, A.; Bonitsis, N. & Ioannidis, J. (2007). The persistence of contradicted claims in the literature. Journal of the American Medical Association 298(21), pp. 2517-2526.

Thagard, P. (2012). The cognitive science of science: Explanation, discovery, and conceptual change. Cambridge: MIT Press.
Traweek, S. (1988). Beamtimes and lifetimes: The world of high energy physicists. Cambridge: Harvard University Press.
Uebel, T. (2004). Political philosophy of science in logical empiricism: The left Vienna circle. Studies in History and Philosophy of Science 36, pp. 754-773.
Van Fraassen, B. (2008). Scientific representation. New York: Oxford University Press.
Voegelin, E. (1999). Modernity without restraint: The political religions, the new science of politics, and science, politics, and Gnosticism. Missouri: University of Missouri Press.
Welbourne, M. (1981). The community of knowledge. Philosophical Quarterly 31(125), pp. 302-314.
Young, N.; Ioannidis, J. & Al-Ubaydli, O. (2008). Why current publication practices may harm science. PLOS Medicine 5(10), pp. 1418-1422.

Capítulo II

Ciencia y Disciplinariedad

En el transcurrir de la historia de la ciencia se presentan diversos momentos en los que sus protagonistas han dejado su legado impreso. Aunque el dinamismo de la ciencia no permite su estancamiento en el tiempo, cada era le impregna de hechos, realidades y coyunturas que se deben analizar desde una mirada analítica e imparcial. El objetivo de este capítulo es realizar un acercamiento a la definición de qué es y qué no es ciencia, además de intentar responder al interrogante de para qué se hace ciencia, todo con una visión desde la disciplinariedad científica. Se parte de un recorrido histórico del concepto ciencia, luego se describen sus relaciones e interrelaciones, y posteriormente se presentan algunas conclusiones. Se busca desarrollar una visión filosófica desde diversas lecturas y posturas de pensadores y científicos, acerca del término y su significado para la sociedad y para el desarrollo científico-tecnológico. Es un aporte al desarrollo temático y a la discusión del quehacer científico con una visión crítica, y orientado a analizar la ambigüedad semántica que se descubre en los diferentes trabajos analizados.

1 Introducción

La falta de correspondencia entre las representaciones comunes de la ciencia y la variedad de disciplinas, típicamente cubiertas por su historia, refleja una ambigüedad sistemática que en sí misma puede ser rastreada en las opiniones de sus protagonistas. En este entorno cultural, la filosofía natural llegó a ser re-articulada como la participación de los conocimientos contemplativos y prácticos. La tensión y la ambigüedad resultante se ilustran en los puntos de vista de Georges Leclerc (1749), quien sugirió que las especies solamente eran variedades marcadas y modificadas por factores ambientales, a partir de una forma original. En el siglo XIX, una nueva empresa llamada ciencia representó el establecimiento de una ideología inestable del conocimiento natural, que estaba en deuda con los desarrollos modernos tempranos. Los dos elementos complementarios y competitivos de la ideología de esa ciencia, han sido descritos como *filosofía natural* (discurso de conocimiento contemplativo) y como *instrumentalidad* (discurso de conocimiento práctico o útil: *know-how*). Pero, en gran parte, la historia de la ciencia se refiere a la historia de sus interrelaciones cambiantes. En el siglo XX se ampliaron las acciones productivas del hombre y se profundizaron sus intervenciones prácticas. Un proceso que se fortaleció a partir de los años 1950 con la revolución científico-técnica, en la que se hizo por primera vez una vinculación entre el avance del conocimiento del mundo y el cambio constante de la ciencia, la tecnología y la producción. Desde entonces, este entrelazamiento ha tenido notable influencia en el desarrollo de las mismas. Por otro lado, el desarrollo de la ciencia ha dotado a la humanidad de los conocimientos necesarios para transformar la Naturaleza a escala planetaria, a la vez que ha originado una importante metamorfosis en la vida de los seres humanos (Morin, 1992).

2 Qué es ciencia

La sociedad actual tiene una alta dependencia de la ciencia y la tecnología, pero como decía Carl Sagan (Head, 2006), el mundo se las ha arreglado hábilmente de modo que casi nadie entiende lo que son. Aunque muchos gobiernos patrocinan activamente el quehacer científico, para la mayoría de individuos la comprensión de, por no hablar de cualquier acuerdo sobre, qué es ciencia sigue siendo casi un misterio. Así que, ¿qué es exactamente la ciencia? ¿Qué es lo que aspira a hacer? ¿Por qué debería importarle a la sociedad?

Parecen preguntas simples, pero son infinitamente complejas, y las respuestas siempre serán esquivas y polémicas. Algunas definiciones elocuentes se centran en la ciencia como proceso y no como producto, con una alta dosis de curiosidad más que certeza. Como que la ciencia real siempre será una revisión en progreso que se origina y culmina en la ignorancia (Firestein, 2012); que no provee verdad absoluta, porque solamente es un mecanismo, una manera de tratar de mejorar el conocimiento de la naturaleza, y un sistema para probar las ideas contra el universo y ver si coinciden (Asimov y Clarke, 1997); que es una forma de pensar mucho más de lo que es un cuerpo de conocimientos (Sagan, 1997); que es una contradicción inherente (una maravilla sistemática) aplicada al mundo natural (Lewis, Amini y Lannon, 2001); o que la ciencia es el esfuerzo humano coordinado para entender, o comprender mejor, la historia del mundo y cómo funciona, con evidencias físicas observables como base de la comprensión (Wilson, 1999).

La historia de la ciencia no es una disciplina aislada y habitada únicamente por científicos preocupados por ennoblecer su pasado; ni es un campo de pastoreo para filósofos que tratan a los científicos (o filósofos naturales) y a sus ideas como si existieran en el vacío, aparte del resto de la sociedad. Pero, por el simple hecho de que hoy los estudios históricos de las ideas y eventos científicos se ajustan mejor a las normas que en ninguna otra época de la historia, sería un error suponer que las disciplinas se han convertido totalmente en una parte de la historia propiamente dicha (Morin, 2008). A pesar del éxito de los esfuerzos realizados desde la década de 1960, por incorporar los estudios históricos de la actividad científica en el resto de la historia, la historia de la ciencia como disciplina permanece separada. Paradójicamente, podría decirse que el éxito de estos esfuerzos ha hecho que dicha historia permanezca como está. En cualquier caso, el estado actual y las perspectivas de la historia de la ciencia no se pueden definir sin hacer referencia a su pasado reciente. Además, debido a que la ciencia ha demostrado por su propia naturaleza ser social e ideológica, su historia no podría ser interpretada más que como parte integral de la historia total de las relaciones y las estructuras sociales (Kuhn, 1996).

No es de extrañar entonces que esta conclusión no sea recibida con los brazos abiertos por todos los historiadores de la ciencia, por lo que la historia de hoy está lejos de ser uniforme en su perspectiva historiográfica. En lugar de ser asumida plenamente como parte integral, a menudo aparece apenas un poco más independiente que antes. De hecho, parece en cierto peligro de regresión al aislamiento, como resultado de no entender y/o no prestar atención a su propio legado histórico (Osorio, 2012). Comprensiblemente, parte de la historia se ha centrado en la humanidad y ha prestado poca atención a su entorno natural. Pero la historia de la ciencia se relaciona igualmente con la humanidad y con la naturaleza, por lo que se podría considerar como un estudio del cambio de la comprensión del mundo natural. Aunque para muchos la palabra *ciencia* supone algo complicado y muy técnico, y probablemente la asocian con un laboratorio, el concepto comenzó como una interpretación común del mundo, aunque más tarde se hizo más sofisticado y solamente en el siglo XIX se separó de otros estudios mediante la especialización.

Existen diversos enfoques para la historia de la ciencia, pero últimamente se ha empezado a sustituir gran parte del internalismo (o ciencia centrada) por un enfoque contextual más amplio, que relaciona a la ciencia con la sociedad de hoy. Un género valioso que surge aquí es el enfoque biográfico, donde el investigador está obligado a mirar la vida y el entorno del sujeto, al mismo nivel que a su trabajo. Un buen ejemplo es el estudio de Richard Westfall (1994) acerca de la vida de Isaac Newton, en el que el autor no comete el

error de abstraer la física del contexto de la teología, la filosofía y la alquimia, que tenían gran influencia en el mundo mental de Newton. Ni tampoco aísla la dimensión política, aunque no aparece tanto en la vida del mismo, así como los alegatos hechos por la iglesia y el Estado acerca del sistema newtoniano del siglo XVIII.

Pero la historia de la ciencia debe ser más que el estudio de los individuos, porque también se debe ocupar cada vez más de las instituciones. Del siglo XVII en adelante, los científicos se organizaron en sociedades, tales como la Royal Society de Londres (1660) y la Academia de Ciencias de París (1666), cuyo funcionamiento estaba regentado por el Estado. Este patrocinio estatal a la ciencia plantea preguntas interesantes, y genera un fuerte contraste entre la relación de ésta con el gobierno de turno, como el que se daba en Gran Bretaña y Francia. Por otra parte, se cuestionaban los criterios de inclusión de los miembros en estas sociedades científicas, porque en la británica eran aficionados a tiempo parcial, mientras que en la francesa era de forma elitista y profesional. Aunque como en casi todo lo relacionado con la ciencia, existían muchas preguntas por hacer, pero solamente un puñado de especialistas que participaban en la búsqueda de respuestas. En todo caso, a diferencia de la historia política, la historia de la ciencia es un campo relativamente nuevo, y para encontrar respuestas a preguntas cada vez más complejas se necesitan más personas con algún tipo de formación relacionada, y con un alto interés en la historia de las ideas y de las aplicaciones científicas.

3 Para qué se hace ciencia

Por un lado, y desde una perspectiva individual, para poner a prueba nuevas ideas o para refutar las anteriores. Un científico se vuelve famoso por descubrir cosas que cambian la forma de pensar acerca de una especialidad. Este argumento se basa en principios prácticos, y probablemente explica por qué muchas personas se dedican a la ciencia como carrera. Pero en un nivel pragmático, también existen las que lo hacen para ganar dinero. Es el caso de muchos profesores universitarios, que la toman como parte de sus obligaciones contractuales y no para hacer nuevas aportaciones al conocimiento, especialmente al industrial. También están los científicos que trabajan para corporaciones, a quienes se les paga para generar nuevos conocimientos; tienen mejores salarios, pero trabajan en el anonimato, porque sus descubrimientos se mantienen en secreto para desarrollar nuevos productos o tecnologías que pueden comercializar.

Desde una perspectiva social, si estas ideas ayudan a explicar por qué los individuos hacen ciencia, valdría la pena preguntarse ¿por qué las sociedades y las naciones les pagan para hacerlo? ¿Por qué una sociedad dedica parte de sus recursos al desarrollo de nuevos conocimientos sobre el mundo natural? ¿Qué motiva a los científicos a dedicar su vida al desarrollo de ese nuevo conocimiento? Una enorme cantidad de respuestas se encuentra en el deseo de mejorar la vida de las personas, y cualquier sociedad preocupada por su bienestar apoyará todo tipo de esfuerzos para lograrlo. Lo mismo puede decirse acerca de los deseos de desarrollo económico. En un mundo globalizado, donde las naciones se ven cada vez más atrapadas en la competencia económica, el apoyo a dicha ciencia es nada menos que una inversión en el futuro. También se encuentra el deseo humano de controlar el planeta y su medio ambiente. En cierto sentido, este tipo de ciencia tiene por objeto desarrollar el manual del propietario, que los seres humanos necesitan para tomar el control del ecosistema mundial (Castells, 2009). Además, las sociedades apoyan la ciencia por simple curiosidad y por la satisfacción y el aprendizaje que se logra al conocer el mundo que las rodea. Cuando los beneficios intangibles se combinan con los tangibles, no es de extrañar que la mayoría de las sociedades modernas apoyen la investigación científica para mejorar la comprensión del universo.

3.1 Ciencia y cambio

Si constantemente los científicos tratan de hacer nuevos descubrimientos o de desarrollar nuevos conceptos y teorías, entonces el cuerpo de conocimiento producido por la ciencia debe estar sometido a un cambio permanente. Esto se define como el progreso hacia una mejor comprensión de la naturaleza, que se logra mediante un cuestionamiento constante de si las ideas actuales son correctas. El resultado es que las teorías vienen y van, o al menos se modifican en el tiempo, como cuando se cuestionan las viejas ideas y se descubren nuevas pruebas (Morin, 1996). En palabras de Popper, la ciencia es una historia de errores corregidos. Incluso Einstein comentaba que cada año se retractaba de lo que había escrito el anterior (Mulkay, 1979). Muchos científicos han señalado que les gustaría volver a la vida en unos pocos siglos para ver qué nuevos conocimientos y nuevas ideas se han desarrollado, y para ver cuáles de las de su propio siglo se han desechado (Pickering, 1995). Las ideas de hoy deben ser compatibles con todas las pruebas que se tiene, y se espera que sobrevivan las del futuro. Sin embargo, cualquier mirada a la historia obliga a darse cuenta que es probable que en el futuro se proporcionen nuevas pruebas, que llevarán por lo menos a diferentes interpretaciones. Por otro lado, algunos científicos involucran su ego y se niegan a aceptar las nuevas ideas y pruebas. En ese caso, podría decirse que la ciencia avanza de funeral en funeral (Layton, 1977). Pero la mayoría se dan cuenta que las teorías actuales probablemente sean ideas del pasado puestas de moda, y lo mejor que se puede esperar es que sobrevivan con algunos retoques y que sean puestas a punto por las generaciones futuras. Aunque debido a que la ciencia es dinámica, continuamente surgen nuevas ideas innovadoras que realizan aportes al conocimiento, y nuevamente se inicia el ciclo.

3.2 Ciencia y conocimiento

Actualmente, la ciencia no puede, y probablemente nunca lo hará, dar declaraciones absolutas de verdad eterna, porque solamente proporciona teorías (Raj, 2000). La verdad absoluta se convierte en dogma o religión, y la ciencia únicamente cuenta con conocimientos tentativos sujetos a evaluación. Probablemente, en el futuro esas teorías se perfeccionarán, e incluso algunas serán descartadas a razón de otras con más sentido y a la luz de los datos generados por los científicos. Pero las actuales son las mejores explicaciones disponibles del mundo, porque revelan y han sido probadas con gran cantidad de información, y aunque seguramente la humanidad generará más conocimiento en los siglos por venir, hasta ahora se ha reunido suficiente información como para construir las teorías que permiten la comprensión científica del universo.

Esto hace que las sociedades deban tomar decisiones en cada momento del tiempo: por un lado, aceptar tal vez con cierto escepticismo la comprensión científica (teórica) del mundo natural, derivada de todas las observaciones y mediciones descritas previamente (Bunge, 2013); por otro, aceptar las ideas tradicionales del mundo natural, desarrolladas desde hace siglos por personas que, sin importar cuán sabias o bien intencionadas fueran, solamente tenían ojos agudos e imaginación fértil como sus mejores herramientas (Bunge, 1985). Entonces, podrían intentar hacerse a una idea de qué es la ciencia y decidir si creer en ella o esperar a ver si surge nuevo conocimiento que les brinde mayor claridad. En todo caso, su definición seguirá como en una especie de limbo, del que solamente saldrá cuando la sociedad comprenda con precisión qué es y para qué sirve.

Haciendo investigación en el laboratorio o en el campo se puede hacer ciencia, necesariamente no se hace contribución al conocimiento. La comunidad científica no se enterará de, o tendrá confianza en, los resultados de una investigación hasta que se

publiquen en una medio arbitrado por especialistas (Serna, 2010). Esto significa que el científico tiene que escribir un documento en el que justifica por qué su trabajo de es significativo, describe los métodos que usó para hacerlo, informa exactamente lo que observó en ellos y explica lo que significan sus observaciones en relación con lo que ya se sabía. A continuación, lo envía a los editores de un medio científico, por ejemplo una revista, que a su vez lo remiten a dos o tres pares especialistas para su revisión. Si éstos ratifican que la investigación se realizó de manera metodológicamente sólida y que los resultados contribuyen con conocimiento nuevo y útil, entonces el editor aprueba la publicación, aunque casi inevitablemente con algunos cambios o adiciones. Luego de un tiempo el documento aparece en una nueva edición de la revista, y los científicos de todo el mundo conocen acerca de esos resultados. Luego deciden por sí mismos si creen que los métodos utilizados fueron los adecuados y si los resultados significan algo nuevo y emocionante, y poco a poco el artículo cambia la forma en que las personas piensan del mundo.

Por supuesto que hay algunas sutilezas en este proceso. Si el manuscrito fue enviado a una revista de prestigio, la competencia para su publicación significa que los editores pueden seleccionar para publicar únicamente los que ellos piensan que son trabajos innovadores, y rechazar el resto a pesar de que hagan aportes sustanciales a la ciencia. Entonces, los autores de los manuscritos rechazados deben enviarlos a revistas de *menor reconocimiento*, donde probablemente se publiquen, pero que serán leídos por un público más reducido. Para bien o para mal, los científicos son más propensos a leer, y aceptar, trabajos publicados en *revistas importantes* de amplia distribución. En resumen, la ciencia se convierte en conocimiento mediante la publicación de los resultados de la investigación en medios especializados. Luego puede convertirse en conocimiento más general, cuando los escritores los seleccionan para ponerlo en sus textos, que toman los profesores para guiar sus cursos. Publicar es una cuestión crítica, aunque no todas las publicaciones son iguales, pero cuanto más reten los resultados las ideas establecidas más la notarán otros científicos y el mundo en general.

4 Qué no es ciencia

Muchos historiadores sugieren que la ciencia moderna comenzó alrededor de 1600, con los esfuerzos de Galileo, Kepler y Bacon. Esta época marcaba el cambio de la escolástica de la Edad Media y el Renacimiento a la ciencia tal como se conoce hoy, o ciencia moderna. La primera involucraba en gran medida el razonamiento deductivo desde los principios de Aristóteles, por lo que era una iniciativa intelectual *top-down*. Por su parte, la ciencia moderna involucra la inducción desde múltiples observaciones de la naturaleza, por lo que es *bottom-up*, es decir, desde la observación básica o experimental a la generalización. En palabras de Bacon (2004), debido a que el hombre no es más que el siervo o intérprete de la naturaleza, lo que hace y lo que sabe solamente es lo que ha observado del orden de ella en hechos o pensamientos, y más allá de esto no sabe nada y no puede hacer nada. Todo depende de mantener constantemente los ojos fijos en los hechos de la naturaleza y de esta manera recibir las imágenes simplemente como son.

Los trabajos de Galileo y Kepler ejemplifican un cambio fundamental de actitud. El pensamiento medieval había asumido una centralidad en la humanidad, de modo que la tierra se pensaba como el centro del universo, a la vez que la idea de la circularidad se consideraba como la perfección orbital para los cuerpos celestes. Básicamente, se trataba de un pensamiento religioso, mítico y mágico del que la ciencia se desprende en la modernidad. Unos cien años antes de Galileo y Kepler, Copérnico había roto con

precaución la primera de estas hipótesis, al concluir tentativamente que la Tierra orbitaba alrededor del sol, pero seguía aferrado a la idea de una órbita perfectamente circular. Galileo argumentó con mucha más fuerza en pro de una Tierra orbitando alrededor del sol, y en última instancia rompió la visión céntrica que se basaba en la lógica centrada en lo humano. Por su parte, Kepler demostró que las órbitas de los planetas eran elipses, en lugar de los círculos que exige un universo filosóficamente perfecto. Todas las observaciones recientes, tales como que las órbitas son elipses cambiantes, que la Tierra no es perfectamente esférica sino un esferoide achatado, y que el sol no ocupa la posición central en una sola galaxia sino de un sistema entre miles de millones de galaxias, serían muy desagradables para esa visión escolástica del mundo (Habermas, 1990).

Es decir, la lógica de la ciencia moderna requiere que las observaciones o los hechos dominen la validez de las generalizaciones o teorías, aunque a menudo el pensamiento previo se oriente en la dirección opuesta. A Galileo se le recordó esa dirección cuando fue llevado a Roma y condenado, porque su *proposición de que el sol no era el centro del universo y que era movible* iba expresamente en contra de las sagradas escrituras. El éxito y la aplicación cotidiana de la física moderna, la química, la biología, la geología y otras ciencias, es una prueba contundente de la validez de este enfoque moderno. Pero entonces, ¿qué no es ciencia?

4.1 La ciencia no es arte

Decir esto puede parecer trivial, pero la comparación ayuda a ilustrar qué es ciencia. El arte es el intento de expresar sentimientos o ideas individuales acerca de algo, de manera que otros lo encuentren hermoso, gracioso, o al menos estéticamente satisfactorio. Por lo tanto, el arte es individualista. Fuera de las artes escénicas, el arte casi siempre lo producen individuos, ya que tiene que tener la pureza de expresión que solamente puede venir de una persona. En general, en lo escénico el arte es el concepto de una persona (un compositor, un coreógrafo, un director), a pesar de que es ejecutado por muchas. También es individualista, en que una pintura o una escultura abandonadas en un estudio son arte, aunque nadie las vea, e incluso si alguien que las vio pensó que eran feas, sin gracia, o de mal gusto. Arte sin exhibir o sin amor todavía es arte, en lo que expresa el concepto del artista. Por otro lado, la definición sugiere que debe ser bello o estéticamente satisfactorio. Hasta el siglo XIX la belleza era una exigencia del arte, y en el siglo XX la expresión llegó a ser tan importante, o los conceptos expresados eran a menudo tan angustiosos, que a veces la belleza pura podía sufrir. Sin embargo, la estética sigue siendo fundamental para el arte. Pero ciertamente, aun en el más popular de hoy, como en las pinturas impresionistas, la música de Bach, Mozart o Beethoven, el ballet, la danza y la poesía, la belleza sigue siendo un componente crítico.

La ciencia en cambio es el intento de llegar a conclusiones demostrables y replicables sobre el mundo natural (Habermas, 1972), y generalmente se construye con un método que implica comprobación y evidencia de lo que se sostiene. Existe el individualismo en que lo que cada científico hace, porque cómo lo estudie es algo abierto a su elección, sin embargo, las conclusiones tienen que ser demostrables con evidencias y trabajo en equipo. Si un artista dice: *Esta obra expresa algo muy profundo en mi corazón*, todo el mundo asiente y acepta; pero si un científico dice: *Yo no tengo ninguna prueba para demostrar, pero el fondo de mi corazón sé*..., todos voltean los ojos y salen del salón. La naturaleza no-individualista de la ciencia también se refleja en la cantidad de investigación científica que llevan a cabo los grupos (Bunge, 2000): en física de partículas, un artículo con único autor es tan común como una novela de varios autores. En segundo

lugar, la ciencia no tiene que ser satisfactoriamente bella o estética, o incluso emocionalmente satisfactoria. Se puede demostrar que las órbitas de los electrones se distorsionan, que las estructuras cristalinas tienen defectos, que las cuencas oceánicas y sus corrientes son asimétricas, o que los planetas no son esféricos, y eso está bien, a pesar de que un mundo geométricamente perfecto podría ser más hermoso. Se puede demostrar el decaimiento de los átomos, que las especies cambian, que los continentes se mueven, fusionan y dividen en formas aleatorias, o que el universo cambia de forma explosiva, y eso está bien, a pesar de que un mundo sin tiempo invariante podría ser estéticamente más satisfactorio. Se puede demostrar que los seres humanos evolucionaron de animales genealógicamente mal diseñados y que descienden de antepasados desaliñados o viscosos, y eso está bien, a pesar de que emocionalmente no es satisfactorio para los seres humanos.

En resumen, el arte es en gran medida el esfuerzo de un individuo por comunicar sus ideas o sentimientos de manera hermosa, mientras que la ciencia es el esfuerzo de un grupo por caracterizar la realidad. La estética, el *sine qua non* del arte, no cuenta mucho en la ciencia, aunque muchos científicos e individuos encuentran satisfacción estética en los conceptos científicos y los patrones de la naturaleza, e incluso aunque algunos físicos pretendan encontrar la belleza en sus ecuaciones. También es cierto que muchos científicos obtienen alguna satisfacción estética, o por lo menos son capaces de ejercitar sus deseos y ambiciones artísticas, al ilustrar los conceptos científicos. Pero la belleza no es, o no debería ser, un criterio para evaluar la validez de una hipótesis o una teoría científica. Aunque dadas las características de la generación actual, es de esperarse que empiece a tener mayor protagonismo en el futuro.

4.2 La ciencia no es tecnología

Uno de los errores que a menudo se comete es confundir a la ciencia con la tecnología. Como resultado, diariamente recibe desde un *crédito indebido* (*por los milagros de la ciencia moderna en la cocina*) hasta una *culpa excesiva* (*desde los tomates desmesuradamente firmes a la guerra nuclear*). De hecho, la ciencia no fabrica cosas. Los científicos desarrollaron suficientemente la comprensión de la radiación como para que se inventara el horno de microondas, pero ni fabricar un horno ni usarlo es ciencia, eso es ingeniería. Los científicos están en el negocio de la generación de conocimiento, mientras que los ingenieros están en el negocio de la generación de tecnología. Por otro lado, la sociedad utiliza cotidianamente tecnología sofisticada, pero la ciencia no la requiere de esa forma. Un ecologista puede observar el comportamiento natural de las aves y un geólogo examinar un afloramiento, sin utilizar tecnología particularmente de punta. De hecho, la única tecnología en común a todas las ciencias es el cuaderno en el que se registran las observaciones. Es decir, muchas veces la ciencia conduce a la tecnología y utiliza la tecnología, pero no es tecnología, y de hecho puede funcionar independientemente de ella.

4.3 La ciencia no es verdad ni certeza

Muchos asumen que los científicos han generado un cuerpo de conocimiento que con seguridad es cierto. Después de todo, algunas de esas ideas se conocen con suficiente certeza como para que la mayoría las den por sentadas. Un ejemplo es la suposición común de que la tierra gira alrededor del sol, y mucha evidencia científica apoya la idea como la teoría heliocéntrica del sistema solar, por lo que es común que se tome como *verdadera*. Sin embargo, ningún ser humano ha observado el sistema solar y ha visto cómo viaja la tierra en una órbita alrededor del sol. Solamente es una teoría, pero una casi ineludible.

En ese sentido, la mayoría de científicos admiten que, a pesar de que buscan la verdad, no la conocen ni la generan (Prygonine, 1981). Ellos proponen y prueban teorías a sabiendas de que en el futuro podrán refinarlas, revisarlas e incluso rechazarlas. Al preguntarles acerca de un tema que no es directamente observable, probablemente se obtenga una respuesta que comienza con algo como: *La evidencia sugiere que*... o *Nuestra comprensión actual es*... lo que no es palabrería o indecisión por desconocimiento. Lo que está ofreciendo es un reconocimiento razonado de que muchas cosas no se pueden conocer con absoluta certeza, y que solamente se está al tanto de la evidencia observable. Sin embargo, se puede llegar a la mejor conclusión posible sobre la base de la evidencia más completa y moderna disponible.

Lo anterior contrasta fuertemente con el conocimiento reclamado por muchos otros, cuando afirman que ellos, o un libro, o los libros, tienen todo el conocimiento relevante, y que por lo tanto es una verdad absoluta e incuestionable, pero únicamente un dogma o una religión refieren a verdades absolutas. Por eso es común que la biblia se presente como que contiene todo el conocimiento, y que como tal es una verdad literal e infalible (Bunge, 1985). Ningún libro de ciencia ha sido ni será respaldado de esa manera. Por ejemplo, considere la pregunta: ¿*Cómo empezó el mundo*? La respuesta de un científico iniciará con la evidencia que se ha recogido por décadas o siglos de estudio astronómico e incluirá varias líneas acerca de los movimientos de las galaxias, y luego concluirá con una teoría que se ajusta a la evidencia acumulada. No presentará, o al menos no debería hacerlo, cualquier declaración acerca de la verdad absoluta. Por el contrario, algunos que se precian de científicos responderán que el mundo fue creado por una deidad hace cierto número de años, y si se les pregunta acerca de su nivel de certeza generalmente responden que absolutamente no tienen ninguna incertidumbre. Un verdadero científico no responde con ese grado de certeza sin tener en cuenta la evidencia disponible para ello, ni asumirá ese tipo de reclamación a la verdad. Puede tener un alto nivel de confianza si hay pruebas suficientes, pero no reclama la verdad o certeza absolutas. Vale la pena recordar que si un individuo admite la incertidumbre no quiere decir que está equivocado, aunque el problema sea político, económico, religioso, o científico. De hecho, si admite cierta incertidumbre en su pensamiento a menudo está más cerca de la verdad, o al menos entiende mejor los problemas que alguien que acepta la certeza absoluta (Schaar, 2003). *Gritar más fuerte no genera verdad*.

4.4 La ciencia no es religión

Ciencia y religión son muy diferentes, tanto en lo que tratan de hacer como en los enfoques que utilizan para lograr sus objetivos. La ciencia trata de explicar el origen, la naturaleza y los procesos del universo físicamente detectable. La religión busca explicar el significado de la existencia humana, definir la naturaleza del alma, justificar la existencia de una vida futura y mantener la devoción a una deidad o deidades. Sus objetivos y métodos son muy diferentes. La ciencia usa evidencia física para responder a sus preguntas, y a partir de ella se basa en los humanos modernos para hacer inferencias (Prygonine, 2003). Las religiones, por el contrario, suelen utilizar la inspiración divina, la interpretación de los textos antiguos y en algunos casos una visión personal como fuente de respuesta a sus interrogantes. Por lo tanto, ciencia y religión no son, o no deberían ser, enfoques en competencia, ya que tratan de lograr cosas diferentes y por diferentes métodos. A la luz de estas diferencias fundamentales en objetivos y métodos, la ciencia y la religión son paradigmas distintos y no siempre compatibles entre sí (Butler et al., 2011).

Además, la consideración de estos objetivos y métodos demuestra que la ciencia y la religión tienen poco en común. La ciencia no tiene que hacer nada acerca de inferencias sobre las almas, la otra vida, o las deidades, porque no son entidades físicamente detectables o medibles sobre una hipótesis que se pueda probar. Por su parte, muchas religiones, especialmente las orientales, difunden afirmaciones sobre el origen y la naturaleza del universo físicamente detectable, y generalmente lo hacen a causa de su aceptación de la totalidad de un texto antiguo que incluye historias sobre el origen de la tierra y de la vida. Las religiones que tratan las historias de estos textos como *alegorías no-literales* tienen poco o ningún conflicto con la ciencia.

Para ilustrar estas diferencias, en la Tabla 1 se presentan algunas generalizaciones sobre el conocimiento religioso, el conocimiento artístico o místico y el conocimiento científico. Hay que tener en cuenta la diversidad que puede surgir en los conceptos: 1) religión: budismo, hinduismo, islamismo, judaísmo, chamanismo, sintoísmo y las muchas variantes del cristianismo; 2) ciencia: experimental, teórica, observacional, física, biológica; y 3) la diversidad casi infinita de experiencias místicas. Pero esta clasificación no se debe entender como una condena o idealización de alguna de ellas, sino como una forma de verlas a la luz de las otras.

Tabla 1. Diferentes tipos de conocimiento

	Visiones		
	Religiosa	**Mística/Artística**	**Científica**
Cómo descubre conocimiento	De los textos antiguos o de las revelaciones de individuos inspirados	Desde una visión personal, o desde el conocimiento de los demás	De la evidencia generada por la observación de la naturaleza o por la experimentación
Grado en el que el conocimiento cambia a través del tiempo	Poco	Puede ser considerable	Considerable
Grado en el que se esperan cambios futuros en el conocimiento	Ninguno	Se puede esperar en la medida que se espera el desarrollo personal	Tentativo, en tanto se descubre una nueva evidencia o se falsea una teoría anterior
Cómo cambia el conocimiento a través del tiempo	Es inmutable, excepto por la re-interpretación de las autoridades, por nuevas revelaciones inspiradas, o por la divergencia de los rebeldes	Por cambios individuales o por ideas de los demás	Por nuevas observaciones o experimentos, y/o por la re-interpretación de los datos existentes
Nivel de certeza	Alto, debido a la fe, puede ser completo.	Alto	Depende de la calidad y el alcance de las pruebas, nunca será completo
Supuestos de base	Que los textos antiguos o la revelación inspirada tienen significado para las condiciones modernas o futuras	Que los sentimientos personales y los puntos de vista reflejan la naturaleza	Que la naturaleza tiene patrones de comportamiento discernibles, predecibles y explicables
Objetivos habituales	Entender el alma humana, la naturaleza de una deidad y las condiciones de vida futura	Entender el universo físico y/o metafísico	Comprender el origen, la naturaleza y los procesos del universo observable
Dónde se pone la fe	En seres sobrenaturales, o en las autoridades que interpretan textos y acontecimientos	En sus propias percepciones	En la honestidad de quienes reportan datos científicos, y en la capacidad humana para entender la naturaleza
Fuentes de contradicción	Entre las diferentes religiones; entre los diferentes textos y/o autoridades; y entre los textos individuales	Entre los individuos que sacan sus propias conclusiones	A través del tiempo, como los cambios en la comprensión, y entre los campos e individuos que utilizan diferentes enfoques y materiales

Es importante tener en cuenta que dependiendo de cuál sea la visión que se tenga del mundo, cada una de estas formas de pensar puede tener sus ventajas:

- Para alguien que valora muy positivamente la constancia y se siente incómodo con los cambios en el conocimiento, la ciencia puede ser muy inquietante. Pero sería muy atractiva para el que se adapta a las cambiantes concepciones del mundo e incluso disfruta de las ideas recién descubiertas.
- Para quien tiene poca fe en la integridad y la capacidad de la humanidad contemporánea, la ciencia le generaría poca credibilidad. Sin embargo, sería creíble para quien cuestiona la autoridad del pasado y en cambio está más confiado de los reportes publicados y revisados por algunos humanos contemporáneos.
- La ciencia le proporcionaría una perspectiva desagradable a aquel que se conforta con la visión tradicional de una naturaleza especial de la humanidad, y con la idea de una fuerza de cariño rector. Sin embargo, les parecería de mucha utilidad para quienes la vida real es como es y que la humanidad no tienen lado bueno.

5 La disciplinariedad científica

Por siglos, el método cartesiano (Descartes, 1637) fue el principal impulsor de los descubrimientos científicos. Pero en el siglo XXI, en plena edad del desarrollo tecnológico, en medio la Sociedad del Conocimiento y de la Información y gracias a la creciente complejidad de la ciencia, la propuesta cartesiana ya no funciona para todas las disciplinas y tiene que modificarse. Como lo proponen los autores de la complejidad, la mejor manera de ver la ciencia es sobre una base transdisciplinar, porque cada campo científico parece haber desarrollado su propia filosofía; además, porque la realidad es que las disciplinas no son independientes y los científicos necesitan integrar varias de ellas en su trabajo (Camp, 2002). Por otro lado, la ciencia de este siglo es transdisciplinar, y ellos deben hacer acopio de un pensamiento multidimensional para comprender y resolver los problemas. Por todo esto es que es más conveniente pensar en un método que permita el trabajo científico creativo, en el que los científicos dejen volar su imaginación para encontrar la mejor ruta para desarrollar su trabajo, y en medio de una creciente complejidad y de un volumen de conocimiento cada vez mayor (Phelan, 2001).

La división disciplinar de la ciencia debe revelar la estructura que refleja la orientación científica prevaleciente, lo que indica implícitamente las prioridades del desarrollo general de la ciencia y de los países, es decir, las posibilidades de la aplicación del conocimiento (Morin, 2008). La estructura ramificada de los sistemas de investigación y de desarrollo es un posible indicador de la orientación y las prioridades adoptadas, y al mismo tiempo del sistema general de valores sociales que hacen que sea claramente reconocible una sociedad determinada. Por ejemplo, en la controversia de 1989 sobre el logro reportado de la fusión nuclear fría, parte de las comunidades de la física y la química se oponían tanto a la teoría como a la competencia profesional del descubrimiento. Los físicos veían el anuncio de los químicos como una incursión en su territorio disciplinar, y se esforzaban por restaurar las fronteras interdisciplinares. Los acontecimientos que siguieron arrojaron luz sobre la manera en que las afirmaciones del conocimiento de los científicos y las creencias meta-científicas se ven afectadas por su pertenencia disciplinar. En particular, esta controversia ofreció evidencia de una re-interpretación constructivista de la división de la naturaleza, en niveles que habitualmente ha servido de base para apoyar la división de la ciencia en disciplinas. Un fenómeno que por varias décadas ha sido ampliamente estudiado por historiadores y filósofos de la ciencia.

Los primeros estudios se centraron en gran medida en la competencia entre los profesionales dentro de las disciplinas individuales. Una lucha alimentada por la idea de que la recompensa por el conocimiento de los practicantes estaba disponible, en cantidades limitadas, solamente para las organizaciones profesionales que rigen la disciplina. Con frecuencia centrada en la prioridad del descubrimiento o su anuncio, ha llegado a constituir un importante factor determinante de la distribución de recursos dentro la ciencia (Gaston, 1973; Hagstrom, 1974; Lamb y Easton, 1984). Pero por fuera de estas discusiones es prioritario desarrollar un método científico que involucre al pensamiento complejo desde diferentes disciplinas, para crear un conjunto homogéneo.

Las limitaciones de una ciencia uni-disciplinar se hacen más evidentes si se interpreta y observa desde la teoría de la complejidad. Desde esta perspectiva se basa en un orden complejo multi-factorial, que incluye a las propiedades complejas y al comportamiento complejo, es decir, alternando eventos seudo-sencillos y seudo-caóticos fortuitos alternos (Prygogine, 1984). De esta forma, la ciencia es capaz de analizar fenómenos simples y complejos y de resolver los causados por la interacción de diversas propiedades. Si un científico conoce el estado inicial o real de un sistema complejo, podrá realizar predicciones acerca del pasado y del futuro, sus estados virtuales, mediante simulación por computador. Así mismo, y debido a este enfoque transdisciplinar complejo de la ciencia, le será posible estudiar la naturaleza y el grado de simplicidad y complejidad de las interacciones entre las variables de los sistemas involucrados, la sucesión probabilística de los eventos seudo-sencillos relativamente estables y de los seudo-caóticos fortuitos, así como de los patrones de comportamiento y de las tendencias que ocurren dentro de los sistemas complejos (Morin, 2003). En resumen, la ciencia es multifactorial, relativista, compleja e intrínseca o probabilísticamente incierta, y para comprenderla e intervenirla se debería mirar desde la óptica de la complejidad, un paradigma que le permite al científico dejar volar su imaginación y ser creativo al realizar su trabajo.

6 Conclusiones

La ciencia es el esfuerzo concertado de los seres humanos por entender la historia del mundo natural y su funcionamiento. La base de ese entendimiento es la evidencia física observable, ya sea a partir de observaciones a la naturaleza o de experimentos que intentan simularla. Los resultados de, y las inferencias desde, dichas observaciones y experimentos se convierten en conocimiento científico solamente después de ser publicadas, y su objetivo es modificar las ideas previas. Estas teorías, que son conceptos de amplia cobertura basados en grandes cantidades de datos y que tratan de explicar y predecir cantidades de fenómenos, pueden ser ideas poderosas, pero aun así están constantemente bajo revisión e incluso rechazo cuando surge un nuevo conocimiento. El resultado es que el conocimiento científico está en constante cambio, pero siempre se espera que avance hacia una visión más correcta del mundo.

La ciencia es respetada y admirada en el mundo moderno. El hombre de la calle utiliza la palabra *ciencia* en el sentido de todo lo que ha llegado a un estado de sofisticación, previsibilidad y comprensión. Decir que algo es ciencia, ya sea que se trate de una cirugía o de una previsión política, es para darle el más alto nivel de credibilidad. La ciencia ha dado recompensas importantes, tales como la conservación de alimentos por refrigeración y la preservación de la salud mediante la inoculación. Pero la ciencia no fabrica dispositivos, únicamente propone las bases teóricas sobre las cuales se pueden hacer realidad mediante la ingeniería. Los beneficios de esta relación están tan omnipresentes en el mundo de la tecnología que la mayoría no puede diferenciarlos.

Pero la ciencia no fue siempre tan apreciada. Surgió de la oscuridad, de la mística, de la alquimia, se la astrología y de la brujería. De hecho, la metafísica fue un intento original de explicar racionalmente los fenómenos naturales y un paso necesario en el desarrollo de una ciencia objetiva. Siempre ha sido, y aun hoy lo es, un movimiento fundamentalista que pretende volver a los días en que las respuestas eran dadas por *hombres santos*, más que por *hombres sabios*. Tal era el caso antes de la primera gran era de la ciencia en la antigua Grecia, a la que por un período de más de mil años se le llamó la Edad Oscura.

La ciencia es la filosofía de que el mundo natural puede ser conocido a través de la razón humana y que la naturaleza es racional, ordenada y regular. Cuando las cosas parecen irracionales la respuesta científica es que no se tienen suficientes datos para resolver el problema. Los estudios científicos llevan a hipótesis, teorías y leyes. La ley científica (natural) es trascendente del tiempo y la cultura, independiente de los sistemas éticos o de valor, y acumulativa y progresiva.

El dinamismo, la complejidad y la transdisciplinariedad de la ciencia en este siglo la obligan a utilizar herramientas y principios que no tienen cabida en el método tradicional. La nueva visión del universo y los desarrollos tecnológicos seguirán cambiando aceleradamente, y las disciplinas interactuarán cada vez con mayor dependencia una de otras, por lo que se puede vislumbrar a corto tiempo una nueva revolución científica transdisciplinar. Una revolución de la que harán parte conceptos tales como la lógica, la abstracción y el pensamiento complejo; y modelos computacionales y principios tales como el razonamiento lógico, cómo aprenden las personas y la multidimensionalidad del conocimiento; cuya integración y puesta en marcha generará una forma de ver y trabajar en ciencia con base en el paradigma de la complejidad y la teoría del pensamiento complejo, y orientada a aprovechar la creatividad y la imaginación de los científicos.

Referencias

Asimov, I. & Clarke, A. (1997). The roving mind. London: Prometheus Books.

Bacon, F. (2004). Novum organum. UK: Losada.

Bauer, H. (1992). Science literacy and the myth of the scientific method. Illinois: University of Illinois Press.

Bunge, M. (1985). Seudociencia e ideología. Buenos Aires: Alianza.

Bunge, M. (2000). La investigación científica: Su estrategia y su filosofía. México: Siglo XXI.

Bunge, M. (2013). La ciencia, su método y su filosofía. Buenos Aires: Laetoli.

Butler, J. et al. (2011). The power of religion in the public sphere. New York: Columbia University Press.

Camp, J. (2002). Confusion: A study in the theory of knowledge. Cambridge: Harvard University Press.

Castells, M. (2009). The rise of the network society - The information age: Economy, society, and culture. USA: Wiley-Blackwell.

Descartes, R. (1637). Le discours de la methode. Translator Donald, A. (1998), Discourse on method. London: Hackett Publishing Company.

Enders, J. & Fulton, O. (2002). Higher education in a globalising world - International trends and mutual observations. USA: Springer.

Feyerabend, P. (2010). Against method. Paris: Verso.

Gaston, J. (1973). Originality and competition in science: A study of the British high energy physics community. Chicago: University of Chicago Press.

Habermas, J. (1972). Knowledge & human interests. Boston: Beacon Press.

Habermas, J. (1990). The philosophical discourse of modernity: Twelve lectures. Cambridge: The MIT Press.

Hagstrom, W. (1974). Competition in science. American Sociological Review 39(1), pp. 1-18.

Hargroves, K. & Smith, M. (2006). The natural advantage of nations - Business opportunities, innovations and governance in the 21st century. London: Routledge.

Head, T. (2006). Conversations with Carl Sagan. University Press of Mississippi

Kuhn, T. (1996). The structure of scientific revolutions. Chicago: The University of Chicago Press.

Lamb, D. & Easton, S. (1984). Multiple discovery: The pattern of scientific progress. UK: Avebury.

Layton, E. (1977). Conditions of technological development. In Rösing, I. & Solla, D. (Eds.), Price science, technology, and society: A cross-disciplinary perspective, pp. 197-222. USA: Sage.

Leclerc, G. (1749). Histoire naturelle - Générale et particulière, avec la description du Cabinet du Roi. Paris: The L'imprimerie Royale.

Lévi-Strauss, C. (1983). The raw and the cooked. Mythologiques, Volume 1. Chicago: University of Chicago Press.

Morin, E. (1992). From the concept of system to the paradigm of complexity. Journal of Social and Evolutionary Systems 15(4), pp. 371-385.

Morin, E. (1996). La transdisciplinariedad: Manifiesto. México: 7 saberes.

Morin, E. (2003). Eduquer a l'heure planetaire. Paris: Balland.

Morin, E. (2008). On Complexity - Advances in systems theory, complexity, and the human sciences. London: Hampton Press.

Mulkay, M. (1979). Knowledge and utility: Implications for the sociology of knowledge. Social Studies of Science 9(1), pp. 63-80.

Osorio, S. (2012). El pensamiento complejo y la transdisciplinariedad: Fenómenos emergentes de una nueva racionalidad. Revista facultad de ciencias económicas XX(1), pp. 269-291.

Phelan, S. (2001). What is complexity science, really? Emergence 3(1), pp. 120-36.

Pickering, A. (1995). The mangle of practice: Time, agency, and science. Chicago: University of Chicago Press.

Popper, K. (2002). The logic of scientific discovery. London: Routledge.

Prygonine, I. (1981). From being to becoming: Time and complexity in the physical sciences. London: WH Freeman & Co.

Prygonine, I. (1984). Order out of chaos: Man's new dialogue with nature. USA: Flamingo.

Prygonine, I. (2003). Is Future given? UK: World Scientific Publications Co.

Raj, K. (2000). Colonial encounters and the forging of new knowledge and national identities: Great Britain and India. In MacLeod, R. (Ed.), Nature and empire: Science and the colonial enterprise, pp. 119-134. UK: Osiris.

Sagan, C. (1997). The demon-haunted world: Science as a candle in the dark. USA: Ballantine Books.

Schaar, M. (2003). Judgment and certainty. Proceedings 26th International Wittgenstein Symposium, pp. 311-313. Kirchberg am Wechsel, Austria.

Serna, M.E. (2010). Editorial. Revista Digital Lámpsakos 3, pp. 5-6.

Westfall, R. (1994). The life of Isaac Newton. Cambridge: Cambridge University Press.

Wilson, E. (1999). Consilience: The Unity of Knowledge. London: Vintage.

Capítulo III

Necesidad de Cambiar el Paradigma del Método Científico

En este capítulo se presenta una reflexión a la trascendencia del método científico tradicional en la labor científica; se describe su evolución a lo largo de la historia; se plantean y analizan sus problemas y limitaciones; y se propone la integración de la Teoría de la Complejidad y del Pensamiento Complejo como posible solución a su oxidación. Se trata de una reflexión acerca de la forma como trabajan los científicos y de cómo se genera conocimiento por medio de los descubrimientos y postulados de la ciencia. Es una abstracción en la que se propone un cambio de paradigma, en el sentido de aceptar a un método científico como proceso dinámico y transdisciplinar en permanente evolución, para responder a las necesidades de la labor científica de este siglo.

1 Introducción

Desde hace algún tiempo se escuchan diversas opiniones y puntos de vista acerca de la actualidad del método científico (Lee, 1943; Bauer, 1992; Jarrard, 2008; Satava, 2005; Windschitl, Thompson y Braaten, 2008; Lehrer, 2010; Ng, 2012), y convendría preguntarse qué tanto se hace al respecto. El método científico es la forma como trabajan los científicos, no lo que otras personas, o incluso los mismos científicos, pueden decir al respecto. Cuando planean un experimento en el laboratorio, ninguno de ellos se pregunta si está siendo propiamente *científico*, ni está interesado en algún *método* que pueda estar usando como método. Además, cuando se refieren al trabajo de sus colegas, algo que no es raro, no basan su análisis en generalidades tales como que no sigue el *método científico*, sino que es específico y se fundamenta en alguna característica del trabajo en particular (Kuhn, 2010). El científico siempre está más preocupado por conseguir resultados que en gastar su tiempo en banalidades (Dean y Kuhn, 2007).

El método científico es algo que intriga a las personas que se preguntan cómo lo aplican los científicos, y que son capaces de descubrir generalidades ajustables, por lo menos, a la mayor parte de lo que hacen, pero que no son lo suficientemente profundas y que inclusive podrían haber sido anticipadas por cualquiera otra que conozca lo suficiente acerca de su trabajo, como para saber cuál es su objetivo principal. Los objetivos del trabajo científico tienen algo en común: obtener una respuesta correcta al problema particular que investigan. En un lenguaje más pretensioso, se puede expresar como la *búsqueda de la evidencia*. Ahora bien, si la respuesta al problema es correcta, debe haber alguna forma de conocer y probar que lo es, porque el significado mismo de la evidencia implica una posibilidad de comprobación o verificación. De ahí que siempre sea inherente al trabajo científico la necesidad de comprobar los resultados. Además, esta comprobación debe ser exhaustiva, porque la verdad de una proposición general puede ser refutada por un único caso excepcional. Por otro lado, una larga experiencia ha demostrado que para los científicos existen varias cosas que son contrarias a obtener la respuesta correcta, porque saben que no es suficiente con confiar en la palabra del colega, y porque si quieren estar seguros, debes ser capaces de verificar el resultado por sí mismos (Kind, Michael y Willis, 2012). De ahí que el científico es enemigo de todo autoritarismo. Pero a menudo comete errores y por tanto debe aprender a protegerse contra ellos. No puede permitirse ningún tipo de preconcepto en cuanto a qué tipo de resultados obtendrá, ni dejarse influenciar por las ilusiones o por cualquier sesgo personal. En conjunto, todas estas cosas son las que le dan *objetividad* a la ciencia, una característica que a menudo se piensa como la esencia del método científico (Ng, 2012).

Sin embargo, para el mismo científico todo esto es obvio y lo que le parece esencial de la situación es que está consciente de no seguir un curso de acción prescrito, por lo que se siente en completa libertad de utilizar cualquier método o dispositivo que le sea de utilidad en cada situación particular que investiga, y con el que es probable que pueda encontrar la evidencia. En su interpretación del problema específico sufre inhibiciones precedentes o de autoridad, pero es totalmente libre de adoptar cualquier curso que su ingenio sea capaz de sugerirle. Nadie, que no sea científico, puede atreverse a predecir lo que hará como individuo, o qué método va a seguir, porque la ciencia es lo que hacen los científicos, y existen tantos métodos científicos como científicos individuales (Jarrard, 2008*)*.

2 Evolución del método científico

La práctica investigativa deriva su validez del rigor científico con que se hacen las observaciones, en relación con el diagnóstico y la experimentación. Con el tiempo, la prueba de la veracidad de estas observaciones es lo que se conoce como *ciencia basada en evidencias*, pero que únicamente es válida si la experimentación se realiza dentro de rígidos lineamientos específicos. Se trata de un proceso de evaluación riguroso que ha dado como resultado la creación, construcción y verificación de lo que desde hace tiempo se define como el *método científico*. Pero a lo largo de la historia este concepto siempre ha estado en debate, y en muchas ocasiones se ha entremezclado con la metodología de la investigación o la misma historia de la ciencia (Wolfram, 2002). El desarrollo del método científico involucra a algunas de las culturas más iluminadas de la historia, así como a algunos de los más importantes científicos, filósofos y teólogos. Desde las observaciones de los antiguos griegos y zoroástricos, hasta el Telescopio Hubble y la Estación Espacial Internacional, la historia del método científico subyace en el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

Los orígenes de un método o metodología para hacer ciencia se pueden encontrar en la historia antigua desde el papiro de Edwin Smith, un manual médico de cerca del 1600 AC en el que se describe que para tratar una enfermedad se debía proceder a examinar, diagnosticar y luego pronosticar. Cerca del 1000 AC los astrónomos babilónicos intentaron hacer una descripción matemática de los fenómenos astronómicos, lo que sirvió de base para los trabajos posteriores de los helenos, hindúes, islámicos y el mundo occidental. Al igual que los egipcios, los babilónicos aplicaron prácticas de adivinación para desarrollar conocimiento en áreas tales como el arte, las matemáticas y la medicina, pero carecían de teorías racionales porque su trabajo era básicamente empírico. Con los estudios en la escuela presocrática, cerca del 650–480 AC, los griegos fueron los primeros en estructurar una forma de ciencia teórica. Se puede nombrar a Tales de Mileto, quien opinaba que todo lo que se observa tiene su origen en una causa natural, por lo que despreciaba lo sobrenatural, religioso o mitológico; y a Leucipo, para quien todo en el mundo se componía de elementos indivisibles a los que llamó átomos, y cuyo trabajo fue profundizado posteriormente por Demócrito. A mediados del 500 AC ya se contaban importantes aportes para el desarrollo científico, pero fue Plantón con su razonamiento deductivo quien le dio el impulso más importante hasta ese momento, y que luego fue continuado por Aristóteles. Sus ideas, como las de la mayoría de filósofos, no aceptaban las limitaciones de lo cotidiano y el sentido común, una negación de la realidad en la que, de acuerdo con Parménides, no existe ni el cambio ni la sub-división. Pero los primeros experimentos registrados se remontan a Herófilo y Erasístrato en 335–280 AC, que experimentaron con aves para analizar los efectos de la inanición.

Aunque dos grandes culturas de la antigüedad, Grecia y Persia, buscaban la dominación y luchaban en diversas guerras, comúnmente se olvida que también se tenían un profundo respeto mutuo y que negociaban sus ideas y conocimientos, por lo que, como era de esperar y como corresponde, la historia del método científico también recibió aportes de ese intercambio. Mientras los astrónomos, médicos y matemáticos babilónicos, indios y egipcios desarrollaban ideas empíricas, los griegos fueron los primeros en desarrollar lo que se reconoce como un método propiamente dicho. Inicialmente, los antiguos filósofos griegos no creían en el empirismo, y se dieron cuenta que las mediciones hacían parte del dominio de la ciencia. Platón creía que todo conocimiento se puede obtener a través del razonamiento puro, y Aristóteles, su alumno y considerado el padre de la ciencia, tenía la convicción de que el conocimiento solamente se puede adquirir a partir de lo que ya se conoce, y al ser el primero en darse cuenta de la importancia de la medición empírica, su contribución al método fue la medición y la observación como cimientos sobre los que se construye la ciencia. Además, propuso la idea de la inducción como una herramienta para adquirir conocimiento, y entendió que el pensamiento y el razonamiento abstractos debían ser apoyados por los resultados del mundo real. Su *proto-método* científico implicaba hacer meticulosas observaciones acerca de todo: 1) estudiar lo que otros han escrito sobre el tema, 2) buscar el consenso general sobre el tema, y 3) llevar a cabo un estudio sistemático de todo, incluso de lo parcialmente relacionado con el tema. Con las revisiones de la literatura, el consenso y la medición este proceso se convirtió en el primer signo de un método científico como tal.

Los griegos también fueron los primeros en subdividir y nombrar las ramas de la ciencia de manera reconocible, incluyendo a la física, la biología, la política, la zoología, y por supuesto a la poesía. En el 200 AC, en la biblioteca de Alejandría, hicieron la primera introducción de la catalogación bibliotecaria. Por otro lado, la edad islámica temprana fue una época dorada para el conocimiento, y la historia del método científico les debe respeto a algunos de los filósofos musulmanes más brillantes de Bagdad y Al-Andalus. Ellos preservaron el conocimiento de los antiguos griegos, le hicieron importantes aportes y lograron la catálisis para la formación de un método científico reconocible para los científicos y los filósofos modernos. El primer erudito islámico fue Ibn al-Haytham, reconocido por su trabajo acerca de la luz y la visión, y quien desarrolló un método científico muy similar al actual: 1) identificar un problema explícito con base en la observación y la experimentación, 2) probar o negar una hipótesis a través de la experimentación, 3) interpretar los datos y llegar a una conclusión utilizando las matemáticas, y 4) publicar los resultados.

El renacimiento fue otro punto de inflexión para el método científico, porque los eruditos europeos tomaron el conocimiento de los griegos y de los musulmanes y le añadieron el suyo. Aunque es casi imposible documentar todos sus aportes y nombres, existen algunos que se deben destacar en cualquier texto de la historia del método. Roger Bacon desarrolló la idea de hacer observaciones, formular una hipótesis y experimentar para probarla, además, documentaba meticulosamente sus experimentos para que otros científicos pudieran repetirlos y verificar sus resultados. Francis Bacon reiteró la importancia de la inducción, con la creencia de que todo descubrimiento científico debe proceder a través de un proceso de observación, experimentación, análisis y razonamiento inductivo, para luego aplicarlo en el universo como un todo. Creía que la evidencia experimental se podía utilizar para eliminar teorías en conflicto y moverlas más cerca de la verdad. Descartes conceptuaba firmemente que el universo era como una enorme máquina, y que si se comprendían sus leyes básicas se podría deducir cómo actuaría cualquier cosa. Para él, el método para hacer ciencia debía ser un conjunto de

reglas ciertas y fáciles, y que mediante una observación exacta de ellas se estaría seguro de no tomar un error por una verdad. Además, estaba convencido que, sin malgastar inútilmente las fuerzas del propio espíritu sino acrecentándolas por un progreso constante, se llegaría al conocimiento verdadero de todo aquello de que se era capaz. Para Descartes, el método implicaba seguir estrictamente un orden, porque esa es la forma como los matemáticos buscan la verdad en sus cálculos, y estaba convencido que su método consistía más en la práctica que en la teoría, es decir, que se basaba en la actividad fundamental del espíritu, porque desarrollaba correctamente sus capacidades y organizaba coherentemente el saber. Concebía a la razón como un modelo arquitectónico, por lo que el método era la forma de construir correctamente el edificio del saber, y mientras que el espíritu es el motor principal para buscar la verdad, el método garantiza que ese espíritu (la razón) no se enfrasca en búsquedas sin sentido, sino que se mueve por evidencias.

Galileo, generalmente recordado por su famoso experimento de la gravedad, también contribuyó en gran medida con el método científico. Su metodología basada en los teoremas matemáticos, que fuera el origen de la división entre ciencia y religión, incluía procesos de normalización de las mediciones para que los resultados experimentales se controlaran en cualquier lugar. Utilizaba un método fuertemente inductivo, porque entendía que ninguna evidencia empírica se adaptaba perfectamente a las predicciones teóricas, y creía que era imposible que en un experimento se tuvieran en cuenta todas las variables. Fue el primero en notar que el conocimiento no es lineal, y que para solucionar cualquier problema era necesario que el científico observara el universo como una *complejidad que integra diversos campos del conocimiento*. Estaba convencido que, por ejemplo, para demostrar que la masa sola no tenía ningún efecto sobre la aceleración de la gravedad, era necesario medir también la resistencia del aire, la fricción y las imprecisiones con dispositivos y métodos de sincronización. También fue el primero en comprender realmente que el método científico requiere tanto de la deducción como de la inducción.

Cuando Galileo muere, ya se había desarrollado el escenario para una verdadera revolución en el pensamiento científico, y apareció Isaac Newton como uno de sus principales impulsores. Su obra en matemáticas se tradujo en el cálculo integral y diferencial, su trabajo en astronomía ayudó a definir las leyes del movimiento y de la gravitación universal, y sus estudios en óptica llevaron al primer telescopio reflector. Un tema común que atraviesa toda su obra es una extraña habilidad para desarrollar conceptos y ecuaciones relativamente simples, que sostenían un enorme poder predictivo. Sus sistemas unificados de las leyes han resistido siglos de prueba y escrutinio, y les siguen permitiendo a los científicos explorar los nuevos misterios en la física y la astronomía. Sus aportes al método marcaron los inicios de la ciencia moderna, porque a comienzos del siglo XIX la ciencia se establecía como un campo independiente y respetado de estudio, y el método científico basado en la observación y las pruebas estaba siendo aceptado y aplicado en todo el mundo. Mientras que Bacon y Descartes estaban empecinados en estructurar una base firme para el pensamiento científico, con la idea de que así se evitaban los engaños a la mente y a los sentidos, Newton, implícitamente, rechazaba el énfasis de Descartes en el *racionalismo* y apoyaba la tesis del *enfoque empírico* de Bacon. Estaba convencido que tratar de explicar toda la naturaleza era una tarea muy difícil para un hombre, o incluso para cualquier edad, y que era mucho mejor comprender y explicar con certeza un subconjunto y dejar el resto para los demás científicos que vendrían después. El legado de Newton se convirtió en un modelo que otras ciencias trataron de emular, y su enfoque inductivo sirvió de base para gran parte de la filosofía natural.

En los siguientes tres siglos, el método que desarrollaron Bacon y Newton se convirtió en el principal impulsor de los descubrimientos científicos. Sin embargo, sus ideas se desarrollaron en una época en la que la mayoría de científicos eran eruditos y en la que muchos trabajaban a la vez en diversos campos científicos; además, intentaban comprender la filosofía y la teología al mismo tiempo. La ciencia comenzó a alejarse gradualmente de estos campos y se convirtió en un área de estudio independiente, pero su creciente complejidad y el incremento en amplitud y profundidad hacían imposible que un científico pudiera trabajar en varias disciplinas a la vez. Entonces, y debido a que la ciencia se dividió en áreas del conocimiento (disciplinas), el método científico se volvió mucho más complejo. Por ejemplo, la física podía permanecer fiel al método inductivo de Bacon, pero la neurociencia comenzó a encontrar dificultades al tratar la extrema variabilidad y complejidad del cerebro. Como resultado, en el siglo XX, cuando los filósofos de la ciencia abordaron el método, se produjo un gran cambio con respecto al que se utilizaba hasta entonces (Camp, 2002). Uno de ellos fue Karl Popper, quien entendió las limitaciones del viejo método científico y centró su tesis en establecer que la ciencia no es infalible, porque a menudo las disciplinas científicas bien establecidas siguen caminos equivocados y generan teorías incorrectas. Por otro lado, las seudo-ciencias, tales como la psicología y las sociales, a menudo encuentran respuesta correctas, incluso sin seguir a la perfección el método científico. Esto lo llevó a cuestionar la definición misma de la ciencia y a tratar de desarrollar un método que superara esas limitaciones. El método tradicional, que no hacía distinción entre ciencia y no-ciencia y que giraba en torno a las técnicas empíricas y el método inductivo, no tenía en cuenta el desarrollo de nuevas disciplinas, por lo que no encajaba adecuadamente en la creciente complejidad de la ciencia teórica y la ciencia práctica. Popper postula entonces que la ciencia avanza a través de un proceso de *conjeturas* y *refutaciones,* en el que los científicos teóricos desarrollan teorías que los experimentales intentan probar o negar. Para que esto suceda, la teoría tiene que ser falsifiable, y si la teoría no puede ser probada adecuadamente por la ciencia, entonces no puede ser científica.

Thomas Kuhn introdujo la idea de los paradigmas. Para él, la ciencia desarrolló teorías contradictorias acerca de cómo funciona todo, y cuando la experimentación da lugar a que una de estas teorías se haga dominante y sea aceptada por la comunidad científica, entonces se genera un *paradigma científico*. Opinaba que un grupo de científicos puede sostener un paradigma particular, a menudo tenazmente, hasta que el cuerpo de la evidencia se haga tan grande que sea inevitable un cambio de paradigma. Entonces, los científicos podrían adoptar el nuevo y comenzar a trabajar dentro de sus limitaciones, aunque dos paradigmas necesariamente no tienen que ser excluyentes entre sí. Paul Feyerabend, el anarquista científico, se dio cuenta como Popper que la ciencia se había dividido en muchas disciplinas diferentes, que a su vez se habían vuelto demasiado complejas para definirlas mediante un método general. Estaba convencido que al tratar de obligar a todas las disciplinas científicas a seguir una serie de reglas, en realidad lo que se lograba era obstaculizar a la ciencia, y crear falsas restricciones y obstáculos al progreso. Su filosofía *anything goes* es un intento de abordar esta cuestión, con el argumento de que el trabajo científico no debe ser influenciado por filosofías secretas y arcaicas. Señaló que todos los científicos deben acercarse a la filosofía, porque si no la entendían cómo podrían versen limitados por ella. Su argumento más fuerte en contra del método científico es que, históricamente, si el proceso de la ciencia se hubiera limitado a las estrictas limitaciones de éste, no se habrían logrado los grandes descubrimientos. Opinaba que los científicos tienen que construir las reglas sobre la marcha, adaptando sus métodos para enfrentar nuevos descubrimientos que no pueden ser examinados sin

romper las reglas establecidas, y señalaba que el descubrimiento científico progresó de manera desigual pero armónica, porque las revoluciones científicas más grandes ignoraron el llamado *método científico*.

Ahora bien, ¿dónde se sitúa actualmente el método científico? En este siglo, en plena Era Digital, en medio de la Sociedad del Conocimiento y de la Información y gracias a la creciente complejidad de la ciencia, los postulados del viejo método científico no funcionan para todas las disciplinas y tendrá que modificarse. Tal vez la mejor manera de ver un método científico hoy sea sobre una base disciplinar, porque cada campo científico parece haber desarrollado su propia filosofía, pero la realidad es que las disciplinas no son independientes y los científicos necesitan integrar varias de ellas en su trabajo (Bailey, 2012). Además, la ciencia de este siglo es transdisciplinar y los científicos deben hacer acopio de un pensamiento multidimensional para comprender y resolver los problemas. Por todo esto sería más conveniente pensar en un *nuevo método*, que permita un trabajo científico creativo, en el que los científicos dejen volar su imaginación para encontrar la mejor ruta para desarrollar su trabajo, en medio de una creciente complejidad de la ciencia y de un volumen de conocimiento cada vez mayor.

3 Los problemas del método científico

El término método científico se ha utilizado siempre para referir la forma en que se hace ciencia y como una guía de trabajo para los científicos. Pero éstos, para ir directo a la comprensión del mundo natural y realizar su trabajo, raramente siguen un camino, un algoritmo o un esquema labrado en piedra, y en pocas ocasiones acatan los pasos que propone y describe un método. Por eso es que para muchos científicos la concepción y aplicación de un método se puede considerar un mito (Bauer, 1992). El término ni siquiera es algo que hayan ideado ellos mismos, sino que fue inventado y difundido por historiadores y filósofos de la ciencia desde hace siglos, en un intento por estructurar un proceso para hacer ciencia, e interpretaron que el único camino para hacerlo era el paso a paso. Pero esta es una interpretación equivocada, porque no puede haber un sólo método para hacer ciencia, y de hecho existen diversos caminos para encontrar respuesta a sus interrogantes, por lo que la ruta que sigue el científico dependerá del campo que estudia, de si la experimentación es posible y asequible, de las relaciones y dependencias con otros campos, e incluso de si es ético hacerlo. En su trabajo utiliza computadores para modelar o simular las condiciones necesarias para su proyecto, que luego pone a prueba en el mundo real, y en ocasiones comienza a investigar sin la menor idea de lo que podría suceder, o decide alterar un sistema solamente para ver qué pasa, porque está experimentando con lo desconocido. Al trabajar de esta forma, no se puede ceñir a un modelo pre-establecido y recorre el camino respondiendo con base a lo que halle en él.

Esto no quiere decir que se deba olvidar todo lo que se piensa y sabe acerca de cómo trabajan los científicos, porque dadas las complicadas situaciones del mundo moderno deben pensar no acerca de un *método* científico, sino en las *prácticas* científicas, o en las muchas maneras en las que pueden encontrar respuestas a sus interrogantes. Porque la transdisciplinariedad, la multidimensionalidad y la complejidad de cada campo científico es tal, que un método los limita y no les permite llegar a conclusiones plausibles en su trabajo (Cottrell, 2005). Además, los restringe al punto que únicamente atienden a las reglas establecidas: *solamente hemos de ocuparnos de aquellos objetos para cuyo conocimiento cierto e indudable parecen ser suficientes nuestras mentes*. Pero esto sería una restricción sin sentido, porque para alcanzar los objetivos, hoy tienen a su disposición las ayudas tecnológicas, los desarrollos científicos y la literatura difundidos en el mundo.

Por otro lado, el método también se utiliza como práctica básica acerca de cómo deben aprender ciencia los estudiantes. Es decir, siempre se les ha explicado que solamente existe una manera de hacer ciencia, y el proceso se ha reducido a: *estos son los cinco pasos*, *y es así es como todos los científicos lo hacen* (Bencze y Hodson, 1999). Pero, como se dijo antes, este enfoque de único camino no refleja el trabajo real en ciencia, porque los científicos aplican diferentes formas en sus campos de investigación. Por ejemplo, los físicos experimentales son científicos que estudian el comportamiento de las partículas, tales como electrones, iones y protones, y pueden realizar experimentos controlados a partir de condiciones iniciales claramente definidas, y decidir si es indicado cambiar una variable o un factor a la vez, o si el experimento continua como está, o si es necesario buscar otro rumbo. Podrían reducir protones en varios tipos de átomos, tales como helio, carbono, o plomo y luego comparar las diferencias en las colisiones para aprender más acerca de sus componentes básicos. Pero los geólogos, que estudian cómo se registra la historia de la Tierra en las rocas, necesariamente no tienen que hacer experimentos, porque van al campo, miran los accidentes geográficos, observan las pistas y hacen una reconstrucción para averiguar el pasado. Es decir, a partir de evidencias hacen ciencia, por lo que no puede haber un paso a paso, así no hacen ciencia.

Es por esto que en la actual formación científica se debería hacer mayor énfasis en proporcionar y validar hipótesis, porque son una buena manera de hacer ciencia, aunque no la única. A menudo, el científico comienza diciendo: *Me pregunto si…*, y puede que esto dé lugar a una hipótesis. Otras veces puede que primero tenga que reunir algunos datos y mirar a ver si surge un patrón, por ejemplo, el proceso para construir el código genético de toda una especie genera enormes cantidades de datos, y los científicos que quieren darles sentido no siempre comienzan con una hipótesis, puede que inicien con una pregunta. Pero esa pregunta podría ser: *¿Qué condiciones ambientales* (temperatura o contaminación o nivel de humedad) *activan ciertos genes para convertirlos en 'on' o en 'off'?* Y todo esto no está sujeto a un plan pre-establecido, sino que muchas veces se improvisan o alteran los procedimientos (Belnap, Perloff y Xu, 2001).

Otra cuestión que el método tradicional parece no tener en cuenta es que cuando se hace ciencia se cometen errores, se termina en *fracasos*, o simplemente se llega a resultados que en ningún momento se tenían planeados, y los científicos reconocen que esos errores y resultados inesperados pueden ser bendiciones disfrazadas. Si los resultados de un experimento no son los que el científico esperaba, necesariamente no significa que hizo algo mal, de hecho, a menudo los errores apuntan a resultados inesperados, y a veces a datos más importantes que los que inicialmente se esperaba. La historia de la ciencia está llena de controversias y errores, que cometieron quienes ahora gozan de reconocimiento y forman a los científicos del futuro. Aunque el proceso tradicional de la ciencia es que el científico formule un proyecto, ejecute un experimento, haga un descubrimiento y luego lo publique, se encuentran pocos indicios acerca de todo el proceso, paralelo, de cómo se produjeron esos descubrimientos y de cómo influyeron en los mismos los inconvenientes, los errores, las prácticas aprendidas, el trabajo en equipo, los accidentes ocurridos, o los acontecimientos indirectos. No obstante, es común que las personas aprendan más de los errores y fracasos que de los logros o triunfos, pero parecen no tener mayor relevancia para el método científico.

Por eso es que la ciencia reconoció desde hace tiempo que hablar, compartir y divulgar ideas y resultados es importante para la práctica científica (Klahr, 2000). Porque de esta manera se puede lograr la participación y colaboración de otros científicos, y llegar a mejores resultados que cuando se trabaja aislado y en secreto. Claro está, hay casos en

que los intereses económicos, los derechos de autor y la propiedad registrada también se deben tener en cuenta. Pero, en términos generales, los científicos están obligados a divulgar sus descubrimientos para que sus resultados logren el impacto social esperado. Por todo esto es necesario cambiar de forma de pensar acerca del método científico. Porque puede ser que para algunos trabajos, de naturaleza sencilla, resulte útil un planteamiento como el que tradicionalmente describe, pero para la mayoría no es suficiente. Para hacer ciencia hoy es necesario tener mente abierta, interactuar con múltiples disciplinas e inmiscuirse en problemas complejos, para lo que un método rígido y único no es de ayuda.

4 Las limitaciones del método científico

En un siglo de deslumbrantes adelantos en el desarrollo tecnológico y otros frutos de la ciencia y la tecnología modernas, más personas tienden a hacerse reflexiones acerca del concepto de método científico y del proceso que subyace a tan espectaculares avances y desarrollos. Para la mayoría, el método es un proceso mediante el que los científicos, colectivamente y con el tiempo, se esfuerzan por construir una precisa, confiable, coherente y no-arbitraria representación del mundo (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008). Pero asimismo, muchos le definen limitaciones, tales como la falta de integración transdisciplinar, no avivar la creatividad para el desarrollo de la imaginación, observar a los sistemas como lineales, ser rígido en la percepción del universo, entre otras. Además, hay que tener en cuenta que el trabajo científico lo realizan personas, y en algunas circunstancias el método no les ofrece una representación exacta del mundo, es decir, una descripción correcta de la realidad de las cosas. Esto se debe a que los científicos tienen creencias personales y culturales que influyen sus percepciones e interpretaciones de los fenómenos que estudian, por lo que si en el proceso de verificación el método no elimina la mayor parte de estos prejuicios, las hipótesis falsas pueden sobrevivir al proceso de prueba y ser aceptadas como descripciones correctas del funcionamiento del mundo. Esto ha sucedido en el pasado y también está sucediendo hoy (Kuhn, 2005).

La ciencia, vista desde la óptica del método científico tradicional, es reduccionista, analítica o absolutista y basada en la lógica binaria o simple, por lo tanto, capaz de analizar el comportamiento simple y de resolver problemas sencillos con base en una estadísticamente significativa relación lineal entre una causa variable y un efecto variable. Y las predicciones sobre los estados virtuales pasados y futuros de los sistemas simples se pueden realizar mediante extrapolación lineal o exponencial (linealidad logarítmica), dentro de las condiciones experimentales que expresa el método, y en teoría la prueba científica o evidencia se acepta como absolutamente segura. En esta interpretación, el marco de referencia imperante en la ciencia relativista se ha convertido a sí mismo en una co-variable determinante del comportamiento general del sistema en cuestión, pero sin alterar sus relaciones lineales o exponenciales intrínsecas (Klahr, 2000). Sin embargo, el principal problema de esta interpretación es su incapacidad fundamental para detectar las relaciones complejas entre dos o más entidades.

Esas limitaciones se hacen más evidentes si se interpreta a la ciencia de forma diferente y se observa, por ejemplo, desde la teoría de la complejidad. Desde esta perspectiva la ciencia se basa en un orden complejo multifactorial, que incluye a las propiedades complejas y al comportamiento complejo, es decir, alternando eventos seudo-sencillos con seudo-caóticos fortuitos alternos (Lehrer y Schauble, 2006). De esta forma la ciencia es capaz de analizar fenómenos simples y complejos, y de resolver problemas sencillos y complejos causados por la interacción de diversas propiedades. Si

un científico conoce el estado inicial o real de un sistema complejo podrá realizar predicciones acerca del pasado y del futuro, es decir, los estados virtuales, mediante simulación por computador, y un método científico estructurado para este tipo de ciencia se lo debe permitir sin restricciones. Así mismo, y debido a este enfoque complejo de la ciencia, le será posible estudiar la naturaleza y el grado de simplicidad y complejidad de las interacciones entre las variables de los sistemas involucrados, la sucesión probabilística de los eventos seudo-sencillos relativamente estables y de los seudo-caóticos fortuitos, así como de los patrones de comportamiento y de las tendencias que ocurren dentro de los sistemas complejos. En resumen, la ciencia es multifactorial, relativista, compleja e intrínseca o probabilísticamente incierta, y para comprenderla e intervenirla se necesita un método que le permita al científico dejar volar su imaginación y ser creativo al realizar su trabajo.

5 Complejidad y método científico

Por mucho tiempo, el método científico cartesiano ha sido el pilar de la investigación científica. Pero en la misma medida en que la sociedad ha progresado y las edades del desarrollo han revolucionado el conocimiento, ese método requiere ser revaluado. La misma comunidad científica lo percibe de esta forma, y emerge una nueva manera de hacer ciencia y para descubrir y gestionar conocimiento. Una de las causas de esta revolución por un nuevo método es el reconocimiento de la complejidad de los contextos en los que actualmente se investiga, y en la que, si el objetivo es intervenir el universo, es necesario cambiar la forma de verlo e investigarlo (Lewandowska, 2009).

Cuando se propuso el esbozo de lo que sería el método, los precursores no contaban con una guía generalizada que les permitiera realizar adecuadamente su trabajo, por lo que la propuesta fue amplia y rápidamente aceptada. Pero el contexto era otro, los científicos no estaban en comunicación permanente y los resultados no se conocían con rapidez; no existían comunidades científicas; generalmente los problemas eran simples; el conocimiento estaba disperso; las disciplinas eran islas y sin integración; y la sociedad no exigía demasiado, porque no era fácil leer ciencia. El contexto de hoy es diferente, porque la divulgación es una exigencia a la labor científica; las comunidades científicas son profesionales y globales; los problemas sociales son complejos y complicados y se incrementan rápidamente; el conocimiento es global; la investigación es transdisciplinar; la sociedad exige ampliamente; y la ciencia se ha masificado y muchas más personas la pueden leer (The Sigma Scan, 2012). Para hacer ciencia hoy es necesario interconectar el conocimiento desde diversas perspectivas y fuentes, porque los problemas son integrales y sus soluciones deben responder a esas características.

Por eso es que si antes el trabajo científico era una cuestión lineal, formateada y rígida, actualmente no es posible hacerlo de esa forma. El proceso de llevar el conocimiento a la investigación científica, o viceversa, exige una integración amplia de saberes, principios y metodologías, por lo que el valor de la teoría de la complejidad radica en su potencial para enriquecer la comprensión de las relaciones entre los resultados globales y las decisiones individuales. A medida que los científicos se hacen más conscientes de la naturaleza interconectada del universo, son más cautelosos acerca de atribuirles a los eventos las relaciones simplistas de causa-efecto. Para ello se necesitan nuevos enfoques, que permitan comprender los fenómenos emergentes, es decir, esos patrones complejos que se derivan de múltiples interacciones simples. La teoría de la complejidad surge como un campo científico para clarificarlos, y junto con las Ciencias Computacionales facilitar modelados y simulaciones cada vez más precisos de estos

sistemas, e incrementar el nivel de comprensión de su comportamiento (Gershenson y Heylighen, 2004).

En este contexto y con el fin de estudiarlos, el método científico debería llevar a la ciencia por el camino de la reducción de los sistemas. Sin embargo, sus limitaciones no permiten ofrecer una mejor comprensión de las propiedades de sus elementos individuales, y mucho menos de su complejidad como un todo. La teoría de la complejidad ofrece una solución a este problema al considerar que todos los sistemas son complejos, que tienen componentes interconectados y que en conjunto presentan propiedades que no son evidentes en las partes individuales. Además, los sistemas complejos son no-lineales, es decir, que sus causas y efectos no son proporcionales entre sí. Por lo tanto, cuando un sistema de elementos interconectados refleja un comportamiento de adaptación, o posee la capacidad de cambiar y aprender de la experiencia, se define como un Sistema Adaptativo Complejo, y en su interior el control, en la medida en que existe, es descentralizado, por lo que el futuro del sistema o de su comportamiento es difícil de predecir. Este tipo de sistemas son los que conforman el universo y la sociedad actuales, y su estudio requiere un método científico con nuevos enfoques y herramientas, para que mediante el software y el hardware que tiene a su alcance aproveche las ventajas de los desarrollos tecnológicos para modelarlos y simularlos, lo mismo que a sus comportamientos (Phelan, 2001).

Incluir la teoría de la complejidad en el método científico permitiría comprender e intervenir estos sistemas de mejor forma, y los haría evolucionar en el sentido de dejar de mirarlos como lineales, porque los problemas científicos son dinámicos y están interconectados con diferentes disciplinas. Si la noción tradicional del método científico no se reevalúa, sería casi inútil tratar de solucionar los futuros problemas de la sociedad. La teoría de la complejidad sugiere que, a menudo, los problemas se tratan mejor desde la perspectiva de las disciplinas más cercanas a la cuestión, porque las interconexiones son más claras y se pueden comprender mejor los intercambios entre sus diferentes componentes. Pero el método no tiene en cuenta esta descentralización del conocimiento y sus pasos trazan lineamientos que contradicen la realidad, por lo que las responsabilidades del estudio se encuentran centralizadas, mientras que los sub-sistemas del problema son un conjunto de complicadas interconexiones subyacentes.

6 Pensamiento Complejo y método científico

Es interesante observar cómo el concepto de complejidad ha comenzado a influir el trabajo y el pensamiento científico. Actualmente, se habla de dos corrientes en la ciencia: por un lado la del mundo racional newtoniano y por otro la del mundo caótico emergente. Pero también se acepta que existen procesos de rompimiento entre las dos visiones, y muchos científicos han comenzado a explorar las teorías y metodologías que se podrían utilizar en la investigación actual y futura, y plantean cuestiones interesantes acerca del diseño de métodos que incorporen las diferentes disciplinas y que tengan en cuenta el trabajo colaborativo como una característica cada vez más necesaria (Berlin, 1990). Sin embargo, todavía hay mucho camino por recorrer en el pensamiento desafiante que domina desde hace tiempo estos principios. Pero lo que sí es claro es que la sociedad necesita tomarse algún tiempo para analizar la necesidad de un nuevo pensamiento radical, que tome su lugar en el centro del proceso de la ciencia.

La idea de desarrollar un método científico que involucre al Pensamiento Complejo desde diferentes disciplinas, para crear un conjunto homogéneo, es una cuestión prioritaria. Por ejemplo, ¿cómo fusionar el modelo que desarrolla un neurocientífico para

comprender el impacto que causa el estrés emocional en la función cognitiva, con un modelo macroeconómico construido por un economista para formular una política económica en tiempos de recesión? Parece descabellado, pero es un ejemplo del impacto que se podría lograr al avanzar en nuevo método científico, y es algo de lo que trata Morin en su paradigma de la complejidad (Lewandowska, 2009). Todo esto debe llevar a la cuestión de cómo y si este tipo de trabajo transdisciplinar y multidimensional contribuirá a la evolución del método científico, y al desarrollo de la capacidad humana para poner a prueba las ideas científicas que van más allá del ámbito de la experimentación. La sensación es muy positiva acerca de un futuro así, y se espera que el Pensamiento Complejo colabore para lograr este cambio de mentalidad en la forma de hacer ciencia.

Debido a que la ciencia continuará sorprendiendo con lo que descubre y crea, entonces no es de asombrar que ella misma reconozca las pautas para estructurar nuevo(s) método(s). En el centro de esta auto-modificación se encuentra la tecnología, porque los nuevos desarrollos generan nuevas estructuras de conocimiento y nuevas formas de realizar descubrimientos. El resultado de la ciencia es conocer nuevas cosas y su evolución es conocerlas de nuevas formas, por lo que evolucionar no es tanto el cuerpo de lo que se sabe sino la naturaleza del conocimiento. Entonces, el propósito de la ciencia debe ser el de construir un cuerpo coherente y convincente de ideas acerca del pensamiento a largo plazo, con el objetivo de ayudarles a las culturas a alcanzar sus metas mediante una adecuada gestión del conocimiento.

La ciencia es el proceso de cambiar la forma en que se conocen las cosas y es la base de la sociedad, porque mientras las culturas vienen y van la ciencia permanece y crece de manera constante, pero siempre mirándose a ella misma porque la recursividad es su esencia. Una forma particularmente fructífera de mirar la historia de la ciencia es analizar cómo en sí misma ha cambiado con el tiempo, pero con la vista puesta en lo que podría sugerir una nueva trayectoria en el futuro. Por lo tanto, si el trabajo científico no se aleja del método tradicional, la ciencia tendrá muchos inconvenientes para avanzar al mismo ritmo en que se incrementan y complican los problemas de la sociedad. Se requiere un nuevo tipo pensamiento, que vea la integralidad de los sistemas desde una perspectiva compleja, en la que el razonamiento lógico indique el camino a recorrer para encontrar una solución.

7 Conclusiones

La ciencia moderna comienza cuando se logra demostrar que las leyes físicas que gobiernan el planeta son las mismas que rigen el universo en su conjunto, y cuando los modelos cosmológicos comienzan a resolver el problema de la génesis del Universo. Entonces surgen dos enfoques explicativos: 1) el que lo asume como que cambia en el tiempo desde un inicio hasta un mínimo infinito, basado en la suposición de que si algo no tiene tiempo de origen entonces no existe nada que necesite ser explicado, y 2) el que sugiere que el Cosmos pudo surgir de la nada y aplica pruebas de construcción de modelos para representarlo. Pero la física suministra una descripción de esta compleja realidad y unifica todo el Universo en la gama de sus leyes. Además, describe detalladamente cada uno de sus elementos, incluso en el rango de trascender sus propiedades físicas, en situaciones en las que los considerados están involucrados en el análisis de la evolución de la vida biológica, y se comienza así a percibir la lógica de la existencia del mundo. En la secuencia causa-efecto, la lógica conduce desde y hacia la causa primera, y por consideraciones científicas define que la existencia del mundo puede ser a la vez el punto objetivo, cuando la biología pasa a través de la física hasta la lógica, o el punto de inicio,

cuando lo que interesa, en primer lugar, es la estructura ontológica del mundo (en la dimensión ontológica de la complejidad), y posteriormente en cómo las leyes físicas gobiernan la complejidad biológica de la compleja realidad circundante. Este enfoque, con respecto a la racionalidad y la objetividad, que van de la lógica a la física y de la física a la biología, parece ser una metodología bien justificada de las teorías científicas de la compleja realidad actual.

Esta realidad es el contexto en el que trabajan los científicos actualmente. Una realidad para la que el método científico tradicional no les ofrece las herramientas necesarias para aplicarlo en el proceso de la ciencia. El dinamismo, la complejidad y la transdisciplinariedad de la ciencia en este siglo, la obligan a utilizar herramientas y principios de la complejidad que no tienen cabida en un método rígido, lineal y predecible. La nueva visión del universo y los desarrollos tecnológicos seguirán cambiando aceleradamente, y las disciplinas interactuarán cada vez con mayor dependencia una de otras, por lo que se puede vislumbrar una nueva revolución científica. Una revolución de la que harán parte conceptos como la lógica, la abstracción y los modelos computacionales, y principios como el razonamiento lógico, el cómo aprenden las personas, la transdisciplinariedad y la multidimensionalidad del conocimiento, y cuya integración y puesta en marcha necesita un método científico basado en los paradigmas de la complejidad y el pensamiento complejo, orientado a aprovechar la creatividad y la imaginación de los científicos.

Referencias

Bailey, D. (2012). A new kind of science: Ten years later. 2012. Online [Dec. 2014].

Bauer, H. (1992). Science literacy and the myth of the scientific method. Illinois: University of Illinois Press.

Belnap, N.; Perloff, M. & Xu, M. (2001). Facing the future: Agents and choices in our indeterministic world. Oxford: Oxford University Press.

Bencze, L. & Hodson, D. (1999). Changing practice by changing practice: Toward more authentic science and science curricular development. Journal of Research in Science Teaching 36(5), pp. 521-539.

Berlin, S. (1990). Dichotomous and Complex Thinking. Social Service Review 64(1), pp. 46-59.

Camp, J. (2002). Confusion: A study in the theory of knowledge. Cambridge: Harvard University Press.

Cottrell, S. (2005). Critical thinking skills - Developing effective analysis and argument. London: Palcrave Macmillan.

Dean, D. & Kuhn, D. (2007). Direct instruction vs. discovery: The long view. Science Education 91(3), pp. 384-397.

Gershenson, C. & Heylighen, F. (2004). How can we think the complex? Online [Jan. 2015].

Jarrard, R. (2008). Scientific methods. Online [Dec. 2014].

Kind, M.; Michael, A. & Willis, B. (2012). Need for proper training in Software Engineering for scientists. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (RACCIS) 2(2), pp. 28-31.

Klahr, D. (2000). Exploring science: The cognition and development of discovery processes. Massachusetts: MIT Press.

Kuhn, D. (2005). Education for thinking. Harvard: Harvard University Press.

Kuhn, D. (2010). What is scientific thinking and how does it develop? In Goswami, U. (Ed.), Handbook of childhood cognitive development, pp. 497-523. New York: The Wiley-Blackwell.

Lee, H. (1943). Scientific method and knowledge. Philosophy of Science 10(2), pp. 67-74.

Lehrer, J. (2010). The truth wears off - Is there something wrong with the scientific method? Annals of Science. The New Yorker. December 13.

Lehrer, R. & Schauble, L. (2006). Scientific thinking and scientific literacy: Supporting development in learning in context. In Damon, W. (Ed.), Handbook of child psychology Vol. 4, pp. 123-138. New York: Wiley.

Lewandowska, B. (2009). Question of methodology of scientific theories of complex reality. Online [Jan. 2015].

Ng, D. (2012). A tangential scientific method. Online [Jan. 2015].

Phelan, S. (2001). What is complexity science, really? Emergence 3(1), pp. 120-36.

Satava, R. (2005). The scientific method is dead-long live the (New) scientific method. Surgical Innovation 12(2), pp. 173-176.

The Sigma Scan. (2012). Understanding complexity: How to answer the big questions. Online [Jan. 2015].

Windschitl, M.; Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method - Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. Science Education 92(5), pp. 941-967.

Wolfram, S. (2002). A new kind of science. Berlin: Wolfram Media.

Capítulo IV

De la Disciplinariedad a la Transdisciplinariedad

Los problemas de la sociedad actual son cada vez más complejos, y encontrarles solución será cada vez más complicado. Tratar de comprenderlos, modelarlos y solucionarlos, solamente con el enfoque desde una disciplina aislada es una tarea casi imposible. El enfoque de la transdisciplinariedad surge como soporte para llevar a cabo esta tarea, porque su objetivo es integrar los diferentes niveles de la realidad para que los científicos puedan visionar soluciones igualmente complejas. En este capítulo se presenta un recorrido conceptual desde la disciplinariedad hasta la transdisciplinariedad, y se describe la construcción epistemológica de esta última, principalmente desde los aportes de Basarab Nicolescu y Edgar Morin.

1 Introducción

La ciencia es el conjunto de conocimientos sistemáticamente estructurados y obtenidos mediante la observación y el razonamiento, desde el que se deducen principios y leyes generales. La *ciencia normal* es definida por Thomas Kuhn (1996) como la búsqueda basada en uno o más logros científicos, que una comunidad en particular reconoce durante un tiempo como base para la práctica posterior. Este concepto de ciencia prevé un periodo de tiempo en el que las actividades científicas se desarrollan enmarcadas en el paradigma predominante. Pero debido a que en muchos casos es evidencia, la ciencia debe ir más allá de los hechos para poder ser clara, precisa y comunicable. De otro lado, una disciplina es una categoría en la que se organizan los conocimientos científicos, y que establece la división y especialización del trabajo que responde a la diversidad de las zonas que abarcan las ciencias. Aunque una ciencia engloba un todo más grande, una disciplina tiende naturalmente a la autonomía y a la delimitación de sus fronteras y el lenguaje y las técnicas, que tiene que desarrollar o utilizar y posiblemente de las teorías que le son propias (Morin, 1994).

Al analizar la sociedad actual, es posible observar una serie de problemáticas que está definiendo el nuevo siglo, tales como el agua, las migraciones forzadas, la pobreza, las crisis ambientales, la violencia, las guerras, el neo-imperialismo y la destrucción del tejido social, y obligatoriamente se debe concluir que ninguna de ellas se puede abordar adecuadamente desde la esfera de alguna disciplina individual específica, porque representan claramente desafíos transdisciplinares. La situación no se resuelve, como frecuentemente se intenta, creando supuestos equipos conformados por *expertos* en diferentes áreas en torno a un problema dado. Con un mecanismo de este tipo solamente se puede aspirar a lograr una acumulación de visiones, que emergen desde cada una de las disciplinas participantes. Porque una síntesis de integración no se consigue a través de la acumulación de diferentes cerebros, debe ocurrir dentro de cada uno de ellos.

Es así que en la última década se ha incrementado el número de problemas sociales complejos, y los conocimientos técnicos y la comprensión de la ciencia y la ingeniería, necesarios para abordarlos y mitigarlos, están en rápida evolución. El mundo está cada vez más interconectado y surgen nuevas oportunidades y problemas altamente complejos, que sólo recientemente se empiezan a identificar. Cuando estos problemas no se resuelven oportuna y correctamente se convierten en crisis, tales como la escasez de energía, la contaminación, el transporte, el medio ambiente, los desastres naturales, la seguridad, la salud, el hambre y la crisis mundial del agua, y amenazan la existencia misma

del mundo tal como se conoce. Por eso es que ninguno de estos problemas se puede comprender desde la sola perspectiva de una disciplina tradicional.

El diseño de sistemas de ingeniería a gran escala ha demostrado que los enfoques mono-disciplinares, inter o multidisciplinares no proporcionan un ambiente que promueva la colaboración y la síntesis necesarias para extenderlos más allá de los límites disciplinares existentes, ni para diseñarles amplias soluciones realmente creativas e innovadoras. Porque exigen no solamente el diseño con numerosos componentes y subsistemas, que interactúen en múltiples e intrincadas formas, sino que también implican el diseño, el rediseño y la interacción de sistemas sociales, políticos, administrativos, comerciales, biológicos, médicos,… Además, estos sistemas son propensos a una naturaleza dinámica y adaptativa. Por lo tanto, las soluciones a problemas no-estructurados requieren diversas actividades que trascienden las fronteras de las disciplinas tradicionales, es decir, se requiere investigación y formación transdisciplinar. Esta forma de trabajo enfatiza en la labor de equipo, porque reúne a investigadores de diversas disciplinas, y en el desarrollo y la puesta en común de conceptos, metodologías, procesos y herramientas. Todo ello para generar ideas estimulantes y frescas que expandan los límites de las posibilidades. El enfoque transdisciplinar genera en las personas un deseo de buscar colaboración por fuera de los límites de su experiencia profesional, para hacer nuevos descubrimientos, explorar diferentes perspectivas, expresar e intercambiar ideas y para adquirir nuevos conocimientos.

2 Recorrido conceptual

Las primeras universidades se estructuraron alrededor de cuatro facultades: Medicina, Filosofía, Teología y Derecho, y las concibieron como las áreas que contenían la totalidad del conocimiento. De hecho, los académicos de entonces eran versátiles y omniscientes, precursores legítimos de los pensadores y creadores del Renacimiento (Schulz, 1970). Con el paso del tiempo, estas facultades se hicieron más y más especializadas y así surgieron y se multiplicaron las disciplinas y sub-disciplinas, al punto que para la década de 1950 existían más de 1.100 reconocidas, sin incluir a las humanidades (Schulz, 1970). La asociación entre disciplinas, departamentos e institutos es un fenómeno relativamente moderno, que comienza a consolidarse a finales del siglo XIX. Esta departamentalización ha sido importante para mantener las autonomías disciplinares, para la consecución de fondos para investigación y para la consolidación del prestigio académico. De esta forma, los profesores y estudiantes desarrollan y aumentan las *legalidades disciplinarias*, al punto que frecuentemente sienten que la suya es la más importante de todas. Pero este siglo es diferente, porque los problemas son complejos y se acumulan y exigen soluciones inmediatas. Para ayudar a clarificar algunos conceptos de manejo cotidiano, a continuación se presenta un recorrido conceptual relacionado.

- *Disciplinariedad* se refiere a mono-disciplina y representa a una especialización en aislamiento. De hecho, una persona puede estudiar biología y desempeñarse bien sin la necesidad de conocimientos acerca de física o filosofía. Es más, si se hiciera una lista de ciencias (Física, Química, Biología, Matemáticas, Computacionales,…) sería posible percibirlas lógicamente conectadas de manera horizontal, no vertical. La mono-disciplina se caracteriza por la especialización, que es un método en el cual una disciplina científica reduce gradualmente los márgenes de su objeto de estudio, lejos de los horizontes de otras especialidades, y como resultado de esa fragmentación y del enfoque reduccionista, cada área se convierte en insignificante y aislada de las

otras. Las razones que abogan por las mono-disciplinas se consideran el método más ineficaz para hacerle frente a una realidad compleja.

- En la *multidisciplinariedad,* una persona estudia, simultáneamente o en secuencia, más de un área de conocimiento, pero sin hacer ninguna conexión entre ellas. De tal manera que puede, por ejemplo, tener conocimientos en química, sociología y lingüística, pero sin generar cooperación entre ellas. Los equipos multidisciplinares son comunes y frecuentes hoy en día. En ellos, los miembros llevan a cabo su análisis por separado y analizan desde la perspectiva de sus disciplinas individuales. Por lo tanto, el resultado final es una serie de reportes grapados juntos, sin ningún tipo de síntesis de integración. Esto sucede a pesar de la convergencia de integrantes de diferentes disciplinas, porque este enfoque multidisciplinar sigue siendo fragmentado y reduccionista, y porque se mantiene la autonomía de los participantes: no es necesario compartir el mismo idioma y la misma meta, simplemente a alguien que clasifique e incorpore los resultados.
- La *pluridisciplinariedad* implica cooperación entre disciplinas, aunque sin coordinación. Normalmente ocurre entre áreas afines del conocimiento y sobre un nivel jerárquico común. Como ejemplo podría hablarse de la combinación de la física, la química y la geología, o la historia, la sociología y el lenguaje. El estudio de cada una de ellas refuerza la comprensión de las otras.
- La *interdisciplinariedad* por su parte se organiza en niveles jerárquicos e implica una coordinación desde un nivel más alto a uno más bajo. En este sentido, se introduce un propósito cuando la axiomática común de un grupo de disciplinas afines se definen en el siguiente nivel más alto. Entonces, ¿qué se entiende por nivel jerárquico? Las disciplinas que se enumeraron horizontalmente (Física, Química, Biología, Matemáticas, Computacionales, además de otras) pueden considerarse como el primer piso de una edificación, y se identifican como el nivel empírico. Inmediatamente por encima, en el segundo piso, está otro grupo de disciplinas que constituye el nivel pragmático, y que incluyen, entre otras, a la Ingeniería, la Arquitectura, la Agricultura, la Medicina,… El tercero piso es el nivel normativo, que involucra disciplinas como la planificación, la política, el diseño de sistemas sociales, el diseño ambiental,… Por último, el piso superior de la edificación corresponde al nivel de valor, y está ocupado por la ética, la filosofía y la teología. Así se define una imagen jerárquica en la que el propósito de cada nivel se define por el siguiente más alto, pero como tal no se integran ni cuestionan verticalmente.
- Mientras que la *transdisciplinariedad* es el resultado de una coordinación entre todos esos niveles jerárquicos. Niveles que ahora se pueden describir de manera diferente. Las disciplinas en la base de la edificación describen el mundo tal como es. Aquí se puede aprender de las leyes físicas de la naturaleza y de los principios que impulsan la vida y las sociedades. Este nivel se pregunta y responde a la cuestión de *¿qué existe?* Por ejemplo, desde las Ciencias Computacionales acerca del desarrollo de software; desde la física acerca de los cuantos; desde la química acerca de los elementos de la tabla periódica; desde la biología acerca de la composición de las células; y desde las matemáticas acerca de la resolución de problemas. El lenguaje organizador de este nivel es la *lógica*.

  El siguiente nivel se compone principalmente de disciplinas tecnológicas y se pregunta y responde a *¿qué somos capaces de hacer?* (con lo que se ha aprendido del nivel empírico). Aquí se aprende cómo construir aeronaves, cómo viajar a los planetas

y cómo navegar mar adentro. Lo que este nivel no dice es si se deben implementar las capacidades humanas, y el peligro es que a menudo se hacen las cosas de manera sencilla y únicamente porque se sabe cómo hacerlas. El lenguaje organizador de este nivel es la *cibernética*, que enfatiza solamente en las propiedades mecánicas de la naturaleza y la sociedad.

El nivel *normativo* pregunta y responde a la cuestión ¿*qué queremos hacer*? En las sociedades democráticas normalmente las respuestas se someterán a votación. Un ejemplo es el control al impacto ambiental, que se origina como consecuencia del trabajo ecologista, y que se logra a partir de otros movimientos, como el de los indignados. Estos y otros son claros ejemplos de las acciones de personas que tienen capacidad de influir directamente en su entorno lo que quieren que suceda. El lenguaje organizador de este nivel es la *planificación*.

En el nivel de *valor* se pregunta y responde a ¿*qué debemos hacer*? O mejor ¿*cómo debemos hacer lo que queremos hacer*? Este nivel va más allá del presente y de la inmediatez. Apunta a las generaciones por venir, al planeta como un todo y a una economía como si las personas importaran. Al hacer explícita una preocupación mundial por la especie humana y la vida en general, el lenguaje organizacional debe ser una especie de *ecología profunda*. En todo caso, por ejemplo, no hace falta decir que los sistemas de educación no se piensan ni estructuran de forma transdisciplinar. En el mejor de los casos se encuentran algunos esfuerzos interdisciplinares, pero las experiencias son principalmente marginales y no integradas en la estructura macro.: Los departamentos, institutos y facultades, de las universidades, se siguen organizando en torno a disciplinas aisladas.

En resumen y mirando en retrospectiva la edificación transdisciplinar, es fácil darse cuenta que la mayoría de las acciones humanas no van más allá de las combinaciones entre los niveles inferiores. En términos de comportamiento, este edificio no pasa la prueba, y en la medida en que no se restaura, la humanidad no va a ser capaz de afrontar con éxito los grandes problemáticas de este siglo. Entonces, ¿qué hacer? Ciertamente no es fácil, pero primero hay que pensar en modificar radicalmente la estructura de los sistemas de educación y de la academia, lo que en la mayoría de casos parece casi imposible. Las resistencias internas pueden llegar a ser insalvables, porque generalmente la disputa con la que se construye el prestigio académico ataca vigorosamente cualquier cambio estructural en su disciplina. Esto es bastante sorprendente, si se tiene en cuenta que hace casi trescientos años, Leibnitz (1710) expresó su hostilidad hacia las universidades, porque su organización en términos de facultades impedía la expansión del conocimiento a través y más allá de las disciplinas. El cambio es necesario, y a pesar de todas las dificultades existentes solamente puede venir de adentro del sistema y a través de las acciones y la cooperación entre académicos cultos. De hecho, es posible detectar que aquí y allá ya se encuentra en marcha un proceso de este tipo (Serna, 2015).

En términos generales, transdisciplina quiere significar algo diferente a interdisciplina, en primer lugar respeto del estatus científico y en segundo lugar respeto de la función social. En cuanto al primero, el concepto de transdisciplinariedad no es una simple combinación de disciplinas existentes, sino una transgresión de sus fronteras tradicionales y con ello una transformación de ellas en algo nuevo, que tendrá su propia identidad en la medida que disponga de una terminología general, que parte de la propia disciplina individual. Por tanto, se espera que la transdisciplinariedad cierre varias brechas: 1) entre las culturas de la ciencia (natural) y lo social y lo humano, 2) entre especialistas y generalistas, y 3) entre la investigación aplicada y básica. Lo que sería el

resultado de un proceso que parte de la mono o multidisciplinariedad y que trasciende a la interdisciplinariedad, hasta llegar a la transdisciplinariedad. En segundo lugar, en cuanto a la función social de la ciencia, el concepto de una transdisciplina no se adhiere a la hipótesis de larga data donde la ciencia debía estar en una torre de marfil, sino que implica una transgresión desde lo científico a lo social, que se ve afectado por sus resultados, y una transformación en una nueva ciencia centrada en lo humano, democrática y participativa.

La sociedad juega un papel muy importante en esta nueva perspectiva de investigación y cooperación científica, porque el conocimiento transdisciplinar se debe re-contextualizar para una audiencia más amplia de múltiples disciplinas, donde se hace más accesible e interpretable (Hunsinger 2005). Para Charles Kleiber (2002), transdisciplinariedad significa poner en común los conocimientos e información disciplinares, las revoluciones tecnológicas y la creación de redes y nuevas formas de conocimiento. Debido al aspecto global de los problemas actuales, que no pueden ser resueltos por personas o grupos individuales, en las soluciones deben participar otros sectores de la sociedad (Häberli y Thompson 2002). Además, debido a que el conocimiento es transgresivo, la transdisciplinariedad no respeta fronteras institucionales (Gibbons y Nowotny, 2002).

Por lo tanto, la transdisciplinariedad cruza las fronteras nacionales porque es un concepto transnacional. De ahí que signifique algo más que una suma de investigadores de diferentes disciplinas que trabajan juntos, como en la multi o la interdisciplinariedad. Otro aspecto es que para resolver los problemas del mundo real también cruza las fronteras académicas. Las universidades y otras organizaciones de investigación tienen que tener mente abierta y estar dispuestas a cooperar con no-académicos y con científicos de otras disciplinas. En este entendimiento ambos socios pueden aprender uno de otro, porque la colaboración en un trabajo transdisciplinar requiere actores que abran los horizontes y participantes de la ciencia que aporten nuevos puntos de vista e ideas, para conocer mejor las cuestiones del mundo real y las pruebas y la adaptación de sus teorías (Häberli y Thompson, 2002).

3 Construcción epistemológica de la transdisciplinariedad

El concepto de la transdisciplinariedad se ha definido de diversas maneras, por ejemplo, Gibbons y Nowotny (2002) lo analizan como una visión pragmática centrada en un enfoque para resolver problemas concretos. Pero de acuerdo con Basarab Nicolescu (1996, 2008), desde lo epistemológico se refiere a las cosas que tienen en común todas las disciplinas al mismo tiempo en medio, a través y más allá. Su objetivo es la comprensión del mundo real, de las que una de las imperiosas necesidades es la unidad del conocimiento. Es una teoría que coloca al ser humano en el centro de sus preocupaciones, una visión con mayor generalidad y que es adecuada para discutir temas en educación, ética, aspectos sociales y cualquier cuestión científica.

En este sentido, es interesante observar que Goethe, cuyas contribuciones científicas han sido eclipsadas injustamente debido a sus logros colosales en literatura y artes, se sentía molesto por lo que creía las limitaciones de la física newtoniana. Para él, la ciencia era tanto una ruta interior de desarrollo espiritual, como una labor destinada a acumular conocimiento del mundo físico. Además, afirmaba que no se trata solamente de un entrenamiento riguroso de las facultades de observación y el pensamiento, sino también de otras que puede sintonizar la dimensión espiritual que subyace a lo físico, tales como sentimientos, imaginación e intuición. De esta forma, la ciencia tiene como objetivo

supremo la excitación del sentimiento de asombro a través de la visión contemplativa (Naydler, 2000). Werner Heisenberg (1952), uno de los padres de la física cuántica, sugirió que en realidad no hay conflicto entre la aceptación de la forma de contemplar la naturaleza de Goethe y los aportes y descubrimientos de la física moderna. Para él, ambos sentidos son complementarios en lugar de opuestos.

De acuerdo con Basarab Nicolescu (2010), la transdisciplinariedad es un enfoque relativamente joven. Jean Piaget desarrolló el concepto siete siglos después que la disciplinariedad había evolucionado. La propia palabra apareció por primera vez en Francia, en 1972, en las conversaciones de Piaget, Jantsch y Lichnerowicz. Piaget (1972) afirmaba que las relaciones interdisciplinares debían evolucionar a una etapa superior, la transdisciplinar, que no se limitarán solamente a reconocer las interacciones y/o reciprocidades entre investigaciones especializadas, sino que las buscarán dentro de un sistema total sin fronteras estables entre las disciplinas. Aunque esta descripción es vaga, tiene el mérito de señalar a un nuevo espacio de conocimiento *sin fronteras estables entre las disciplinas*. Sin embargo, la idea de un sistema total abre la posibilidad de una transformación de la transdisciplina en una super o hyper-disciplina, una especie de ciencia de las ciencias. Entendida de esta manera, la transdisciplinariedad solamente sería una nueva fase (superior) de la interdisciplinariedad (Duguet, 1972), que claramente no es el objetivo que se busca.

Erich Jantsch (1972) cae en la *trampa* de la transdisciplinariedad como hyper-disciplina, y afirma que es la coordinación de todas las disciplinas e interdisciplinas del sistema de educación, sobre la base de un enfoque axiomático general. Con lo que claramente la sitúa en un marco disciplinario. Sin embargo, su mérito histórico fue poner de relieve la necesidad de inventar un enfoque axiomático para ella e introducir valores en este campo del conocimiento. Para André Lichnerowicz (1972), es un juego transversal para describir la homogeneidad de la actividad teórica en diferentes ciencias y técnicas, independiente del campo donde se efectúa. Por supuesto, esta actividad se puede formular únicamente en lenguaje matemático. Para él, precisamente es el carácter no-ontológico el que les confiere a las matemáticas su poder, su fidelidad y su polivalencia. El interés de Lichnerowicz por la transdisciplinariedad fue accidental, pero su observación acerca del carácter no-ontológico de las matemáticas tiene que ser recordado. Otro autor que aportó en este proceso inicial fue Edgar Morin (1977), quien poco tiempo después de estos autores comienza a utilizar la palabra transdisciplinariedad, y aunque no ofreció una definición como tal, en ese período para él era una especie de mensajero de la libertad de pensamiento, un intermediario entre las disciplinas.

En las décadas siguientes, el uso del término se amplió y se vinculó con paradigmas completos: los sistemas, el feminismo y el marxismo; campos interdisciplinarios amplios: los estudios de área y los estudios culturales; y con disciplinas sinópticas: la filosofía, la geografía y los estudios religiosos. Asimismo, una búsqueda rápida revela una multitud de sitios web con esta etiqueta en ámbitos tan variados como la evaluación del aprendizaje, la educación artística, la salud mental, la rehabilitación, la educación especial, la ingeniería, la economía, la ecología, la biología de la población humana, la informática, la organización del conocimiento y el trabajo en equipo y colaborativo. Por otro lado, también se organizan congresos y eventos internacionales alrededor de ella, se publican revistas completas y se estructuran y desarrollan centros de investigación. En fin, la transdisciplinariedad ya es una cuestión que llama la atención a nivel global.

En las últimas décadas del siglo XX ganaron amplia atención dos corrientes alrededor de la transdisciplinariedad. Por un lado, Basarab Nicolescu (1996), que abogaba por un

nuevo tipo de transdisciplinariedad y comenzó a desarrollar un amplio enfoque científico y cultural, con el objetivo de facilitar el diálogo a largo plazo entre los especialistas que comparten una nueva visión del mundo de la complejidad en la ciencia. En contraste con la realidad unidimensional del pensamiento clásico, la transdisciplinariedad reconoce la multidimensionalidad. Esta visión, que sustituye al reduccionismo con un nuevo principio de relatividad, es trans-cultural y trans-nacional y abarca a la ética, la espiritualidad y la creatividad. No se trata de una nueva disciplina o super-disciplina. Nicolescu la llama *la ciencia y el arte de descubrir puentes entre diferentes áreas de conocimiento y diferentes seres*. La tarea principal es elaborar un nuevo lenguaje lógico y estructurar los conceptos para permitir un verdadero diálogo.

El otro proyecto fundamental para los estudios de caso alrededor de la transdisciplinariedad es el enfoque orientado a la investigación y la resolución de problemas, en el que se destaca la convergencia de la transdisciplinariedad, la complejidad y trans-sectorialidad, en un conjunto único de problemas que no emanan de adentro de la ciencia (Häberli et al., 2000). Esta corriente afirma que los problemas de la sociedad son cada vez más complejos e interdependientes, por lo tanto, no están aislados a sectores o disciplinas particulares y no son predecibles. Son fenómenos emergentes con dinámicas no-lineales, incertidumbres y altas apuestas políticas en la toma de decisiones (Goorhuis, 2000), que se centran en dominios complejos y heterogéneos, donde la necesidad de la transdisciplinariedad es ubicua. Son invocados en campos como la interacción humana con los sistemas naturales (la agricultura, la silvicultura, la industria y las mega-ciudades) y en los desarrollos técnicos importantes (los nucleares, los biotecnológicos y los genéticos). También ha demostrado eficacia en campos donde interactúan desarrollos sociales, técnicos y económicos con elementos de valor y de cultura, tales como la edad de la población, la energía, la salud, la nutrición, el desarrollo sostenible, el paisaje, la vivienda, la arquitectura, la tierra y la gestión de residuos urbanos (Häberli et al., 2001). Cada uno de estos temas es multidimensional y en el pasado se estructuraron en función de sus límites disciplinares y sectoriales. Este enfoque transdisciplinar ha puesto de manifiesto los límites del pensamiento segmentado para la resolución de problemas.

De acuerdo con Nicolescu (1996), epistemológicamente la transdisciplinariedad se basa en tres pilares fundamentales: 1) los niveles de la realidad, 2) el principio del tercero incluido, y 3) la complejidad. Además, reconoce como modos simultáneos de razonamiento a lo racional y lo relacional. Por lo tanto, la transdisciplina representa un claro desafío a la lógica binaria y lineal de la tradición aristotélica. En el curso de la evolución humana, la transición de la comunicación oral, donde el conocimiento se imparte a través de historias y mitos, a la comunicación escrita (esencialmente el producto occidental del desarrollo del alfabeto fenicio/griego), se convirtió en regla la primacía del pensamiento racional sobre el pensamiento relacional. El resultado fue que la fascinación producida por la razón ha sido tan grande que se han perdido otras facultades y sentimientos que facilitaron, por así decirlo, la comprensión de la naturaleza desde el interior.

Para una comprensión pragmática de los diferentes modos de pensamiento es necesario examinar los pilares de la transdisciplinariedad de Nicolescu (1966). En la adopción del primer pilar de su propuesta, los *niveles de la realidad*, designa como realidad aquello que se resiste a las experiencias, representaciones, descripciones, imágenes, o formalizaciones matemáticas. La física cuántica permitió descubrir que la abstracción no es solamente un intermediario entre el hombre y la naturaleza, o una herramienta para

describir la realidad, sino más bien una de las partes constitutivas de la naturaleza. En la física cuántica, la formalización matemática es inseparable de la experiencia (Nicolescu 2000). Según lo revelado por la ciencia hasta el momento, la coexistencia de ambos mundos coincide con muchas visiones similares que surgen de algunas religiones, tradiciones y creencias, cuando se trata de buscar más profundamente en el universo interior. A pesar de todo hay que darse cuenta que, aunque la investigación y los enfoques transdisciplinares son necesarios, la transdisciplinariedad en sí misma sigue siendo un proyecto inacabado, alrededor del cual todavía hay mucho por descubrir e investigar. Debe quedar claro que en esta etapa es tanto una herramienta como un proyecto.

El segundo pilar de la transdisciplinariedad es el axioma del *tercero incluido*. Nicolescu (1999) recuerda que la historia acreditará a Lupesco (1987) por haber mostrado que la lógica del tercero incluido es una lógica verdadera, formalizable, formalizada, multivalente y no-contradictoria. La lógica del tercero incluido no es una metáfora, sino que de hecho es una lógica de transdisciplinariedad y complejidad, ya que permite cruzar a través de un proceso iterativo las diferentes áreas del conocimiento, de una manera coherente para generar una nueva simplicidad (o *simplexity*, según Nicolescu). Esto no excluye la lógica del tercero excluido, únicamente limita sus fronteras y rango de influencia, por lo que ambas lógicas son complementarias.

Más allá de la verificación de la existencia de los diferentes niveles de la realidad, el siglo XX fue testigo de la aparición en muchas áreas de la ciencia de la *complejidad* (tercer pilar de la disciplinariedad), de la teoría del caos y de los procesos no-lineales. Las visiones sistémicas dieron lugar a la desaparición de los supuestos de que la naturaleza puede ser descrita, analizada y controlada en términos simples, que se correlacionan con la lógica lineal tradicional. Sin embargo, cuando se trata de disciplinas relacionadas con lo social, lo económico y lo político, no se encuentra ningún avance significativo. Paradójicamente, el concepto de una realidad unidimensional, orientado por una lógica de simplicidad lineal, aparece en ellas tan fuerte como siempre, precisamente en un momento en el que la sociedad se debe adaptar a un mundo en proceso de cambios cada vez más acelerados.

Por otro lado, la relación con un mundo y una naturaleza complejos requiere Pensamiento Complejo, y la propuesta de Edgar Morin se orienta en este sentido. Entre otras cosas, este autor propone una reformulación radical a la organización del conocimiento, teniendo en cuenta su creciente complejidad. La idea es desarrollar un tipo de pensamiento recursivo, es decir, uno capaz de establecer circuitos de retroalimentación en términos de conceptos como todo/parte, orden/desorden, observador/observado y sistema/ecosistema, de tal manera que permanezcan simultáneamente complementarios y antagónicos (Morin, 1992). A primera vista, la propuesta de Morin parece ser una tarea imposible, sin embargo, una vez que se entiende e integra en una nueva forma de ver el mundo, con los diferentes niveles de la realidad y la lógica asociada del tercero incluido, se vuelve más clara la visión como forma de proceder. El principio de fondo no es separar los polos opuestos de las muchas relaciones di-polares que caracterizan el comportamiento de la naturaleza y la vida social. Tal separación, normal en el pensamiento racional y su correspondiente lógica lineal, en realidad es artificial, porque ni la naturaleza ni la sociedad humana funcionan en términos de relaciones mono-polares. La insistencia en simplificar lo artificial e ingeniosamente el conocimiento sobre la naturaleza y las relaciones humanas, es la fuerza detrás de las disfunciones crecientes que se provocan entre las interrelaciones sistémicas de ambos ecosistemas y el tejido social.

La visión de Morin no está limitada por las fronteras disciplinares, es transdisciplinar y se basa en una amplia gama de lo que él llama *conocimiento pertinente* (Morin, 2001). Es decir, no se acerca a sus temas desde lo que otros han llamado una *perspectiva disciplinar impulsada* (Montuori, 2005), lo que significa que no está motivado por la solución de problemas en el contexto de la agenda de una disciplina específica. Más bien, su investigación es dirigida por la demanda temática y se mueve a través de disciplinas para dibujar en el conocimiento lo que es pertinente para arrojar luz sobre la misma. Esto es fundamental y hace que la visión de Morin sobre la transdisciplinariedad sea tan importante y oportuna, porque no se fundamenta en intentos por crear marcos teóricos de totalización abstracta, ni se orienta a promover la agenda de una mono-disciplina. Se basa en la necesidad de encontrar el conocimiento pertinente para la búsqueda humana de entender y dar sentido a la vida, y para responder a las grandes preguntas que cada vez se dejan más por fuera del discurso académico, precisamente porque son demasiado complejas y porque abarcan una amplia variedad de disciplinas.

El enfoque de Morin siempre ha sido tanto planetario como personal, y en su *Método Holográfico* se ocupa de cuestiones políticas clave, a través de una combinación de reflexión teórica e histórica sobre el estado de un mundo conectado a tierra, con amplios ejemplos de reflexiones y experiencias. Además, manifiesta su voluntad de luchar con profundas cuestiones existenciales, que a menudo son borradas en el discurso, frecuentemente estéril, de lo social y lo filosófico. Morin caracteriza su trabajo posterior sobre el *Pensamiento Complejo* como un intento de desarrollar un método que no mutile, que no se fragmente ni abstracte, que no haga violenta la vida, y que no sea unidimensional, anémico, antiséptico, ni homogeneizado. Este enfoque transdisciplinar se refleja en los argumentos que aporta junto a Lefort y Castoriadis (1968).

La transdisciplinariedad obtiene su noción de complejidad desde nuevas ciencias, tales como la física cuántica, la Teoría del Caos y los Sistemas Adaptativos Complejos. Además, existe diferencia entre una situación complicada y una compleja (Morin, 2008). Un problema *complicado* es difícil de resolver, porque es complejo y detallado. Mientras que en un problema *complejo* aparece una característica adicional: el proceso de derivación de estructuras nuevas y coherentes, con patrones y propiedades particulares, que emerge como resultado de la red de relaciones entre personas. Lo que hace especial la resolución de un problema complejo es que ese conjunto de relaciones se mantiene en constante adaptación y se encuentran en el corazón del mismo. Además, cualquier información puesta en común será modificada, porque dentro de estas relaciones cambiantes se pasa de una persona a otra. Constantemente se forma energía e información, lo que significa que el espacio fértil entre las disciplinas está en constante cambio. Por lo tanto, no solamente cambia el espacio sino también las personas, sus relaciones, la naturaleza de la información compartida y los flujos de energía. Porque nadie puede obrar ni controlar el espacio sin ser parte del todo (Morin y Kern, 1999).

Si se acepta que la realidad es un todo coherente que comprende varias capas, entonces se debe estar de acuerdo en que constantemente hay que vivir al tanto de todas, sin mirar a ninguna en particular. Esta toma de conciencia hace que no se mire solamente un aspecto individual de un problema complejo, sino dirigir la atención al conjunto multidimensional que lo conforma: la capa de partículas invisibles, la material, la biológica-ecológica, la social, la psicológica, la económica, la política, la tecnológica,… El desafío es no perder de vista al conjunto. Desde esta perspectiva, es fácil ver por qué la transdisciplinariedad es necesaria e importante para resolver los problemas en el mundo de hoy. Un espacio exterior intelectual sólido consistiría en una colección de diferentes

disciplinas que, sin embargo, han encontrado una manera de convivir y trabajar juntas para crear conocimiento integrador y embebido (Aerts, 2001).

Para lograr esta comprensión profunda del mundo (el sello del enfoque transdisciplinar) hay que pasar a través de un conocimiento más amplio de esas realidades diferentes (en lugar de imágenes) y de la complejidad de éste (Nicolescu, 1996). Esta comprensión puede evolucionar si el espacio en el que se opera es nutritivo y abierto a varias realidades (Voss, 2001). Nicolescu (2000a) explica que este concepto se refiere a la zona de no-resistencia a las percepciones, un lugar donde el concepto de realidad puede estirarse más allá de las experiencias conocidas. En él hay que tratar de dejar de lado los límites de la racionalidad para cruzar a través del velo de lo real. Imagine el lector las puertas que se abrirían si se asume que existen dimensiones simultáneas e independientes, que se manifiestan a través de las interacciones con ellas. El ser humano nunca dejará de preguntarse ni de buscar soluciones amplias a los problemas apremiantes del mundo, por eso, imagine nuevamente la profundidad que se lograría de la comprensión del mundo si se abrazara esta forma de pensar, incluso cuando los resultados sean contrarios a lo que el sentido común sugiere (Morin y Weinmann, 1998).

En este estado de ánimo sería posible ver que la información proviene de fuera del ser y que es transformada por él. El flujo de conciencia, a medida que se avanza a través del velo a otras realidades, se corresponde con el de la información desde los demás en un espacio fértil. Es necesario pasar de ver las cosas como dualidades a verlas en unidades abiertas, más complejas. Si en la forma de pensar se tiene en cuenta al mundo cuántico, se podría decir que solucionar problemas se asocia con un complejo de sustancia-energía-información-espacio-tiempo (Nicolescu, 2000a). No hay nada simple en esto, porque es transdisciplinar y multidimensional, pero tampoco es una cosa simple obtener una comprensión más profunda del mundo.

A este respecto y a través del conocimiento de la complejidad, Edgar Morin (1977a) exhorta (exige) por un nuevo diálogo que una las culturas humanística y científica. Desafortunadamente, la mayor parte de la investigación transdisciplinar existente se da únicamente a través de fronteras disciplinares duras, tales como la física y la química. Incluso, cuando se produce la integración real en lo social a menudo está acompañada por una tendencia a conceptos y enfoques que son incompatibles con el conocimiento duro, y lo dejan de lado. Por eso, los esfuerzos científicos juegan un papel importante, pero están enmarcados en un proceso dinámico y auto-referencial de resolver y crear problemas sociales y ecológicos a diferentes escalas de espacio-tiempo (Becker et al., 1997). La educación es vital para el futuro de estas perspectivas, por lo que Morin (1977a) convoca a los sistemas de educación para que asuman un enfoque transdisciplinar a través de los niveles primario, secundario y terciario, pero nunca por separado (Serna, 2015).

4 Conclusiones

La transdisciplinariedad por sí sola consiste en una forma práctica de abordar los problemas de una manera sistémica, pero es un proyecto inacabado que requiere muchos esfuerzos de sistematización que todavía se deben realizar. Lo disciplinar se refiere solamente a un nivel de realidad, mientras que lo transdisciplinar extiende su acción a través de varios de ellos. La disciplina y la transdisciplina deben entenderse como complementarias, pero el tránsito de una a otra se logra a través de un recorrido por los diferentes niveles de la realidad, generando enriquecimiento recíproco que puede facilitar la comprensión de la complejidad.

Más que una nueva disciplina, o super-disciplina, la transdisciplinariedad es una manera diferente de ver el mundo, más sistémico y holístico. Aunque la epistemología de la transdisciplinariedad puede ser relativamente clara, su aplicabilidad como metodología en las ciencias y la ingeniería todavía presenta deficiencias. En concreto, hay que lograr una mayor claridad con respecto a los niveles de la realidad en el mundo (dimensiones): los conocimientos y la comprensión ¿realmente pertenecen a diferentes niveles de la realidad? ¿Qué pasa con ser y tener o razón o intuición? Las visiones y actitudes antropocéntricas y bio-céntricas del mundo ¿pertenecen a diferentes niveles de la realidad? ¿Se puede afirmar, por ejemplo, que el desarrollo y el medio ambiente, frecuentemente identificados como opuestos en la economía convencional, son opuestos solamente a nivel antropocéntrico y que esa oposición se resuelve desde el nivel bio-céntrico?

Todas estas preguntas son abiertas, sin embargo, insinúan el camino a seguir en un sistema, como el de educación, cuyo objetivo sea completar y consolidar la transdisciplinariedad como un proyecto destinado a mejorar la comprensión del mundo y de la naturaleza. Está claro que si no se lleva a cabo este esfuerzo se continuarán generando cada vez mayores daños a la sociedad y a la naturaleza (Serna, 2015), debido a que las visiones y suposiciones de comprensión y acción son parciales, fragmentadas y limitadas. El desafío es practicar la transdisciplinariedad de manera sistemática en función de las posibilidades, y realizar esfuerzos para perfeccionarla como una visión del mundo.

Puesto que todavía no se han identificado universidades completamente orientadas a formar de manera transdisciplinar a sus estudiantes, es imperioso crear instancias que estimulen su aplicación y desarrollo. Es urgente pensar en un nuevo sistema de educación y transformar el objetivo de la Era Industrial de *educar* por *competencias*. Hoy se necesita un Sistema de Formación, que se piense de los transdisciplinar, que forme personas y capacite profesionales y cuyo objetivo sea alcanzar estas metas a través del logro horizontal y vertical en los planes de estudios; pero diseñados a partir de proyectos integradores multidimensionales y transdisciplinares (Serna, 2015).

Referencias

Aerts, D. (2001). Transdisciplinary and integrative sciences: Humanity's mind and potential. Encyclopedia of Life Support Systems.

Becker, E. et al. (1997). Sustainability: A cross-disciplinary concept for social transformations. Paris: UNESCO.

Duguet, P. (1972). L'approche des problèmes. In Apostel, L. et al. (Eds.), L'interdisciplinarité – Problèmes d'enseignement et de recherche, Centre pour la Recherche et l'Innovation dans l'Enseignement, pp. 123-138. Paris: OCDE.

Gibbons, M. & Nowotny, H. (2002). The potential of transdisciplinarity". In Bill, A. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society. An effective way for managing complexity, pp. 67-80. Berlin: Akademie Verlag.

Goorhuis, H. (2000). Second order management for emerging problems. In Häberli, R. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem-solving among science, technology and society, pp. 25-29. Germany: Akademie Verlarg.

Häberli, R. & Thompson, K. (2002). Summary. In Bill, A. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society. An effective way for managing complexity, pp. 3-5. Germany: Akademie Verlarg.

Häberli, R. et al. (2000). Transdisciplinarity: Joint problem-solving among science, technology and society. Germany: Akademie Verlarg.

Häberli, R. et al. (2001). Synthesis. In Klein, J. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology, and society, pp. 6-22. Berlin: Basel.

Heisenberg, W. (1952). Philosophical problems of nuclear science - Eight lectures. Paris: Faber and Faber.

Hunsinger, J. (2005). Toward a transdisciplinary internet research. The Information Society 21(4), pp. 277-279.

Jantsch, E. (1972). Vers l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité dans l'enseignement et l'innovation. In Apostel, L. et al. (Eds.), L'interdisciplinarité – Problèmes d'enseignement et de recherche. Paris: OCDE.

Kleiber, C. (2002). What kind of sciences does our world need today and tomorrow? A new contract between science and society. In Bill, A. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society. An effective way for managing complexity, pp. 47-58. Germany: Akademie Verlarg.

Kuhn, T. (1996). The structure of scientific revolutions. Chicago: University of Chicago Press.

Leibnitz, G.; Théodicée, F. & Huggard, E. (1952). Translation. Project Gutenberg, 1710.

Lichnerowicz, A. (1972). Mathématique et transdisciplinarité. In Apostel, L. et al. (Eds.), L'interdisciplinarité – Problèmes d'enseignement et de recherche. Paris: OCDE.

Lupesco, S. (1987). Le principe d'antagonisme et la logique de l'energie. Paris: Le Rocher.

Montuori, A. (2005). Gregory Bateson and the challenge of transdisciplinarity. Cybernetics and Human Knowing 12(1-2), pp. 147-158.

Morin, E. & Kern, A. (1999). Homeland Earth: A manifesto for the new millennium. London: Hampton Press.

Morin, E. & Weinmann, H. (1998). La complexité humaine. Paris: Flammarion.

Morin, E. (1992). From the concept of system to the paradigm of complexity. Journal of Social and Evolutionary Systems 15(4), pp. 371-385.

Morin, E. (1994). Sur l'interdisciplinarité. Bulletin du Centre International de Recherches et Études transdisciplinaires 2. Paris: CIRET.

Morin, E. (1997). La methode I - La nature de la nature. Paris: Seuil.

Morin, E. (1997a). Réforme de pensée, transdisciplinarité, réforme de l'université. Proceedings Congrès International Quelle Université pour demain? Vers une évolution transdisciplinaire de l'Université, pp. 9-10. Locarno, Suisse.

Morin, E. (2001). Seven complex lessons in education for the future. Paris: UNESCO.

Morin, E. (2008). On complexity. London: Hampton Press.

Morin, E.; Lefort, C. & Castoriadis, C. (1968). Mai 1968: La brèche: Premières réflexions sur les événements. Paris: Fayard.

Naydler, J. (2000). Goethe on science. Boston: Floris Books.

Nicolescu, B. (1996). La transdisciplinaritè: Manifeste. Paris: Editions du Rocher.

Nicolescu, B. (1999). Stephane Lupesco, l'homme et l'euvre. Paris: La Rochet.

Nicolescu, B. (2000). Transdisciplinarity and complexity: Levels of reality as source of indeterminacy. In Arecchi, T. (Ed.), Determinismo e complessità, pp. 127-142. Paris: Armando Editore.

Nicolescu, B. (2000a). Levels of reality as source of quantum indeterminacy. Quantum Physics; History and Philosophy of Physics, December, pp. 127-158.

Nicolescu, B. (2008). Transdisciplinarity: Theory and practice. London: Hampton Press.

Nicolescu, B. (2010). Methodology of transdisciplinarity – Levels of reality, logic of the included middle and complexity". Transdisciplinary Journal of Engineering & Science 1(1), pp. 19-38.

Piaget, J. (1972). L'épistémologie des relations interdisciplinaires. In Apostel, L. et al. (Eds.), L'interdisciplinarité – Problèmes d'enseignement et de recherché. Paris: OCDE.
Schulz, A. (1970). Ecosystemology. Berkeley: University of California Press.
Serna, M.E. (2015). Por qué falla el sistema de educación. Medellín: Ed. Instituto Antioqueño de Investigación.
Voss, K. (2010). Review essay of Barsarab Nicolescu's manifesto of transdisciplinarity. New York: State University of New York Press.

Capítulo V

La Transdisciplinariedad en el Pensamiento de Paulo Freire

En este mundo globalizado y por iniciativas que no siempre son las más adecuadas, los gobiernos intentan reformar sus procesos educativos con la idea de adaptarlos a las cambiantes necesidades actuales, es decir, vivimos en una época de importantes reformas educativas. La cuestión es que esas iniciativas están vinculadas, como siempre en la historia, a los cambios económicos, políticos y socio-culturales que vive la sociedad del momento, y no a las verdaderas necesidades de formación y capacitación de la humanidad. Pero actualmente, como pocas veces antes, existe un abanico de posibilidades y alternativas subyacentes a estos cambios. Una de ellas es la posibilidad de formar de manera transdisciplinar, es decir, teniendo en cuenta el aporte de diversas disciplinas y a través del trabajo colaborativo. En este capítulo se analiza este paradigma a la luz de los aportes del educador brasileño Paulo Freire.

1 Introducción

Analizar la dimensión universal del pensamiento de Paulo Freire es por sí misma una tesis, y podría ser defendida teniendo en cuenta el volumen de su trabajo, los idiomas en que publicó, el número de obras que lo relacionan y el impacto que tiene en la práctica educativa, la metodología científica, las ciencias empírico-analíticas, las ciencias críticas, y para la gestión del conocimiento desde la teoría de Habermas. En la década de 1950, cuando la cuestión de la educación de adultos todavía se consideraba como una mera reposición de contenidos transmitidos a los niños y jóvenes, Paulo Freire propuso una pedagogía específica para este tipo de educación, a través de una vinculación entre los estudios, las experiencias vividas y el trabajo, la pedagogía y la política. Con base en esta práctica y a partir del principio de que el proceso educativo debe estar centrado en la realidad del estudiante, creó un método que se conoce en todo el mundo. Posteriormente, el tiempo en que Freire estuvo en exilio fue de extrema importancia para él, porque se encontró con un espacio político, social y educativo muy dinámico, rico y desafiante, que le dio la oportunidad de volver a estudiar su método en otro contexto histórico, de evaluarlo en la práctica y de sistematizarlo teóricamente.

Regresó a Brasil en 1979, con el deseo de re-aprender su método. El contacto con la situación concreta de la clase trabajadora revigorizó su pensamiento, y desde entonces es posible dividir su trabajo en dos fases diferentes y complementarias: el Paulo Freire Latinoamericano, de la década de 1960 y autor de la Pedagogía del Oprimido, y el ciudadano del mundo de la década de 1980, y autor de libros en forma de diálogos. Sin dejar de ser latinoamericano, en la segunda fase dialoga con educadores, sociólogos, filósofos e intelectuales del mundo. Esto le da la faceta de un Paulo internacional y transdisciplinar (Munclus, 1998). Pero su pensamiento no se limita a la teoría de la educación, porque penetra espacios tan diferentes como lo social y lo empírico-analítico. Esa transdisciplinariedad en su obra está vinculada a otra dimensión: la globalidad. Aunque su pensamiento es internacional e internacionalista, ante todo es un educador, y desde este punto de vista construyó su visión humano-internacionalista (socialista).

Por otro lado, es común que los términos interdisciplinariedad y transdisciplinariedad se utilicen indistintamente, aunque tienen diferentes connotaciones (complementarias y no-antagónicas) para designar un procedimiento de la escuela, que tiene como objetivo construir conocimiento no-fragmentado. Lo que le permite al

estudiante establecer relaciones con el mundo y consigo mismo a través de una visión holística en la transformación de la propia situación que encuentra en ciertos momentos de su vida. Pero la complejidad y la dimensión universal del pensamiento de Paulo Freire trascienden hacia la transdisciplinariedad como otro tema central de su obra, porque como educador transita a través de diversas áreas del conocimiento. Él desarrolló el concepto de interdisciplinariedad dialogando con educadores de distintas escuelas y a partir del análisis de la práctica concreta y de la experiencia vivida con el grupo (Mazza y Nogueira, 1988). La acción pedagógica a través de sus puntos de vista de la interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad los utilizó para la construcción de una escuela participante y comprometida en la formación de agentes sociales. El educador, sujeto de su acción pedagógica, es capaz de elaborar programas y métodos de enseñanza y aprendizaje, y de adquirir la capacidad para introducir la escuela en la comunidad. El objetivo fundamental de la interdisciplinariedad es vivir la experiencia de una realidad global, que se produce dentro de la vida cotidiana de los estudiantes, los profesores y la comunidad. Mientras en la escuela tradicional la experiencia es compartimentada y fragmentada, el objetivo de la interdisciplinariedad es articular sabiduría, conocimiento, experiencia vivida, escuela, comunidad, medio ambiente,… Lo que se traduce en una práctica de trabajo colectivo y solidario en la organización de la escuela. No hay interdisciplinariedad sin descentralización de poder, y como tal sin una autonomía efectiva de la escuela (Gadoti, 1992).

Esa pedagogía crítica propugnada por Freire sustenta un enfoque transdisciplinar y sostiene que los educadores necesitan desarrollar políticas y didácticas que combinen el legado modernista de la justicia social, la igualdad, la libertad y los derechos, con las preocupaciones modernas tardías de diferencia, pluralidad, poder, discurso, identidad y desarrollo, como elementos de un posmodernismo democrático. A raíz de las perspectivas de Freire como teórico crítico en pos de una reconstrucción pedagógica, se incluyen directamente las preocupaciones expresadas por los estudiantes en materia de ciudadanía participativa y de integración. Lentes que se consideran disciplinarios y profesionales en el literatura, y que Nicolescu (1999, 2002) las retoma bajo un enfoque transdisciplinar, donde el concepto clave es la aproximación a los niveles de realidad. Estos niveles inducen una estructura multidimensional y multireferencial de la realidad, lo que significa la convivencia entre la pluralidad compleja y la unidad abierta. Cada nivel se caracteriza por su carácter incompleto, y las leyes que rigen cada uno solamente son una parte de la totalidad de las leyes que rigen a los demás. Incluso, la totalidad de las leyes no agota toda la realidad, porque también hay que considerar la interacción sujeto-objeto. La unidad de los niveles de realidad del objeto y su zona complementaria de no-resistencia definen al objeto transdisciplinar, y la unidad de los niveles de realidad del sujeto y esta zona complementaria de no-resistencia definen al sujeto transdisciplinar.

El prefijo *trans* significa simplemente ir más allá, por lo tanto la transdisciplinariedad es al mismo tiempo una actitud y una forma de acción (Klein, 2004), que fomenta el diálogo entre especialistas con un reconocimiento de múltiples sitios nuevos y formas de creación de conocimiento (Kincheloe y McLaren, 2005; Moore y Mitchell, 2008). En otras palabras, es lo que está entre, a través y más allá de todas las disciplinas en las que se fomenta una unidad de conocimiento sobre el mundo (Nicolescu, 2005). El enfoque transdisciplinar también es congruente con la afirmación de Hyslop y Thayler (2009), de que contrariamente al modelo reproductivo de educación para la ciudadanía, la educación basada en la pedagogía crítica de Freire considera a la sociedad y a la ciudadanía como algo dinámico, fluido y en construcción permanente, y como fundamental para el cambio social, que en la práctica es a la vez imaginable y posible.

2 Freire en el desarrollo de la transdisciplinariedad

Desde una perspectiva occidental, una etapa importante de este desarrollo se remonta a 1970, cuando los estados miembros de la OECD se reunieron para discutir cómo superar la especialización continua en la investigación y en la educación superior y en las instituciones sociales en general, lo que se consideraba una importante fuente de riesgos para la civilización moderna (CERI, 1972). De acuerdo con Erich Jantsch (1972), las innovaciones en la planificación para la sociedad en general que realiza la asociación Universidad-Empresa-Estado, deben incluir una profunda reorganización de los sistemas de educación hacia uno de educación/innovación, ya que actualmente no tiene sentido el clásico enfoque secuencial de una sola vía para la resolución de problemas. Jantsch propone que el conocimiento debe estar organizado en sistemas con cuatro niveles jerárquicos de coordinación: 1) *intencional*: significado de valor, 2) *normativo*: diseño de sistemas sociales, 3) *pragmático*: tecnología física, ecología natural, ecología social, y 4) *empírico*: mundo físico inanimado, mundo físico animado, mundo humano psicológico. La coordinación debe seguir principios horizontales dentro de cada nivel y verticales entre los niveles y sub-niveles. Al último grado de coordinación lo llamó *transdisciplinariedad*. Este principio podría considerarse como un marco para sistemas multi-nivel y multi-objetivo, y la Teoría General de Sistemas y la Teoría de las Organizaciones, como sistemas orientados a metas, serían planos para marcos transdisciplinares, porque la característica esencial de un enfoque de este tipo es la coordinación de las actividades en todos los niveles del sistema educación/innovación, en pro de un objetivo común (Jantsch, 1972). Este concepto de transdisciplinariedad es un enfoque científico sistemáticamente diseñado *top-down*.

En el momento en que Jantsch propuso esta idea, la Teoría de Sistemas y el análisis y modelado de sistemas habían avanzado hasta convertirse en paradigmas de liderazgo en las ciencias naturales y en lo social. Ambos se utilizaban para describir y analizar los riesgos que plantea el cambio global para los sistemas de soporte de la vida, como resultado de los múltiples y mal entendidos efectos secundarios negativos relacionados con el creciente uso de los recursos naturales y el crecimiento de la población (Forrester 1961; Meadows et al., 1972). Actualmente, y a pesar del desarrollo de las transformaciones transdisciplinares de la ciencia (Schellnhuber, 1999; Costanza, 2003; Max, 2005), la implementación de la transdisciplinariedad no se ha iniciado en la forma en que Jantsch (1972) previó, de un sistema de educación/innovación con la escuela como su motor principal. En su lugar, a menudo la investigación de este tipo se encuentra en las instituciones intermedias, y sobre todo tiene que ver con cuestiones muy específicas acerca de la resolución de problemas de la sociedad, casi siempre a nivel local pero en ocasiones a escala global. En parte, esto se debe a la fuerte resistencia contra las transformaciones transdisciplinares por parte de la academia, y también porque Jantsch no le da un rol importante a la sociedad civil. Como Funtowicz, Ravetz y O'Connor (1998) afirman, el objetivo de la labor científica en el nuevo contexto bien puede ser para mejorar el proceso de la resolución social de problemas, incluyendo la participación y el aprendizaje mutuo entre las partes interesadas, en lugar de una solución o implementación tecnológica definitiva. Este es un cambio importante en la relación entre la identificación del problema y las perspectivas de las soluciones basadas en la ciencia.

En esta perspectiva la investigación transdisciplinar se ve como parte de un proceso social con fuertes elementos *down-top*. Estos procesos sociales tratan sobre la edificación de valores y normas explícitas y negociables en la sociedad y en la ciencia, y atribuyen significado al conocimiento que proviene de esta última para la resolución de los

problemas de la sociedad. Dentro de este marco hermenéutico de resolución de problemas se incluye la transformación de actitudes y el desarrollo de capacidades personales, junto con el desarrollo de destrezas, las transformaciones institucionales y el desarrollo tecnológico. En esta línea de pensamiento, la investigación-acción de Hart y Bond (1995) es otro concepto científico radical en el que la teoría y la práctica deben ser mutuamente beneficiosas. La investigación-acción es impulsada por tres principios: 1) la ubicación de su punto de partida en la realidad social, es decir, las interpretaciones de la realidad, y por lo tanto se relaciona con los enfoques de investigación social, hermenéuticos, o cualitativos; 2) la acción en la investigación de campo, que integra la investigación en la promoción de la acción social para comparar las consecuencias de sus diferentes formas; y para lograr este objetivo, la acción, la investigación y la educación tiene que formar un triángulo interconectado; y 3) el estado del objeto de la investigación o participación, en el que los investigadores y los sujetos investigados deben ser tanto investigadores como investigados, y donde todo el mundo debe participar en la situación e intervenir para crear un cambio de acuerdo con sus capacidades.

Desde otra perspectiva, el desarrollo de la transdisciplinariedad se desenvuelve estrechamente relacionado con los impactos del pensamiento de Paulo Freire y Leonardo Boff. La Pedagogía del Oprimido de Freire (1970) se puede considerar como un desafío a la economía y a los modelos de desarrollo, impulsados por la tecnología basada en el conocimiento científico disciplinar. Este autor entiende la alfabetización no solamente en términos de la lectura de palabras, sino también en la lectura del mundo. Esto significa que crear una conciencia crítica en las personas es un importante contenido para el desarrollo del mundo. Este cambio en la comprensión del desarrollo se profundizó aún más al relacionarlo con la Teología de la Liberación de Boff (1986), una metodología específica para trabajar con las personas. Al poner a la educación en la perspectiva de una transformación de las estructuras sociales y políticas, y encaminada a la liberación de los oprimidos, se reconocieron por primera vez las necesidades de muchas organizaciones civiles (Moya y Wey, 2003). Con la metodología de la educación de la liberación de Freire y Bolf, y mediante la integración de las visiones, metas y acciones de los actores locales en las agendas de desarrollo, se sentaron las bases para una re-conceptualización del enfoque *top-down* dominante, y la transferencia de tecnología se aproximó a la investigación, la extensión y el desarrollo tecnológico. La investigación y el desarrollo se definieron cada vez más en términos de indicadores sociales y políticos, en lugar de en términos de ingresos, rendimiento, tecnología u otras formas de modernización. Esto ha dado lugar, desde finales de 1970, al surgimiento de enfoques de desarrollo con el objetivo de crear activamente asociaciones orientadas a la equidad entre la población rural, los investigadores y los trabajadores.

En ese camino y desde mediados de la década de 1990, las experiencias derivadas de la educación de la liberación y la teología de la liberación se convirtieron en fuentes importantes para el desarrollo de metodologías de investigación basadas en amplios rangos de participación de actores sociales, considerados convencionalmente como beneficiarios u objetos de investigación (Chambers, 1994). Posteriormente evolucionaron con la incorporación más explícita de temas ambientales y ecológicos, con lo que estas metodologías se convirtieron en una de las características básicas del desarrollo sostenible (Brutschin y Wiesmann, 2002). La interacción de las diversas apreciaciones acerca del desarrollo de las naciones originó lo que podría llamarse una versión meridional de la transdisciplinariedad, que dio lugar a intensos debates sobre su acción social en las transformaciones sociales. Morrow y Torres (2002) muestran que la teoría de la acción comunicativa de Habermas proporciona un marco teórico más preciso para

las ideas pedagógicas de Freire, a la vez que éste desarrolla las implicaciones educativas prácticas de la concepción de la acción comunicativa, en la que su confianza compartida en el aprendizaje dialógico y reflexivo es un elemento común básico. Con el fin de reducir los riesgos de choques cognitivos, Rist et al. (2004) sugieren utilizar el pensamiento del aprendizaje reflexivo entre actores, pertenecientes a diferentes sistemas de conocimiento, como un diálogo entre comunidades epistémicas diferentes, que se entiende como redes de *expertos* o grupos basados en el conocimiento y que están unidas entre sí a través de las creencias causales y el intercambio de ideas de validez, en función de criterios definidos internamente para la evaluación y los compromisos normativos. Es decir, una especie de diálogo transdisciplinar.

Siguiendo las líneas del pensamiento de Freire en este desarrollo, la transdisciplinariedad se utiliza para investigar qué demandas direccionan el conocimiento para la resolución de problemas sociales, con respecto a las preocupaciones más complejas. Resolución de problemas en este contexto significa abordar cuestiones como la degradación de la tierra o las pandemias mediante una amplia comprensión, y participar en la deliberación, la investigación y el desarrollo sobre por qué y cómo tienen que modificarse las prácticas e instituciones encargadas. Por lo tanto, la investigación transdisciplinar se relaciona con el bien común como principio de justificación básica de las instituciones sociales. El bien común se entiende generalmente como lo opuesto a los intereses privados. Además, el conocimiento acerca de las relaciones sistémicas complejas es incierto, y la deliberación sobre los fines y los medios de los cambios sociales también tienen que seguir el principio de precaución, que dice que, en caso de una amenaza incierta, es obligatorio algún tipo de acción (Sandin, 1999). En este caso, la investigación transdisciplinar se ocupa de las demandas de conocimiento para la resolución de problemas en las situaciones sociales complejas con respecto al bien común. Estas situaciones pueden estar relacionados con, pero no limitadas a, los bienes públicos, como sugieren algunos autores (Kötter y Balsiger, 1999).

Por otro lado, Paulo Freire está más preocupado con el cambio social a través de la revelación o desmitificación de la realidad que puedan lograr los oprimidos con el despertar de su conciencia crítica, y de esta forma fomentar un proceso de transformación emancipadora. Además, pone el concepto de praxis en el centro de su enfoque, por lo que la acción sucede en concierto con la reflexión, un proceso de revisar continuamente cómo las acciones humanas afectan al mundo (Taylor, 1998). Es por esto que en su perspectiva, la sostenibilidad se representa como un problema complejo que requiere un enfoque transdisciplinar. Las características que definen esta transdisciplinariedad involucran un pensamiento colaborativo, creativo y de orden superior, que trasciende los límites disciplinares, la contribución explícita de una perspectiva ética o moral a la resolución de problemas, y la generación de nuevos conocimientos y nuevas resoluciones que no están disponibles en entornos multi o interdisciplinares. Estas características se alinean con las teorías sobre el *aprendizaje transformativo* y sobre la *evolución de la conciencia* de Wilber (2001). Sin embargo, todavía es necesario saber cómo traducirlas a la práctica. La metodología de los sistemas blandos podría proporcionar ese elemento práctico faltante, pero no necesariamente se debe enfatizar en el aprendizaje transformativo o en las perspectivas morales alineadas con la sostenibilidad, es decir, se debe valorar soluciones socialmente justas, económicamente rentables y ecológicamente provechosas (Ledezma y Rubio 2011).

Algunos investigadores han planteado la necesidad de un enfoque transdisciplinar para la sostenibilidad (Meppem y Gill 1998; Max, 2005; Wickson et al., 2006), en lugar de

proporcionar un proceso particular para hacerle frente a un problema con cierto nivel de complejidad. En este sentido y de acuerdo con Freire y Shor (2003), se puede interpretar que la transdisciplinariedad:

1. Requiere una manera general para aplicar el pensamiento colaborativo, creativo y de orden superior, que trascienda las fronteras disciplinares.
2. Requiere la coordinación entre los diferentes niveles de conocimiento, que van desde lo empírico a lo orientado a valores.
3. Permite nuevo conocimiento, por lo que las nuevas resoluciones no son posibles en entornos multi o interdisciplinares.
4. Conlleva una combinación de diferentes tipos de conocimiento, de tal manera que el todo es más que la suma de sus partes.
5. Es una forma de auto-transformación orientada hacia el conocimiento de sí mismo, la unidad del conocimiento y la creación de un nuevo arte de vivir.
6. Necesita explícitamente la contribución de una perspectiva ética o moral para la resolución de problemas.

En este sentido, una de las áreas que más impacta el desarrollo de la teoría transdisciplinar de Freire es la educación. Trabajando con campesinos sin tierra en Brasil, desarrolló un programa con el objetivo de lograr una conciencia crítica o concientización, es decir, una aproximación crítica permanente a la realidad con el fin de descubrirla, a la vez que a los mitos que engañan y ayudan a mantener la opresión deshumanizante de las estructuras (Dale et al., 1976). Una experiencia que ha servido de base para aquellos que trabajan con el cocimiento y sus tipos, y aunque la epistemología contemporánea tiende a centrarse en el conocimiento proposicional, también distingue entre el explícito y el tácito, es decir, *saber qué* vs *saber cómo* (Ryle, 1949; Ernest, 1999).

Aristóteles (1953) distinguía tres ámbitos de conocimiento y estados del conocer: *Theoria*, *Techne* y *Praxis*. El estado uno se refiere al conocimiento abstracto y universal, denominado *Episteme*, y que es aplicable a todas las disciplinas. El estado dos es el conocimiento impartido, algo así como la *técnica*, originalmente referido a las granjas, los hogares y las necesidades diarias para hacer y componer objetos, y que es aplicable solamente a cada disciplina individualmente. El tercero corresponde a lo que se podría llamar la *sabiduría práctica*, y es el conocimiento adquirido a través del proceso del hacer. Sin embargo, a diferencia de *Techne* tiene una dimensión ética en el centro, y razona y ejerce con el bien humano como objeto. Es un conocimiento transdisciplinar que proviene de diversas fuentes para poder considerarse correcto. Aunque *Praxis* es un término adoptado por los teóricos marxistas, y de hecho corresponde en algunos aspectos al tercer paradigma del conocimiento de Habermas (1971), es decir, la teoría crítica con interés emancipatorio, apenas figura en la epistemología actual (por fuera de la filosofía de la educación de Freire).

Por su parte, Gibbons et al. (1997) describen la producción de conocimiento en la postmodernidad como una caída de dos modos: uno proviene de una comunidad disciplinaria y cuyos resultados son productos intelectuales producidos y consumidos dentro de las universidades tradicionales orientadas a la investigación. Es el tipo de conocimiento que está asociado a grados de investigación, como los estudios doctorales, y su legitimidad está determinada por las universidades, los académicos que trabajan en el área y las revistas científicas que lo difunden. Esto se corresponde con la *Theoria* y la *Episteme* de Aristóteles y es el tema de la epistemología tradicional. Por el contrario, el

otro se refiere a la identificación y solución de problemas prácticos en la vida diaria de las personas y la sociedad, en lugar de estar centrado y *bronceándose* en los intereses académicos de una disciplina o comunidad. Este conocimiento se caracteriza por un conjunto de atributos relacionados con la resolución de problemas en torno a una aplicación y contexto particular, y es donde el pensamiento transdisciplinar de Freire encuentra fecundidad y aplicabilidad porque:

1. Los diferentes conocimientos y habilidades de los profesionales se juntan con el único fin de resolver un problema, por lo que desarrollan y aplican una visión transdisciplinar en lugar de limitarse a una sola disciplina académica.
2. La trayectoria del conocimiento se orienta a la resolución de problemas, y el contexto, las condiciones, e incluso el equipo de investigación pueden cambiar en el tiempo que determine el curso del proyecto.
3. La producción de conocimiento se lleva a cabo en una amplia gama de organizaciones formales e informales interesadas, pero se extiende mucho más allá de las universidades.
4. El enfoque en los problemas socialmente motivados significa que la responsabilidad social y la reflexividad se deben incorporar desde el inicio del proyecto.

3 Transdisciplinariedad y educación en Freire

Paulo Freire fue el más destacado y popular educador de Brasil y fundador de la pedagogía de la liberación y del movimiento de masas por la alfabetización de adultos. Su enfoque educativo basado en la concientización vincula la acción a la reflexión, y su postura transdisciplinar y visión del mundo se siguen aplicando hoy en los estudios sobre desarrollo y educación, porque leer el mundo es una tarea fundamental para entender la realidad con base en el diálogo, la dialéctica y un enfoque contextualizado y orientado a los problemas. Además, para describir un mundo estructurado por la dominación y la opresión se exige un enfoque no-dualista, que vincule a la acción y a la estructura de la ética y la racionalidad en un intento de democratización global. Algo que no se puede lograr con una visión disciplinar, porque la parcialidad en la educación esclaviza el conocimiento a temáticas independientes y aisladas, y de esta forma no podría lograr su cometido de liberación (Freire, 2003).

Freire describe el deseo de comprender el mundo utilizando una imagen de lectura del mismo, porque la capacidad de interpretarlo y darle un significado es necesario para orientarse en él. Leer el mundo implica algo más que memorizar conocimientos y absorber sabiduría desconocida. El conocimiento no puede ser depositado en una cuenta bancaria mental, sino que se basa en las relaciones con las personas y el mundo. Esta lectura colectiva no tiene un fin en sí misma, no es más que el primer paso para estimular el uso de los conocimientos y las habilidades creativas del hombre, para que sea capaz de actuar. El punto es conocer al mundo de forma transdisciplinar para actuar conscientemente. Este contenido no está escrito en papel sino en la vida, lo que significa que excede el ámbito convencional de la investigación, la educación y el mundo de las ideas.

Escribir el mundo es una metáfora de la capacidad de cambiar el curso de las cosas con acciones propias provenientes del conocimiento desde diversas disciplinas. Pero en lo que se refiere a la organización del mundo, la mayoría de los seres humanos todavía son analfabetas, porque las necesidades inherentes, que hacen que los asuntos políticos y económicos parezcan leyes naturales, se impregnan diariamente como mitos en sus

mentes. Muchas personas consideran que es normal y natural la forma en que viven y la forma en que la sociedad se está desarrollando. Algunos no tienen ni sienten la necesidad de cambiar nada, otros consideran que es imposible. Pero como expresa Liessmann (2006), la imposibilidad de la libertad se proclama en nombre de la libertad. Primero, esta concepción de la libertad es anti-democrática (Hayek 1978), y segundo, no es más que una libertad negativa de las limitaciones, no una libertad activa para crear. Freire (2000) contrasta esto con una pedagogía de la esperanza en la que todo podría ser diferente.

Ya sea que la propuesta del diálogo, la democracia y la solidaridad de Freire se haga realidad o no, es una cuestión práctica que se puede responder a través de experimentos reales. No hay ninguna garantía, no hay necesidad ni lógica en la historia que pueda llevarla inevitablemente a las comunidades dialógicas que abarcan a la humanidad, donde florezca el juicio recíproco, el discurso práctico y la persuasión racional. Este movimiento ganará realidad y poder solamente si las personas se dedican a la tarea práctica de promover la solidaridad, la participación y el reconocimiento mutuo, en los que se fundamentan las comunidades dialógicas (Bernstein, 1983). El pensamiento de Freire sigue un enfoque de investigación basado en el conocimiento que da la experiencia. Las personas no investigan simples objetos de investigación, sino que aprenden junto a aquellos que conocen su entorno social. El conocimiento que da la experiencia no se puede adoptar a puerta cerrada, sino a través de la exploración del mundo y el intercambio con los demás. Una cooperación y una educación política de y para el desarrollo e investigación, les permite reflexionar y politizar para pasar por la vida con los ojos abiertos, para descubrir nuevas cosas, o para explorar o cambiar su propio medio ambiente y social. De esta manera, la intuición, el compromiso y los conocimientos técnicos tienen que ser afilados de forma simultánea, así como la capacidad para hacerle frente a la contradicción, los cambios y la incertidumbre. De esta manera se puede sintetizar el pensamiento de Freire acerca de la transdisciplinariedad en la educación para la comprensión del mundo.

La idea esencial de Freire (1970) es el respeto hacia los demás y a su forma de pensar y de vivir. La arrogancia elitista y el paternalismo, aunque bien intencionados, igualmente obstaculizan no solamente una relación que quiere hacer diferencia, sino también una que apunta a la comprensión mutua. Se trata del diálogo entre los investigadores al igual que sobre los objetos de investigación, que son al mismo tiempo los sujetos de la transformación social. Esta *Praxis* de investigación interactiva es transdisciplinar (Novy, 2004) y no implica un rechazo a las disciplinas y sus métodos y habilidades, ni sustituye la disciplina y su estricta forma de pensar y de actuar, porque el conocimiento requiere disciplina (Freire y Shor, 2003). Lo que sí implica es reconocer que el conocimiento necesario para solucionar los problemas complejos de la sociedad actual no puede provenir de una sola disciplina, sino que requiere una acción transdisciplinar para lograrlo. Esto es a lo que debe apuntar la educación en este siglo (Serna, 2015).

Además, la primacía del ser y el devenir posicionan claramente al pensamiento y la investigación como partes de un proceso que no se puede separar dualísticamente. Freire anima a intervenir en el mundo, pero con una *Praxis* modificada de transformación que se ha aprendido de los fracasos de los proyectos dualistas y mecánicos (Bhaskar, 2002). Él aspira a una forma de desarrollo como la superación de la injusticia y la opresión, a fin de permitir el libre desarrollo de todas las personas. En un mundo conflictivo, esta percepción integral de resultados de desarrollo se transforma en una concepción de la liberación del mundo, donde el progreso se acompaña de enriquecimiento de unos pocos. Paulo Freire invita a considerar al desarrollo como la liberación de todo hombre y pueblo

del planeta. Lo que también implica la liberación de estructuras que permiten y conducen a la acumulación de riqueza y desarrollo para unos pocos, que solamente se puede abordar de manera integral y transdisciplinar, tanto desde los centros como desde las periferias para pensar y actuar.

Desde esta perspectiva y dada la moderna comprensión del lenguaje y las prácticas de alfabetización en la educación, Freire entendió y enseñó que ésta no se puede ver de forma aislada de las diversas fuerzas sociales que conducen a la marginación individual o grupal. De hecho, las prácticas discursivas y las ideologías que forja son un medio fundamental por el cual se mantiene la desigualdad social. La educación crítica defendida por Freire es un mecanismo crucial en la deconstrucción de los discursos sociales dominantes, una herramienta para eliminar la desigualdad social a gran escala, mediante la exposición de los efectos perniciosos de la ideología sobre la conciencia y la construcción social. Su trabajo mejora la comprensión y descripción del mundo que tienen las personas, y es a través de su maquinaria conceptual que se manifiesta de manera efectiva la transformación de las relaciones sociales desiguales.

Al igual que otros conceptos educativos, las concepciones de la alfabetización contienen teorías sociales o modelos de orden social, poder social y cambio social; promueven teorías del trabajador-empleador y las relaciones de clase; e implican cómo deben comportarse y pensar los trabajadores en la economía global. Educar de esta forma, con su reificación de las condiciones estructurales actuales, promueve el *statu quo* social ignorando discursos alternativos que ofrecen análisis alternos. En la pedagogía crítica desarrollada por Freire, el orden social existente no se presenta como la consecuencia inexorable de la historia o de la naturaleza humana, sino más bien como un artificio construido para proteger a los poderosos intereses ideológicos. Las prácticas pedagógicas asociadas crean en los estudiantes las necesidades de adelantar y participar en las agendas políticas corporativas, y los animan a la reconstrucción social para lograr la justicia social. Porque su análisis transdisciplinar de los niveles de realidad les brinda la capacidad de leer el mundo e intervenirlo para buscar el bienestar común.

Por todo esto es que la obra de Freire sea hoy posiblemente más relevante que nunca antes en la historia del desarrollo social. En el contexto actual de reforma económica mundial, las prácticas de economía de mercado prevalecientes son sostenidas por fuerzas ideológicas que marginan los discursos de venta libre, que al mismo tiempo operan a través de la educación pública para legitimarse a sí mismas. Los mitos lingüísticos que acompañan esta visión son especialmente relevantes dentro del pensamiento de Freire, porque presenta un sesgo distintivo, ilusorio y objetivista sobre las discusiones en educación en general, y en la alfabetización en particular. Algo que este autor recalca como altamente perjudicial para la sociedad, y que para combatirlos decide promulgar su idea de la transdisciplinariedad en la alfabetización y en general en la educación, porque de esta forma el ser humano adquiere los elementos de valor que le permitan leer el mundo. Además, el valor de los sistemas y programas educativos contemporáneos, en todos los niveles, se juzga casi exclusivamente por lo bien que cumplen con los requisitos del mercado laboral. Por lo que, como trabajadores y ciudadanos, las personas simplemente heredan e interpretan el mundo como una entidad estática, y adoptan un enfoque servil para la interacción social y para participar en el mercado laboral.

En este sentido, una comprensión más sofisticada del lenguaje revela un proceso complejo y dinámico de comunicación, que opera para dar forma a la realidad social y que lo hace simplemente para etiquetarla. Un obstáculo importante para la perspectiva de Freire sobre la educación es que gran parte de la investigación actual en este campo se

niega a considerar el contexto histórico, social, o cultural de su materia objeto de investigación. De hecho, la opinión de que únicamente la investigación empírica es creíble exhorta de cierta medida al cierre del debate educativo, al limitarlo sobre importantes consideraciones morales o sociales que son supuestos normativos que están al acecho detrás de las preguntas de investigación que se formulan (Serna, 2011). Por el contrario, la idea de que la educación debe ser emancipatoria y humanizadora casi nunca es objeto de la investigación académica contemporánea. Por eso es que la educación popular, basada en la teoría de referencia y la metodología de Paulo Freire, se lleva a cabo a través de un proceso de formación continua, permanente y transdisciplinar, y con la intención de transformar la realidad a partir de la dirección de los propios sujetos. Las actividades de capacitación se basan en prácticas teórico-metodológicas, y tienen lugar en círculos culturales que permiten leer el mundo y realizar una profundización teórica para el desarrollo de estrategias para la acción. Por todo esto es que su enfoque es de *Praxis* reflexiva.

4 Transdisciplinariedad y conocimiento en Freire

Para algunos parece como si el ataque epistemológico posmoderno intentara aproximar la escuela a los centros de producción de conocimiento surgidos recientemente, que desarrollan una diversidad de funciones y que interactúan con otros organismos, como la industria. En los tiempos de crisis económica, el atributo de la universidad moderna desinteresada (Filmer, 1997), necesario para la construcción de una ciencia coherente y de largo plazo, constituye un lujo que los gobiernos no pueden permitirse. Además, el carácter no-jerárquico de producción de conocimiento, un concepto que se extiende también a la idea social y cultural, determina lo que se ha denominado la *pluralización de la función de élite* (Gibbons et al., 1997). Todo esto apunta a la erosión de los atributos de la escuela como el mayor *experto* epistemológico de la sociedad. Ahora bien, de acuerdo con criterios económicos y políticos los gobiernos crean cotidianamente nuevos comités burocráticos, con el objetivo de etiquetar como excelentes a las instituciones que cumplan con los nuevos criterios extra-científicos formulados por el mismo Estado. En este contexto y con el fin de obtener financiación para la investigación, los temas académicos deben incluir formas híbridas de trabajo disciplinar (Gibbons et al., 1997) y temas socialmente relevantes cercanos a lo cotidiano, que contribuyan a resolver los problemas del mundo real.

Por otro lado, las tendencias epistemológicas posmodernas también plantean ciertas exigencias a los miembros de la comunidad académica, a los que se les pide asumir múltiples identidades cognitivas a fin de desarrollar un trabajo transdisciplinar. Pero está muy lejos de ser claro cómo puede combinar un académico los atributos simbólico-analistas de la educación amplia y polivalente, con la especialización exigida por el estudio profundo del campo disciplinar en el que desarrolla su trabajo. El propio campo político también ha experimentado cambios sustanciales, porque ahora los *expertos* en pensamiento político e industrial intervienen en su configuración, y las prioridades científicas son generadas de formas híbridas y compuestas por una diversidad de actores con alguna dimensión social. Además, la nueva política científica de producción de conocimiento se basa en las personas y la competencia; promueve la transdisciplinariedad y la cooperación internacional; administra la relación entre competencia y colaboración; promueve la permeabilidad y el crecimiento de las redes internacionales; tiende a enfrentarse a un posible desequilibrio entre la inestabilidad institucional y la permanencia; promueve la diversidad, la experimentación y la creatividad; y concibe especialidades con un carácter transdisciplinar y orientado a la solución de problemas.

En este contexto de post-milenio, post-colonia e incluso post-neoliberalismo, toma cada vez mayor fuerza la noción de lo que constituye una expresión cultural o política efectiva de ciudadanía democrática. Como Hyslop y Thayer (2009) señalan, son tiempos extremadamente tenues para los estados democráticos modernos y más generalmente para la democracia, porque como sociedad mundial deriva peligrosamente hacia el colapso capitalista neo-liberal, sin la aparición de algún paradigma alternativo viable. Esto es tanto más cierto en la ocurrencia tardía del sociólogo Zygmunt Bauman (2000), para quien la humanidad vive un momento de modernidad líquida entre una multitud competidora de valores, normas y estilos de vida sin garantía firme y confiable. Pero esa humanidad sigue siendo cautelosamente optimista en el sentido que expresa Freire (1970), pero sobre todo, a medida que se observa en los medios las revoluciones/revelaciones contemporáneas, producidas en sus propios espacios geopolíticos y a través de fenómenos globalizados. Lo que Freire deja claro es que la educación es una práctica política y moral que proporciona conocimientos, habilidades y relaciones sociales que les permiten a los estudiantes explorar por sí mismos las posibilidades de lo que significa ser ciudadanos comprometidos, mientras que amplían y profundizan su participación con la promesa de una democracia sustantiva.

Pese a todo, la humanidad está muy interesada en cómo vivir y enseñar los principios participativos subyacentes en la perspectiva de Freire. Desde el aporte de este pensador es posible imaginar algunos procesos para la creación de un paradigma alternativo y viable, que se puede llevar a cabo en el marco transdisciplinar de expresiones activas, participativas e incluyentes. Los seguidores de este pensamiento a menudo conectan su trabajo a las opiniones críticas de cómo la educación tiene una tendencia hacia la *educación bancaria*, un término acuñado por Paulo Freire para describir el autoritarismo dentro de los sistemas, estructuras y procesos educativos. A modo de generalización, el aparente modelo dominante en la educación reacciona contra el conocimiento del mundo que tienen los estudiantes en sus propias situaciones locales. Los profesores pueden enseñar problemas globales de comunicación, pero debido a una serie de desafíos les puede resultar difícil utilizar la globalidad dentro de los proyectos locales. Estos esfuerzos rara vez son reconocidos dentro de las instituciones, y muchas veces son resistidos por los estudiantes y las administraciones. Esto ya había sido previsto por Freire, cuando propuso una interacción transdisciplinar desde la producción, generación, transmisión, aceptación y aprehensión del conocimiento.

Freire utiliza procesos de comunicación del conocimiento para repensar la educación y desafiar los valores y normas, tanto de los profesores como de los estudiantes, y como un esfuerzo en la alfabetización de adultos y el cambio social. Argumenta a favor de un rechazo a la marcada tendencia de acercarse al desarrollo de la enseñanza y de la comunidad, mediante la difusión o ampliación de la información disfrazada como conocimiento. Muy a menudo, la *educación bancaria* posiciona individualidades vacías y aviva la necesidad de realizar depósitos de conocimiento en aquellos con autoridad sobre el proceso de aprendizaje. Freire contrarresta este principio con la noción de una educación de la liberación, que implica participación y comunicación dialógica para la construcción de la conciencia (concientización), y que utiliza como herramientas al pensamiento crítico y a la reflexión sobre las situaciones sociales. También cree que la educación dialógica puede ayudar a los seres humanos a ser más comunicativos, porque está equipada para transformar la realidad desde el conocimiento transdisciplinar.

Desde esta perspectiva, el aprendizaje se desarrolla en tres grandes dimensiones estratégicas para una nueva existencia: en primer lugar, se convierte en tema privilegiado,

una verdadera materia prima que facilita el ejercicio del aprendizaje para vivir. Como tal, no es solamente un campo de conocimiento o algún proyecto educativo transdisciplinar, porque carece de inspiración en los recursos inagotables de estudio que se ofrecen en el ámbito social. La increíble variedad de vida en el planeta y la dinámica próspera de las situaciones humanas, sociales, culturales y económicas que tienen lugar en el mismo, le dan forma de laboratorio pleno con derecho a experimentar la vida y a alcanzar un aprendizaje comunitario, aprovechando al máximo el conocimiento adquirido en el intercambio disciplinar. En segundo lugar, el mundo puede convertirse en una referencia duradera y fértil para el proyecto educativo. En otras palabras, se asume como el medio natural para la educación. En tanto la comunicación humana florece en los ricos encuentros entre los modelos de vida y las ideas, el mundo se convierte en un lugar de diversidad cultural, y por tanto en una fuente de alfabetización cívica. El desarrollo humano tiene lugar de forma natural, y en este salón de aprendizaje se genera su combustible constante. En tercer lugar, el mundo estimula la educación. Las actividades creativas lo penetran con ritmo globalizado desde los campos de las artes, las ciencias, la tecnología, la economía, la arquitectura, el diseño,… Que son los incentivos para una educación continua e informal de todos los conciudadanos que se reúnen alrededor de la escuela. Como tal, en el pensamiento de Freire acerca del conocimiento y la transdisciplinariedad el mundo es una agencia natural de educación continua, y debería re-orientarse en torno al progreso moral, espiritual y material de sus miembros.

En un mundo así, la gestión del conocimiento se realiza mediante el fomento de profundas y duraderas aspiraciones humanas. Aunque la expresión iluminadora de Paulo Freire del *aprendizaje dialógico* se refiere a la esencia de los seres comunicativos, es decir, a personas que se sienten con poder para actuar sobre la transformación del mundo en sentido comunitario de la gestión del conocimiento. Por lo tanto el diálogo, como fundamento de la alfabetización y la educación continua, introduce la poderosa noción del conocimiento como suelo fértil para el ejercicio de una ciudadanía plena y consciente; con asenso de urbanidad; asumiendo un lugar donde el conocimiento y la escuela no están en conflicto; y donde la vida y el aprendizaje no son fuerzas antagónicas. Freire (1988) describe esto como el proceso de desarrollo de una conciencia crítica de la realidad social a través de la reflexión-acción. La acción es fundamental, porque es el proceso de cambiar la realidad. Él afirma que las personas adquieren mitos sociales que tienen una tendencia dominante, y solamente un aprendizaje como proceso crítico les permite descubrir los verdaderos problemas y las necesidades reales (Freire, 1973). La idea de que el conocimiento es vivido y no trasplantado es una principio central en su filosofía (Gadotti, 1994), y por otro lado, la concientización es el proceso clave por el cual las personas desarrollan una conciencia crítica del mundo, con base en la experiencia concreta de su vida cotidiana. El desarrollo de la conciencia crítica a través de la concientización altera las relaciones de poder entre estudiantes y profesores y entre colonizado y colonizador, transformando así los objetos de conocimiento en temas históricos (Freire, 1990). Freire propone una teoría dialógica de la acción basada en la comunicación y la cooperación, necesarias no solamente para entender el papel mediador de la histórica, las colonias y las relaciones de clase, sino también para el trabajo activo de cambiarlas a través de una acertada gestión del conocimiento transdisciplinar.

Debido a que el objetivo subyacente en este proceso es educar para la paz, la convivencia y el desarrollo armónico, el verdadero conocimiento solamente se podría alcanzar con una gestión transdisciplinar de la ciencia, considerada como la fuente del mismo. La imagen construida de esta forma ofrece una de las teorías más tempranas, integradoras y globales del conocimiento, es decir, de su creación y transformación. Como

las ideas, las imágenes y los conceptos se nutren, el conocimiento se transforma en contenido general de investigación al servicio de la sociedad. A medida que esta concepción ha crecido y madurado han surgido muchas perspectivas que se adicionan, entre las que es posible mencionar las transformadoras de Betty Reardon (1988, 1993), Paulo Freire (1970, 1973) y Jack Mezirow (1991), desde las que la gestión del conocimiento puede ser entendida como filosofía y práctica de la enseñanza, y al aprendizaje como informador de valor y dirigido hacia el cambio y la transformación personal, social, política, institucional y global. Su objetivo es transformar la naturaleza con base en el conocimiento transdisciplinar a su alcance, pero de forma global y de manera integral para transformar la cultura de las sociedades.

En este sentido, un principio clave de la perspectiva de Boulding (1956) es que el conocimiento es subjetivo, por lo que sostiene que se crea como resultado de toda la experiencia pasada de su poseedor. Freire (1988) comparte elementos de esta perspectiva en su concepción de la educación emancipadora, donde la pedagogía tiene sus raíces en las teorías y modos de aprendizaje, *porque enseñar no es transferir conocimiento sino crear las posibilidades para su producción o construcción*. Esta pedagogía enfatiza en ayudarles a las personas a pensar de manera crítica, pero no dicta qué pensar. Freire asume que el estudiante no es una pizarra en blanco o un recipiente vacío, y por lo tanto, la pedagogía emancipadora debe orientarse principalmente a ayudarle a utilizar su contenido, pero mostrándole cómo aplicarlo y enriquecerlo. Aquí, Boulding y Freire comparten una concepción similar de gestión del conocimiento, porque la concepción de Freire de una educación emancipadora es esencialmente su naturaleza de transformación, al igual que el impacto del mensaje de Boulding.

En todo caso, el nuevo conocimiento que genera la ciencia es transdisciplinar y surge cuando los mensajes disciplinares se cruzan y se comunican con la imagen del mundo que tienen las personas. Los mensajes no sustituyen a la imagen, sino que la modifican o reorganizan. En esta ecuación, el conocimiento individual y subjetivo es el elemento más importante, porque además de ser un principio en la formulación de la pedagogía, exige que el educador tenga en cuenta las experiencias y la visión del mundo que tiene el estudiante. Este es el principio que se opone a la suposición errónea de que el papel de los educadores es ayudarles a los estudiantes a desaprender los mitos que han concebido. En este marco transdisciplinar es imposible desaprender, y por lo tanto, el enfoque que proponen estas perspectivas es contrario a esa retórica popular. El camino de la visión de Boulding y Freire es encontrar procesos para desarrollar nuevos mensajes que alimenten la imagen existente, con la esperanza de alternarla, reorganizarla, o transformarla. Pero si el objetivo pedagógico es reemplazar la imagen, esto solamente encontrará resistencia. Además de las preocupaciones pedagógicas, al examinar estos dos enfoques se debe tener en cuenta una cuestión de valor, porque la gestión del conocimiento transdisciplinar es un campo explícito de valores, y la escuela debe abandonar el concepto de des-aprendizaje porque está en contradicción directa con el concepto de dignidad humana. Las experiencias y la visión subjetiva del mundo que tienen las personas no pueden ser desechadas, porque son su realidad, vivida independientemente del momento que comparten con la escuela y con el sistema.

5 Conclusiones

En este capítulo se identifican y analizan las ideas de Freire relacionadas con la transdisciplinariedad en educación y en la gestión del conocimiento, y que ofrecen importantes contribuciones al desarrollo equitativo del mundo. Estas van desde la teoría de la concientización, derivada y desarrollada a partir de su método de alfabetización, al

diálogo como medio para lograr la concientización; a la no-neutralidad de la educación, ya que puede ser liberadora; a la crítica de la *educación bancaria*, porque es incompatible con la educación liberadora y promueve la invasión cultural; y al concepto de la comunicación, concebido como el intercambio de significados acerca de las realidades a través del diálogo crítico transdisciplinar. Además, se presenta una discusión de hasta qué punto y en qué contextos en el mundo contemporáneo tienen valor estas ideas y por lo tanto son relevantes. Teniendo en cuenta las realidades de la sociedad actual, sobre todo en las zonas rurales, las ideas de Freire parecen más relevantes hoy que nunca antes para los sistemas de educación, porque pueden conducir a la liberación personal, a la auto-determinación, a la movilización y la acción política, y a una radical transformación social.

La concepción de Freire de la educación, como un proyecto profundamente político orientado hacia la transformación de la sociedad, ha sido crucial para la educación de las sociedades modernas, así como en las democracias occidentales. Su trabajo ha ejercido una influencia considerable entre los educadores en gran parte del mundo, especialmente en el contexto de las tradiciones emergentes de la transdisciplinariedad, la pedagogía crítica, la educación continuada y la educación multicultural. Es evidente que su teoría ha influido en movimientos revolucionarios educativos y sociales en todo el mundo, y que sus escritos filosóficos han intervenido en disciplinas académicas tales como la teología, la sociología, la antropología, la lingüística aplicada, la pedagogía y los estudios culturales. Su propuesta de un sistema educativo centrado en el estudiante y con un aprendizaje que desafíe la construcción del conocimiento en el sistema formal, ha servido de base para una construcción transdisciplinar que impacte y solucione los problemas sociales. Este enfoque está en marcado contraste con la práctica educativa convencional, a la que él se refiere como *educación bancaria*. Además, su filosofía es válida y útil en el mundo de hoy, porque los problemas actuales tienen necesidad de análisis crítico, de coordinación, de diálogo y de intervención-acción. Por todo esto el pensamiento de Freire sigue siendo relevante en todos los aspectos y en todos los tiempos.

Las ideas de Freire revelan una nueva forma de ver la educación, el cambio social y la gestión del conocimiento. A través de ellas proporciona el principio de la alfabetización general, como una misión para despertar en las personas una conciencia crítica, que les permita no solamente saber lo que hay que cambiar sino ser totalmente humanas, que es el derecho que tienen como sociedad y no solamente para unos pocos privilegiados. Esta conciencia les crea la voluntad o la motivación para luchar por el cambio social, además, y como reflejo de los elementos humanistas del esencialismo aristotélico, se ha comentado que Freire se centra en las necesidades ontológicas de las personas de ser plenamente humanas a través del pensamiento y la acción. La educación crítica que defiende es fundamental para la auto-realización, porque les ayuda a las personas con desventajas económicas a apreciar los factores causales estructurales que crean su situacionalidad, y a entender cómo el discurso y la estructura social pueden ser puestos al servicio del bien común. También les permite reconocer que tienen la capacidad, a través de la *Praxis*, de transformar sus circunstancias: *Voy a empezar por reafirmar que los hombres, como seres de la Praxis, se diferencian de los animales que son seres de pura actividad. Ellos no consideran el mundo; están inmersos en él. En contraste, los hombres salen del mundo, lo objetivisan, y al hacerlo, lo entienden y transforman con su trabajo* (Freire, 1970, pp. 119).

Aunque se puede tomar con excepción legítima esta representación de los animales, su aspecto general sigue siendo crucial en la comprensión de su pedagogía. Como seres humanos y de acuerdo con la visión existencialista presentanda en este capítulo, las personas poseen una conciencia que las distingue de los demás seres vivos. No son más

conscientes en el sentido de que son seres sintientes (obviamente, todos los animales de orden superior poseen esta característica); más bien, la conciencia les permite comprender el contexto histórico de las circunstancias en que se encuentran. También reconocen el distintivo mundo objetivo en que se encuentran y se dan cuenta de que, al menos potencialmente, pueden reconstruirlo en una variedad de formas a través de la acción. El reconocimiento de esta orientación y su interacción con él, constituye la base de la conciencia emancipadora humana, la *Praxis* y la libertad personal. Freire sugiere que en todas las etapas de su liberación, los oprimidos deben verse a sí mismos como seres que participan en la vocación ontológica e histórica de ser plenamente humanos. De esta forma, las personas desarrollan una comprensión de que las condiciones neo-liberales, sociales y económicas, así como las prácticas de aprendizaje instrumentales que defienden, no son el resultado inevitable de la historia, sino más bien la consecuencia de una acción conscientemente dirigida. Asimismo, se dan cuenta de que la opresión es un acto histórico que puede ser trascendido a través de nuevas medidas, de un nuevo pensamiento-acción y de una revolución en la gestión transdisciplinar del conocimiento que genera la ciencia.

Referencias

Aristotle. (1953). The ethics of Aristotle (The Nichomachean Ethics). London: Penguin Classics.

Bauman, Z. (2000). Liquid modernity. Oxford: Blackwell Publishers.

Bernstein, R. (1983). Beyond objectivism and relativism. Oxford: Basil Blackwell.

Bhaskar, R. (2002). Reflections on Meta-Reality: A philosophy for the present. London: Sage.

Boff, C. (1986). Cómo trabajar con el pueblo: Metodología de trabajo popular. Petrópolis: Vozes.

Boulding, K. (1956). The Image: Knowledge in life and society. Ann Arbor: University of Michigan Press.

Brutschin, J. & Urs, W. (2002). Transdisciplinary research in developmental cooperation: Origins and paradigms. Encyclopedia of Life Support Systems. Oxford: EOLSS Publishers.

CERI (1972). Interdisciplinarity - Problems of teaching and research in universities. Centre for Educational Research and Innovation. Paris: OECD.

Chambers, R. (1994). The origins of participatory rural appraisal. World Development 22, pp. 935-969.

Costanza, R. (2003). A vision of the future of science: Reintegrating the study of humans and the rest of nature. Futures 35, pp. 651-671.

Dale, R. et al. (1976). Schooling and capitalism. London: Routledge and Kegan Paul.

Ernest, P. (1999). Forms of knowledge in mathematics and mathematics education: Philosophical and rhetorical perspectives. Educational Studies in Mathematics 38, pp. 67-83.

Fillmer, P. (1977). Disinterestedness and the modern university. In Smith, A. & Webster, F. (Eds.), The postmodern university? Contested vision of higher education in society. Buckingham: The Society for Research into Higher Education and Open University Press.

Forrester, J. (1961). Industrial dynamics. Cambridge: MIT Press.

Freire, P. & Ira, S. (2003). Medo e ousadia – O cotidiano do professor. São Paulo: Paz e Terra.

Freire, P. (1970). Pedagogy of the oppressed. New York: Seabury.

Freire, P. (1973). Education for critical consciousness. New York: Seabury.

Freire, P. (1988). The adult literacy process as cultural action for freedom and education and conscientizacao. In Eugene, R. et al. (Eds.), Perspectives on Literacy (398-409). Carbondale: Southern Illinois University Press.

Freire, P. (1998). Pedagogy of freedom. New York: Rowman & Littlefield.

Freire, P. (2000). Pedagogia da indignação. São Paulo: Fundação Editora da UNESP (FEU).

Freire, P. (2003). Educação como prática da liberdade. São Paulo: Paz e Terra.

Funtowicz, S. et al. (1998). Challenges in the use of science for sustainable development. International Journal for Sustainable Development 1, pp. 99-107.

Gadotti, M. (1992). Escola cidadã: uma aula sobre a autonomia da escola (Citizen school: a lesson about school autonomy). São Paulo: Cortez.

Freire, P. (1994). Reading Paulo Freire. His life and work. New York: SUNY press.

Moya, X. &, Wey, S. (2003). Winning spaces: Participatory methodologies in rural processes in Mexico. Brighton: Sussex Institute of Development Studies.

Gibbons, M. et al. (1977). The new production of knowledge. The dynamics of science and research in contemporary societies. London: Sage.

Habermas, J. (1971). Knowledge and human interests. London: Heinemann.

Hart, F. & y Bond, M. (1995). Action research for health and social care: A guide to practice. Buckingham: Open University Press.

Hyslop, M. & Thayer, J. (2009). Teaching democracy – Citizenship education as critical pedagogy. Rotterdam: Sense Publishers.

Jantsch, E. (1972). Towards interdisciplinarity and transdisciplinarity in education and innovation. In CERI (Ed.), Interdisciplinarity - Problems of teaching and research in universities, pp. 97-121. Paris: OECD.

Kincheloe, J. & Mclaren, P. (2005). Rethinking critical theory and qualitative research. In Denzin, N. & Lincoln, S. (Eds.), The Sage handbook of qualitative research, pp. 303-342. Thousand Oaks: Sage.

Klein, J. (2004). Prospects for transdisciplinarity. Futures 36, pp. 515-526.

Kötter, R. & Balsiger, P. (1999). Interdisciplinarity and transdisciplinarity: A constant challenge to the sciences. Issues in Integrative Studies 17, pp. 87-120.

Max, M. (2005). Foundations of transdisciplinarity. Ecological Economics 53, pp. 5-16.

Mazza, D. & Nogueira, A. (1988). The school which we make. Petrópolis: Vozes.

Meadows, D. et al. (1972). The limits to growth. London: Potomac.

Meppem, T. & Gill, R. (1988). Planning for sustainability as a learning concept. Ecological Economics 26, pp. 121-137.

Mezirow, J. (1991). Transformative dimensions of adult learning. San Francisco: Jossey-Bass.

Monclus, A. (1998). Pedagogía de la contradicción: Paulo Freire. Barcelona: Anthropos.

Moore, S. & Mitchell, R. (2008). Power, pedagogy and praxis: Social justice in the globalized classroom. Rotterdam: Sense Publishers.

Morrow, R. & Torres, C. (2002). Reading Freire and Habermas: Critical pedagogy and transformative social change. New York: Teachers College Press.
Nicolescu, B. (1999). The transdisciplinary evolution of learning. Paper presented to the Symposium on Overcoming the Underdevelopment of Learning held at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. Montreal, Canada.
Nicolescu, B. (2002). Manifesto of transdisciplinarity. New York: State University of New York Press.
Nicolescu, B. (2005). Transdisciplinarity – Past, present and future. In Haverkott, B. & Reijntjes, C. (Eds.), Proceedings Moving Worldviews Conference, pp. 142-165. Leusden: ETC/Compas.
Novy, A. (2004). Entwicklungsforschung als Beitrag zu einer anderen Welt. SRE Discussion Papers 04. Institut für Wirtschaftsgeographie. Vienna: WU Vienna University of Economics and Business.
Reardon, B. (1988). Comprehensive peace education: Educating for global responsibility. New York: Teachers College Press.
Reardon, B. (1993). Pedagogy as purpose: Peace education in the context of violence. In Cremin, P. (Ed.), Education for peace, pp. 101-113. Ireland: Educational Studies.
Rist, S. et al. (2004). From epistemic monoculture to cooperation between epistemic communities - development research and sustainability. Proceedings of the International Conference on 'Bridging Scales and Epistemologies'. Alexandria, Egypt.
Ryle, G. (1949). The concept of mind. London: Hutchinson.
Sandin, P. (1999). Dimensions of the precautionary principle. Human and Ecological Risk Assessment 5, pp. 889-907.
Schellnhuber, H. (1999). Earth system analysis and the second Copernican revolution. Nature 402, pp. C19-C23.
Serna, M.E. (2011). De las Competencias, la Formación, la Investigación y otras: Visiones de Reflexión. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
Serna, M.E. (2015). Por qué falla el sistema de educación. Medellín: Ed. Instituto Antioqueño de Investigación.
Taylor, E. (1998). The theory and practice of transformative learning: A critical review. Information Series 374. Columbus: Center on Education and Training for Employment.
Wickson, F. et al. (2006). Transdisciplinary research: Characteristics, quandaries and qualities. Futures 38, pp. 1046-1059.
Wilber, K. (2001). Sex, ecology and spirituality: The spirit of evolution. London: Shambhala.
Ledezma, P. & Rubio, A. (2011). The practice of training in Software Engineering. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (RACCIS) 1, pp. 30-33.

Capítulo VI

La Investigación Transdisciplinar

Actualmente, existen diversas definiciones para el enfoque de la investigación transdisciplinar (Guimaraes y Funtowicz, 2006), pero en este capítulo se describe como una metodología que trasciende fronteras entre y más allá de las disciplinas, conocimientos y perspectivas de diferentes disciplinas científicas, y que integra fuentes no-científicas (Nicolescu, 1987, 1999, 2005; Flinterman et al., 2001; Klien et al., 2001; Gibbons y Nowotny, 2001). También se presenta un análisis y una discusión a la investigación transdisciplinar y a algunas propuestas metodológicas para lograrla, con una visión desde las necesidades de formación para atender la complejidad de los problemas del mundo en el siglo XXI.

1 Introducción

Los cambios analizados en la educación terciaria desde la Declaración de Bolonia, le indican a las universidades que deben adaptar sus planes de estudios a nuevas formas de enseñanza-aprendizaje. Estos cambios implican cualificaciones en términos de resultados de aprendizaje, habilidades, destrezas y perfiles que promocionen la diversidad desde un enfoque interdisciplinar. Pero actualmente se puede considerar que este análisis se ha quedado corto, porque la generación digital, la complejidad de los problemas y la imposibilidad de las soluciones disciplinares han hecho que necesariamente se piense en un nuevo enfoque transdisciplinar y en didácticas que estén más acordes con esta realidad.

Además, el progreso de la ciencia ha ido acompañado de un creciente grado de especialización, lo que causa una departamentalización en la que cada disciplina tiene sus propios profesionales, su propio lenguaje y sus propias reglas de análisis y validación. Paralelamente a esta tendencia hacia la segregación, se presenta un esfuerzo por sintetizar y unificar las disciplinas bajo un punto de vista funcional e inter-relacional. Esta nueva tendencia rompe la naturaleza mono-disciplinar reinante en las diferentes disciplinas e integra tanto aspectos sociales como naturales. En tal sentido, se pueden describir varios niveles de cooperación o de relación (Torres, 1994; Gómez et al., 2004) entre disciplinas: 1) *multidisciplinariedad*, que ocurre cuando la solución de un problema exige la información y la ayuda proporcionada por varias disciplinas, sin un enriquecimiento mutuo; 2) *pluridisciplinariedad*, en el que se produce una cooperación efectiva entre las disciplinas, pero en ausencia de una coordinación real; 3) *interdisciplinariedad*, que implica una voluntad de compromiso para desarrollar un marco más amplio y en el que cada disciplina que interactúa es modificada y empieza a depender claramente de las otras; 4) *transdisciplinariedad*, el nivel más alto de integración y que solamente puede lograrse en el marco de un trabajo colaborativo e integrado de conocimientos y objetivos comunes.

La primera referencia conocida del término transdisciplinariedad se puede encontrar en un artículo sobre unidad del conocimiento escrito por Niels Bohr (1960), sin embargo, el primer uso documentado se encuentra en un texto de Jean Piaget (1972). La transdisciplinariedad es un nivel de interacción entre sujetos, que es superior y diferente a la interdisciplinariedad. Representa la construcción integral de un sistema sin fronteras sólidas entre disciplinas, por lo que puede considerarse como una Teoría General de Sistemas que incolucra estructuras operativas y regulatorias y sistemas probabilísticos, y

que une esas diferentes posibilidades por medio de transformaciones reguladas y definidas (Piaget, 1975). Esta integración se produce dentro de un sistema omnicomprensivo, persiguiendo objetivos comunes bajo la idea de unificación epistemológica y cultural (Torres, 1994; Wilson, 1998). Esta tarea no está por fuera de los objetivos de formación, porque para ser verdaderamente universitarios los estudiantes tienen que ser transdisciplinares. Aunque la transdisciplinariedad no es una nueva disciplina o híper-disciplina, la investigación disciplinar puede alimentarla debido a que ambos enfoques no necesitan antagonizar, sino que pueden ser complementarios.

Por otro lado, las universidades deben ser conscientes de que la complejidad de los problemas globales requiere enfoques transdisciplinares y la interacción de diversas ciencias, disciplinas y dimensiones; que las barreras disciplinares se deben derrumbar con el fin de obtener análisis y soluciones globales; que las nuevas tecnologías pueden proporcionar herramientas para un desarrollo sostenible, pero que deben ser integradas en un marco de nuevos valores; y que en este siglo deben cambiar las relaciones sociales, naturales y tecnológicas de la humanidad.

2 La investigación transdisciplinar

Esencialmente, la investigación transdisciplinar es ciencia de equipo. En un esfuerzo de investigación de este tipo, cada científico contribuye con su experiencia única y puede trabajar completamente por fuera de su propia disciplina. Los integrantes se esfuerzan por comprender la complejidad de todo el proyecto, en lugar de una parte del mismo. Les permite a los investigadores trascender sus propias disciplinas para comprender el trabajo de otros, capturar la complejidad y crear nuevos espacios intelectuales. Aunque se tiende a confundir la investigación transdisciplinar, multidisciplinar e interdisciplinar, existen diferencias sustanciales entre ellas, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Características distintivas de la investigación

Multidisciplinar	Interdisciplinar	Transdisciplinar
Los investigadores de diversas disciplinas trabajan juntos en algún momento del proyecto, pero presentan preguntas y conclusiones por separado y difunden en revistas diferentes	Los investigadores interactúan con el objetivo de transferir conocimientos de una disciplina a otra, se informan del trabajo de cada uno, pero comparan y difunden los resultados de forma independiente	Es una colaboración en la que el intercambio de información, la alteración de los enfoques disciplinares específicos, el intercambio de recursos y la integración de disciplinas, logra un objetivo científico común (Rosenfield, 1992).

La investigación transdisciplinar se basa en objetivos de integración e implementación. En ella, el proceso de investigación tiene como meta crear un espacio para el pensamiento común, el aprendizaje mutuo y la acción conjunta entre compañeros de diversas disciplinas y campos, con el fin de crear conocimiento, comprenderlo e inducir una transformación. Por lo tanto, se tiene que establecer una metodología integradora, que consiste en un conjunto de diferentes tipos de métodos que se mezclan y se acopla en el proceso de investigación. Estos métodos oscilan entre los de cooperación, que proporcionan condiciones para una integración a nivel social y cognitivo para evaluar, y los deliberativos, para tratar sistemáticamente con diversas fuentes de conocimientos, intereses, valores y normas, entre las que se incluyen la gestión y los métodos de evaluación, así como los respectivos métodos de investigación disciplinar o interdisciplinar. Debido al carácter ideográfico de la investigación transdisciplinar, estas combinaciones y adaptaciones varían de acuerdo con el ajuste de la investigación y el tema respectivo. En consecuencia, las metodologías de investigación transdisciplinar tienden a

estar dispuestas específicamente para cada proyecto. Por lo tanto, para consolidarlas es importante clarificar las dinámicas y diversidades de mixturas y métodos.

El equipo de trabajo transdisciplinar debe compartir la opinión de que un objetivo clave de esta metodología es facilitar una visión emergente, y que el conocimiento y la interacción no pueden preverse o diseñarse con anticipación, ni como resultado específico para una solución a un problema. La transdisciplinariedad extiende el alcance, los métodos y las perspectivas de las disciplinas existentes, al mismo tiempo que el respeto y el uso de los marcos disciplinares existentes. Además, hace un llamado para el desarrollo de enfoques teóricos, conceptuales y orientados a la práctica, tanto como un proceso de análisis *post-hoc*, para la síntesis cualitativa de la investigación colaborativa en los marcos interdisciplinares, y como un marco metodológico para forjar enfoques innovadores para la investigación colaborativa, es decir, la investigación impulsada, además, busca identificar temas y referencias nuevas. Estas metodologías de investigación se utilizan para desarrollar un enfoque normativo que, intencionalmente, estimula investigadores como co-productores activos de conocimientos para resolver problemas (Scholz, 2011; Lang et al., 2012).

La investigación transdisciplinar emerge como un modo de co-producción de conocimiento, que va mucho más allá de la comprensión tradicional de la investigación interdisciplinar. La mejor manera de definirla es que implica la realización de investigaciones interdisciplinarias con, en lugar de para, la sociedad, con el fin de co-producir soluciones socialmente sólidas a los problemas complejos, que actualmente no pueden ser abordados ni resueltos por enfoques mono o interdisciplinares (Scholz y Tietje, 2002; Thompson, 2004; Hirsch et al., 2006; Hadorn et al., 2008; Regeer y Bunders, 2009; Scholz, 2011; Lang et al., 2012). Siguiendo a Latour (2005), este cambio del *para* al *con* abre la caja de Pandora de los viejos y nuevos debates sobre el carácter profundamente relacional del conocimiento, que ya no se puede reducir a las enumeraciones cuantitativas consideradas sacrosantas por las ciencias naturales.

El calentamiento global, el agotamiento de los recursos naturales y el aumento de la pobreza, son solamente algunos de los problemas complejos que merecen una respuesta transdisciplinar. Son complejos, porque realmente son problemas a nivel planetario, porque están siendo producidos tanto por la naturaleza como por la sociedad, y porque tienen consecuencias a largo plazo para ambas. Estos problemas híbridos ya no pueden ser abordados con tratamientos aislados desde lo natural y lo social, como dos realidades radicalmente diferentes e inconexas que deben, a su vez, ser trabajadas separadamente por las ciencias naturales y los campos sociales. Este enfoque dividido solamente puede producir conocimiento parcial de estos problemas, mientras que las necesidades de hoy claman por soluciones integradas, basadas en conjuntos de conocimientos integrados (Morin, 1999). La justificación de la reclamación como un nuevo modo de co-producción de conocimiento es fundamental para los investigadores, que trabajan desde un enfoque transdisciplinar para establecerla en la comunidad científica como creíble y científica. Ellos han tratado de demostrar que es necesario comenzar con enunciados compartidos de los problemas del mundo, que luego se pueden traducir en enunciados de problemas científicos y preguntas de investigación. Este esquema proporciona la base para la investigación co-producida con actores sociales, para generar conocimiento relevante para ellos y que a la vez pueda ser válido.

El enfoque transdisciplinar ha estado muy centrado en el descubrimiento, el diseño y la producción de metodologías transdisciplinares adecuadas, que puedan ser replicables en diferentes contextos. Ellas tienen por objeto integrar con éxito el conocimiento teórico

cuantitativo y cualitativo con el transformativo generado socialmente, para producir conocimiento científicamente válido y socialmente útil. Pero al hacerlo, el enfoque transdisciplinar no solamente ha producido un nuevo guion, sino que ha creado la justificación para una dramaturgia mucho más audaz y completa, que se espera pueda manejar un investigador promedio. En la práctica, esto le crea al investigador un modo más complejo de participación: como participante enterado y como observador extraño.

3 Características y desafíos de la investigación transdisciplinar

Los desafíos de trabajar en disciplinas transversales han sido descritos desde diferentes ámbitos, y numerosos estudios han identificado las dificultades asociadas en la consecución de este tipo de visión integradora en la ciencia (Younglove et al., 1999; Klein et al., 2001), en los negocios (Eaton, 2001) y en equipos de colaboración intersectorial y global (Gray, 1995; Vansina, Taillieu y Schruijer, 1998; Cramton, 2001). Mientras que algunos esfuerzos científicos tienden a resistir el pensamiento de grupo, que muchos han sugerido explica el fracaso del equipo que llevó a la catástrofe del Challenger (Hirokawa, Gouran y Martz, 1988; Moorhead, Ference y Neck, 1991), los equipos transdisciplinares son más propensos a experimentar el problema opuesto. Si el pensamiento grupal se refiere a la supresión de las diferencias dentro de un equipo y su incapacidad para salvar las divergencias de poder, en los proyectos transdisciplinares la incomprensión y el desacuerdo son mucho más probables. Las disputas entre científicos acerca de la validez de los marcos conceptuales de cada uno, los desajustes entre recompensas subrayando competencias disciplinares sobre la innovación y los desincentivos institucionales, han obstaculizado o impedido el éxito de muchos esfuerzos transdisciplinares (Younglove et al., 1999; Klein, 1996; Remick, 2000).

Para estos equipos, el éxito también puede ser difícil de alcanzar cuando los investigadores carecen de un enfoque común del problema (Young, 2000). Por ejemplo, un equipo de economistas, filósofos e hidrólogos, que tratan de resolver problemas agrícolas, enfrentan conflictos para encontrar un marco y una metodología adecuados para que el estudio sea considerado de vanguardia por sus disciplinas individuales (Younglove, 1999). En otros equipos transdisciplinares las necesidades de los interesados por fuera de la academia, y no solamente las potencialmente científicas, se deben integrar con, e incluso conducir a, la actividad científica, pero esto necesariamente no coincide con el enfoque preferido por los científicos para el tema (Hollaender y Leroy, 2001). Además, la ausencia de habilidades para procesos tales como la toma de decisiones, la resolución de problemas, la resolución de conflictos, el intercambio de información y la coordinación y gestión de fronteras, también se han señalado como un obstáculo crucial para el trabajo colaborativo (Wondolleck, 1985; Gray, 1989; Schwartz, 2002; Gray y Schruijer, 2010). En las relaciones transdisciplinares, esta ausencia incluye resolución de cuestiones de legitimidad, mejoramiento de las diferencias de poder e integración de objetivos diversos (Wondolleck, 1985; Moorhead, Ference y Neck, 1991; Bouwen, Craps & Santos, 1999; Huxham y Vangen, 2005). A la luz de estos retos para la conformación de equipos, los líderes con habilidades para gestionar de forma colaborativa pueden hacer la diferencia entre el éxito y el fracaso de los esfuerzos transdisciplinares.

Esto quiere decir que el papel de estos líderes es tratar de superar o minimizar los errores clásicos en la toma de decisiones, en la planificación y en la cognición, al mismo tiempo que estimular la innovación y la resolución creativa de problemas en equipos transdisciplinares. En general, la investigación ha demostrado que un liderazgo apropiado puede mejorar la eficacia general de los equipos y aumentar la satisfacción de los

miembros (Fleishman y Harris, 1962; Maier, 1967; Fairhurst y Sarr, 1996). Para construir un modelo de liderazgo apropiado para colaboraciones transdisciplinares se utilizan los resultados de la investigación empírica en diversos equipos y en entornos multipartidistas, porque en esos contextos los miembros del equipo también trascienden diferencias para asegurar el éxito en el rendimiento (Gray, 1989; Huxham y Vangen, 2000). Por lo tanto, los modelos de liderazgo para los equipos transdisciplinares no son necesariamente únicos, sino que comparten diversas cuestiones de proceso con otros equipos, en los que la gestión de las diferencias es fundamental para aprovechar el completo potencial de sus integrantes como equipo.

Por ejemplo, un modelo de liderazgo para esfuerzos colaborativos multipartidistas propone que el liderazgo ofrezca mecanismos que conduzcan a políticas y actividades de colaboración en un sentido y no en otro (Huxham y Vangen, 2000). Desde esta perspectiva, el liderazgo puede ser conceptualizado como la creación de un modelo mental, o modo de pensar, al que se adhieren los seguidores. Entonces, el papel del líder implica la toma de sentido y en consecuencia es de naturaleza cognitiva. Otro enfoque destaca las cualidades de liderazgo e identifica las funciones estructurales que los líderes deben promulgar para garantizar el éxito. Por ejemplo, Young (2000) reporta la necesidad de un líder modesto, benevolente, visionario y fuerte; e identifica una lista de tareas de liderazgo que son paralelas a la gestión de proyectos, incluyendo la formulación de enfoque y la definición de objetivos, la contratación de los conocimientos técnicos necesarios y garantizar la rendición de cuentas del proyecto. Un tercer enfoque hace énfasis en la necesidad de liderazgo en los proceso, como facilitar la resolución de conflictos entre los miembros (Wondolleck, 1985; Von Glinow, Shapiro y Brett, 2004*).* En general, estas actividades se pueden agrupar en tres categorías generales:

- Las actividades *cognitivas* de liderazgo consisten en gran parte de visión y encuadre. Actualmente, la visión es una tarea a la que poco se recurre para lograr los objetivos preestablecidos, y mucho menos para liberar la propia curiosidad y creatividad del equipo. Este proceso visionario se refiere a la estimulación intelectual de investigadores con liderazgo transformacional (Bass, 1985) e incluye comportamientos líderes que promueven el pensamiento divergente y la atención a los riesgos y desafíos de los métodos establecidos (Kirkpatrick y Locke, 1996). Los líderes transdisciplinares deben ser capaces de imaginar cómo superponer de forma constructiva las diversas disciplinas, que podrían generar avances científicos y nuevos conocimientos en un área problemática específica. Ellos mismos tienen que apreciar el valor de este tipo de esfuerzos, ser capaces de comunicar su visión a los posibles colaboradores y construir un clima que fomente dicha colaboración. Limmerick y Cunnington (1993) describen este proceso como alcanzar la mentalidad correcta, que para ellos significa la comprensión y la creencia de que el trabajo en una alianza es preferible a otras formas de organización. Un segundo nivel de la visión cognitiva que los líderes deben animar se relaciona con el trabajo colaborativo. Trabajar de manera constructiva con otros en cualquier contexto requiere paciencia, tolerancia, apertura, escucha y capacidad de resolución de conflictos. Aunque estas habilidades no son exclusivas de los equipos transdisciplinares, claramente son beneficiosas. Los miembros del equipo transdisciplinar consultados acerca de sus líderes identifican en ellos rápidamente estos atributos.
- Las actividades *estructurales* de liderazgo direccionan la necesidad del equipo para coordinar e intercambiar información dentro, con otros equipos y/o con actores externos. La estructura de la red social, que relaciona las posiciones de los

participantes y líderes transdisciplinares dentro del equipo, puede mejorar el rendimiento general del mismo mediante la creación de capital social o la capacidad de tomar ventaja de las conexiones de red (Brass, 2001). Estos líderes son formados y capacitados, no son neuróticos, no están centralizados y tienen valores similares a los de sus compañeros (Klein et al., 2004). Una innovación estructural que ha fomentado el trabajo interdisciplinar dentro de las universidades es la creación de institutos de investigación administrados por fuera de la estructura tradicional. Estos dan visibilidad a las actividades de investigación particular, que de otro modo no se reconocerían como importantes. Iniciar y sostener esfuerzos de investigación transdisciplinar requiere liderazgo en forma de fuertes defensores en la estructura administrativa.

- Atender la dinámica del proceso de un equipo transdisciplinar exige un conjunto muy importante de habilidades interpersonales, que son críticas para la colaboración exitosa (Gray, Susman y Ren, 2005). Estos procesos de liderazgo incluyen una serie de actividades relacionadas, para asegurar que las interacciones entre los miembros del equipo sean constructivas y productivas. Varias sub-tareas caen bajo el paraguas de actividades *procesales* del equipo: diseñar reuniones, determinar qué reglas de juego podrían ser útiles, identificar tareas para orientar al logro de objetivos, construir confianza entre los integrantes, asegurar que ocurre la comunicación efectiva, obtener la aceptación de los miembros y sus instituciones y mediar en los conflictos que puedan surgir al momento que los miembros se esfuerzan por comprender e integrar conceptos, marcos y metodologías que puedan amenazar su zona de *confort* disciplinar. Algunas se parecen a tareas tradicionales de gestión de proyectos, tales como la fijación de objetivos, la planificación, la coordinación del intercambio de información y el seguimiento a los avances, pero otras requieren habilidades más orientadas interpersonalmente. En estos momentos, los líderes eficaces necesitan mostrar buena capacidad de escucha, empatía y capacidad para reorientar los esfuerzos del equipo hacia las metas de largo plazo.

Por otro lado, mientras que Wickson, Carew y Russell (2006) definen directamente los desafíos de la transdisciplinariedad y los separan de las características de la misma, es conveniente hacer un análisis en el que los primeros son inherentes a las segundas, y no se deben ver de forma separada, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Características y desafíos de la transdisciplinariedad

Características	**Desafíos**
Compleja Problemas, conocimientos y situaciones	Debido a que ya no se aplica la visión reduccionista de sistemas, en esta visión se presentan y enfrentan todos los desafíos de la complejidad en los distintos niveles en los procesos transdisciplinares, desde la gestión del equipo involucrado hasta el análisis del problema en sí.
Centrada en los problemas	Cuando diferentes personas de diferentes disciplinas están seleccionando un enfoque, puede que no sean capaces de ponerse de acuerdo sobre el problema, porque tienen diferentes visiones del mundo y de las áreas relacionadas.
Inclusive, tolerante, abierta y colaborativa Reconoce la existencia de diferentes niveles de la realidad	Este nivel de colaboración requiere no solamente una anulación de egos, sino que también presenta desafíos cuando ocurren paradojas.
Rigurosa y reflexiva Crítica	Esta característica es necesaria a fin de garantizar que los desafíos de colaboración no den lugar a un resultado de mala calidad.

Temporal y evolutiva	Desde la transdisciplinariedad no se establece una meta-teoría o metodología precisa, los implicados se enfrentan al reto de un proceso en constante evolución, que se ve influenciado por muchos métodos diferentes, y tal vez por procesos foráneos.
Práctica	Aunque muchos investigadores pueden abrazar la *Praxis* como una cuestión de rutina, ahora la teoría y la práctica de otras disciplinas tendrán influencia en la misma. Esto requiere traducción entre lenguajes disciplinares (Klein, 2000), de modo que los colaboradores puedan entenderse entre sí.

Cada una de estas características también puede conducir a más desafíos, lo que ilustra que la transdisciplinariedad es en sí misma un sistema complejo. Sin embargo, hay que reconocer que los esfuerzos por atender estos desafíos valen la pena, si el objetivo es resolver los muchos problemas complejos que enfrenta la sociedad actual. Esto se refleja en el reporte de McMichael (2000), donde señala que aunque las visiones reduccionistas han servido bien durante cientos de años, ahora hay una necesidad de enfocar los problemas de forma diferente. En un mundo cada vez más acosado por una serie de grandes problemas ambientales y sociales, muchos científicos están inquietos sobre el desequilibrio en el repertorio científico de los enfoques conceptuales y métodos de investigación. Hay necesidad de nuevos enfoques que puedan trascender los limitados horizontes disciplinares existentes y mirar a otros más amplios, acomodando las nuevas dimensiones de complejidad, escala e incertidumbre.

4 Metodología de la investigación transdisciplinar

Los componentes clave de una metodología de investigación transdisciplinar típica se presentan con el fin de posicionar los principios derivados, con la mayor precisión posible, dentro de la práctica de la investigación actual. Por otra parte, las aplicaciones de metodologías transdisciplinares tienen que lidiar con varios problemas prácticos: la participación, el desarrollo de un equipo coordinado y la integración de agentes intersectoriales y transversales. En este orden de ideas, Hirsch et al. (2008) citan que un proyecto de investigación transdisciplinar idealizado debe incluir los siguientes aspectos: identificación del problema, análisis del problema e implementación de resultados.

En la *identificación del problema* el objetivo es tener en cuenta el estado del conocimiento que existe en las disciplinas pertinentes y entre los actores de la sociedad, averiguar los aspectos importantes, decidir las cuestiones de investigación y determinar quién debe participar en el proceso. Los participantes se dedican elaborar de forma conjunta y a estructurar los temas en un campo relacionado. El aspecto de la identificación del problema puede demandar muchos recursos, porque no puede construirse sobre una base de conocimientos específicos, sino que requiere diálogo colaborativo entre actores de diversas disciplinas, que sean capaces y estén dispuestos a transgredir los límites disciplinares. Por eso es que una amplia gama de interesados tiene que participar en la discusión de las ontologías y epistemologías en juego.

En el *análisis del problema* la cuestión es determinar las posibles formas de colaboración y organización, con el fin de tener en cuenta los diferentes intereses y circunstancias. Es necesario comprender las formas en que las diversas perspectivas y realidades son, y pueden ser, conectadas, integradas y adaptadas.

Mientras que la *implementación* se basa en la síntesis y traducción del conocimiento generado, y toma en cuenta el contexto de los actores involucrados en las prácticas de transformación y en la promoción de lo que se percibe como bien común. Debido a que el conocimiento empírico es incierto, lo mismo que los propósitos y hábitos relativos a las

prácticas existentes, es importante que los investigadores aprendan acerca de las fortalezas y debilidades de las estrategias de resolución de problemas, y que desarrollen habilidades para la implementación y el seguimiento de los progresos, con el fin de que puedan adaptar las estrategias y propósitos alcanzados.

Esta estructura ideal de la investigación puede ser demasiado esquemática y no encaja completamente todas las diferentes experiencias transdisciplinares, que pueden tener estructuras diferentes. Tras este debate se puede decir que el núcleo de un proyecto transdisciplinar es la identificación del problema, incluyendo la identificación de las metodologías y los futuros desarrollos definidos en la fase de análisis del mismo. También se puede afirmar que la relación entre la identificación y el análisis de problemas debe ser recursiva y no-lineal. Vale la pena indicar una diferencia muy importante entre la estructura ideal propuesta y una más cercana a la realidad: en la primera, los participantes se definen desde el principio, sin embargo, la ampliación de los actores de la red se llevará a cabo durante todas las fases del proyecto, y la inclusión de los nuevos también se deben tener en cuenta en las fases posteriores.

Diversos autores han propuesto metodologías transdisciplinares, entre ellos es posible citar a Scholz et al. (2006), Pohl y Hirsch (2007), Jahn (2008), Wiek (2009), Carew y Wickson (2010), Krütli, et al. (2010), Stokols et al. (2010) y a Talwar, Wiek y Robinson (2011). Pero de acuerdo con Lang et al. (2012), una metodología transdisciplinar es una práctica de comunicación; se inicia a partir de problemas socialmente relevantes que implican y generan preguntas de investigación científica; y se basa en procesos de aprendizaje mutuo y de conjunto entre la ciencia y la sociedad, incrustados en los discursos sociales y científicos (Siebenhüner, 2004). De este modo, la metodología integra dos contextos: 1) problemas del mundo real, porque se ha comprometido a explorar nuevas opciones para solucionar problemas sociales, y 2) desarrollo de enfoques interdisciplinares, métodos y conocimientos generales, relacionados con el campo de problema, es decir, innovación científica.

Para estos autores, la metodología es un proceso de investigación transdisciplinar que se conceptualiza como una secuencia de tres fases: 1) enmarcar colaborativamente el problema y conformar un equipo de investigación colaborativo, 2) co-producir una solución orientada y transferir conocimiento a través de investigación colaborativa, y 3) re-integrar y aplicar los conocimientos producidos, tanto en la práctica científica como en lo social. Aunque esta metodología podría indicar un proceso lineal, a menudo las fases individuales y la secuencia global tienen que realizarse en un ciclo iterativo o recursivo, destacándose la necesidad de la reflectividad en la transdisciplinariedad (Spangenberg, 2011). De todos modos y para que coincida con el discurso internacional, es necesario adaptarla mediante un cambio en la terminología, subrayando la necesidad de un diseño deliberado de colaboración entre los actores del mundo académico y el social.

Muchos investigadores han presentado discusiones a estos aportes teóricos y experimentales clave, que han hecho que la transdisciplinariedad emerja como una nueva forma de ver la relación entre el conocimiento, la ciencia y la sociedad. Entre otros, puede citarse a Erich Jantsch, Michael Gibbons, Jürgen Habermas, Jean Piaget y Donald Schón. Otros han contribuido en gran medida a la difusión y el perfeccionamiento de esta metodología en las últimas décadas, incluyendo a Julie Thompson Klein y Edgar Morin. En conjunto, estos aportes proporcionan una comprensión de los orígenes, objetivos, principios y métodos de los enfoques transdisciplinares y de sus diferencias con enfoques multi o interdisciplinares. Por ejemplo, Klein (2004) presenta una revisión a las perspectivas de las contribuciones transdisciplinares para un futuro próximo. Su

optimismo se basa en el hecho de que las sociedades de hoy necesitan hacerle frente a conjuntos de problemas inter-relacionados, tales como la sostenibilidad, las relaciones interpersonales, el medio ambiente, la salud, la innovación tecnológica y la evaluación del riesgo, que no están confinados a los límites disciplinares convencionales o a la práctica profesional sectorial. Ella señala que hoy en día las contribuciones transdisciplinares se asocian comúnmente con una interpretación reciente de la investigación científica, que ha sido llamada *ciencia post-normal* y que está destinada a redefinir y reorganizar los tipos de conocimiento disponibles. Argumenta también que los académicos y científicos han sido impugnados por la sociedad civil a proporcionar conocimiento, que casi exclusivamente es aplicable solamente a los problemas sociales y a la eficiencia económica. Klein destaca que una de las diferencias más importantes entre las anteriores contribuciones interdisciplinares y las transdisciplinares actuales es la participación intencional de las partes interesadas en la definición de los problemas, los criterios y los objetivos, y los recursos utilizados para analizarlos y resolverlos. Cabe señalar que algunos de estos procesos de concertación son similares a los enfoques participativos en la arquitectura y el urbanismo, que se defendían en los años 1960 y 1970. Sin embargo, hoy en día la metodología transdisciplinar se ha convertido en una negociación orientada al actor del conocimiento, o a lo que Klein llama *una forma generativa de la comunicación-acción que es específica del contexto*. Ella concluye que la idea de investigar y tratar de comprender el mundo, en formas que atraviesan los campos de la investigación basada en la disciplina ortodoxa, tiene una larga historia que al parecer es un tanto oscura.

La idea central en la metodología transdisciplinar es que profesionales de diferentes disciplinas académicas trabajen conjuntamente para resolver un problema del mundo real, lo cual se puede aplicar en una amplia variedad de campos (Klein et al., 2001). De acuerdo con esto, la metodología tiene una tradición de mucho más tiempo que el indicado por el uso del término, que solamente se hizo popular en la década de 1990. En la década de 1970, cuando se desarrollaba el concepto de trabajo colaborativo, no existían conceptos como transdisciplinariedad y sostenibilidad. Sin embargo, la participación de la población local, las autoridades políticas y los especialistas tecnológicos eran un elemento importante en todas las líneas programáticas. Pero desde finales de 1980, la diferenciación entre los proyectos interdisciplinares y transdisciplinares comenzó a evolucionar, a la vez que se discutían sus alcances y características.

Atendiendo a estas reclamaciones, Bergmann y Jahn (2008) proponen una metodología transdisciplinar universal, en la que se pueden apoyar los investigadores para planificar y realizar complejas demandas de integración, para cumplir los objetivos duales de una investigación, para cada área de interés y de nuevos resultados interdisciplinares o disciplinares, tales como métodos, conceptos y teorías. Su propuesta se estructura en fases y actividades, como se observa en la Tabla 3. Para estos autores la integración transdisciplinar no es una tarea para el final de un proyecto; de hecho, tiene que ser un proceso paralelo durante la totalidad de las fases: desde la preparación y a través de todas las etapas. Para afrontar este reto es útil tener un modelo que se pueda utilizar como instrumento de planificación y herramienta práctica de evaluación. Por un lado, funciona para diferentes entornos de investigación sobre la base de su universalidad, y por el otro, es tan diferenciado que puede ayudar a identificar puntos esenciales en los procesos de toma de decisiones en las rutinas del proyecto. Este modelo tiene que ser práctico, pero también, en el sentido de entender la ciencia como una transformación del problema científico, tiene que permitir la auto-reflexión. El modelo tiene como objetivo apoyar proyectos de investigación en la fase de planificación y permite la garantía de calidad durante el proceso en sí mismo, o por medio de evaluaciones externas o internas.

Tabla 3. Metodología transdisciplinar de Bergmann y Jahn (2008)

Fases	Actividades
A	*A1. Formulación de un objeto común de investigación* El problema tiene que ser reformulado como un objeto de la investigación científica que cumple la función de un objeto de contorno, y que enmarca el proceso de identificación de las principales preguntas de investigación. Debe ser alcanzado de manera que todos los participantes lo acepten como una guía para su trabajo en el proyecto. Con esta formulación se proporciona una base cognitiva para la integración y la comunalidad (Klein, 2003) de todos los participantes en el proceso de investigación.
	A2. Diferenciación e integración potencial de diferencias El equipo de investigación tiene que identificar colectivamente y discutir las diferencias entre los enfoques disciplinares, los métodos específicos y los conceptos teóricos, y decidir sobre las líneas de investigación y la integración de los distintos resultados. Los trabajos de investigación de los sub-proyectos no deben ser separados en tareas disciplinares orientadas, con la esperanza equivocada de que la integración global al final del proyecto cerrará todos los huecos entre ellos.
	A3. Estructuración e integración del equipo La estrategia en cuanto al personal de investigación se debe llevar a cabo con la idea de la mejor combinación posible de las disciplinas, métodos y metodologías participantes. Por lo tanto, el equipo debe evitar la división de la investigación en tareas entre las instituciones. Un sub-equipo debe estar compuesto por investigadores de diferentes instituciones y campos y cooperar en cada uno de los sub-proyectos. Esta estrategia facilita la comprensión y el aprendizaje mutuo y asegura que el proceso de integración sea una parte integral de cada sub-proyecto.
B	*B1. Estructura de planificación integrativa* Al principio, tiene que llevarse a cabo un plan de red detallado para crear un calendario realista para el trabajo de investigación, y sobre todo para correlacionar las diferentes líneas de investigación y sus resultados en un momento oportuno del proceso. Esto es aún más importante cuando un sub-equipo tiene que basarse en los resultados de otro y depender de ese trabajo preparatorio.
	B2. Herramientas y procedimientos de trabajo Existe una serie de procedimientos, herramientas y medidas que se pueden utilizar para organizar el trabajo de investigación cooperativo entre las disciplinas. La idea es facilitar un proceso de comprensión e integración mutua para todo el grupo y los sub-grupos; lograr asociaciones entre investigadores de diferentes disciplinas para el control mutuo de la comprensión e integración potencial de resultados o publicaciones; crear sistemas comunes de categorías para la descripción, el análisis y la formación de los objetos de investigación; y estructurar métodos de criterios múltiples de evaluación y talleres de integración moderados. Este parece ser un procedimiento prometedor para la cooperación y el aprendizaje mutuo en ámbitos interdisciplinares.
C	*C1. Doble proceso de integración transdisciplinar* El tipo ideal de integración transdisciplinar se puede considerar como un éxito cuando el conocimiento generado e integrado se puede incorporar en las estrategias de resolución de problemas prácticos, así como en nuevo conocimiento interdisciplinar. Lo ideal sería que se incremente tanto la innovación científica como la transformación social. Pueden resultar nuevos objetos integrados y estrategias de resolución de problemas que abordan actores clave y herramientas de gestión, así como conceptos teóricos, métodos y nuevas preguntas de investigación. Dependiendo de los pasos de integración, llevados a cabo durante la planificación del proyecto y el proceso de investigación, esta fase final de la integración puede ser más o menos laboriosa. La gestión de la mayoría de proyectos de investigación transdisciplinar no logra estrategias fácilmente alcanzables para los procesos de transformación, ni métodos científicos, herramientas o teorías innovadores.

5 Conclusiones

La humanidad vive en un universo complejo, en el que la dinámica de los procesos de la investigación científica ha desbordado el sistema cartesiano metodista. Los problemas sociales de este siglo son complejos y las soluciones que exigen requieren la interacción de muchos profesionales desde diversas áreas disciplinares. Este contexto de la realidad ha llevado a que la ciencia deba responder y trabajar de forma diferente a como se hacía hasta el siglo pasado. Hoy se necesitan equipos de trabajo colaborativo, en los que las

disciplinas se comuniquen sin barreras y colaboren para encontrar soluciones eficientes y eficaces a estos problemas. Para responder adecuadamente a esa exigencia, los científicos han identificado que la mejor forma de hacer su trabajo es a través de metodologías transdisciplinares. En las que el cuerpo de conocimiento necesario para comprender, modelar y solucionar los problemas se alimenta desde las disciplinas involucradas, pero que es canalizado como un acuerdo en común de los equipos donde se comparte, comprende, analiza, discute y aplica a través del trabajo colaborativo y orientado específicamente a la solución.

La complejidad de la sociedad actual es tal que la construcción de una organización transdisciplinar como esta se puede considerar de importancia crítica. Por otra parte, puede ofrecer la posibilidad de experimentar la validez del cuerpo de conocimiento construido en el mundo real, y orientarlo a la investigación de la naturaleza de las condiciones necesarias para promover el trabajo creativo en todas las disciplinas. En este sentido, hay que entender que el objetivo de un equipo transdisciplinar no es reducir una dimensión de la realidad a otra. Pero este enfoque no debe eliminar los mismos aspectos que hacen a lo subjetivo de interés apremiante, sino que el objetivo es la verdadera integración cualitativa de diferentes puntos de vista y enfoques de conocimiento.

Un esfuerzo transdisciplinar de este tipo depende en primer lugar de la disponibilidad de metodologías que se puedan utilizar para integrar conocimientos, y en segundo lugar de las personas con la formación y experiencia suficientes para utilizarlas bien. Por eso es necesario investigar, promover y desarrollar estos aspectos de la transdisciplinariedad, lo que se puede lograr con mayor eficacia en las condiciones de un proyecto real. Las metodologías transdisciplinares son una arena particularmente importante para la exploración de la transdisciplinariedad, porque este contexto presenta, entre otros retos, el de acomodar el extraordinario conocimiento disponible a través de los desarrollos disciplinares con la dimensión ética y las políticas social, económica, pública y de bienestar general de las personas. Hay que centrarse en un número de niveles de análisis, además de las personas, e incluir a la familia, las relaciones, la escuela, el barrio, la comunidad, la sociedad y la cultura. Por eso es transdisciplinar, porque se trabaja con, y no en, la sociedad.

En resumen, se puede afirmar que las metodologías transdisciplinares son una realidad y una necesidad científica para el desarrollo de proyectos de investigación. Dentro del ámbito de la ciudadanía se vienen realizando numerosas actividades científicas por medio de la integración de voluntarios en proyectos de investigación. Sin embargo, únicamente se explota una parte de las posibilidades de la transdisciplinariedad. En este capítulo y mediante la descripción y el análisis de la investigación transdisciplinar, se representa cómo conformar equipos transdisciplinares que trabajen de forma colaborativa, para generar resultados científicos por encima de los intereses y disposiciones disciplinares. Estos equipos ofrecen, especialmente para atender las necesidades de la humanidad, los requisitos ideales para agotar el potencial científico disciplinar en muchos aspectos, como se describe en la secciones previas.

Los resultados de este análisis deben preparar y motivar al trabajo práctico sistemático en metodologías de investigación transdisciplinar. Para eso, todavía hay cuestiones abiertas que deben ser resueltas, como la forma de garantizar la fiabilidad de los datos que se recogen, porque unas de las mayores dificultades es romper los egos profesionales heredados del trabajo interdisciplinar. También hay necesidad de explorar las etapas de cooperación y la asignación de tareas, formas de trabajo y medidas de gestión, apropiadas para cada problema particular.

Referencias

Bass, B. (1985). Leadership and performance beyond expectations. New York: Free Press.

Bergmann, M. & Jahn, T. (2008). CITY:mobil: A model for integration in sustainability research. In Hadorn, G. et al. (Eds.), Handbook of transdisciplinary research, pp. 89-102. Dordrecht: Springer.

Bohr, N. (1960). Consilience: The unity of human knowledge. London: Vintage books.

Bouwen, R.; Craps, M. & Santos, D. (1999). Multi-party collaboration: Building generative knowledge and developing relationships among "unequal" partners in local community projects in Ecuador. Concepts and Transformation 4(2), pp. 133-151.

Brass, D. (2001). Social capital and organizational leadership. In Zaccaro, S. & Klimoski, R. (Eds.), The nature of organizational leadership: Understanding the performance imperatives confronting today's leaders. San Francisco: Jossey-Bass.

Carew, A. & Wickson, F. (2010). The TD wheel: A heuristic to shape, support and evaluate transdisciplinary research. Futures 42(10), pp. 1146-1155.

Cramton, C. (2001). The mutual knowledge problem and its consequences for dispersed collaboration. Organization Science 12(3), pp. 346-371.

Eaton, J. (2001). Management communication: The threat of groupthink. Corporate Communications: An International Journal 6(4), pp. 183-192.

Fairhurst, G. & Sarr, R. (1996). The art of framing: managing the language of leadership. San Francisco: Jossey-Bass.

Fleishman, E. & Harris, E. (1962). Patterns of leadership behavior related to employee grievances and turnover. Personnel Psychology 15(2), pp. 43-56.

Flinterman, J. et al. (2001). Transdisciplinarity: The new challenge for biomedical research. Bulletin of Science, Technology and Society 21(4), pp. 253-266.

Gibbons, M. & Nowotny, H. (2001). The potential of transdisciplinarity. In Klein, J. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society - An Effective way for managing complexity, pp. 67-80. Basel: Birkhouser Verlag.

Gómez, M. et al. (2004). Quality in higher education in the European common higher education area and the new competencies in teaching - Towards a transdisciplinarity approach. International Journal of Learning 11, pp. 949-955.

Gray, B. & Schruijer, S. (2010). Integrating multiple voices: Working with collusion in multiparty collaboration. In Steyaert, C. & Van Looy, B. (Eds.), Relational processes. London: Sage Publications.

Gray, B. (1989). Collaborating: finding common ground for multiparty problems. San Francisco: Jossey-Bass.

Gray, B. (1995). Obstacles to success in educational collaborations. In Wang, M. & Rigby, L. (Eds.), School/community connections: Exploring issues for research and practice, pp. 71-100. San Francisco: Jossey-Bass.

Gray, B.; Susman, G. & Ren, H. (2005). Brokers' roles in knowledge management teams: Expertise, information and schema conflicts. Proceedings of the Academy of Management Meeting. Honolulu, USA.

Guimaraes, P. & Funtowicz, S. (2006). Knowledge representation and mediation for transdisciplinary framework: Tools to inform debates, dialogues and deliberations. International Journal of Transdisciplinary Research 1(1), pp. 34-50.

Hadorn, G. et al. (2008). Handbook of transdisciplinary research. Dordrecht: Springer.

Hirokawa, R.; Gouran, D. & Martz, A. (1988). Understanding the sources of faulty group decision making: A lesson from the Challenger disaster. Small Group Behavior 19(4), pp. 411-433.

Hirsch, G. et al. (2006). Implications of transdisciplinarity for sustainability research. Ecological Economics 60(1), pp. 119-128.

Hirsch, G. et al. (2008). Handbook of Transdisciplinary Research. London: Springer.

Hollaender, K. & Leroy, P. (2001). Reflections on the interactive sessions. In Klein, J. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society - An effective way for managing complexity. Basel: Birkhauser Verlag.

Huxham, C. & Vangen, S. (2000). Leadership in the shaping and implementation of collaboration agendas: How things happen in a (not quite) joined up world. The Academy of Management Journal 43(6), pp. 1159-1175.

Huxham, C. & Vangen, S. (2005). Managing to collaborate. Oxford: Routledge.

Jahn, T. (2008). Transdisciplinarity in the practice of research. In Bergmann, M. & Schramm, E. (Eds.), Transdisziplina¨re Forschung: Integrative Forschungsprozesse verstehen und bewerten, pp. 21-37. Frankfurt: Campus Verlag.

Kirkpatrick, S. & Locke, E. (1996). Direct and indirect effects of three core charismatic leadership components on performance and attitudes. Journal of Applied Psychology 81(1), pp. 36-51.

Klein, J. (1996). Crossing boundaries: Knowledge, disciplinarities and interdisciplinarities. Charlottesville: University Press of Virginia.

Klein, J. (2000). Integration, evaluation, and disciplinarity. In Sommerville, M. & David, R. (Eds.), Transdisciplinarity: Recreating integrated knowledge, pp. 59-69. Oxford: EOLSS Publishers.
Klein, J. (2003). Thinking about Interdisciplinarity – A primer for practice. Colorado School of Mines Quarterly 103(1), pp. 101-114.
Klein, J. (2004). Prospects for transdisciplinarity. Futures 36(4), pp. 515-526.
Klein, J. et al. (2001). Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society - An effective way for managing complexity. Basel: Birkhouser Verlag.
Klein, K. et al. (2004). How do they get there? An examination of the antecedents of centrality in team networks. Academy of Management Journal 47, pp. 952-963.
Krütli, P. et al. (2010). Functional–dynamic public participation in technological decision-making: Site selection processes of nuclear waste repositories. Journal of Risk Research 13(7), pp. 861-875.
Lang, D. et al. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: Practice, principles, and challenges. Sustainability Science 7(1), pp. 25-43.
Latour B. (2005). Reassembling the social: An introduction to actor-network theory. Oxford: Oxford Press.
Limmerick, D. & Cunnington, B. (1993). Managing the new organization: a blueprint for networks and strategic alliances. San Francisco: Jossey-Bass.
Maier, N. (1967). Assets and liabilities in group problem solving - The need for an integrative function. . Psychology Review 74(4), pp. 239-249.
McMichael, A. (2000). Transdisciplinarity in science. In Sommerville, M. & David, R. (Eds.), Transdisciplinarity: Recreating integrated knowledge. Oxford: EOLSS Publishers.
Moorhead, G.; Ference, R. & Neck, C. (1991). Group decision fiascoes continue: Space Shuttle Challenger and a revised groupthink framework. Hum Relations 44(6), pp. 539-550.
Morin, E. (1999). Homeland earth. Cresskill: Hampton Press.
Nicolescu, B. (1987). Moral Project. International Centre for Transdisciplinary Studies and Research.
Nicolescu, B. (1999). The transdisciplinary evolution of learning. Paper presented at the symposium on Overcoming the Underdevelopment of Learning at the Annual Meeting of the American Education Research Association. Montreal, Canada.
Nicolescu, B. (2005). Towards transdisciplinary education. The Journal of Transdisciplinary Research in Southern Africa 1(1), pp. 5-16.
Piaget, J. (1972). L'épistémologie des relations interdisciplinaires. In OCDE (Ed.), L'interdisciplinarité: Problémes d'ensseignement et de recherché dans les universities, pp. 131-144. Paris: OCDE.
Piaget, J. (1975). General problems and common mechanisms of interdisciplinary research. In Piaget, J. et al. (Eds.), Tendencias de la investigación en ciencias sociales, pp. 199-282. Madrid: Alianza editores.
Pohl, C. & Hirsch, G. (2007). Principles for designing transdisciplinary research. Munich: Arts and Sciences.
Regeer, B. & Bunders, J. (2009). Knowledge co-creation: Interaction between science and society: A transdisciplinary approach to complex societal issues. Amsterdam: RMNO.
Remick, F. (2000). Barriers to organized interdisciplinary research in a university environment. In Roy, R. (Ed.), The interdisciplinary imperative: Interactive research and education, still an elusive goal in academia. Lincoln: The Writers' Club Press.
Scholz, R. & Tietje, O. (2002). Embedded case study methods: Integrating quantitative and qualitative knowledge. London: SAGE.
Scholz, R. (2011). Environmental literacy in science and society: From knowledge to decisions. Cambridge: Cambridge University Press.
Scholz, R. et al (2006). Transdisciplinary case studies as a means of sustainability learning: Historical framework and theory. International Journal of Sustainability in Higher Education 7, pp. 226-251.
Schwartz, R. (2002). The skilled facilitator. San Francisco: Jossey-Bass.
Siebenhüner, B. (2004). Social learning and sustainability science: Which role can stakeholder participation play? International Journal of Sustainable Development 7(2), pp. 146-163.
Spangenberg, J. (2011). Sustainability science: A review, an analysis and some empirical lessons. Environmental Conservation 38(3), pp. 275-287.
Stokols, D. et al. (2010). Evaluating cross-disciplinary team science initiatives: Conceptual, methodological, and translational perspectives. In Frodeman, R.; Klein, J. & Mitcham, C. (Eds.), Handbook on interdisciplinarity, pp. 471-493. New York: Oxford University Press.
Talwar, S.; Wiek, A. & Robinson, J. (2011). User engagement in sustainability research. Science and Public Policy 38(5), pp. 379-390.
Thompson, J. (2004). Prospects for transdisciplinarity. Futures 36(4), pp. 515-526.
Torres, J. (1994). Globalización e interdisciplinariedad: El curriculum integrado. Madrid: Ediciones Morat.
Vansina, L.; Taillieu, T. & Schruijer, S. (1998). "Managing" multiparty issues: Learning from experience. In Woodman, R. & Pasmore, W. (Eds.), Research in organizational change and development, pp. 159-181. Greenwich: JAI Press.

Von Glinow, M.; Shapiro, D. & Brett, J. (2004). Can we talk, and should we? Managing emotional conflict in multicultural teams. The Academy of Management Journal 29(4), pp. 578-592.
Wickson, F.; Carew, A. & Russell, A. (2006). Transdisciplinary research: Characteristics, quandaries and quality. Futures 38(9), pp. 1046-1059.
Wiek, A. (2009). Analyzing, evaluating, and designing participatory research in sustainability science. Working paper, School of Sustainability, Arizona State University.
Wilson, E. (1998). Consilience - The Unity of Knowledge. New York: Vintage Books.
Wondolleck, J. (1985). The importance of process in resolving environmental disputes. Environmental Impact Assessment Review 5, pp. 341-356.
Young, K. (2000). What makes transdisciplinarity succeed or fail? Second report. In Somerville, M. & Rapport, D. (Eds.), Transdisciplinarity: Recreating integrated knowledge. Oxford: EOLSS Publishers Ltd.
Younglove, J. et al. (1999). The dynamics of multidisciplinary research teams in academia. The Review of Higher Education 22(4), pp. 425-440.

Capítulo VII

Conocimiento y Formación Transdisciplinar

En actual sistema educativo de la Era Industrial, las pasiones y los intereses de los estudiantes están desconectados de sus experiencias educativas, porque en general lo que aprenden es a dominar el sistema para averiguar qué les complace a sus profesores. En este sentido, Douglas Thomas y John Seely Brown (2011) distinguen entre una cultura de la enseñanza y una cultura del aprendizaje, y argumentan que ese viejo modelo es insostenible. Proponen que esta generación se debe formar bajo una nueva cultura de aprendizaje, basada en el reconocimiento y el aprecio por la imaginación. En su propuesta describen cambios sencillos en las prioridades pero que conducen a grandes cambios en el proceso enseñanza-aprendizaje y el pensamiento creativo. En este capítulo se describe la situación actual y se analiza la necesidad de una formación desde el conocimiento transdisciplinar.

1 Introducción

Durante mucho tiempo la educación se ha centrado en torno a un conjunto reglado de mandatos que promulgan las más prestigiosas instituciones del mundo, y ya que tienen ese respaldo puede que tengan algún significado. Esto hace parte de la historia de la academia y ha definido la forma en que cada una funciona. Sin embargo, estas instituciones todavía no se han dado cuenta, al menos esa es la impresión, de que los estudiantes de hoy están viviendo en un mundo de contexto. Solamente vasta dialogar un poco con ellos acerca de cómo entienden el mundo y sobre qué tipo de órdenes institucionales les importa, para darse cuenta que el suyo es diferente al que experimentan en la escuela. Para ellos no interesan los periódicos, los noticieros o los programas de opinión. Las noticias las leen en las redes sociales, en los muros, en los blogs, o en los diferentes aplicativos que descargan en sus dispositivos móviles, y utilizan todas estas cosas combinadas. El mundo para ellos es ese contexto y le dan sentido a través de una lectura desde múltiples fuentes. Así es que entienden y viven el mundo.

Por ejemplo, analicemos a Wikipedia, una herramienta por la que la mayoría de profesores tienen desdén (en muchos casos con razón justificada), pero que para los estudiantes hace parte de su contexto. Los primeros dicen que no es precisa y que se puede cambiar, pero ellos dicen que nada es exacto y que todo se puede modificar. En realidad, lo que para ellos hace especial a Wikipedia es que se pueden ver los cambios, son transparentes. Se puede volver atrás y mirar la historia de las páginas. Por ejemplo, al leer la entrada acerca del descubrimiento de América se observa que ha sido cambiada más de 3.000 veces en el último año. Esto les dice que eso es un pedazo polémico del conocimiento y que es objeto de controversia, y le pueden hacer seguimiento a la historia de esos cambios. Pero eso no se puede hacer con la misma entrada en la Enciclopedia de la Real Academia; no se puede volver atrás y ver las cartas entre el editor y el autor, y no se ven los cambios que se aprobaron o los que no. Esa especie de *transparencia* en Wikipedia la entienden los estudiantes como un rico contexto para la información que buscan. La cuestión de si es precisa o no en términos de contenido puro no es realmente un gran problema para ellos, sino para los profesores que deben orientarlos para que aprendan a leerla. Ese es el papel del profesor del siglo XXI: ser asesor.

A todo esto, ¿qué es la escuela para los estudiantes de hoy? La realidad es que es solamente un contexto más, y en muchos casos no el más importante. Esto lo reflejan en

su forma de pensar en el aula, en la que tratan de conectar el contenido con el contexto y reflexionan sobre ello. La historia real es que todas las nuevas herramientas para la autoría han democratizado la tecnología, y han permitido que potencialmente todas las personas sean autoras y productoras, porque se pueden crear cosas como un libro o un video y ponerlo en la web, sin pasar por el proceso reglado de revisiones y censuras. Basta solamente con mirar YouTube para notar la enorme cantidad de autoría que está pasando allí. Pero lo más importante es que la humanidad ha creado las herramientas para remodelar el contexto en el que las cosas tienen sentido, y hoy es posible realizar todo tipo de cosas que eran impensables hace dos o tres décadas. Ese es el contexto de los estudiantes de esta generación, que están aprendiendo que ese contexto es todo y que ahora tienen un papel en su configuración que nunca antes habían tenido, porque el sistema no lo permitía porque estaba reglado. No había posibilidades para desarrollar la imaginación.

¿Qué pasa en realidad con el producto de la educación? ¿Cuál es el contexto para el aprendizaje y cuál es el contexto para la enseñanza? Los estudiantes en el actual sistema viven únicamente experiencias de confinamiento en el aula, y frecuentemente sus pasiones e intereses están completamente desconectados de sus experiencias educativas. Se les ha enseñado que la educación es un juego de adivinanzas, porque cuando observan al profesor tienen que tratar de adivinar la respuesta que le puede satisfacer, para lograr una nota de aprobación. En esa realidad la escuela es un contexto más para ellos, en el que deben aprender a jugarle al sistema y que se queda sólo en eso, no en un aprendizaje. La contextualización de aprender en sus vidas ha sido especialmente problemático, porque les ha enseñado que todo lo que es divertido, todo lo que es juego, todo lo que es agradable, es sospechoso. Si se están divirtiendo mucho no se les toma en serio. La paradoja es que en cualquier otro contexto, por fuera de la escuela, el aprendizaje es una cosa alegre, maravillosa. Llevar a un niño pequeño a pasear y dejarlo que se detenga le puede tomar hasta media hora para descubrir un árbol. Porque explora todos los rincones y grietas y la corteza y las hojas, e investiga cada centímetro, porque es curioso y porque lo que observa es nuevo y enigmático. Pero en el sistema educativo esto puede tomarle no menos de un año, y eso si lo logra realmente. En la escuela aprende que la cuestión es muy seria y que debe tomarla con responsabilidad, y que allí no habrá diversión ni placer. Es un *recinto sagrado* al que se ingresa solamente para aprender a acatar órdenes y a responder exámenes; porque eso es lo que lo prepara y los hace competentes para una vida laboral, igualmente aburrida y reglada. Si se piensa divertir, hágalo después de clase, cuando esté cansado de la monotonía, pero el aula no es para diversión.

Una placa de Petri tiene dos cualidades importantes: 1) está acotada, nada puede entrar desde el exterior, es una cáscara de cristal, y 2) dentro de esa cáscara cualquier cosa puede suceder, pero siempre tendrá restricciones de libertad. Por ejemplo, se coloca una semilla y nutrientes y se deja crecer. El límite es que no puede crecer fuera porque todo está muy controlado. La actual cultura de aprendizaje se parece mucho a eso. Es un poderoso juego entre la restricción y la libertad, la institución y la mediación, con el cual se crea aprendizaje. Esto no permite el desarrollo de la imaginación. La imaginación no es algo que se enseñe, pero es posible crear entornos en los que pueda suceder. No se trata de memorizar ni de repetir las cosas, se trata de desarrollar la capacidad de la mente para construir el mundo.

Entonces, ¿qué significa esto para el aula? Primero hay que aceptar el hecho de que los estudiantes de esta generación aprenden de manera diferente. Si el objetivo de la educación es una ciudadanía bien informada, el sistema la está entrenando para

desarrollar habilidades que no necesita para darle sentido al mundo que la rodea. De hecho, se le está dando exactamente el mensaje contrario. La escuela tiene que ponerse al día con el mundo que sus estudiantes tienen alrededor, y el aula debe dejar de ser un entorno de aprendizaje acotado, porque hoy se tiene la oportunidad de reformarla para que se parezca mucho más a lo que les sucede a los estudiantes en su vida cotidiana y en su mundo cotidiano, y por lo tanto la formación que reciban en ella será más relevante, significativa y eficaz. Y si este contexto también lo encuentran en la industria, el desarrollo del mundo tendría otro nivel.

2 Lo transdisciplinar en la formación

La globalización tiene una poderosa influencia sobre el sistema educativo, porque la comprensión de las influencias sociales en la enseñanza es un componente importante de la formación en este siglo. Por lo tanto, es fundamental desarrollar una mejor comprensión de estas influencias y de su papel multifacético en la sociedad global. En la enseñanza siempre hay incertidumbre acerca de lo que sucederá después, pero es responsabilidad del sistema la creación de espacios que puedan ayudarle a la educación a permanecer abierta al misterio, a los interrogantes y a las respuestas (Green, 1997). La enseñanza en un mundo globalizado debe pensarse en un contexto integrado a lo largo de muchas dimensiones: política, economía, mercados financieros, tecnología, ecología, idiomas, culturas y valores sociales. ¿Cómo formar a los estudiantes para que puedan vivir y producir en un mundo globalizado? Se espera que ellos le hagan frente a los problemas complejos que trascienden las fronteras locales, regionales y nacionales, tales como la pobreza, el cambio climático, las pandemias, las desigualdades económicas y de crisis, la degradación ambiental y la migración y el crecimiento demográfico. De hecho, las fuerzas de la globalización están cambiando el mundo a un ritmo acelerado, y todos sus aspectos son cada vez más accesibles a todos los seres humanos.

No es sorprendente entonces que el mundo cambie a medida que se contrae debido a las innovaciones tecnológicas, y que surjan potenciales culturas para compartir y ampliar los diferentes puntos de vista. Pero al mismo tiempo persiste una amenaza de asimilación cultural, de erosión cultural y de lenguas, de aumento del poder y dominación corporativa y de menos poder para los gobiernos nacionales y de las voces de ciudadanos marginados. El mundo globalizado es tanto un mecanismo de socialización como de explotación (McGregor, 2006). Entonces, si el objetivo es construir un futuro positivo y sostenible, la educación de este siglo tiene que seguirle el ritmo a estos cambios e incluso igualarlos y superarlos. A esto se refiere Edgar Morin (2008) cuando diseña su edificio del conocimiento, en el que es posible aprender a gestionarlo desde las diferentes fuentes y dimensiones en las que se produce.

Esta transdisciplinariedad del conocimiento permite una comprensión del mundo y de la humanidad mediante el planteamiento de problemas y la co-creación de soluciones, en una interfaz entre lo disciplinar de la educación y el resto del mundo (Nicolescu, 1985, 2002). Este autor también considera que el pensamiento y el conocimiento transdisciplinares engendran una nueva educación transdisciplinar (Nicolescu, 2005). La cuestión es que los planes de estudios modernos se basa sobre todo en el pensamiento disciplinar, acarreando la idea de fronteras estrictas entre las disciplinas, mientras que una educación para este siglo debe basarse en el pensamiento transdisciplinar (Drugus, Gherasim y Cmeciu, 2003). Por su parte, Tochon (2002, 2010) establece claramente que la educación debe re-conceptualizarse de manera transdisciplinar, para ayudar a resolver los problemas destructivos que enfrenta la humanidad.

Debido a que la transdisciplinariedad trata acerca de comprender el mundo, depende de la unidad del conocimiento desde dominios y sectores dispares (Nicolescu, 1997). Por su parte, Tochon (2010) está convencido que es el fundamento para un cambio profundo en la educación. Esta afirmación promueve una filosofía de plan de estudios, que explique y aborde los retos actuales, y que requiere una profunda transformación de los seres humanos y de la sociedad en la dirección de una mayor armonía. Por su parte, Nicolescu habla del proyecto transdisciplinario y se centra en la asimilación de una mentalidad abierta adaptada a los retos del mundo actual, un nuevo humanismo que restablezca la dignidad del ser humano y un código ético basado en el rigor, la apertura y la tolerancia (Dincã , 2011). Los estudiantes necesitan una visión global del proyecto humano y los profesores necesitan participar en la búsqueda de un sentido más profundo de la humanidad y de los humanos (Tochon, 2010). En este contexto, profundidad se refiere a la complejidad del pensamiento y el conocimiento, a la intensidad increíble y a la exhaustividad de la formación. La agudeza mental y la tenacidad inherentes en un sistema de formación de este tipo significan que la transdisciplinariedad nunca termina, porque los problemas de fondo de la sociedad se involucran con los seres humanos, entonces el conocimiento co-creado durante las iniciativas de solución siempre hará parte de la formación para la vida, es decir, a lo que Nicolescu (2005) llama *conocimiento vivo*.

En este entorno es que el aprendizaje transdisciplinar es importante, porque reúne conceptos, teorías y enfoques de las disciplinas y de los sistemas de conocimiento y de las experiencias vividas, para transformar la información en nuevo conocimiento transdisciplinar (Stahl et al., 2011). Esto es posible porque las fronteras se han desglosado o trascendido. Este aprendizaje es impulsado por la necesidad de crear nuevo conocimiento para hacerle frente a los problemas complejos de la humanidad (Park y Son, 2010). Una oportunidad de aprendizaje con este enfoque les ayuda a los estudiantes a obtener una mejor comprensión de cómo contribuyen sus perspectivas, conocimientos y valores a la solución de los problemas. En particular, si se proporciona oportunidades para experimentarlas se puede alcanzar un aprendizaje iterativo, lo que lleva a una mejor apreciación de cómo puede cambiar la posición en un tema de cada actor, a medida que conoce e integra las posiciones de los demás. Además, los estudiantes aprenden que lo que saben puede seguir siendo igual, pero considerado de manera diferente según las perspectivas que ejercen las otras personas en su proceso formativo (Stahl et al., 2011).

Una exigencia muy importante de este tipo de aprendizaje es que los estudiantes tienen que abrir sus mentes a una serie de puntos de vista sobre la forma de resolver los problemas, incluso sobre la misma definición de lo que constituye un problema. Los profesores deben aplicar toda su experiencia para fusionar las perspectivas divergentes para estructurar la resolución de los mismos (McGregor, 2011). Este cruce inherente de ida y vuelta, dentro y fuera, encima y debajo de las perspectivas y posiciones de cada actor facilita las posibilidades a un nuevo aprendizaje, porque genera importantes discusiones sobre el pensamiento y genera interrogantes desde y hacia los estudiantes. Por otro lado, ellos pueden ver problemas, incluso, con mayor profundidad multidimensional, porque imitan la complejidad de la experiencia de los problemas del mundo real, porque son creativos en su formación (Davies, 2009). Además, involucra equipos que comparten conocimientos y experiencias específicos para que puedan co-producir nuevo conocimiento con otras personas. Por otro lado y debido a que en el actual sistema educativo los límites tradicionales entre disciplinas y sectores están rotos intencionalmente, es necesario formar a los profesores para que sepan cómo crear nuevos marcos intelectuales integrados, y no solamente a dibujar conceptos disciplinares juntos, como lo hacen hasta hora (Serna, 2015). Esto exige una colaboración eficaz que

presupone, como mínimo, un conocimiento aproximado de los valores de cada persona en el aula. Porque todos los actores del proceso formativo utilizan términos que pueden tener diferentes significados en diferentes disciplinas, instituciones o sectores (Müller, Tjallingii y Canters, 2005). Al familiarizarse con los valores de los demás y con el lenguaje y los conceptos disciplinares y sectoriales, los estudiantes pueden hablar realmente entre sí y escuchar lo que cada uno está diciendo, y pueden combinar las diferentes perspectivas para construir nuevo conocimiento transdisciplinar (Park y Son, 2010).

En resumen, la formación transdisciplinar explora un tema o problema relevante e integra las perspectivas desde múltiples disciplinas y sectores, con el fin de conectar nuevos conocimientos y alcanzar una comprensión más profunda de las experiencias de la vida real (Kompar, 2009). También ofrece una perfecta oportunidad para que los estudiantes se den cuenta que el conocimiento disciplinar lo construyen seres humanos, que está cambiando continuamente y que puede ser cuestionado (Davies, 2009). Además, que las disciplinas son oportunidades para explorar diferentes formas de pensar, en lugar de bloques de conocimiento que están claramente delimitados por fronteras. Por eso es que con el fin de brindarles a los estudiantes el aprendizaje más reciente, este tipo de formación se centra en trabajar en y a través de las disciplinas.

En este sentido y teniendo en cuenta que los estudiantes de la generación digital entienden y comprenden diferente a las otras generaciones, desarrollar un pensamiento transdisciplinar les ayudará a comprender y enfrentar de mejor forma los complejos problemas sociales actuales. Porque para hacerlo de forma eficiente y efectiva requieren conocimientos en todos los aspectos y dimensiones de la sociedad, desde las disciplinas académicas de investigación, las comunidades, la sociedad civil, la industria y el gobierno, es decir, se trata de integrar el conocimiento desde múltiples sistemas o ámbitos. Pensar de esta manera significa que la escuela tiene que: 1) reconocer y valorar las múltiples partes que interactúan, y 2) permitirse a sí misma reorganizarse durante el proceso de intercambio de perspectivas y de resolución de problemas (Apgar, Argumedo y Allen, 2009). Los neurocientíficos han identificado siete hábitos de la mente transdisciplinar: percibir, diseñar, abstraer, pensamiento embebido, modelar, jugar y sintetizar, y sugieren que cualquier individuo tiende a utilizar estas habilidades cognitivas a la hora de pensar creativamente. Estas habilidades mentales son universales y las emplean las personas que se inclinan a integrar diferentes soluciones, puntos de vista y perspectivas (Mishra y Koehler, 2006; Mishra, Koehler y Henriksen, 2011)

En este orden de ideas, la formación transdisciplinar, los procesos de aprendizaje transdisciplinar y los hábitos mentales transdisciplinares requieren un *modelo académico transdisciplinar* (Saunders, 2009; Serna, 2015). De hecho, en este mundo globalizado y complejo se crean tres dilemas educativos: 1) la comprensión del mundo, 2) la identidad en el mundo, y 3) la acción en el mundo. Estos dilemas exigen un pensamiento que permita la comprensión transdisciplinar y el modelado de soluciones a los problemas (Barnett y Hallam, 1999). La naturaleza de los contextos contemporáneos desafía los límites disciplinares tradicionales, sobre todo porque se espera que los profesionales demuestren una comprensión transdisciplinar y una disposición para la resolución de problemas (O'Brien, 2002).

En consecuencia, la formación transdisciplinar requiere profesores que presten atención y utilicen estrategias revolucionarias (Klein, 1994). Además, implica profundos cambios filosóficos en las dimensiones epistemológicas sustanciales (O'Brien, 2002). En parte porque el mundo globalizado está plagado de inestabilidad, ambigüedad, libre competencia y cambio dinámico, y esta situación presenta implicaciones complejas para

las teorías prácticas del sistema educativo de la Era Industrial, por lo que los profesores necesitan aplicar en el aula epistemologías y didácticas sofisticadas. En este sentido, Kaufman, Moss y Osborn (2003) opinan que se requiere una enseñanza diferenciadora, en la que el estudiante nunca pierda de vista el conjunto del conocimiento humano, su holística y su naturaleza. Por eso es que la formación debe abrazar un modelo académico transdisciplinar, que privilegie la noción del conjunto multifacético en el que cada perspectiva y conocimiento disciplinar tenga el potencial de informar, y hacer parte de la solución de forma integral y armónica.

Haciendo referencia a Edgar Morin (1999), Marinova y McGrath (2004) afirman que el objetivo de la transdisciplinariedad es la comprensión holística del mundo y de la unidad del conocimiento que se requiere para lograrlo. Los enfoques pedagógicos transdisciplinares podrían proporcionarles a los estudiantes no solamente las herramientas para comprender la realidad, sino también para hacerle frente a los cambios que tienen lugar a su alrededor, y de esta forman desarrollarían una nueva visión y una nueva experiencia de aprendizaje. A su vez, la transdisciplinariedad se centra en cuestiones de aprendizaje de áreas totales (disciplinas) y entre ellas y más allá de ellas, para permitir el surgimiento de nuevas y más amplias perspectivas, además de una comprensión más profunda de la interrelación de los temas complejos. También permite el desarrollo de nuevas posibilidades y potencialidades en las personas, porque la formación transdisciplinar, más allá de los temas tradicionales o de las áreas disciplinares, conduce a la transformación, es decir, los estudiantes van más allá de las formas y las estructuras existentes hasta perspectivas transpersonales, transculturales, transnacionales y transpolíticas (de Leo, 2006).

Una educación así tiene que articular otras disciplinas (formar una red) y trascenderlas, para acercarse a la interacción verdadera con los problemas del mundo (Mendoza, 2010). Un sistema formativo transdisciplinar soporta continuamente la transformación, más allá de las mentalidades disciplinares, para re-conceptualizar fenómenos, problemas, metas y enfoques, y acepta la complejidad y presta atención a las interacciones dinámicas (en el espacio y tiempo) entre los sistemas naturales y los artificiales. Por eso, la participación de los actores involucrados en él y la permanente rendición de cuentas a la sociedad, se convierten en parte integrante del proceso.

3 Conclusiones

En términos generales, un sistema de formación transdisciplinar tendrá los siguientes retos (Serna, 2015):

- Las escuelas no van a desaparecer a corto o mediano plazo. La escuela ya existía en la Era Pre-Industrial bajo el modelo maestro-aprendiz, y va a ser necesaria en cualquier sistema que se estructure e implemente. A medida que se toma conciencia de la necesidad de un nuevo sistema, la educación podrá ocurrir de muchas y diferentes maneras, más adaptativas y en diversos lugares, pero la escuela siempre tendrá un papel protagónico en el aprendizaje.
- La educación en casa ha estado en auge desde hace tiempo en muchos países. A medida que se desarrollan materiales curriculares con la intermediación del computador, las familias pueden hacerse cargo con mayor facilidad de la educación de sus hijos, y los padres actuar como facilitadores. Pero esta práctica tiene ventajas y desventajas: puede llevar a los niños y padres a asumir más responsabilidad en su educación, pero al mismo tiempo, significa que no van a aprender y compartir con sus pares, ni a vivir de primera mano las experiencias educativas de los otros.

- El aprendizaje en el trabajo también se ha expandido rápidamente, porque las empresas se han dado cuenta que necesitan capacitar a sus trabajadores para operar equipos complicados y para resolver problemas nuevos. Muchas enseñan análisis estadístico y otras habilidades complejas, e inclusive lectura básica y computación cuando es necesario. Más y más capacitación en la empresa está desarrollando nuevas habilidades en los empleados, donde también aprenden a aprender y pueden pasar toda su vida aprendiendo, porque se han dado cuenta que necesitan sobrevivir en un lugar de trabajo cambiante.
- La educación a distancia a través de la tecnología también se explota hoy. Cuando las personas ocupadas se dan cuenta que necesitan más educación, optan por tomar cursos de educación a distancia. Muchas instituciones están experimentando con programas virtuales, donde los profesores de diferentes escuelas en el sistema ofrecen cursos en línea a estudiantes de otras escuelas en el mundo. La educación a distancia tiene ventajas, sobre todo para la educación de adultos, por lo que el desarrollo de instituciones virtuales está desafiando a las presenciales.
- La educación de adultos está creciendo en todo el mundo, porque en esta era se necesita saber un poco más cada día y las personas mayores están optando por títulos de grado o de posgrado. Son muchos los que van a la web para aprender sobre temas particulares en los que están interesados. A menudo, los adultos se van de vacaciones con un propósito educativo, a un retiro para hablar sobre literatura o a un viaje con especialistas que les proporcionan orientación. A ese ritmo se está convirtiendo en una de las industrias con mayor crecimiento. A pesar de que gran parte de este aprendizaje es recreativo, proporciona valioso conocimiento que a veces puede conducir a una segunda carrera o a despertar intereses a largo plazo. Algunos informes estadísticos demuestran que los ciudadanos mayores son cada vez más productivos, porque utilizan su tiempo libre para seguir aprendiendo.
- Han surgido centros de aprendizaje que les ofrecen a las personas un lugar al que pueden ir a desarrollar o potencializar habilidades particulares y a buscar conocimiento dirigido, o como centros de tutoría para estudiantes con alguna (verdadera) deficiencia cognitiva. Por otro lado, los gobiernos ponen en marcha iniciativas para apoyar centros tecnológicos comunitarios sin fines de lucro, que se ponen al servicio de las comunidades y les ofrecen acceso a computadores y otras tecnologías. La mayoría de los participantes son las llamadas minorías, que van a desarrollar habilidades para el trabajo, a tomar clases dirigidas, o solamente a tener acceso a los servicios de internet. Con el tiempo, estos centros de aprendizaje podrían evolucionar como una alternativa a la escuela y más allá.
- La educación a través de la televisión y los vídeos se ha extendido ampliamente desde sus inicios a finales de los años 1960. El impacto de estos medios en el aprendizaje se ha ampliado en todo el mundo, debido al crecimiento de la red de televisión pública y la llegada de la televisión por cable y satelital. Al mismo tiempo, ha habido una proliferación de vídeos para niños que hacen hincapié en el aprendizaje, con la ventaja que los pueden ver una y otra vez. Los videos y la televisión proporcionan acceso a la educación y se han convertido en un fenómeno totalmente.
- Los ambientes de aprendizaje basados en computador se han multiplicado con el desarrollo de la tecnología. La educación se estructura a partir de juegos, donde los estudiantes tienen la oportunidad de revivir el desarrollo, por ejemplo, de la historia social y económica mundial. Para hacerlo deben planificar, optar entre negociar o luchar, adquirir y asignar recursos y tomar decisiones para avanzar en su

aprendizaje. Los entornos virtuales de aprendizaje en línea también proliferan, y ofrecen la posibilidad de que personas de todo el mundo puedan conversar o explorar lugares, que otros han creado para ellas. Otros, orientados a los niños, les ayudan a aprender una variedad de habilidades de liderazgo, tales como la asignación de recursos, la negociación con amigos y adversarios, la manipulación de ambientes, a alcanzar sus metas y a la recuperación de los errores.

- Las certificaciones técnicas son un fenómeno relativamente nuevo. Hasta hace poco la escuela tenía el monopolio de la certificación, pero el creciente uso de las certificaciones técnicas como una alternativa a ese diploma ha comenzado a minar el monopolio de ésta. En los últimos años diversas empresas y sociedades técnicas han desarrollado pruebas para certificar que una persona tiene un nivel particular de habilidades y capacidades en alguna ocupación, sobre todo en áreas de TI como las de mayor necesidad actualmente. Debido a que las certificaciones son más específicas que un diploma, están en mayor consonancia con las necesidades de las empresas. Una herencia de le Era Industrial que se convierte en un problema de cultura social.
- Los café internet siguen apareciendo en todo el mundo y en ellos las personas tienen acceso a las nuevas tecnologías a precios módicos. Podría decirse que serán las bibliotecas del futuro. En particular, atraen a jóvenes que se pasan horas en la web, participan en conversaciones y juegos, se actualizan acerca de lo que está sucediendo en el mundo, desarrollan nuevas destrezas, o exploran diferentes sitios relacionados con sus intereses. En gran parte del mundo las escuelas no tienen estos recursos, y estos cafés les brindan a los estudiantes la posibilidad de suplir esas falencias. El efecto acumulativo de estas innovaciones es que extienden el aprendizaje durante toda la vida y en muchas formas. Con el tiempo, estas piezas podrían llegar a convertirse en fragmentos de un nuevo sistema de educación, en el que la escuela tendrá un papel menos central, como en la era del maestro-aprendiz. Pero por ahora, estos elementos se vienen desarrollando de forma independiente el uno del otro, y en ningún sentido forman un sistema coherente. Ahí es donde la necesidad de los visionarios es más evidente, para que emprendan iniciativas de cómo construir un sistema equitativo y coherente con estas piezas emergentes.
- Mejorar la orientación futura desde el contenido, porque los estudiantes necesitan saber desde ahora qué hacer con él cuando ejerzan su profesión. Se espera que desarrollen las habilidades, destrezas y capacidades suficientes para ser y mantenerse competitivos en el mercado laboral, pero los estudiantes de esta generación se sienten motivados solamente si pueden ver utilidad, beneficio o relevancia futuros en su aprendizaje. El mito de que no piensan más allá del día a día es una cuestión de interpretación, y puede ser porque no se les motiva adecuadamente. Ellos se identifican mejor con futuras funciones vocacionales y profesionales, que le den significado al aprendizaje que reciben hoy. Una formación con orientación hacia el futuro reformará la persistencia de los estudiantes.
- Muchos profesores invierten grandes cantidades de tiempo entregando y evaluando información a nivel de contenido, o aprendizaje a nivel de información, pero no invierten un mínimo para identificar primero las metas de la clase en torno a la utilidad del conocimiento. Esta generación es más propensa a aprender contenidos y aplicaciones si se les demuestra qué y cómo transformar la información en conocimiento. De esta manera desarrollan habilidades para innovarlo y diversificarlo, y para darle usos que sean importantes para ellos y para la sociedad. La escuela debe estructurar técnicas activas para permitirles vincular los objetivos y

contenidos de la clase a sus metas personales y sociales. Si la escuela cambia, los estudiantes pueden mejorar en cumplimiento, resultados de aprendizaje y prospectiva. El sistema actual está etiquetando a los estudiantes inquietos y visionarios, pero para ellos no hay información sin aplicación.

- Los profesores esperan que lo que ha funcionado para ellos y la generación anterior también funcione en la actual y para el futuro, pero esta generación espera que el esfuerzo que hace para asistir a la escuela la lleve al éxito hoy y la prepare para lograrlo mañana. Muchos de los problemas de aprendizaje pueden ser entendidos como una falta de crear expectativas académicas claras. Los profesores asumen su clase como la única que los estudiantes reciben, y les generan altas expectativas académicas desde el comienzo del curso, pero ellos tienen las suyas propias, que no se les reconoce ni valora. Hay que cambiar la forma en que presentan los cursos, porque casi nunca se integran entre sí y se trabajan aisladamente. Por eso los estudiantes no le encuentran sentido a ciertas (muchas) materias que poco les ayudan al logro de sus metas personales. La idea no es imponer metas educativas sino compartir intencionalidades para lograr la formación que vinieron a buscar en la escuela. Las instituciones deben dejar de creerse el único lugar donde se *cocina* el conocimiento, porque los estudiantes lo que necesitan es que les certifiquen que ya lo lograron, a la vez que se les asesore para utilizarlo adecuadamente. Reducir el proceso enseñanza-aprendizaje a un sistema de recompensas (notas cuantitativas) y a castigos (sanciones, repitencia, diagnóstico de enfermedades inexistentes) es castrar las capacidades de esta generación. La meta debe ser formarlos, prepararlos, asistirlos, acompañarlos y reconocerlos como agentes activos en el proceso de gestión y transformación del conocimiento transdisciplinar.
- Las reuniones de clase programadas son un componente central del sistema educativo, y se consideran como la oportunidad más significativa de aprendizaje para los estudiantes. Pero para esta generación se han convertido en un *castigo* al que hay que temer, y las describen como *aburridas*. Este técnica es un reflejo fehaciente de lo que pasaba en la Era Industrial, cuando se preparaba a los estudiantes para la fábrica en un entorno manufacturero, es decir, la escuela era un réplica del contexto fabril: los estudiantes tienen puestos, deben cumplir un horario, deben aprender y deben memorizar para poder aplicar. Puede que para aquella generación las cosas funcionaran bien de esa forma, hasta cierto punto, pero esta técnica no tiene hoy ninguna oportunidad de ser efectiva, porque los estudiantes sienten que no se les anima a ir a la escuela. Porque se les controla la asistencia, se les califica, se les exige a todos lo mismo, se les considera igualitariamente y no se les valora su experiencia, su conocimiento, ni su cultura, y en lugar de eso tienen que asistir diariamente como si estuvieran en una fábrica. Llamar su atención para que se formen es diferente a obligarlos a asistir a un taller (perdón, a un aula), y sería más fácil si académicamente fuera atractivo y significativo para ellos. Por ejemplo, les puede parecer más llamativo ver una animación que leer un libro, donde se describe un determinado procedimiento. Los profesores deben estar dispuestos a aclarar, no a enseñar, la información; concientizarse de que no son el centro del conocimiento, porque las fuentes que utilizan son las mismas a las que los estudiantes tienen acceso, y su función debe ser asesorar para el uso; y deben cambiar el paradigma de la preparación de la clase, porque los estudiantes esperan que se equivoque con ellos al tiempo que los dirigen a cómo resolver la situación. Esta generación improvisa sobre la marcha y de igual forma esperan que los profesores los acompañen al hacerlo, porque de esta forma le dan valor al aprendizaje que la escuela les puede ofrecer.

Referencias

Apgar, J.; Argumedo, A. & Allen, W. (2009). Building transdisciplinarity for managing complexity: Lessons from indigenous practice. International Journal of Interdisciplinary Social Sciences 4(5), pp. 255-270.

Barnett, R. & Hallam, S. (1999). Teaching for supercomplexity: A pedagogy for higher education. In Mortimore, P. (Ed.), Understanding pedagogy and its impact on learning, pp. 139-154. London: Paul Chapmam.

Davies, D. (2009). Curriculum is a construct. Melbourne: In Clued-Ed.

Dincã, I. (2011). Stages in the configuration of the transdisciplinary project of Basarab Nicolescu. In B. Nicolescu (Ed.), Transdisciplinary studies: Science, spirituality and society, pp. 119-136. Bucharest: Curtea Veche Publishing House.

Drugus, L.; Gherasim, T. & Cmeciu, C. (2003). Shaping the practical role of a transdisciplinary higher education in (sustainable) transdevelopment: EMMY as a transmodern communication tool for a better living. Proceedings 19th Annual Conference of SPACE. Nicosia, Belgium.

Green, A. (1997). Education, globalization, and the nation state. New York: St. Martin's Press.

Klein, J. (1994). Notes toward a social epistemology of transdisciplinarity. Paper presented at the First World Congress on Transdisciplinarity. Convento da Arrábida, Portugal.

Kompar, F. (2009). Transdisciplinary learning approach. Greenwich: Greenwich Public Schools Virtual Library.

McGregor, S. (2006). Transformative practice. East Lansing: Kappa Omicron Nu.

McGregor, S. (2011). Knowledge generation in home economics using transdisciplinarity. Kappa Omicron Nu FORUM, 16(2).

Mishra, P. & Koehler, M. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record 108(6), pp. 1017-1054.

Mishra, P.; Koehler, M. & Henriksen, D. (2011). The seven trans-disciplinary habits of mind: Extending the TPACK framework towards 21st century learning. Educational Technology 51(2), pp. 22-28.

Morin, E. (2008). On complexity. Paris: Hampton Press.

Müller, D.; Tjallingii, S. & Canters, K. (2005). A transdisciplinary learning approach to foster convergence of design, science and deliberation in urban and regional planning. Systems Research 22(3), pp. 193-208.

Nicolescu, B. (1985). Nous, la particule et le monde. Paris: Le Mail.

Nicolescu, B. (1997). The transdisciplinary evolution of the university condition for sustainable development. Paper presented at the International Congress of the International Association of Universities. Bangkok, Thailand.

Nicolescu, B. (2002). Manifesto of transdisciplinarity. Albany: State University of New York Press.

Nicolescu, B. (2005). Towards transdisciplinary education and learning. Paper presented at the Metanexus Institute for the Science and Religion: Global Perspectives Conference. Philadelphia, USA.

O'Brien, M. (2002). New Pedagogies in the Knowledge Society: Teaching for deep learning, conceptual understanding and generative thinking. Proceedings 30th Annual Australian Teacher Education Association Conference. Brisbane, Australia.

Park, J. & Son, J. (2010). Transitioning toward transdisciplinary learning in a multidisciplinary environment. International Journal of Pedagogies and Learning 6(1), pp. 82-93.

Saunders, E. (2009). The transdisciplinary andragogy for leadership development in a postmodern context. Paper presented at the American Society of Business and Behavioral Science Conference. Las Vegas, USA.

Stahl, C. et al. (2011). Toward sustainability: A case study demonstrating trans-disciplinary learning through the selection and use of indicators in a decision making process. Integrated Environmental Assessment and Management 7(3), pp. 483-498.

Serna, M.E. (2015). Por qué falla el Sistema de educación. Medellín: Instituto Antioqueño de Investigación.

Thomas, D. & Brown, J. (2011). A new culture of learning: Cultivating the imagination in a world of constant change. Boston: CreateSpace Independent Publishing Platform.

Tochon, F. (2002). Tropics of teaching. Toronto: University of Toronto Press.

Tochon, F. (2010). Deep education. Journal for Educators, Teachers and Trainers 1, pp. 1-12.

Kaufman, D.; Moss, D. & Osborn, T. (2003). Beyond boundaries: A transdisciplinary approach to teaching and learning. Westport: Praeger.

Morin, E. (1999). Seven complex lessons in education for the future. Paris: UNESCO.

Marinova, D. & McGrath, N. (2004). A transdisciplinary approach to teaching and learning sustainability: A pedagogy for life. Proceedings Teaching and Learning Forum. Perth, Germany.

de Leo, J. (2006). Beyond the four pillars. Paper presented at the 10th APEID International Conference. Bangkok, Thailand.

Mendoza, M. (2010). Curricular changes in human ecology. Paper presented at the 5th National Conference in Human Ecology. Los Baños, Philippines.

Capítulo VIII

Pensamiento Multidimensional y Procesos Formativos

Los sistemas educativos, estructurados en la pasada Era Industrial, no cumplen hoy con su misión de capacitar para resolver adecuadamente los problemas de este siglo. Porque esos problemas se desarrollan en contextos complicados, que se acentúan por la velocidad de los desarrollos tecnológicos y por la alta dependencia de la actual Sociedad, lo que los hace complejos. En este capítulo se afirma que una forma para comprenderlos y presentarles una solución, es que las personas desarrollen adecuadamente su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva, pero el sistema educativo parece ignorar esta realidad, aunque en diferentes áreas del conocimiento se investigan y desarrollan principios que se pueden integrar para lograr este objetivo.

1 Introducción

Los principios de la lógica y la abstracción son la base con la que se desenvuelven cuestiones como la resolución de problemas, porque son necesarios para comprenderlos, modelarlos y presentarles una solución. Pero para los sistemas educativos actuales son cuestiones que cuando se trabajan, generalmente se hace de forma aislada, con visiones muy ingenieriles y desconociendo el potencial que ofrecen principios como la *complejidad multidimensional*, desde la teoría de la complejidad, *cómo aprenden las personas*, desde la neurociencia, y el *razonamiento lógico*, desde la filosofía y la psicología. La idea es estructurar un principio básico que los conjugue y constituirlo como propuesta formativa integradora en los planes de estudios, con el objetivo de lograr descubrir o potencializar la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva de las personas.

Desarrollar esta capacidad es obligante en la actual Sociedad del Conocimiento y en la Era Digital, porque las personas conviven con problemas cada vez más complejos, y las soluciones exigen imaginación y creatividad con visión holística y prospectiva. Poder descubrir o desarrollar esa capacidad, a través de planes de estudios integradores, le ofrecerá a las naciones mejores alternativas de desarrollo.

En este sentido, la neurociencia viene trabajando desde hace tiempo en el principio de *cómo aprenden las personas*, y busca comprenderlo con la perspectiva de integrarlo en las diferentes esferas en las que desenvuelven los seres humanos. Por su parte, la filosofía y la psicología presentan estudios y resultados acerca del *razonamiento lógico*, un principio que busca explicar cómo las personas integran y aplican su conocimiento en la toma de decisiones. Además, el paradigma de la complejidad, al reunir principios de la Teoría de la Información, de la Cibernética y de la Teoría de Sistemas, pone en tela de juicio la idea clásica de orden y derrumba la idea de objeto sustancial, que responde a planes trazados y organizados para alcanzar sus logros. Una característica que, dado el contexto de la sociedad de este siglo y de la era tecnológica, no integra ni representa la realidad que vive la humanidad. Este paradigma hace hincapié en el principio de la complejidad multidimensional en la que ellas viven, y para el que dada la complejidad de su cerebro se necesita una nueva manera de abordar la dimensión cognoscitiva en su educación, con la idea de que puedan abordar esa realidad multidimensional desde un pensamiento integrador, ya que un razonamiento parcelado les impide visualizar la complejidad del contexto y por tanto su comprensión del mundo no sería la adecuada.

Debido a esta realidad, las personas necesitan estructurar procesos integrando los principios de la lógica y la abstracción para comprenderla adecuadamente y presentar

soluciones eficientes y eficaces a los problemas. Pero aunque se esfuerzan por alcanzar una comprensión adecuada del contexto y del problema, no logran hacerlo en los niveles que cada situación necesita, por lo que las soluciones no cumplen con lo esperado. Esto se debe a una aplicación inadecuada, equivocada o inexistente de los principios de la lógica y la abstracción para comprender el problema, modelarlo y presentarle una solución. Pero la raíz del problema es que estos sujetos han sido *educados* en un sistema que no tiene en cuenta principios que le pueden hacer aportes sustanciales.

Para comprender la causa y estructurar una solución, se parte de la hipótesis de que el desarrollo de la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva es una pre-disposición genética y cultural que se puede descubrir o potencializar con procesos formativos integradores (Serna, 2015). Para validarla o negarla, el objetivo en este capítulo es descubrir, analizar e integrar: 1) el principio de la *complejidad multidimensional*, desde la teoría de la complejidad, 2) el principio de *cómo aprenden las personas*, desde la neurociencia, y 3) el principio del *razonamiento lógico*, desde la filosofía y la psicología, para estructurar y presentar un principio direccionador que se pueda incorporar en los planes de estudios. El objetivo es que siguiendo estos planes se pueda descubrir o potencializar esa capacidad en las personas, de tal forma que desarrollen su creatividad y utilicen su imaginación para comprender y solucionar los problemas de este siglo.

2 Antecedentes

La abstracción es una herramienta intelectual útil para solucionar problemas y modelar soluciones, y para utilizarla es necesario aplicar constantemente la lógica. Además, la solución a un problema será más eficaz y más eficiente si se estructura y presenta aplicando ambos principios. La lógica y la abstracción son relevantes en la actual Sociedad de la Información, porque la velocidad de los desarrollos tecnológicos y la tecnología misma le adicionan complejidad a los problemas con los que conviven las personas. Pero, aunque se reconoce su importancia, los sistemas educativos no le dan el protagonismo necesario y las personas no llegan a desarrollarlas adecuadamente. En este siglo se necesitan sujetos creativos e imaginativos, que no se limiten a repetir los movimientos y el conocimiento de memoria, como autómatas, porque no serán creadores de soluciones, ni responderán a las exigencias con ideas innovadoras, y se limitarán únicamente a ejecutar tareas. La lógica, la abstracción, la creatividad y la imaginación deben estar presentes en los procesos formativos, porque se podrán aplicar para crear soluciones y ofrecer respuestas a las necesidades de este siglo.

Estas características son procesos del razonamiento, que las personas deben llevar a cabo para identificar, analizar e integrar los altos volúmenes de datos e información con los que a diario conviven, y constituyen básicamente el arte de la identificación, no contradictoria, de los hechos, de la experiencia y de la realidad. Los seres humanos no pueden adaptar e integrar conocimiento si no involucran la experiencia en estos procesos, porque al separarlos aceptan que existe una línea divisoria entre ellos, es decir, que la conciencia es la ruptura de la existencia, por lo que esa dicotomía daría como resultado que se aparten de la realidad del mundo. Aquí es donde los sistemas educativos actuales se equivocan, porque pensar es comprender, experimentar e identificar los hechos de la realidad y las verdades de la existencia, y esto es un acto voluntario y volitivo que no sucede automáticamente. Por un lado, pensar con capacidad lógico-interpretativa y abstractiva es una habilidad para razonar, para identificar realidades y para modelar problemas y soluciones, y por otro lado, adquirir conocimiento y comprender y presentar

soluciones es una característica necesaria, porque como se observa en la Figura 1 las personas conviven en un universo complejo.

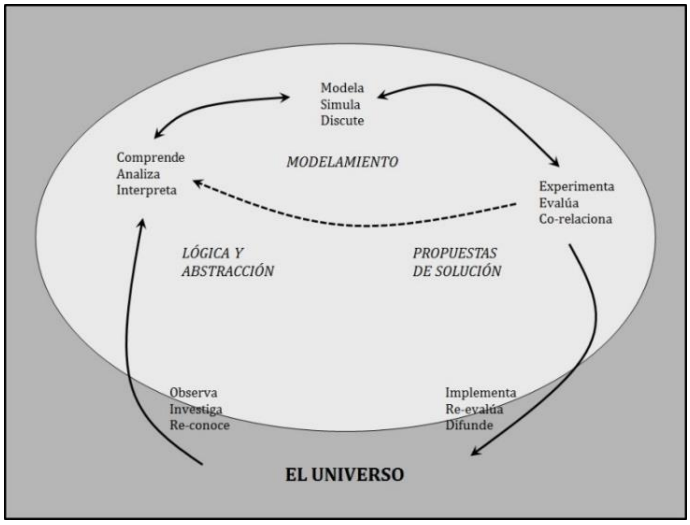

Figura 1: Realidad y razonamiento en el universo actual (Serna & Polo, 2014)

Si esta perspectiva se complementa con los principios de la *complejidad multidimensional*, de *cómo aprenden las personas* y del *razonamiento lógico*, sería posible estructurar una que se integre a los planes de estudios, para generar e impulsar procesos formativos acordes con las necesidades y exigencias de cada contexto. Desde la complejidad multidimensional, un principio que implica un todo e involucra todos los talantes posibles para hacerlos converger en un contexto único, es posible examinar el proceso lógico-interpretativo y abstractivo que aplican los estudiantes y descubrir e interpretar los supuestos que lo sostienen, lo mismo que sus implicaciones. Además, esta perspectiva se puede reforzar desde el concepto filosófico de que método y objeto son una sola cosa. Se podrá tomar el pensamiento complejo para relacionar y generar tejidos de eventos y establecer relaciones significativas, a través de las cuales se estructura una correcta organización lógico-abstracta de los conocimientos involucrados. Esto es importante porque el conocimiento, la combinación de ideas y las tendencias y emociones que interconecta cada componente como un todo, y viceversa, se podrían utilizar para descubrir la información relevante y pertinente, necesaria para complementar las perspectivas, es decir, la lógico-abstracta y la multidimensional, y así encontrar respuestas y alcanzar los objetivos planteados.

La lógica es la esfera de lo formal, una verdad *a priori* que requiere de las matemáticas y que es importante porque soporta la construcción y la explotación de los modelos abstractos que se generan a partir de su aplicación, y las personas deben saber cómo hacer las cosas, aunque generalmente construyen pensamientos para aplicarlos con un propósito preconcebido. Además, se desenvuelven en un universo dominado por las técnicas de modelado, que surgen desde la lógica y la abstracción, y que les permiten construir y evaluar diseños de las soluciones antes de aplicarlas. Se requiere que construyan este tipo de pensamientos, para traspasar las fronteras invisibles que separan las disciplinas científicas y profesionales, y porque se convierte en la herramienta necesaria para conjugar los conocimientos, las prácticas, los conceptos y las explicaciones, que aporta cada una para solucionar un fenómeno, es decir, necesitan comprender la multidimensionalidad del universo. Debido a que el objetivo del Pensamiento Complejo es tomar los conocimientos existentes en un área y mediante imaginación ponerlos al

servicio de la *Praxis* cotidiana, los estudiantes pueden descubrir o potencializar rápidamente su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva, para ponerla al servicio de la sociedad. Por eso es importante conjugar estos principios, porque el conocimiento aislado e individual no basta para encontrar soluciones. En ese orden de ideas, también es necesario utilizar el que proviene de las demás disciplinas implicadas en el contexto del fenómeno o acontecimiento a solucionar, al mismo tiempo que se debe dejar volar la imaginación para aplicar la creatividad y comprender y utilizar esa multidimensionalidad.

Debido a que en cada contexto las personas necesitan mantener un pensamiento multidimensional, como el que se representa en la Figura 2, es necesario que desarrollen adecuadamente su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva, porque la dimensión en la que viven es la misma en la que se presentan los problemas que necesitan solución. Con este tipo de pensamiento, el estudiante reconoce las diferentes aristas que debe comprender para integrar los conocimientos necesarios y modelar una solución. Además, con el razonamiento lógico y la lógica de la acción, podrá desarrollar consecuentemente su creatividad e integrar una propuesta de solución eficiente y eficaz.

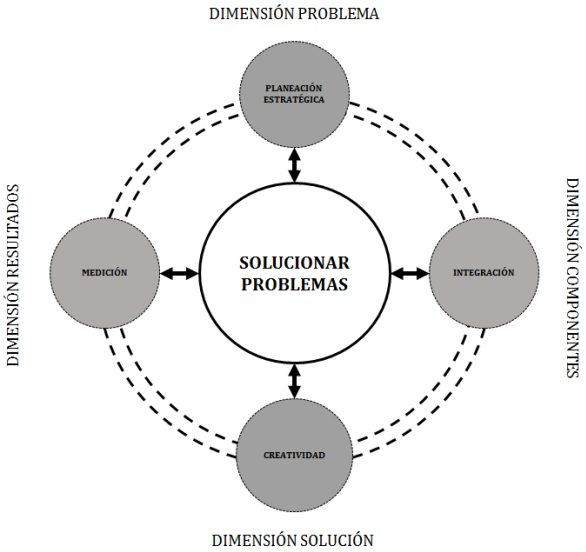

Figura 2: Pensamiento multidimensional

Por todo esto, se necesita que el sistema educativo y los planes de estudios se orienten a desarrollar o potencializar esta capacidad en los estudiantes, y para lograrlo es necesario que los procesos formativos se innoven a la vez que se mejoran o adecuan. Un principio que integre la *complejidad multidimensional*, el *cómo aprenden las personas* y el *razonamiento lógico*, posibilitará ventajas académicas para que los sistemas educativos cumplan su función, para que los profesionales estructuren y presenten mejores soluciones a los problemas sociales, y para mirar con mejor prospectiva el desarrollo de las naciones.

3 Estado del arte

Diferentes trabajos en psicolingüística y neurociencia hacen hincapié en la complejidad de la gramática y la semántica del lenguaje, y han dado un impulso adicional para la búsqueda de la comprensión lógica. En la década de 1960, varios investigadores discutieron este nivel de comprensión. Entre ellos se puede citar a Piaget (1957), Inhelder y Matalon (1960), Hill (1961), McLaughlin (1963), Inhelder y Piaget (1964), Furth y

Youniss (1965), y Youniss y Furth (1964, 1967). Sin embargo, ninguno de estos estudios reportó en qué medida los niños y adultos comprenden el significado lógico de la temática investigada, no definen adecuadamente la situación experimental aplicada y no proyectan el uso de los resultados para proponer cambios en los procesos formativos. Por otro lado, debido a que en la medida que la edad de la población se incrementa, se requiere información mucho más detallada acerca de sus hábitos lingüísticos y comprensión de la lógica a aplicar. Los experimentos de Suppes y Feldman (1969) determinaron qué tanto comprenden los niños de edad pre-escolar el significado de los conectores lógicos y de la lógica misma, con lo que contribuyeron a la acumulación de información sistemática.

McCarthy y Hayes (1969) propusieron que para que un programa de computador fuera capaz de actuar inteligentemente, debía tener una representación general del mundo en términos de las entradas que debía interpretar, y que para diseñarlo se requería saber qué es el conocimiento y cómo se obtiene. Más concretamente, deseaban que un programa informático decidiera qué hacer al inferir la estrategia, desde un lenguaje formal, con la que lograría su objetivo. Este proceso requería formalizar conceptos como causalidad, habilidad y conocimiento, formalismos que también se consideran en la lógica filosófica. Sloam (1971) respondió a este trabajo argumentando que los problemas filosóficos acerca del uso de la *intuición* en el razonamiento, relacionados a través de un concepto de representación analógica para problemas tales como la simulación de la percepción, la resolución de problemas y la generación de conjuntos útiles, se deberían estudiar considerando una manera de actuar. Concluyó que los requisitos para tomar decisiones inteligentes, que propusieron McCarthy y Hayes, eran demasiado estrechos, por lo que en su lugar propuso requisitos más generales. Pero en su trabajo no menciona ni aplica la conceptualización lógico-abstracta como base para lograrlo.

En la década de 1980 se realizaron varias investigaciones alrededor de la resolución de problemas, del modelado cognitivo y de la memoria a largo plazo, a través de modelos computacionales. Cabe mencionar a Schank (1982), Kolodner (1984) y Ross (1984), en cuyos resultados se basaron Kolodner et al. (1985) para explorar las formas en que el razonamiento basado en casos puede ayudar en la resolución de problemas. De acuerdo con este modelo, la transferencia de conocimiento entre casos es, en gran medida, guiada por el proceso mismo de la resolución del problema. Además, demostraba las interacciones entre los procesos de resolución de problemas y la memoria por experiencia. El resultado de este trabajo fue un modelo de razonamiento basado en casos, que integra la resolución de problemas, la comprensión y la memoria, pero no hace referencia a la forma de integrar el proceso mental lógico-abstractivo que las personan necesitan para resolver esos problemas.

En los 90 se investigó acerca del uso del razonamiento abductivo y se presentaron trabajos como el de O'Rorke (1988) sobre el aprendizaje y el descubrimiento, y el de Dasigi y Reggia (1989) sobre el procesamiento del lenguaje natural. Estos trabajos le sirvieron a Kumar y Venkataram (1994) para proponer un modelo basado en el mecanismo de inferencia abductiva con el objetivo de resolver los problemas de diagnóstico, y para añadir algunas características nuevas al modelo general de solución de problemas de diagnóstico que hasta entonces se reconocía. Los resultados obtenidos demostraron su efectividad en la solución de los problemas de diagnóstico, y fueron los primeros en combinar las matemáticas con algoritmos computacionales, pero no se acercaron a la lógica y la abstracción como herramientas que también trabajan desde lo abductivo.

En un intento por comprender si el razonamiento abstracto se desarrolla naturalmente y cómo los procesos formativos contribuyen para lograrlo, Morris y

Sloutsky (1998) se centraron específicamente en los efectos de una formación prolongada en el desarrollo del razonamiento deductivo abstracto, más concretamente en el desarrollo de la comprensión de la necesidad lógica. Plantearon la hipótesis de que el énfasis en la formación en el meta-nivel de la deducción, en un dominio de conocimiento, puede mejorar el desarrollo del razonamiento deductivo, tanto dentro como a través de ese dominio. Este trabajo presenta dos estudios que examinan el desarrollo de la comprensión de la necesidad lógica en el razonamiento deductivo algebraico y verbal. Los resultados apoyaron la hipótesis, lo que indica que una formación prolongada con énfasis en el meta-nivel de la deducción algebraica, contribuye al desarrollo de la comprensión de la necesidad lógica, tanto en el razonamiento deductivo algebraico como en el verbal. También sugirieron que muchos adolescentes, aunque estén expuestos a los mismos procesos de formación, no desarrollan naturalmente una comprensión de la necesidad lógica.

La lógica epistémica es una teoría multifacética encaminada a nociones de orientación, tales como conocimiento, creencias, información, conciencia, memoria y otras actitudes proposicionales por medio de herramientas lógicas y semánticas. Estos conceptos también son el centro de atención de la investigación cognitiva, pero esa cooperación aún no ha sido explorada estrechamente. Pietarinen (2003) realizó una investigación con el objetivo de responder a la pregunta de lo que tiene en común la lógica epistémica y la ciencia cognitiva, y concluyó que existen varias posibilidades: 1) nuevas versiones cuantificadas de multi-agentes lógico-epistémicos que capturan las locuciones de identificación de los objetos involucrados, dando lugar a aplicaciones de la representación de conocimiento en sistemas multi-agente y el procesamiento paralelo, 2) como verdadera semántica para nociones epistémicas, tiene mayor credibilidad cognitiva en el marco de la semántica de la teoría de juegos para las lógicas resultantes, y 3) varios hallazgos recientes en neurociencia cognitiva, relacionados con las nociones de conocimiento y la transformación explícita versus procesamiento implícito, contribuyen a los estudios de la lógica. Estas tres conexiones se exploran en la investigación, tanto desde la perspectiva lógica como de la cognitiva, y como resultado se definieron nuevas extensiones de la lógica epistémica, se incrementó la comprensión formal del procesamiento de la información inconsciente y consciente en el cerebro, y se logró configurar el formalismo en multi-agentes para representar el conocimiento.

La investigación cognitiva, incluyendo a la neurociencia, ha proporcionado importantes conocimientos acerca de conceptos como conciencia, procesamiento de información implícita/explícita en el conocimiento, percepción, identificación de objetos y de la memoria, así como de la recuperación de la información. Mientras tanto, la lógica de actitud proposicional ha definido a la conciencia en términos de herramientas simbólicas, si tener en cuenta las formas en que se relacionan ambos campos. Pietarinen (2004) argumenta que los hallazgos empíricos acerca de las raras disfunciones neuronales son contribuciones de las investigaciones en lógica, y que la fase temprana de la investigación cognitiva, cuyos orígenes coinciden con los de la filosofía pragmatista, comparte raíces con la fenomenología. En consecuencia, identifica líneas en ese período que se originan en la lógica, la Inteligencia Artificial y las Ciencias Computacionales. Además, demuestra la importancia de la división entre aspectos implícitos y explícitos del conocimiento en la cognición comprensiva de la fenomenología, que también se reconoce desde las fases iniciales. Aunque el aporte de este trabajo es sustancial para conocer las raíces de la discapacidad lógica en algunas personas, no aplica los resultados para indicar el mismo proceso en personas sanas.

Egorov (2007) parte de la hipótesis de que la capacidad de pensar con lógica está determinada por los genes, que hipotéticamente codifican información de las proteínas, a los que llama informalmente *genes lógicos*. Además, se pregunta si realmente existen genes para la lógica en los seres humanos, y responde que lo más probable es que sí, porque los genes contribuyen en gran medida al control de la cognición (McLearn et al., 1997; Winterer y Goldman, 2003; Oldham et al., 2006; Popesco et al., 2006; Reuter et al., 2006). En su modelo, un gen lógico puede funcionar como una compuerta lógica dentro de una neurona lógica individual; lo que sustenta en investigaciones que han demostrado que una disposición en serie de dos *riboswitches* en bacterias proporciona un sistema de control de genes, que funciona como una compuerta lógica NOR de dos entradas (Sudarsan et al., 2006). Esta investigación pretende encontrar el origen de la capacidad lógico-interpretativa de los seres humanos, pero aunque su aporte es sustancial en este campo, no aplica el mismo procedimiento para la capacidad abstractiva, lo que no permite hacer una inferencia relacional de ambas capacidades.

A diferencia de otros animales, los seres humanos están equipados con un poderoso cerebro que les permite la conciencia consiente y la reflexión, sin embargo, una creciente tendencia en la psicológica ha cuestionado los beneficios de esa conciencia. Prueba de ello es la hipótesis presentada por Lieberman et al. (2002). Por otro lado, DeWall et al. (2008) aplican cuatro estudios en los sugieren que la conciencia (el sistema de procesamiento reflexivo) es de vital importancia para el razonamiento lógico. Ambos resultados ofrecen evidencia de que el razonamiento lógico es ayudado por el sistema de procesamiento reflexivo, y sirvieron para presentar la hipótesis de que el razonamiento lógico depende en gran medida del procesamiento consciente. Además, para proponer que la forma ideal de probar esta teoría sería poder lograr que las manipulaciones afecten solamente a uno u otro de los dos sistemas de procesamiento, mientras dejan al otro intacto.

Los rápidos cambios en las tecnologías de la información de los últimos años, han hecho que los programas actuales de secundaria no puedan hacer frente a las necesidades de los estudiantes. En consecuencia, ellos no adquieren las competencias exigidas en la actual Era de la Información y el Conocimiento. Específicamente, muchos carecen de las habilidades para buscar información eficientemente. Por otra parte, aun cuando existe información abundante a su disposición, no son capaces de leerla críticamente, de analizarla y de evaluarla. Para hacer frente a estos problemas, Bouhnik y Giat (2009) desarrollaron un curso universitario diseñado para brindarles la capacidad de aplicar herramientas lógicas, con el objetivo de estudiar y comprender los sistemas lógicos y los basados en el concepto. Los resultados demostraron que las habilidades de razonamiento crítico y lógico de los estudiantes mejoraron con el tiempo, tanto objetiva como subjetivamente. Este trabajo hace varias contribuciones a los campos de la formación en tecnologías de la información, la lógica aplicada y el pensamiento crítico.

Diferentes tipos de razonamiento se derivan de diversas disciplinas relacionadas con la formación en matemáticas, tales como la filosofía, la psicología y las matemáticas mismas. Algunas áreas de investigación son el razonamiento inductivo, el razonamiento deductivo, el razonamiento abductivo, el razonamiento plausible y el razonamiento de transformación (Simon, 1996; Harel y Sowder, 1998; Lithner, 2000). Pero Cañadas et al. (2009) consideraron la distinción general entre razonamiento inductivo y deductivo, desde la tradición filosófica y desde diferentes disciplinas y diversos contextos en que persiste esta distinción. Además, hacen un esfuerzo por centrar la investigación en el proceso de razonamiento inductivo, aunque algunos autores destacan las dificultades en separarlos en la práctica (Ibañez, 2001; Marrades y Gutiérrez, 2000; Stenning y

Monaghan, 2005). En cuanto a los resultados, concluyen que los estudiantes aplican con más frecuencia acciones lógicas en aquellos problemas cuyos casos particulares se expresan de forma numérica, y que son capaces de identificar la aplicabilidad de cierto razonamiento inductivo que previamente utilizaron en el aula.

Halpern y Pucella (2011) examinaron cuatro enfoques para abordar el problema de la omnisciencia lógica y su potencial aplicabilidad: el enfoque sintáctico (Eberle, 1974; Moore y Hendrix, 1979; Konolige, 1986), la conciencia (Fagin y Halpern, 1987), el conocimiento algorítmico (Halpern et al., 1994) y los mundos imposibles (Rantala, 1982). Aunque para algunos estos enfoques son igualmente expresivos y pueden capturar todos los estados epistémicos, para otros no lo son. El objetivo de su investigación fue hacer frente a la omnisciencia lógica, es decir, cómo elegir un enfoque y construir un modelo apropiado. Teniendo en cuenta la pragmática de la omnisciencia lógica identificaron algunos principios que rigen el proceso de cómo elegir un enfoque para una situación modelo, con base en el principio de la falta de omnisciencia lógica en dicha situación, y sugirieron que el enfoque de mundos imposibles es especialmente adecuado para representar un punto de vista subjetivo del mundo.

Serna (2012) y Serna y Flórez (2013) concluyen que aunque se acepta que el trabajo de los ingenieros consiste fundamentalmente en detectar, reconocer y resolver problemas, el sistema educativo y los contenidos temáticos relacionados parecen desconocer la necesidad de formar a los estudiantes para que desarrollen un razonamiento lógico adecuado. En estas investigaciones se hace un recorrido por los conceptos de lógica, abstracción, resolución de problemas y razonamiento lógico, y se analizan y describen como una necesidad funcional de la ingeniería y de su aplicación profesional, teniendo en cuenta las exigencias de hoy y haciendo una relación ajustada a los procesos formativos de los actuales y futuros ingenieros. En trabajos similares, Serna y Zapata (2014) y Serna y Polo (2014) presentaron su visión acerca de la lógica y la abstracción, como una relación necesaria en los procesos formativos de los ingenieros. Describen la importancia y la necesidad de formar en esta área del conocimiento, y de la relación entre el ejercicio profesional de los ingenieros y el desarrollo y/o potencialización de su capacidad lógico-interpretativa y abstractiva. Es un trabajo de investigación-revisión-reflexión acerca de la importancia de estos dos componentes, vistos estructuralmente desde el currículo.

Lauren Resnick (1987) opina que definir lo que realmente es el pensamiento de orden superior es una cuestión importante y difícil para los procesos formativos. Sin embargo, es relativamente fácil hacer una lista de sus características clave para reconocerlo y de alguna manera trabajar en pro de atenderlo. Concluye que este tipo de pensamiento se identifica por ser no-algorítmico, complejo, ofrecer múltiples soluciones, involucrar múltiples criterios, implica incertidumbre, es auto-regulado y requiere esfuerzo. El autor propone incluir iniciativas en el currículo para desarrollar este tipo de pensamiento, y describe las ventajas de que los estudiantes lo potencialicen en sus procesos formativos.

Para Edgar Morin (1977-2006, 1981, 1990, 1999, 2010) y otros pensadores (Morin y Le Moigne, 1999; Morin et al., 2002; Nicolescu, 1996; Edmonds, 1999; De Almeida, 2007; Mainzer, 2009; Richardson, 2010; Pereira, 2010; Gabbay, 2011; Xiong, 2011; Downey, 2012; Montuori, 2013), a través del Pensamiento Complejo se puede lograr una comprensión del mundo como un todo. Es decir, ayuda a desenmarañar la madeja de hilos en que se ha convertido el conocimiento desde el siglo XX. Y esto es posible porque multidimensionalidad hace una relación de todo lo que implica este tejido para lograr que, a través de procesos formativos, los estudiantes desarrollen una interpretación unívoca

del mundo, y para que el conocimiento se asimile como una globalidad. Esto es importante porque en la actualidad se asume que la dificultad de pensar y vivir es una cuestión que no tiene retroceso, especialmente porque los desarrollos tecnológicos no facilitan esa conjunción. Pero si los procesos formativos se orientan a descubrir y/o desarrollar la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva desde las fases tempranas en la escuela, y si los profesores comprenden que el conocimiento es algo más que especialidades, se podría re-orientar a mediano plazo el destino concreto de esta sociedad.

4 Pensamiento Complejo multidimensional

Como señala Edgar Morin (2008), el tipo de pensamiento en el que el conocimiento es fragmentado, compartimentado, monodisciplinar y cuantificado, conduce a una inteligencia ciega en la medida en que la capacidad humana para conectarlo se sacrifica a la aptitud menos normal para diferenciarlo. Morin propone alternativamente al Pensamiento Complejo como un método para entender y comprender el proceso de conocer. Este tipo de pensamiento es el organizador de la información para representar el mundo, y es parte de nuestros pensamientos, ideas y teorías científicas. En su opinión (Morin, 2004), la epistemología compleja es el conocimiento del conocimiento, y el conocimiento es una *aventura en espiral* que tiene un punto de partida, pero que no tiene fin, realizando círculos concéntricos incansablemente.

Sin embargo, es importante aclarar que la complejidad no se trata de la eliminación de la sencillez, porque mientras simplificar el pensamiento es desintegrar la complejidad de lo real, el Pensamiento Complejo integra, en la medida de lo posible, las formas simplificadoras de pensar y rechaza las consecuencias de la mutilación, el reduccionismo y la unidimensionalidad. Finalmente, considera a la simplificación cegadora como un reflejo de lo que podría ser real en la realidad (Morin, 2006). Afirma además que ciertamente la ambición del Pensamiento Complejo es dar cuenta de las articulaciones disociadas entre dominios disciplinares, que dispersan el pensamiento (una de las principales características de la simplificación de pensamiento). En este sentido, el Pensamiento Complejo aspira al conocimiento multidimensional, pero aceptando que hasta el momento es imposible, porque uno de los axiomas de la complejidad es la imposibilidad, incluso teórica, de una omnisciencia (Morin, 2006).

En ese sentido, es posible explicar el Pensamiento Complejo con base en la etimología del término *complexus*, entendido como lo que está tejido en conjunto o conjuntamente entretejido. En este contexto, la emergencia de interrelaciones entre las partes y las propiedades será relevante para diversos autores y en diferentes campos. Entendiendo emergencia como referida a aquellas propiedades o procesos de un sistema, que son no-reducibles a las propiedades o procesos de sus partes constituyentes. Está estrechamente relacionada con los conceptos de auto-organización y superveniencia y se define en oposición a los conceptos de reduccionismo y dualismo. Uno de los ejemplos más comunes de un fenómeno emergente es la mente, que surge de la interacción distribuida entre diversos procesos neuronales, corporales y ambientales, pero que no se puede reducir a ninguno de los componentes que participan en ellos. Desde el punto de vista epistemológico, la emergencia se refiere a la imposibilidad del observador para predecir la aparición de nuevas propiedades en un sistema. Enrique Margery (2007) afirma que lo emergente es una respuesta inesperada o reacción no prevista, producida como resultado de la interacción entre las partes de un todo.

Para el propósito de este capítulo se acepta que el aprendizaje es un fenómeno emergente, que surge de la interacción distribuida entre diferentes procesos (neuronales,

corporales, emocionales y ambientales), pero que no puede ser reducido a cualquiera de los componentes intervinientes. Por eso hay que entender que la mayor parte del aprendizaje es inesperado y a menudo imposible de prever, y que el contenido del aprendizaje es a la vez simple y complejo, aunque lo complejo no son simples agregados de lo simple. Existen algunos puntos de referencia que permiten comprender el aprendizaje en entornos constructivistas como un fenómeno emergente, imprevisible e irrepetible (Moraes, 2008):

- La complejidad es dinámica y por tanto procesual. Los procesos dinámicos son imprevisibles y creativos y tienen la capacidad de ir más allá del horizonte conocido o previsto.
- Cada experiencia es única, no repetible y no transferible, porque el tiempo no actúa de forma retrospectiva sobre la materia, y tampoco lo hace el presente sobre el pasado. Esta comprensión recalca la importancia de ser conscientes de los momentos importantes de la vida, tanto en el sentido personal como en lo que se refiere al conocimiento y el aprendizaje.
- Los fenómenos son multidimensionales, y percibir su multicausalidad y multiplicidad es necesario para lograr una adecuada comprensión. Pensar de manera compleja es entender las relaciones, conexiones y enlaces.
- No existe una única realidad objetiva independiente de la que se observa, sino múltiples realidades, y cuáles de esas realidades revelar depende enteramente del observador.
- Hay tipos importantes y diversos de conocimiento, por lo que son diferentes las interpretaciones que cada individuo tiene en relación con la realidad.

Esta complicación de las estructuras cognitivas, con el apoyo de la educación contemporánea, desafían a las relativamente estables capacidades cognitivas y requieren nuevos enfoques para el proceso cognitivo. Morin (1999), al prestar atención al hecho de que los problemas se vuelven más globales, transnacionales, multidimensionales, transversales, transdisciplinares y planetarios, afirma que el conocimiento del mundo debe comprenderse como un fenómeno integral, en el que la complicación se convierte en una necesidad vital que se debe atender. Entonces, propone el paradigma de la complejidad como una respuesta a los desafíos de la educación de este siglo. El Pensamiento Complejo es su apuesta para comprender y atender estas complicaciones (Knyazeva, 2012).

De acuerdo con Morin (Knyazeva, 2012), el Pensamiento Complejo es: 1) radical y se ubica en la raíz de los problemas; 2) multidimensional, 3) organización o sistema de pensamiento que analiza la correlación del todo y las partes; 4) ecológico y no aísla los objetos en estudio, pero considera sus interrelaciones y sus conexiones ecológicas de autorregulación con el entorno cultural, social, económico, político y natural; 5) pensamiento que crea ecología de la acción y la dialéctica de la acción, es decir, pensar que es capaz de construir una estrategia que permite modificar o incluso anular la acción emprendida por un sujeto; y 6) pensamiento que reconoce su propia imperfección y lleva a cabo las negociaciones con la duda, es decir, en la acción, porque no hay acción sin duda.

Entonces, ¿por qué se debe considerar al Pensamiento Complejo como multidimensional? En primer lugar, la noción está muy extendida en la filosofía social contemporánea en la que hace referencia a las dimensiones humana, humanitaria, cultural y de los procesos históricos. Por su naturaleza, la idea de la multidimensionalidad no es un término económico o sociológico; se considera como característica general de los

sistemas, no sólo para indicar ciertos aspectos del fenómeno al que describe como un conjunto, y por regla general, la intuición humana se refiere a ciertos puntos de vista amplios del mundo social y cultural por medio de esta noción. En segundo lugar, el concepto se basa en la idea fundamental de la autonomización de dimensiones separadas. Si se tiene en cuenta esta tendencia hay que decir que son imágenes simplificadas de los fenómenos multidimensionales, por lo que estos resultados se deben considerar como profundas deformaciones en la teoría y la práctica. Por esto es que el colapso del fenómeno de dimensiones indica la inestabilidad creciente de la sociedad, y es lógico que una sociedad sin alternativas (unidimensional) no tenga mucha oportunidad de continuar su actividad, en comparación con una sociedad con alternativas (multidimensional).

5 Conclusiones

La complejidad del ser humano puede ser percibida en el contexto de una sociedad multidimensional, porque ambos son fenómenos multidimensionales. De acuerdo con Morin (1999), la naturaleza humana es multidimensional y de múltiples niveles, por lo que la educación debe reconocerla e insertar sus datos dentro de ella. Además, debido a que las personas son pieza aislada de la totalidad de la sociedad, no deben ser separadas unas de otras. Por ejemplo, la dimensión económica está en interrelación permanente con todas las otras dimensiones humanas; por su parte, las pasiones, necesidades y deseos humanos van más allá de los intereses exclusivamente económicos, lo que genera una holográmica dentro de la economía. La absolutización de una sola dimensión conduce a una visión tergiversada del ser humano. Este es el caso de la comprensión de los seres humanos como *Homo sapiens*, que ha contribuido a la difusión del racionalismo en las investigaciones antropológicas y a la afirmación del concepto de antropocentrismo.

Por todo esto es que la educación (formación) debe declarar y facilitar la adaptación de los individuos a las condiciones multidimensionales y cambiantes del mundo, buscando nuevas estrategias, modelos de comportamiento y perspectivas para las personas en este siglo. Morin habla de la necesidad de superar la dispersión del conocimiento, que dificulta aclarar la complejidad, y la diversidad de los seres humanos y del mundo en el que viven y trabajan. De acuerdo con Lyotard (2001), este problema es resultado del desarrollo del conocimiento científico actual. Porque pone en tela de juicio las líneas divisorias clásicas entre los diversos campos de la ciencia, entonces desaparecen las disciplinas y en la superposición de estos nuevos territorios nacen las fronteras entre las ciencias. En este contexto surge el conocimiento en el proceso educativo, como una parte del mundo interior de las personas que estudian, de sus intereses, valores y objetivos, por lo que la naturaleza de ese conocimiento es subjetiva. La educación debe desarrollar las habilidades y capacidades vitales de las personas, por lo que está estrechamente relacionada con su mundo a través de la práctica cotidiana de participar.

Las ideas acerca de los métodos de adquisición de conocimientos están en proceso de cambio. El Pensamiento Complejo no se considera como la forma definida *a priori*, sino como una manera de adquirirlo. La configuración de los conocimientos se considera como un ciclo, una unión, que no se reduce solamente a un significado, sino que induce a una nueva reflexión, por lo que la educación debe estimular el potencial interno de cada ser humano. Es por esto que debe utilizar y potencializar los métodos conectados con la naturaleza interna del ser humano: el juego, el diálogo, la práctica de la investigación, entre otros. De esta manera, se amplía el espacio de las posibilidades humanas a través de la exploración de la naturaleza multidimensional del interior del *Homo Complexus*. Siguiendo esta idea, el plan de estudios debería presentarse como un espacio

multidimensional de las posibles interacciones educativas y la meta-comunicación, y basado en:

- Transfenomenalidad, como un atributo del espacio educativo y del ser humano, que se ofrece a través de la lente del paradigma de la complejidad de estos enfoques a la actividad cognitiva, y que puede ser posible solamente mediante la consideración simultánea de los factores y los eventos asociados con diferentes niveles de explicación de los fenómenos.
- Transdisciplinariedad, como una media del conocimiento científico que supone la consideración simultánea de los hechos relacionados con diferentes perspectivas disciplinares.
- Transdiscursividad, como práctica comunicativa y cognitiva que supone la consideración simultánea de los hechos relacionados con diferentes perspectivas discursivas.
- Transculturalidad, como una situación en la cultura que el paradigma de la complejidad ofrece en el contexto de las ideas, y que puede ser posible solamente debido a la consideración simultánea de los hechos pertenecientes a diferentes tradiciones y orientaciones de los valores culturales.

Referencias

Bouhnik, D. & Giat, Y. (2009). Teaching high school students applied logical reasoning. Journal of Information Technology Education 8, pp. 1-16.

Cañadas, M., Castro, E. & Castro, E. (2009). Using a model to describe students' inductive reasoning in problem solving. Electronic Journal of Research in Educational Psychology 7(17), pp. 261-278.

Dasigi, V. & Reggia, J. (1989). Parsimonious covering as a method for natural language interfaces to expert systems. Artificial Intelligence in Medicine 1, pp. 49-60.

De Almeida, M. (2007). Para comprender la complejidad. México: Multiversidad Mundo Real.

DeWall, C., Baumeister, R. & Masicampo, E. (2008). Evidence that logical reasoning depends on conscious processing. Consciousness and Cognition 17(3), pp. 628-645.

Downey, A. (2012). Think Complexity. USA: Green Tea Press.

Eberle, R. (1974). A logic of believing, knowing and inferring. Synthese 26(3-4), pp. 356-382.

Edmonds, B. (1999). What is Complexity? - The philosophy of complexity per se with application to some examples in evolution. In Heylighen, F. & Aerts, D. (Eds.), The evolution of Complexity, pp. 1-18. Dordrecht: Kluwer.

Egorov, I. (2007). Neural logic molecular, counter-intuitive. Biomolecular Engineering 24(3), pp. 293-299.

Fagin, R. & Halpern, J. (1987). Belief, awareness, and limited reasoning. Artificial Intelligence 34(1), pp. 39-76.

Furth, H. & Youniss, J. (1965). The influence of language and experience on discovery and use of logical symbols. British Journal of Psychology 56(4), pp. 381-390.

Gabbay, D.; Woods, J. & Thagard, P. (2011). Philosophy of Complex Systems. UK: Elsevier.

Halpern, J. & Pucella, R. (2011). Dealing with logical omniscience: Expressiveness and pragmatics. Artificial Intelligence 175(1), pp. 220-235.

Halpern, J.; Moses, Y. & Vardi, M. (1994). Algorithmic knowledge. Proceedings 5th Conference on Theoretical Aspects of Reasoning about Knowledge, pp. 255-266. San Jose, California.

Harel, G. & Sowder, L. (1998). Students' proof schemes: Results from exploratory studies. Research in collegiate mathematics education 4, pp. 234-283.

Hill, S. (1961). A study of the logical abilities of children. Doctoral dissertation. Stanford University.

Ibañes, M. (2001). Cognitive aspects of learning mathematical proofs in students in fifth year of secondary education Doctoral dissertation. Universidad de Valladolid.

Inhelder, B. & Matalon, B. (1960). The study of problem solving and thinking. In Mussen, P. (Ed.), Handbook of research methods in child development, pp. 421-455. New York: Wiley.

Inhelder, B. & Piaget, J. (1964). The early growth of logic in the child: Classification and seriation. New York: Harper and Row.

Knyazeva, H. (2012). Complex Thinking: Methodological, managerial and ethical aspects. In Symposium Physical and Metaphysical Aspects of Systems after Morin, pp. 47-50. Bertalanffy Center for the Study of Systems Science, UK.

Kolodner, J. (1984). Retrieval and organizational strategies in conceptual memory: A computer model. New York: Lawrence Erlbaum Associates.

Kolodner, J.; Simpson, R. & Sycara-Cyranski K. (1985). A process model of cased-based reasoning in problem solving. Proceedings 9th international joint conference on Artificial intelligence. Los Angeles, USA.

Konolige, K. (1986). A deduction model of belief. San Francisco: Morgan Kaufmann.

Kumar, G. & Venkataram, P. (1994). A realistic model for diagnostic problem solving using abductive reasoning based on parsimonious covering principle. Proceedings Third Turkish Conference on Artificial Intelligence and Neural Networks, pp. 1-10. Ankara, Turkey.

Lieberman, M. et al. (2002). Reflection and reflexion: A social cognitive neuroscience approach to attributional inference. Advances in Experimental Social Psychology 34, pp. 199-249.

Lithner, J. (2000). Mathematical reasoning in school tasks. Educational Studies in Mathematics 41(2), pp. 165-190.

Lyotard, J. (2001). The postmodern condition - Continental Philosophy. In Seidman, S. & Alexander, J. (Eds.), The New Social Theory Reader - Contemporary Debates, pp. 166-176. London: Routledge.

Mainzer, K. (2009). Thinking in Complexity: A New Paradigm for Learning. Complicity: An International Journal of Complexity and Education 6(1), pp. 23-27.

Margery, E. (2007). Las Organizaciones del Siglo XXI. En Conversatorios sobre Pensamiento Complejo. Vicerrectoría de Docencia, Universidad de Costa Rica.

Marrades, R. & Gutiérrez, A. (2000). Proofs produced by secondary school students learning geometry in a dynamic computer environment. Educational Studies in Mathematics 44(1-3), pp. 87-125.

McCarthy J. & Hayes, P. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of AI. In Meltze, B. & Michie, D. (Eds.), Machine Intelligence 4, pp. 463-502. Scotland: Edinburgh University Press.

McLaughlin, G. (1963). PsychOlogic: A possible alternative to Piaget's formulation. British Journal of Educational Psychology 33(1), pp. 61-67.

McLearn, G. et al. (1997). Substantial genetic influence on cognitive abilities in twins 80 or more years old. Science 276 (5318), pp. 1560-1563.
Montuori, A. (2013). Complex Thought - An Overview of Edgar Morin's Intellectual Journey. MetaIntegral Foundation, Resource Paper.
Moore, R. & Hendrix, G. (1979). Computational models of beliefs and the semantics of belief sentences. Technical Note 187. Menlo Park: SRI International.
Moraes, M. (2008). Dimensoes motodológicas e suas implicacoes educacionais. Univer. Católica de Brasilia.
Morin, E. & Le Moigne, J. (1999). Inteligencia de la Complejidad. México: L'aube.
Morin, E. (1981). Para salir del siglo XX. Barcelona: Kairós.
Morin, E. (1990). Introducción al Pensamiento complejo. México: Multiversidad Mundo Real.
Morin, E. (1999). Los 7 Saberes Necesarios para la Educación del Futuro. Paris: UNESCO.
Morin, E. (2004). La Méthode VI - L'Éthique complexe. Paris: Le Seuil.
Morin, E. (2006). Complexité restreinte, complexité générale. In Le Moigne, J. & Morin, M. (Eds.), Intelligence de la complexité. Epistémologie et pragmatique, pp. 28-50. Paris: Editions de l'Aube.
Morin, E. (2008). On Complexity. London: Hampton Press.
Morin, E. (2010). ¿Hacia el abismo? Globalización en el siglo XXI. Madrid: Paidós.
Morin, E., Ciurana, E. & Motta, R. (2002). Educar en la era planetaria. Valladolid: Universidad de Valladolid.
Morris, A. & Sloutsky, V. (1998). Understanding of logical necessity: Developmental antecedents and cognitive consequences. Child Development 69(3), pp. 721-741.
Nicolescu, B. (1996). La Transdisciplinariedad Manifiesto. México: 7 Saberes.
O'Rorke, P. (1988). Automated Abduction and Machine Learning. Proceedings AAAI Symposium on Explanation-Based Learning, pp. 170-174. Stanford, USA.
Oldham, M.; Horvath, S. & Geschwind, D. (2006). Conservation and evolution of gene coexpression networks in human and chimpanzee brains. PNAS 103(47), pp. 17973-17978.
Pereira, J. (2010). Consideraciones básicas del pensamiento complejo de Edgar Morin, en la educación. Revista Electrónic@ Educare XIV(1), pp. 67-75.
Piaget, J. (1957). Logic and psychology. New York: Basic Books.
Pietarinen, A. (2003). What do epistemic logic and cognitive science have to do with each other? Cognitive Systems Research 4(3), pp. 169-190.
Pietarinen, A. (2004). Logic, Neuroscience and Phenomenology: In Cahoots? Proceedings First International Workshop on Philosophy and Informatics. Cologne, Germany.
Popesco, M. et al. (2006). Human lineage-specific amplification, selection, and neuronal expression of DUF1220 domains. Science 313(5791), pp. 1304-1307.
Rantala, V. (1982). Impossible worlds semantics and logical omniscience. Acta Philosophica Fennica 35, pp. 18-24.
Resnick, L. (1987). Education and learning to think. Washington: National Academy Press.
Reuter, M. et al. (2006). Identification of first candidate genes for creativity: a pilot study. Brain Research Reviews 1069(1), pp. 190-197.
Richardson, K. (2010). Thinking About Complexity - Grasping the Continuum through Criticism and Pluralism. USA: Emergent.
Ross, B. (1984). Remindings and their effects in learning a cognitive skill. Cognitive Psychology 16(3), pp. 371-416.
Schank, R. (1982). Dynamic Memory. Cambridge: Cambridge University Press.
Serna, M.E. & Flórez, O.G. (2013). The logical reasoning as functional requirement in engineering. In Larrondo, P. et al. (Eds.), Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, pp. 1-7. Cancun, Mexico.
Serna, M.E. & Polo, J. (2014). Logic and abstraction in engineering education: A necessary relationship. Ingeniería, Investigación y Tecnología XV(2), pp. 299-310.
Serna, M.E. & Zapata, A.L. (2014). Approach to logic and abstraction in the engineering training. Revista Internacional de Educación y Aprendizaje 2(1), pp. 23-47.
Serna, M.E. (2015). The development of capacity logical-interpretative and abstractive. Theoria - Revista de Teoria, Historia y Fundamentos de la Ciencia. In press.
Simon, M. (1996). Beyond inductive and deductive reasoning: The search for a sense of knowing. Educational Studies in Mathematics 30(2), pp. 197-210.
Sloman, A. (1971). Interactions between philosophy and artificial intelligence: The role of intuition and non-logical reasoning in intelligence. Artificial Intelligence 2(3-4), pp. 209-225.
Stenning, K. & Monaghan, P. (2005). Strategies and knowledge representation. In Leighton, J. & Sternberg, R. (Eds.), The nature of reasoning, pp. 129-168. USA: Cambridge University Press.
Sudarsan, N. et al. (2006). Tandem riboswitch architectures exhibit complex gene control functions. Science 314(5797), pp. 300-304.

Suppes, P. & Feldman, S. (1969). Young children's comprehension of logical connectives. Journal of Experimental Child Psychology 12(3), pp. 304-317.
Winterer, G. & Goldman, D. (2003). Genetics of human prefrontal function. Brain Research Reviews 43(1), pp. 134-163.
Xiong, J. (2011). New software engineering paradigm based on complexity science. USA: Springer.
Youniss, J. & Furth, M. (1697). Learning of logical connectives by adolescents with single and multiple instances. Journal of Educational Psychology 58(4), pp. 222-230.
Youniss, J. & Furth, M. (1964). Attainment and transfer of logical connectives in children. Journal of Educational Psychology 55(6), pp. 357-361.

Capítulo IX

Transdisciplinariedad y Multidimensionalidad en la Ingeniería del Software

Se podría decir que somos software-dependientes y que como sociedad moderna la mayoría de nuestras actividades y relaciones están condicionadas por, o dependen de, este desarrollo tecnológico. Pero de acuerdo con los organismos encargados de su control, tales como IEEE, ACM y los mismos usuarios, al parecer los procedimientos con los cuales se produce todavía no han superado la llamada crisis del software de los años 60, y se continúa entregando con deficiencias en calidad, seguridad y fiabilidad. Este hecho genera problemas en las organizaciones y en la misma sociedad, porque sus decisiones comerciales, de inversión y los procedimientos en salud, por ejemplo, no siempre ofrecen los resultados esperados y en muchas ocasiones resultan en pérdidas económicas o de vidas humanas. Por otro lado, los problemas de la Sociedad de la Información y el Conocimiento, que se pueden solucionar con productos software, han incrementado su complejidad debido a que presentan una alta interacción entre diferentes disciplinas y áreas del conocimiento, y a que las fuentes de los datos y de la información son multidimensionales. Para colaborar en la búsqueda de una solución a este problema, en este capítulo se describe la necesidad de un modelo teórico para gestionar los procesos de la Ingeniería de Requisitos, de tal manera que en esta fase de la Ingeniería del Software se integren principios de la transdisciplinariedad y la multidimensionalidad, para atender esa complejidad de los problemas sociales. De esta manera, será posible mejorar la calidad del software, porque se incrementa la comprensión de los problemas y por tanto se estructuran soluciones más cercanas a las necesidades de los usuarios.

1 Introducción

De acuerdo con la literatura consultada, los métodos y las metodologías actuales en la Ingeniería del Software no responden satisfactoriamente a la necesidad de calidad en el software. En parte porque siguen aplicando una visión dimensional y en muchos casos solamente multidisciplinar, para gestionar una Ingeniería de Requisitos que parece no responder a las exigencias de los problemas actuales, tales como los viajes espaciales, la conservación del medio ambiente y la supervivencia de la especie. Esta primera fase del ciclo de vida del producto constituye la base sobre la que se realiza el diseño, el desarrollo, la arquitectura y la implementación, lo que la convierte en la más importante del proceso de crear software. Al innovar la forma en que se gestiona, los desarrolladores podrían construir escenarios y modelar propuestas que representen con fiabilidad el funcionamiento del futuro sistema, a la vez que modelar soluciones que se acerquen mejor a un contexto seguro de solución.

En este capítulo se identifica esta problemática y se propone estructurar un modelo para gestionar la Ingeniería de Requisitos, mediante una gestión de conocimiento con visión transdisciplinar y multidimensional, que integre los principios necesarios para atender la complejidad de los problemas. El objetivo es diseñar un *modelo teórico trans-relacional*, orientado a gestionar y administrar las necesidades de los usuarios en problemas que se puedan solucionar con productos software. Así, y de acuerdo con el ciclo de vida del producto, se podrá construir un documento de especificación lógico y consecuente con la propuesta de solución, identificada en la primera fase del ciclo de vida del producto.

2 Contextualización

En gran medida, los adelantos tecnológicos de la Era Digital han sido posibles gracias a uno de sus propios productos: el software, que se convirtió en pilar para lograrlos desde que se inició la revolución tecnológica, a mediados de 1980. Actualmente, casi la totalidad de las actividades humanas dependen de ellos y cada día se incrementan y diversifican, por lo que es posible afirmar que somos una sociedad *Software-Dependiente*. Aunque esa dependencia es una realidad, el proceso de construcción de este producto todavía presenta falencias y tiene baja calidad, eficiencia y seguridad. En parte porque la actividad y los procedimientos de fabricación todavía no se regulan profesionalmente, y porque la formación en la disciplina, la Ingeniería del Software (en muchos países Ingeniería de Sistemas), no tiene una línea de formación bien definida, como por ejemplo, en la Ingeniería Civil. Se necesita regular y formalizar su ejercicio profesional, que comienza desde la comprensión misma de las consecuencias de liberar productos que no satisfacen las necesidades de los usuarios.

La Ingeniería del Software (SE) es la *ciencia del desarrollo de software* y sienta las bases y principios para la elaboración de productos fiables, seguros y de calidad, a través de una serie de fases denominas *ciclo de vida del software*. En la primera de ellas, la Ingeniería de Requisitos (RE), se recogen, analizan y documentan las necesidades del cliente, denominadas *requisitos*, que el producto deberá satisfacer, por lo que se considera la más importante de todas. Aunque se han propuesto diversos modelos para desarrollarla y gestionarla, todos se orientan a modelar cada sistema como un todo e intentan solucionar el problema holísticamente, y hasta el momento ninguno integra principios y teorías como la complejidad, el Pensamiento Complejo, la transdisciplinariedad o la multidimensionalidad. En parte, esa forma tradicional de desarrollar el software ocasiona que los productos se retrasen, que no cumplan con el presupuesto, o que no satisfagan los requisitos, porque su fiabilidad y calidad no son las esperadas. Debido a la dependencia social del software, la ingeniería para construirlos debería garantizar que no tengan errores o fallas, que pongan en riesgo la vida o las inversiones de los clientes.

Por otro lado, las necesidades del usuario integran un universo de fuentes, sistemas y tecnologías, por lo que al tratar de analizarlas con una visión holística el ingeniero no alcanza a comprenderlas y modelarlas para desarrollar un producto que las satisfaga completamente. Es por esto que se hace necesario integrar nuevos conceptos en el proceso, con los que sería posible estructurar un modelo que permita desarrollar y gestionar RE de forma diferente, y posiblemente con mejores resultados. De esta manera, el cliente y el usuario podrían expresar sus necesidades con mayor precisión y claridad, y el ingeniero los comprendería y modelaría de mejor forma para las fases siguientes. Lo más importante aquí es que se lograría entregar un producto acorde con su contexto de aplicación, que cumpla en alto porcentaje con la calidad, la fiabilidad y la seguridad esperadas.

Este principio, que puede considerarse revolucionario, en el que se propone la integración de estas teorías y conceptos innovadores a la Ingeniería de Requisitos, tiene como objetivo estructurar y aplicar un modelo para gestionar las necesidades de los usuarios a partir de: 1) la *teoría de la complejidad*, porque el mundo del software es complejo; 2) la *multidimensionalidad*, porque los sistemas no son unidimensionales; 3) del *Pensamiento Complejo*, porque los desarrolladores de software deben interpretar adecuadamente el contexto del problema; 4) del *razonamiento lógico*, porque únicamente personas lógicas son capaces de razonar adecuadamente el software; y 5) de la *capacidad lógico-interpretativa y abstractiva*, porque es una herramienta esencial para modelar,

comprender y navegar el mundo, y para entender cómo funciona el cerebro, porque a fin de cuentas es el órgano con el que se razonan y toman las decisiones sustanciales para resolver lógicamente los problemas (Serna y Polo, 2014).

Si bien la comunidad reconoce la importancia de la Ingeniería de Requisitos, y aunque desde hace tiempo diversos investigadores se han mostrado inquietos y han propuesto cómo llevarla a cabo de mejor forma (Bubenko, 1995; Al-Rawas y Easterbrook, 1996; Sommerville y Sawyer, 1997; Nguyen y Swatman, 2000; Satria, 2003; Gervasi y Zowghi, 2005; Birk y Heller, 2007; Firesmith, 2007; Vijayan y Raju, 2011; Ramingwong, 2011; Serna, 2011a; Haße y Michielsen, 2013), todavía no se ha logrado estructurar un modelo que brinde la posibilidad de diseñar una especificación confiable y segura de las necesidades del cliente. Una propuesta de solución para este problema es que los ingenieros de software eliciten los requisitos y generen la especificación integrando las teorías y principios descritos anteriormente. De esta forma, podrían tener una mejor visión de las relaciones entre los diferentes sistemas, individuos y desarrollos tecnológicos; y podrían modelar soluciones más cercanas a lo esperado, como ya lo han experimentado algunas propuestas (Mahaux y Canon, 2012; Lemberger y Morel, 2012; Scharnhorst, Börner y Besselaar, 2012; Curlee y Gordon, 2014).

El primer paso para lograr este objetivo es comprender realmente el concepto sistema, porque aunque la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, 1969) definió la generalidad del mismo, no reveló su carácter *totalitario*. Por tal razón, actualmente todo se considera un sistema, aunque su significado no es suficiente por sí solo para determinar el alcance epistemológico del término en toda su complejidad conceptual. Visto desde los planteamientos de las Ciencias Computacionales, *sistema* es una estructura organizada con un propósito determinado y conformada por un conjunto de elementos interrelacionados e interdependientes, que continuamente se influencian entre sí para mantener su actividad y existencia con el objetivo de alcanzar la finalidad de la estructura. En otras palabras, es un conjunto complejo de dimensiones e interacciones que buscan un fin común, y no un todo homogéneo y armónico, como generalmente se considera. Para Edgar Morin (1982), este holismo surge desde el mismo principio como una simplificación del reduccionismo al que se opone, es decir, una simplificación de y una reducción para la totalidad. Aquí es donde la Ingeniería de Requisitos falla, porque la mayoría de ingenieros no establece auto-principios para dilucidar el concepto sistema con el que la gestionan.

Otro término que requiere aclaración es complejidad, porque lo que generalmente se reconoce como *complejo* solamente suele ser *complicado*, enredado, o confuso, porque no se puede describir dado el número de mediciones, operaciones y cálculos que requiere. Sin embargo, quienes reconocen la complejidad comparten la creencia de que fundamentalmente un sistema se puede explicar en términos de unos cuantos principios simples, que a su vez permiten una combinación casi infinita de otros tantos elementos, igualmente simples (Downey, 2012). Por eso la teoría de la complejidad es útil para la RE, porque en ella se encuentra la dualidad básica entre partes, que a la vez son distintas y conectadas y que los métodos analíticos actuales por sí solos no logran identificar. Además, debido a que los componentes del sistema se mezclan entre sí, es difícil describir su comportamiento mediante los métodos clásicos, porque un cambio en alguno de ellos se propaga a través de un complejo tejido de interacciones con los otros, y es difícil rastrear su comportamiento global en términos de los elementos (requisitos). En el caso de la Ingeniería de Requisitos es apremiante realizar esta integración, porque la sociedad está inmersa y rodeada de problemas complejos. Aunque primero se requiere un cambio en la forma tradicional de pensar y ver el mundo que tienen los ingenieros (Edmonds,

1999). Un modelo para gestionar y administrar esta fase de la SE, en el que se involucren los principios y teorías que aquí se proponen, se convertiría en una herramienta de amplia ayuda para los profesionales y sería un aporte para que comiencen a ver de otra manera la Teoría de la Complejidad, al menos desde las funciones que llevan a cabo como ingenieros de software.

Otra asunto es que los requisitos tienen inmersa la característica de *volatilidad*, lo que dificulta hacerles seguimiento y mantenerlos actualizados al modelar la solución. Aquí es importante tener en cuenta el desarrollo que propone Edgar Morin (1991) en la hexalogía del método científico: la *auto-eco-re-organización*. Como propiedad inherente de los sistemas para constituirse y evolucionar y para adquirir las entradas del contexto, este principio se puede aprovechar para estructurar un modelo de gestión para atender esa volatilidad, pero comprendiendo que: 1) los sistemas software son *finitos*, por lo que la recursividad que define la auto-organización generaría sus propios principios de estructuración y funcionamiento, necesarios para determinar la vida útil; 2) la eco-organización le aportaría a la RE un soporte para comprender las *dependencias internas y externas* que tiene los sistemas con el contexto, y para lograr las entradas y salidas del mismo; y 3) debido a que los sistemas son *dinámicos*, la re-organización se utilizaría para programar sus actualizaciones y realizar las modificaciones, sin afectar drásticamente su objetivo central. Este modelo se convertiría en una herramienta básica para modelar soluciones y atender las necesidades de los usuarios, porque traduciría las diferentes interpretaciones del problema en un modelo integrador de visiones y contextos, para diseñar y desarrollar el producto.

Por su parte, la concepción ontológica de las realidades espaciales de Roux (2002), en la que un territorio siempre estará definido por características objetivables como fragmento físico del espacio, se puede re-direccionar en la Ingeniería de Requisitos con el objetivo de: 1) identificar y descomponer el problema en sus componentes referidos mediante características unidimensionales; 2) caracterizar las superposiciones en el sistema a través de su multidimensionalidad; y 3) establecer las relaciones múltiples al interior y el exterior del sistema para re-conocer la multi-dependencia de sus componentes. Analizar los requisitos desde esta concepción le permitiría al ingeniero comprender el sistema como una realidad ontológica, en la que cada sub-sistema tiene sus propias dimensiones y relaciones, a la vez que se integra multidimensionalmente con los demás mediante un proceso continuo de entradas-salidas con y para el contexto.

En *Dinámica de los Sistemas Complejos*, Moriello (2002) sostiene que los sistemas no son independientes, sino que se sitúan en un contexto que los circunda y envuelve total y absolutamente. Por lo tanto, se encuentran en un proceso de intercambio constante que los modifica, redefine y construye, de acuerdo con las entradas y salidas que se producen en él. Esta característica podría asimilarse a lo que sucede en la Ingeniería de Requisitos, porque el sistema que se resuelve está inmerso en un contexto complicado, a la vez que complejo, con el que mantiene intercambios y relaciones permanentes. Esto origina la volatilidad de los requisitos y la necesidad de mantener una actualización constante de sus relaciones y redefiniciones. Ese contexto amplio, en el que el sistema se origina y del que genera entradas a la vez que proporciona salidas, es multidimensional, por lo que sus interrelaciones se deben comprender para presentar una solución que se convierta en parte del mismo contexto en el que se origina el problema. Si los ingenieros no modelan este tipo de relaciones complejas, la solución que definan atenderá al sistema fuente como un componente aislado, y no podrán integrarlo al universo ontológico del que se desprendió.

Todo esto se debe a que los productos software se desarrollan mediante un ciclo de vida holístico, en el que los modelos no tienen en cuenta las múltiples fuentes desde las cuales se originan sus requisitos, y mucho menos las diversas dimensiones que hacen parte del problema y de la solución. Al poner en tela de juicio la idea clásica del orden y al derrumbar la representación de objetos sustanciales que responden a planes trazados y organizados para alcanzar logros, la teoría de la complejidad define la multidimensionalidad como principio. Además, debido a que el contexto unidimensional clásico no representa ni integra la forma en que vive la sociedad de este siglo, se necesita una nueva manera de abordar la dimensión cognoscitiva para comprender y resolver problemas, con la idea de que se pueda afrontar esa realidad con pensamiento integrador (Xiong, 2011).

Para Edgar Morin (1994) y otros pensadores (Penrose, 1991; Zemelman, 2003; Giraldo, 2004; De Silva y Carlsson, 2004), la *multidimensionalidad* permite una comprensión total del mundo, es decir, ayuda a desenmarañar la telaraña en que se confunde el conocimiento a medida que avanza el siglo XXI. Esto es posible porque hace una relación de todo lo que implica ese tejido para lograr que los individuos, a través de procesos interpretativos, desarrollen una definición unívoca del mundo y para que asimilen al conocimiento como global (Richardson, 2010). Esto es importante porque en la actualidad se asume que la dificultad de pensar y vivir es una cuestión que no tiene retroceso, especialmente porque los desarrollos tecnológicos no facilitan esa conjunción, y el software es uno de ellos.

3 La Ingeniería de Requisitos

El proceso de elicitar, comprender y modelar las necesidades del cliente se conoce como *Ingeniería de Requisitos*, y en los proyectos software es una actividad humana en la que participan todas las partes involucradas. Los requisitos provienen de diferentes fuentes, especialmente personas, con diversos objetivos organizacionales e individuales y posiciones laborales, y con diferentes formas de comprender, expresar y comunicar la información y el conocimiento. Todo esto hace que su captura y calidad varíe en función de las estas fuentes (Benbya y McKelvey, 2006), y debido a esto, los modelos actuales para desarrollarlos y gestionarlos son insuficientes, a la vez que se convierten en uno de los factores que conduce al fracaso de los proyectos (Reynolds, 2007).

Con el objetivo de ayudarles a los ingenieros del software durante esta fase se han propuesto varios modelos de gestión y administración, sin embargo, es una tarea difícil debido a la poca comprensión y a la variabilidad de las situaciones en que se desarrolla cada problema en particular. En estas circunstancias es común que en el proceso estos profesionales prevean *proactivamente* los potenciales problemas, pero que identifiquen y documenten *pasivamente* los requisitos. Por eso deben seleccionar un método adecuado, con el objetivo de disminuir hasta cierto punto esa complejidad (Herrmann y Paech, 2008). Pero debido a que RE es una fase crítica y propensa a errores, los métodos actuales no les permiten levantar un documento de especificación adecuado para las demás fases (Gunter et al., 2000).

Las principales actividades de RE son la elicitación, el análisis, la especificación, la validación y la documentación. La primera se logra mediante entrevistas con las partes interesadas, tales como usuarios y clientes, que no solamente pueden ser seres humanos sino también otros sistemas, entornos físicos, organizacionales o legislativos, en los que el producto se utilizará (Kotonya y Sommerville, 1998; Sharp et al., 1999; de Vries et al., 2003). Debido a esta multidimensionalidad es poco probable que una única técnica o

metodología sea suficiente para elicitarlos. Además, porque los actores tienen diferentes formas de almacenar, reconocer y expresar su conocimiento acerca del dominio del problema, y porque en la gestión se presentan cambios inesperados en las necesidades y en el nivel de experiencia de las partes (Alexander, 2003). Por lo tanto, la Ingeniería de Requisitos se lleva a cabo mediante un conjunto de actividades, en paralelo o en secuencia, que incluye una serie de técnicas en línea con el contexto situacional. Estas actividades se repiten hasta que se comprende y documenta adecuadamente el dominio del problema y del sistema en desarrollo, es decir, hasta lograr la especificación de requisitos (Glinz, 2007). Durante la validación y mediante procesos iterativos e incrementales, se analizan los requisitos omitidos inicialmente, los admitidos, los redundantes y los incompatibles, y que debido a la diversidad de las fuentes se debe hacer de forma proactiva (Lamsweerde, 2001). Además, el equipo de trabajo no solamente debe comprender bien cada técnica de elicitación, sino también seleccionar la que mejor se ajuste al contexto situacional y a las características de las partes interesadas (Sutcliffe et al., 2003).

Aunque RE es un proceso sintético que requiere de la comunicación social y de la minería de la información (Cysneiros et al., 2005), los modelos actuales se centran únicamente en la primera, es decir, en la perspectiva de la participación de los usuarios, y carecen de una integración extensiva a la amplia gama de disciplinas, áreas y teorías que tienen alguna relación con ella y con el sistema en desarrollo. Por otro lado, no se ocupan específicamente de cómo utilizar las técnicas en contextos diferentes, que para desarrollar productos centrados en los clientes es una cuestión que le adiciona complejidad a esta fase. Además, los investigadores y los profesionales de la industria reconocen, que cuando las actividades relacionadas con los requisitos no se realizan adecuadamente, los proyectos software son sumamente vulnerables.

En estas circunstancias, *la parte más difícil de construir un producto software es precisamente saber qué construir*. Por eso es que ninguna otra parte del trabajo conceptual es tan espinosa como la de establecer requisitos técnicos detallados, incluyendo los diálogos con las personas, con otras máquinas y con otros sistemas; ninguna otra parte del trabajo, si tiene alguna falla, afecta tanto el desarrollo del sistema; y ninguna es tan difícil de corregir más adelante. Todo esto hace que la Ingeniería de Requisitos del producto sea la tarea más importante que el ingeniero de software realiza para el cliente, y frecuentemente se escucha que los proyectos fracasan porque no se realiza una adecuada definición, especificación y administración de la misma. Entre las causas se pueden encontrar factores tales como falta de participación del usuario, requisitos incompletos y un manejo inadecuado de las modificaciones inesperadas. Pero al final, la principal función de esta fase es generar especificaciones correctas que describan con claridad, sin ambigüedades y de forma consistente y compacta las necesidades de los usuarios y clientes. De esta manera se busca minimizar los problemas relacionados con la gestión de los requisitos en el desarrollo del producto.

3.1 Gestión de la Ingeniería de Requisitos

Ya se ha mencionado que la Ingeniería de Requisitos es un área de conocimiento relacionada con la comunicación entre las partes interesadas, cuyo objetivo es conocer sus visiones, intenciones y actividades en relación con sus necesidades de soporte computacional, y desarrollar y mantener una adecuada especificación de las necesidades de un Sistema de Información (SI). Lo que implícitamente sugiere que incluye la gestión de aspectos empresariales, organizativos, económicos y sociales, lo mismo que problemas y cuestiones técnicas. Asimismo, la elicitación de requisitos es una actividad de diseño fuertemente comunicativa, interactiva y creativa.

En la literatura se pueden encontrar diversas propuestas para llevarla a cabo, desde las más orientadas a la tecnología y la ingeniería de la información, hasta las que se centran en el modelado de la empresa, el negocio y sus objetivos y reglas. Además, se reconoce la importancia de establecer vínculos explícitos entre todos ellos, y se puede encontrar un amplio número de métodos de desarrollo de sistemas y herramientas. Pero, aunque tratan principalmente las fases medias y/o finales del ciclo de vida del desarrollo de sistemas, prácticamente ninguno aborda los principios y el análisis de objetivos del negocio de forma estructurada, y no tienen en cuenta las necesidades provenientes de las fases previas, o las que requieren las posteriores. Esto hace que los ingenieros deban pasar de una *comprensión* vaga e informal a un *modelamiento* formal del dominio, aunque estos métodos no son adecuados para capturar explícitamente, y representar estructuradamente, el conocimiento organizacional para utilizarlo en las fases posteriores. Porque no mantienen los vínculos entre los modelos de negocio y de la empresa y las especificaciones del sistema, y a consecuencia de los cambios en la empresa no facilitan el razonamiento acerca de las modificaciones necesarias en el SI en desarrollo. Con la aparición de la Sociedad de la Información y el Conocimiento y la Era Digital, a esta situación técnica se ha sumado una serie de desafíos que necesitan soluciones inmediatas:

1. *Gestión y administración*, porque es común que las partes interesadas no tengan conocimiento de los roles estratégicos que juega RE, y generalmente su participación es baja. Debido a esto, los procesos no se relacionan adecuadamente con las visiones y objetivos de negocio; tienen débil concordancia con el análisis de inversión; poseen métodos de inversión inadecuados; no se documentan ni analizan las soluciones alternativas; falta conocimiento para cuantificar los beneficios y los riesgos de los diferentes diseños y los requisitos alternativos; se descuidan los beneficios intangibles; no se consideren las ventajas competitivas del negocio; el papel y la responsabilidad del departamento TI no son claros; y las metas para el SI no son explicitas. Esto conduce a descuidar el control y la gestión del proyecto y a presupuestos poco claros.

2. *Las partes interesadas*, porque las organizaciones tienden a pensar que su nivel de madurez en TI, SI y RE es bastante alto, y normalmente no consideran necesario capacitar a estos actores para llevar a cabo la gestión de los requisitos. Como resultado, surgen problemas en la comunicación entre ellos; la validez de las especificaciones es baja; los usuarios asumen que los desarrolladores conocen sus requisitos tácitos; y se firman requisitos sin comprender plenamente las consecuencias. Esto conlleva a que las partes no participen activamente en el proceso, a que se les consulte poco y a que no se les de la autoridad y el tiempo suficiente para participar, por lo que se dejan de validar porciones considerables de la especificación. El desafío aquí es idear, estructurar y aplicar nuevas formas de trabajar RE, de tal manera que se mejore el aspecto participativo de las partes interesadas.

3. *Métodos y metodologías*, porque hay que mejorar la comunicación desarrollador-usuario. Los modelos actuales no son comunicativos y sus descripciones no son plenamente comprendidas por los usuarios y las partes interesadas; son prestados de la Ingeniería del Software y no documentan el razonamiento y la lógica detrás de las soluciones sugeridas; no muestran explícitamente los actores del modelado ni sus visiones y necesidades; son neutrales, aunque los problemas no; son unidimensionales, aunque las fuentes de los requisitos son multidimensionales; y su componente intencional es insuficiente. Por esto es que es difícil entenderlos y reutilizarlos, que los usuarios firmen especificaciones sin entenderlas plenamente y

que el desarrollador se enfrente al problema para analizar y determinar su calidad. Considerando estos factores y las posibles alternativas de acción, estos modelos no permiten conocer suficientemente los procesos RE, aunque en muchos casos las características de la aplicación y la percepción de las necesidades del usuario evolucionan más rápido que el proceso en sí, por lo que no es posible documentar los cambios en la fase de diseño.

4. *Las herramientas de apoyo*, porque las actuales no son suficientes para llevar a cabo una adecuada gestión y administración, están orientadas a la Ingeniería del Software, faltan nociones deseables para RE y normalmente las herramientas no se emplean en el trabajo de requisitos. Además, la mayoría se desarrolla para pequeños sistemas y son extremadamente difíciles cuando los modelos son realistas. El reto aquí es desarrollar y experimentar nuevas iniciativas de visualización y abstracción, porque en las etapas tempranas de esta fase los modelos se utilizan principalmente para documentar declaraciones en lenguaje natural. Esto presenta dificultades para llevar a cabo el control, el análisis y la garantía de calidad en general. Otra cosa que hace falta es mejorar el apoyo al trabajo distribuido, para comprender las diferentes fuentes de los requisitos.

5. *Investigación y formación*, porque en la práctica existen pocas investigaciones empíricas sobre el proceso de gestión y administración RE y de sus problemas. Es necesario investigar, experimentar, proponer y divulgar iniciativas que permitan responder y clarificar cuestiones tales como qué es lo que se hace, cuáles son los problemas más relevantes que se experimentan, por qué se utiliza una herramienta o un método determinado, o por qué no se utiliza, y qué tipos de modificaciones en los requisitos afectan la especificación.

6. *Integrar principios y teorías desde otras áreas del conocimiento*, porque los modelos vigentes no son suficientes para comprender la complejidad de los problemas actuales y las diversas dimensiones desde las que se originan los requisitos. Algunos investigadores continúan abordando interesantes e investigables problemas RE, aunque a menudo sin conocimiento de los temas y problemas relevantes en la realidad, porque no tienen experiencia en la industria. Se necesita mayor investigación para determinar los problemas y sobre qué tipo de soluciones se puede utilizar en la práctica. Por otro lado, la formación académica en esta área no es la adecuada para el trabajo práctico, porque en el aula se utilizan casos alejados de la realidad industrial. Esto hace que se deba mirar de otra manera la formación en Ingeniería del Software, especialmente en Ingeniería de Requisitos; aceptarla como una profesión altamente exigente que deberían llevar a cabo tanto los científicos computacionales y los ingenieros del software; porque, aunque es un trabajo que requiere ciencia, también se necesita la visión ingenieril para moldear las soluciones necesarias a los problemas complejos del siglo XXI.

4 Estado del arte

El uso de la lógica para identificar y analizar las inconsistencias en los requisitos ha demostrado ser eficaz en diversos estudios, aunque algunos aplican la lógica no-monótona como una teoría formal y especialmente adecuada para apoyar la evolución de las necesidades de las partes interesadas. Sin embargo, el uso directo de la lógica para expresar requisitos y para discutirlos con los diferentes actores plantea serios problemas de usabilidad, porque en la mayoría de casos no se puede esperar que dominen el concepto, y mucho menos que lo utilicen apropiadamente. Además, la dificultad se

incrementa porque RE es la fase encargada de responder a los objetivos del mundo real a través de las funciones y las limitaciones de los sistemas software.

Gervasi y Zowgh (2005) opinan que uno de las principales problemas con los requisitos es su inconsistencia, que se genera cuando la especificación presenta conflictos, es decir, que contiene descripciones contradictorias del comportamiento esperado del sistema. Éstas pueden surgir: 1) como resultado de objetivos contradictorios entre las distintas partes interesadas, o 2) como consecuencia de cambios no-coordinados que se introducen en la especificación durante la evolución habitual de los requisitos. La solución propuesta por estos autores es crear una sinergia entre el lenguaje natural y la lógica formal, con el objetivo de lograr una mejor interpretación de las necesidades. Lo que olvidan es que la lógica y el lenguaje natural tienen ventajas y desventajas complementarias, y parece muy complicado encontrar un escenario en el que los requisitos se expresen en este lenguaje y automáticamente traducirlos a la lógica formal. Por eso es necesario tener en cuenta que para realizar una especificación de requisitos formal, los ingenieros deben aplicar análisis y razonamiento formal, y para discutir nuevamente los resultados con los actores deben crear el mismo escenario, pero en lenguaje natural, por lo que deben prescindir del razonamiento formal. Esta propuesta, aunque interesante, tiene varios inconvenientes: 1) difícilmente las partes interesadas dominan la lógica formal y no se puede garantizar que los ingenieros lo hagan, 2) los diversos orígenes de los requisitos y sus múltiples dimensiones no facilitan ese proceso de traducción simultánea, y 3) además de que los escenarios origen son en sí mismos complejos, esta labor le añadiría otro nivel de complejidad, con el inconveniente de que los ingenieros del software no están formados en Pensamiento Complejo, ni desarrollan adecuadamente la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva (Serna, 2015).

En este sentido, muchas organizaciones se interesan por mejorar sus prácticas y procesos RE, debido a que han descubierto que la confianza en una buena especificación puede ser la clave para el desarrollo de sistemas exitosos, y como lo describen Kauppinen et al. (2004), implementar estos procesos en una organización y convencer a las personas para que apliquen las buenas prácticas en los proyectos de alta presión puede ser un reto considerable. Esta no es una cuestión trivial y los experimentos que se han intentado no suelen conducir a un éxito sostenible, en parte debido a la volatilidad de los requisitos, la ausencia de un razonamiento lógico estructurado en las partes interesadas, la falta de una comprensión adecuada del problema, y a que no se documentan adecuadamente las necesidades (Wiegers, 1999). Una de las lecciones aprendidas a partir de la mejora de los procesos software, es el reto de enfrentar la resistencia de las personas a cambiar (McFeeley, 1996; Curtis, 1997; Diaz y Sligo, 1997; Zahran, 1998), y según Kaindl (2002), introducir en la práctica general los resultados de la investigación en RE es claramente muy complicado, porque transferir tecnología con éxito depende de una colaboración de doble vía entre investigadores y profesionales. Esta situación exige, por un lado, aplicar razonamiento lógico para convencer a las personas que necesitan cambiar en el entorno de la Era Digital, y por otro, tener en cuenta el principio de la teoría de la complejidad para modelar los escenarios empresariales a través de la descomposición en sus diferentes sistemas, para facilitarles a las personas ubicar su papel y para que apliquen las buenas prácticas en la elicitación de requisitos (Downey, 2012).

Según Nikula y Sajaniemi (2005), los esfuerzos por mejorar los procesos software son complejos y costosos, y a largo plazo requieren recursos y compromisos. Los problemas que surgen durante su implementación en la industria se han reportado en numerosos trabajos. Por ejemplo, Fowler et al. (1998) describen que los esfuerzos para introducir RE

en las organizaciones sufren por la falta de adecuados recursos internos; Nishiyama, Ikeda y Niwa (2000) afirman que incluso una simple modificación de los procesos se puede convertir en una carga para la organización; para Kaindl et al. (2002), la presión del entorno competitivo no da lugar a encontrar el tiempo para los esfuerzos; y Lycett et al. (2002) descubrieron que se dedica más tiempo a procesos genéricos que requieren más esfuerzos sustanciales, lo que podría explicar por qué ni siquiera se tiene en cuenta a muchos de los necesarios. En estos intentos se presentan dos situaciones recurrentes: 1) la disponibilidad general de las personas a presentar adecuadamente sus opiniones y sugerencias, debido a que no comprenden totalmente el problema, aunque lo viven a diario (Richardson, 2002), y 2) las empresas no aprovechan el conocimiento interno para mejorar sustancialmente sus procesos, pero sí pueden comprar el que se divulga externamente y que complica sus posibilidades de mejora, aunque esto signifique desconocer el que poseen sus empleados, e inician procesos de reingeniería innecesarios (Kuvaja, Palo y Bicego, 1999). Lo que queda claro hasta el momento es que las organizaciones parecen no tener en cuenta a la Gestión del Conocimiento como alternativa para solucionar sus problemas, aunque diversos autores han propuesto categorizaciones para la lograrlo, tales como las perspectivas funcionalista e interpretativista. En la primera el conocimiento se concibe como un *objeto estático* que existe en un número de formas y localizaciones (Hedlund, 1994; Nonaka y Takeuchi, 1995), y en la segunda se considera que no existe independientemente de la experiencia humana, la práctica social, ni el conocimiento mismo y su uso, donde es moldeado por las prácticas sociales de las comunidades, ya que es *dinámico y activo* (Tenkasi y Boland, 1996; Brown y Duguid, 1998; Schultze, 1998; Venters, 2002; Serna, 2012a).

Con base en los enfoques racionalista y empirista, para la perspectiva interpretativista el funcionalismo puede ser pertinente para conocer acerca del mundo racional, pero no tiene en cuenta el papel de los individuos como parte del conocimiento en el mundo social. Esto se basa en los estudios de Kant, en los que se acepta que la mente no es una *tabula rasa* pasiva o una hoja en blanco, sino que participa activamente en la ordenación de las experiencias sensoriales. El argumento es que es imposible el conocimiento directo de las cosas en sí mismas –*noumena*–, un concepto que no es conocimiento en sí mismo, pero cuya comprensión se logra mediante la aplicación de nuestro conocimiento *a priori* para crear fenómenos cognoscibles (Johnson y Duberley, 2000). El punto de vista aquí es que el conocimiento humano se logra a través de la experiencia y que es *indeterminado intrínsecamente* (Tsoukas, 1996; Davenport y Prusak, 1998). Las organizaciones deben adoptar un enfoque para la gestión del conocimiento como un objeto activo, porque está embebido en las prácticas humanas recurrentes y transferirlo de un lugar a otro no significa que sea un objeto que se hace móvil cuando se desplaza, codifica u ofrece como servicio básico. Más bien, el conocimiento se hace móvil como un producto permanente embebido en toda actividad humana dentro de un contexto social. Por esto es que desde la perspectiva de la multidimensionalidad se indica que el conocimiento es un bien de las organizaciones, y como tal se debe gestionar desde las dimensiones en las que se origina. Por otro lado, debido a que el contexto unidimensional clásico para gestionar RE no representa ni integra la forma en que viven los individuos en la sociedad, se necesita una nueva manera de abordar su dimensión cognoscitiva para comprender y resolver problemas, con el objetivo de afrontar la realidad multidimensional mediante un pensamiento integrador; porque un razonamiento parcelado le impide al ingeniero de software visualizar la complejidad del contexto, y no serían las adecuada su comprensión del mundo y del problema (Xiong, 2011).

Desde hace algunos años, y como lo explican Daneva y Wieringa (2006), las empresas viene adoptando los enfoques colaborativos de negocios con la perspectiva de compartir cierta información que les permita mantenerse competitivas, pero sin alterar la confidencialidad. En esencia, estos enfoques significan restringir las organizaciones a sus competencias básicas y para cooperar con las demás a través de sistemas de apoyo a la coordinación general. Los resultados son redes independientes, o casi independientes, que les entregan valor para el cliente, pero que acogen en sus necesidades a los procesos propios que deben mejorar. Otros autores han encontrado utilidad en los principios de estos enfoques, sobre todo en lo relacionado con una sub-división sin sentido de los procesos en componentes. Pero, como lo sugiere Xiong (2011), es necesario integrar los argumentos detectados, que clarifican lo complejo, como elementos de la Ingeniería de Requisitos. De esta manera sería posible comprender a la organización desde su interior, para mejorar los procesos que argumentan las necesidades de sus sistemas.

Debido a la complejidad de los problemas de la sociedad actual, validar los requisitos multidimensionales en términos de sus fuentes operacionales es una necesidad para las organizaciones. Como lo demuestra la propuesta de Romero y Abelló (2006), es necesario descomponer las consultas de entrada para inferir el potencial conocimiento multidimensional implícito y explícito relevante, por lo que en su estudio proponen un conjunto de esquemas automáticos para lograrlo. Con ellos es posible identificar los hechos, las dimensiones y las jerarquías de las necesidades, para apoyar al proceso de la Ingeniería de Requisitos. Lo que estos autores no demuestran es que la propuesta puede funcionar para requisitos reales multidimensionales, porque su proceso ha sido estrictamente de laboratorio. Este punto es interesante, porque la mayoría de estos investigadores son experimentales, aunque en la práctica los modelos pueden no ajustarse a las necesidades del cliente o al contexto del problema. Los ingenieros de software necesitan manipular el modelo que seleccionan, de acuerdo con las características propias de cada problema, aunque no lo puedan prever de antemano. Otro inconveniente en la propuesta de estos autores es que asumen la linealidad, unidimensionalidad y homogeneidad en todas las situaciones a solucionar, sabiendo que en la vida real son multidimensionales, transdisciplinares y complejas.

Aun así, esta propuesta es interesante porque es de las pocas que hace alusión a las dimensiones de los requisitos, pero hace falta integrarla con el principio de la multidimensionalidad, vista como una característica intrínseca en los problemas de la vida real. Con esta perspectiva de trabajo sería posible estructurar un modelo en el que la multidimensional de los requisitos sea un principio que implique el todo, y que involucre todas las formas posibles para hacerlos converger en un contexto único de resolución del problema. Además, permitiría examinar el proceso lógico-interpretativo y abstractivo que aplican los ingenieros, y descubrir e interpretar los supuestos que lo sostienen lo mismo que sus implicaciones (Serna y Polo, 2014). Por otro lado, podría utilizar el Pensamiento Complejo para relacionar y generar tejidos de eventos, y para establecer relaciones significativas para estructurar una correcta organización lógico-abstracta de los conocimientos involucrados en esta primera fase del producto.

Actualmente, existe un excesivo énfasis en el modelado de casos de uso como la única técnica para identificar y analizar requisitos, pero algunos investigadores afirman que parecen haberse convertido más en parte del problema que en su solución (Firesmith, 2007). Aunque los casos de uso son hasta ahora la técnica más utilizada para identificar los requisitos funcionales, se necesitan otras ayudas para los no-funcionales, tales como los requisitos de interfaz, datos, calidad, asequibilidad, disponibilidad, interoperabilidad,

portabilidad, fiabilidad, seguridad, facilidad de uso, limitaciones de diseño, implementación y configuración arquitectónica, porque todos son necesarios para responder a las necesidades de la sociedad actual. Además, muchos proyectos desarrollan diagramas de casos de uso únicamente, en lugar de utilizar diagramas de secuencia para capturar los caminos normales y excepcionales a través de los primeros, dejando de utilizar el texto para capturar precondiciones de trayectoria, factores desencadenantes, pasos y condiciones posteriores. Un error subyacente es que a menudo solamente desarrollan el camino principal, dejando por fuera muchos caminos secundarios importantes. En otras palabras, capturan lo que el sistema debe hacer bajo circunstancias normales, pero no lo que hace cuando no puede hacer lo que normalmente debería hacer. En este caso, los ingenieros de software deberían utilizar todos los aspectos del modelado de los casos de uso para identificarlos y analizarlos, o por lo menos, la mayoría de los posibles caminos de datos (Serna, 2012). Además, deberían recurrir a los casos de uso como una técnica de identificación y de análisis en lugar de una para especificar requisitos, y utilizar técnicas apropiadas para cada tipo, porque asumir que provienen de una sola dimensión y que sus fuentes son holísticas es un error. Entonces, se deben apropiar de los principios y teorías desde otras áreas, como la psicología, la neurociencia y la complejidad (Richardson, 2010). Las dos primeras les permite comprender desde el razonamiento lógico y desde cómo funciona el cerebro, el lenguaje oculto que utilizan los individuos al momento de expresar sus necesidades o ideas, que posteriormente se convierte en requisitos funcionales o no-funcionales (Serna, 2013). La tercera es una herramienta de soporte, que les ayudará a determinar la transdisciplinariedad y la multidimensionalidad de los requisitos y a identificar las fuentes desde las que provienen (Benbya y McKelvey, 2006). Al unir estos principios a la técnica de casos de uso, sus modelos podrían estar más cercanos a las soluciones esperadas y podrían cubrir de mejor forma la mayoría de caminos identificados.

La complejidad y el tamaño de los sistemas software continúan aumentando, y a su vez generan conjuntos de requisitos cada vez más grandes y complejos (Regnell et al., 2008). Con los actuales procesos y métodos RE, estos autores se preguntan: ¿cuántos requisitos puede gestionar una organización de desarrollo de software? Y como ellos mismos lo demuestran, es un asunto difícil de cuantificar porque a menudo se queda corta en la caracterización de la escalabilidad de los métodos. Otro interrogante que se plantean, al realizar una investigación de nuevas tecnologías RE, es ¿qué tan grande y complejo debería ser el conjunto de requisitos que se necesita considerar? Y concluyen que tampoco es fácil responder esta pregunta, porque generalmente y en términos de la complejidad y la multidimensionalidad de los requisitos, los investigadores no tienen una imagen completa de la práctica industrial. Aunque se conocen algunas experiencias en casos industriales complejos, las tecnologías RE actuales tienen poca o ninguna utilidad (Dag et al., 2004, 2005; Regnell, Olsson y Mossberg, 2006).

Uno de los factores que incrementa esa complejidad RE es el número de requisitos, porque así como este conjunto crece también lo hace el número de clientes, usuarios finales, desarrolladores, sub-contratistas, características del producto, y las interfaces, dimensiones y fuentes del sistema, por lo que administrar y gestionar este volumen es complicado. Además, en casi todos los escenarios, modelados o reales, los requisitos se documentan y enumeran como si su procedencia fuera unidimensional (Regnell et al., 2008), aunque la experiencia ha demostrado que la complejidad de un conjunto de este tipo está relacionada en gran medida con la naturaleza de sus interdependencias, y hacerles seguimiento y documentarlos no es una cuestión trivial ni mucho menos para tomarla a la ligera (Carlshamre et al., 2001). Además, a medida que se incrementan

también se complica poderlas verificar y validar. Una respuesta a estos desafíos se puede encontrar en la teoría de la complejidad, concretamente en su principio de la multidimensionalidad (Klein, 2005), porque se puede utilizar para gestionar esa interdependencia mediante agrupamientos de requisitos en particiones, creando así un mayor nivel de abstracción para gestionarlos con un esfuerzo razonable (Reynolds, 2007).

Otros investigadores han demostrado que medir el grado de intrincación inherente en el software es un proceso para el que los ingenieros deben desarrollar habilidades cognitivas y de razonamiento lógico. La iniciativa de Sharma y Kushwaha (2010) tiene en cuenta estas deficiencias en los enfoques, y propone identificar la complejidad del software inmediatamente después de interpretar el problema. La cuestión con esta propuesta es que asume que la mayor parte de esa complejidad se presenta en el código, aunque en la realidad, cuando el equipo logra el desarrollo, es demasiado tarde para analizarla. La complejidad se debe mirar en el producto esperado, no en uno de sus componentes, en este caso el código. Por otro lado, se puede definir como el grado en que un sistema o componente tiene un diseño o aplicación que es difícil de entender y verificar (Kushwaha y Misra, 2006), y para comprenderla se puede tener en cuenta aportes como los de Wang y Shao (2003), Kushwaha, Singh y Misra (2006), y Kushwaha y Misra (2006a). La recomendación es no intentar comprenderla en el software como producto, porque sería demasiado tarde para solucionar los inconvenientes, sino hacerlo desde los requisitos que debe satisfacer, es decir, al momento de comprender el problema y de evaluar las posibles soluciones con las partes interesadas.

Según Cooke (2011), el grado de complejidad de los problemas actuales abruma a los profesionales y a los directivos, por lo que han tenido que iniciar procesos de cambio de mentalidad y aplicar una perspectiva proactiva, natural o aprendida. Para muchos, la obtención de esta habilidad para pensar y actuar de manera integral se puede acelerar, pero no sustituir por un aprendizaje exógeno. Sin embargo, para otros ese conocimiento se obtiene a través de años de experiencia. A pesar que todos los proyectos presentan complejidad en alguno de sus niveles, no se pueden ver como un todo homogéneo, porque no sería posible comprender sus inter y extra-relaciones y porque para la mayoría de individuos la cuestión no es solamente comprender cómo los van a entregar, sino cómo pueden manejarlos, y esto es lo que definen como complejo (Edmonds, 1999). Desde esta perspectiva, complejo y complejidad son términos que se entienden como aquello a lo que se enfrentan, pero que no entienden, cuando en realidad puede ser únicamente complicado. Por el contrario, aquellas situaciones o problemas en las se evidencian relaciones complicadas y que componen el todo, es lo que se debería como complejo (Cooke, 2011). Este tema le interesa a la Ingeniería de Requisitos, porque los proyectos, esencialmente aquellos cuya solución es un producto software, son por naturaleza complicados a la vez que complejos. Es por esto que los ingenieros necesitan desarrollar habilidades para comprender la multidimensionalidad de las fuentes, e integrar un modelo que le permita al cliente observar tempranamente una futura solución.

5 Conclusiones

Pocos modelos de Ingeniería de Requisitos facilitan el análisis de necesidades provenientes desde fuentes y dimensiones diversas como los sistemas socio-técnicos, de hardware, sociales, legales, entre otros, y solamente observan el problema desde una fuente unidimensional. Pero la realidad es que en el entorno operativo los sistemas involucrados tienen múltiples dependencias, a la vez que una relación multidimensional con los eventos entrantes y salientes entre el sistema y su entorno. A pesar que los

problemas que presenta este proceso se conocen desde hace tiempo, y que tienen origen en los complejos problemas sociales que intenta resolver (Macaulay 1996; Lubars, Potts y Ritcher, 1993), en la literatura RE es difícil encontrar métodos que propongan analizar, gestionar y administrar los requisitos involucrando teorías y principios como la complejidad, la multidimensionalidad y el Pensamiento Complejo. Algunos han aplicado técnicas etnográficas para recopilar datos sobre cuestiones sociales (Sommerville y Sawyer, 1997), sin embargo, existe poco conocimiento que se pueda generalizar a todos los modelos, por lo que en la mayoría la calidad del análisis de requisitos depende de la experiencia del ingeniero. Por todo esto es que se requiere una profunda comprensión de la complejidad RE, y su dinámica es fundamental para mejorar la elicitación, la documentación y la gestión de los procesos ingenieriles involucrados. Esta fase implica comprender, analizar y transformar lo informal, ambiguo y quizás contradictorio, de las necesidades del cliente hacia un modelo formal, preciso y coherente que facilite una intervención adecuada del contexto del problema.

Las exigencias de una Sociedad Software-Dependiente por mejorar la calidad del software y por tanto de los Sistemas de Información, han incrementado la necesidad de mejorar la gestión y la administración de los requisitos, y para lograrlo se debe tener en cuenta que:

- La Ingeniería de Requisitos involucra actividades de comprensión y resolución de problemas (Malhotra et al., 1980; Guindon, 1990; Batra y Davis, 1992), y como lo reporta Visser (1992), a los ingenieros de software no se les fijan ni definen los problemas, porque ellos los construyen. Guindon (1989) describe este asunto como un proceso de descubrimiento de conocimiento, y en su estudio revela que hacerlo implica disminuir la incompletitud y la ambigüedad a un modelo de requisitos emergente. Sugiere que algunas herramientas pueden ayudar con la edición y organización de los problemas de diseño y de toma de decisiones, pero que no son suficientes debido a lo intrincado de sus fuentes.
- En la revisión de la literatura no fue posible encontrar homogenización en las descripciones del proceso RE, porque tradicionalmente se ha visto como complejo y jerárquico. Además, muy pocos han intentado descomponer esa complejidad en componentes más simples (Jeffries, 1981). Sin embargo, algunos lo describen como un desarrollo de modelos de requisitos sistemáticamente evolutivo (Loucopoulos y Champion, 1989; Christel y Kang, 1992; Loucopoulos y Karakostas, 1995). Aunque los trabajos de Guindon (1990), Visser (1992), Khushalani (1997) y Carroll y Swatman (1998) postulan y demuestran la naturaleza RE oportunista, los procesos complejos involucrados todavía necesitan mayor consideración (Nicolescu, 2008).
- Durante el proceso RE los requisitos evolucionan y *sufren* cambios frecuentes, y aunque esa volatilidad es una propiedad inherente a los mismos (Christel y Kang, 1992), a menudo causa enormes dificultades en el proceso de desarrollo (Curtis, Krasner y Iscoe, 1988; Lubars, Potts y Richter, 1993). La mayoría reconoce que conocer por qué y cómo se toman las decisiones subyacentes al diseño, es fundamental para controlar y gestionar los cambios inevitables y para promover la comprensibilidad y la trazabilidad de los requisitos, mediante una visión no-holística de los problemas (Pohl, 1994; Ramesh, 1993; Ramesh y Edwards, 1993).
- La Ingeniería de Requisitos es una actividad que realizan seres humanos y, aunque las fuentes son diversas, son ellos quienes mayoritariamente los describen, comunican o modelan, por lo que estas interacciones son imprescindibles y

complejas. El problema aquí es que se realiza en lenguaje natural y van a estar propensos a ambigüedades, interpretaciones y diagramaciones de quién habla y quién escucha, lo que incrementa la complejidad del proceso. En este caso, algunos autores proponen utilizar los Métodos Formales (Serna, 2011, 2013), aunque es una tecnología que todavía no recibe la experimentación que se espera. Otra forma de resolverlo es tomar los principios del razonamiento lógico (Serna y Zapata, 2014) y del desarrollo de la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva (Serna, 2015), para potencializar o desarrollar en las personas su habilidad para comunicar los requisitos de forma precisa y correcta; o como lo proponen los investigadores de la complejidad (Morin, 2008; Angulo, 2009; Hofkirchner, 2009; Downey, 2012), desarrollar el Pensamiento Complejo de forma que los ingenieros comprendan con mayor facilidad las interacciones entre los seres humanos (Klein, 1985).

- El alcance RE es amplio, porque abarca desde un mundo de organizaciones humanas o leyes físicas hasta los artefactos técnicos que se integran en él, desde objetivos de alto nivel a prescripciones operacionales y desde lo informal a lo formal. Y como el sistema final no es solamente un producto software, también comprende el entorno que lo rodea y que está conformado por seres humanos, dispositivos y/u otros sistemas. Además, se debe considerar al sistema completo bajo diversos aspectos, tales como el socio-económico, el físico, el técnico, el operativo, el evolutivo, y así sucesivamente (Köppen et al., 2005). Esta multidimensionalidad es lo que le agrega mayor complejidad a ese proceso (Nicolescu, 2006).
- Existen múltiples características que se deben abordar al lado de lo meramente funcional (seguridad, protección, facilidad de uso, flexibilidad, rendimiento, robustez, interoperabilidad, costo, facilidad de mantenimiento, entre otras), que son no-funcionales y que a menudo son conflictivas debido a las diversas dimensiones de origen.
- Las partes involucradas son diversas y cada una tiene diferente *background*, habilidades, conocimientos, inquietudes y percepciones. Son conocidas como clientes, comisionados, usuarios, expertos de dominio, ingenieros de software, desarrolladores o mantenedores del sistema, y a menudo también tienen puntos de vista conflictivos (Köppen et al., 2005).
- La especificación de requisitos puede presentar una amplia variedad de deficiencias, y algunas son errores que pueden tener efectos desastrosos sobre los pasos posteriores de desarrollo, o en la calidad del producto. Por ejemplo, insuficiencias con respecto a las necesidades reales, incompletitud, contradicciones y ambigüedades. Algunas son fallas que pueden producir consecuencias no deseadas, tales como pérdida de tiempo, o generación de nuevos errores como ruidos, referencias, sobre-especificaciones, o espejismos.

También hay que tener en cuenta que RE abarca múltiples actividades entrelazadas:

- *Análisis de dominio*. Se realiza un amplio estudio del sistema para el que se construye el producto; se identifican, analizan y entrevistan las partes interesadas; se reconocen los problemas y las deficiencias en el sistema existente; se investigan las oportunidades; y se estructuran los objetivos generales del sistema final. Todo esto es complejo, por lo que se necesitan ingenieros con la habilidad y la capacidad para realizarlo.
- *Elicitación*. Se exploran los modelos alternativos que puedan satisfacer los objetivos del sistema y se identifican los requisitos y supuestos relativos a los componentes de

estos modelos, posiblemente con la ayuda de escenarios de interacción hipotética. Generalmente, los alternativos definen diferentes límites entre el sistema final y su entorno, y la visión unidimensional no es suficiente para lograr su identificación.

- *Negociación y acuerdos*. Se evalúan los requisitos/supuestos alternativos, se analizan los riesgos y se selecciona la mejor forma de compensar a todas las partes interesadas.
- *Especificación*. Los requisitos y los supuestos se formulan de forma precisa y correcta.
- *Análisis de la especificación*. Se comprueba la especificación para buscar deficiencias, tales como insuficiencias, incompletitudes o incoherencias, y viabilidades en términos de los recursos necesarios, costos de desarrollo, y así sucesivamente.
- *Documentación*. Se organiza un documento que contiene las diversas decisiones tomadas durante el proceso, junto con sus fundamentos y los supuestos subyacentes, conocido como especificación.
- *Evolución*. Los requisitos y los sistemas se modifican para responder a las actualizaciones, cambios ambientales, o nuevos objetivos. Esto se relaciona directamente con la propuesta de la *auto-eco-re-organización* de Morin (1991) para ver e interpretar el mundo.

Debido a esta complejidad en el proceso de la Ingeniería de Requisitos, se necesitan modelos rigurosos que les proporcionen a los ingenieros un apoyo eficaz. Aunque en la literatura y en la práctica se encuentran diversas propuestas para lograrlo, hoy, más que nunca antes, son inadecuadas debido a la complejidad de los problemas sociales. Se necesitan modelos que integren teorías y principios como la complejidad, la transdisciplinariedad, la multidimensionalidad y el Pensamiento Complejo (Morin, 2008a), porque para llevarla a cabo se requiere una visión científica y tener en cuenta las dimensiones sociológicas y psicológicas, porque las fuentes de los requisitos son mayoritariamente seres humanos (Sotolongo et al., 2006; Freire, 2012).

Referencias

Alexander, I. (2003). Misuse cases help to elicit non-functional requirements. Computing & Control Engineering Journal 14(1), pp. 40-45.

Al-Rawas, A. & Easterbrook, S. (1996). Communication problems in requirements engineering: A field study. Proceedings First Westminster Conference on Professional Awareness in Software Engineering, pp. 1-12. Royal Society, London.

Angulo, G. (2009). From the complexity to critical theory. Revista de Investigación 33(67), pp. 35-43.

Annoni, E.; Ravat, F.; Teste, O. & Zurfluh, G. (2006). Towards multidimensional requirement design. Lecture Notes in Computer Science 4081, pp. 75-84.

Batra, D. & Davis, J. (1992). Conceptual data modelling in database design: similarities and differences between expert and novice designers. International Journal Man-Machine Studies 37(1), pp. 83-101.

Benbya, H. & McKelvey, B. (2006). Toward a complexity theory of information systems development. Information Technology & People 19(1), pp. 12-35.

Bertalanffy, L. (1969). General System Theory: Foundations, Development, Applications. London: George Braziller Inc.

Bhat, J.; Gupta, M. & Murthy, S. (2006). Overcoming Requirements Engineering Challenges - Lessons from Offshore Outsourcing. IEEE Software 23(5), pp. 38-44.

Birk, A. & Heller, G. (2007). Challenges for Requirements Engineering and Management in Software Product Line Development. In Sawyer, P.; Paech, B. & Heymans, P. (Eds.), Requirements Engineering: Foundation for Software Quality, pp. 300-305. Berlin: Springer.

Brown, J. & Duguid, P. (1998). Organizing knowledge. California Management Review 40(3), pp. 90-112.

Bubenko, J. (1995). Challenges in Requirements Engineering. Proceedings Second IEEE International Symposium on Requirements Engineering, pp. 160-162. York, United Kingdom.

Carlshamre, P. et al. (2001). An industrial survey of requirements interdependencies in software product release planning. Proc. IEEE Int. Conf. on Requirements Engineering. Toronto, Canada, pp. 84-91.

Carroll, J. & Swatman, P. (1998). The process of deriving requirements: Learning from practice. Proceedings ninth annual Australian Conference on Information Systems. Sydney, Australia.

Christel, M. & Kang, K. (1992). Issues in requirements elicitation. Technical Report ESC-TR-92-012CMU/SEI-92-TR-12, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University.

Cooke, T. (2011). Aspects of complexity: Managing projects in a complex world. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.

Curlee, W. & Gordon, R. (2014). Successful program management - Complexity Theory, communication, and leadership. USA: CRC Press.

Curtis, B. (1997). Software process improvement: methods and lessons learned. Proceedings 19th International Conference on Software Engineering, pp. 624-625. Boston, USA.

Curtis, B.; Krasner, H. & Iscoe, N. (1988). A field study of the software design process for large systems. Communications of the ACM 31(11), pp. 1268-1287.

Cysneiros, L. et al. (2005). Reusable knowledge for satisficing usability requirements. Proceedings 13th IEEE International Requirements Engineering Conference, pp. 463-464. Paris, France.

Dag, N. et al. (2004). Speeding up requirements management in a product software company. Linking customer wishes to product requirements through linguistic engineering. Proceedings 12th International Requirements Engineering Conference pp. 283-294. Kyoto, Japan.

Dag, N. et al. (2005). A linguistic engineering approach to large-scale requirements management. IEEE Software 22(1), pp. 32-39.

Daneva, M. & Wieringa, R. (2006). A coordination complexity model to support Requirements Engineering for cross-organizational ERP. Proceedings 14th IEEE International Requirements Engineering Conference, pp. 311-314. Karlskrona, Sweden.

Davenport, T. & Prusak, L. (1998). Working Knowledge: how organisations manage what they know. Boston: Harvard Business School Press.

De Silva, V. & Carlsson, G. (2004). Topological estimation using witness complexes. Proceedings Symposium on Point-Based Graphics, pp. 157-166. Zurich, Switzerland.

De Vries, H. et al. (2003). Stakeholder identification in IT standardization processes. Proceedings MIS Quarterly Special Issue Workshop on Standard Making: A Critical Research Frontier for Information Systems, pp. 92-107. Seattle, USA.

Diaz, M. & Sligo, J. (1997). How software process improvement helped Motorola. IEEE Software 14 (5), pp. 75-81.

Downey, A. (2012). Think Complexity. USA: Green Tea Press.

Edmonds, B. (1999). What is Complexity? - The philosophy of complexity per se with application to some examples in evolution. In Heylighen, F. & Aerts, D. (Eds.), The evolution of Complexity pp. 1-18. Dordrecht: Kluwer.

Firesmith, D. (2007). Common requirements problems, their negative consequences, and the industry best practices to help solve them. Journal of object technology 6(1), pp. 17-33.
Fowler, P. et al. (1998). Transition packages: An experiment in expediting the introduction of requirements management. Proceedings Third IEEE International Conf. on RE, pp. 138-145. Colorado Springs.
Freire, P. (2012). Professora Sim, Tia Nao. Brasil: Civilizacao Brasileira.
Gervasi, V. & Zowghi, A. (2005). Reasoning about inconsistencies in natural language requirements. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology 14(3), pp. 277-330.
Giraldo, G. (2004). Teoría de la complejidad y premisas de legitimidad en las políticas de educación superior. Cinta de Moebio. Online [Abril, 2014].
Glinz, M. (2007). On non-functional requirements. Proceedings 15th IEEE International Requirements Engineering Conference, pp. 21-26. Delhi, India.
Guindon, R. (1989). The process of knowledge discovery in system design. In Salvendy, G. & Smith, M. (Eds.), Designing and Using Human-Computer Interfaces and Knowledge Based Systems, pp.727-734. Amsterdam: Elsevier Science Publisher.
Guindon, R. (1990). Knowledge exploited by experts during software system design. International Journal Man-Machine Studies 33(3), pp. 279-304.
Gunter, C. et al. (2000). A reference model for requirements and specifications. IEEE Software 17(3), pp. 37-43.
Haße, A. & Michielsen, C. (2013). The missing link – between requirements and design. Proceedings Complex Systems Design & Management, pp. 59-74. Paris, France.
Hedlund, G. (1994). A model of knowledge management and the N-form Corporation. Strategic Management Journal 15, pp. 73-90.
Herrmann, A. & Paech, B. (2008). MOQARE: Misuse-oriented quality requirements engineering. Requirements Engineering 13(1), pp. 73-86.
Hofkirchner, W. (2009). The challenge of complexity: Social and human sciences in the information age. Discussion Paper CSGP D4/09.
Jeffries, R. et al. (1981). The processes involved in designing software. In Anderson, J. (Ed.), Cognitive Skills and Their Acquisition, pp. 255-283. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates publishers.
Johnson, P. & Duberley, J. (2000). Understanding Management Research: An Introduction to Epistemology. London: Sage.
Kaindl, B. (2002). Requirements engineering and technology transfer: Obstacles, incentives, and improvement agenda. Requirements Engineering 7(3), pp. 113-123.
Kaindl, H. et al. (2002). Requirements engineering and technology transfer: Obstacles, incentives and improvement agenda. Requirements Engineering 7(3), pp. 113-123.
Kauppinen, M. et al. (2004). Implementing requirements engineering processes throughout organizations: Success factors and challenges. Information and Software Technology 46(14), pp. 937-953.
Khushalani, A. (1997). Modelling and supporting opportunistic design problem solving. PhD thesis, School of Computer Science and SE, Swinburne University of Technology. Melbourne, Australia.
Klein, J. (1985). The interdisciplinary concept: Past, present, and future. In Levin, L. & Lind, I (Eds.), Inter-Disciplinarity Revisited: Re-assessing the Concept in Light of Institutional Experience, pp. l04-l36. Stockholm: OECD.
Klein, J. (2005). Interdisciplinary teamwork: The dynamics of collaboration and integration. In Derry, S. et al (Eds.), Interdisciplinary Collaboration: An Emerging Cognitive Science, pp. 23-50. Mahwah: Erlbaum.
Köppen, E.; Mansilla, R. & Miramontes, P. (2005). La interdisciplina desde la teoría de los sistemas complejos. Ciencias 79, pp. 4-12.
Kotonya, G. & Sommerville. I. (1998). Requirements Engineering - Processes and techniques. New York: John Wiley & Sons.
Kushwaha, D. & Misra, A. (2006). Cognitive information complexity measure: A metric based on information contained in the software. WSEAS Transactions on Computers 3(5), pp. 1109-2750.
Kushwaha, D. & Misra, A. (2006a). Evaluating cognitive information complexity measure. Proceeding 13th Annual IEEE International Symposium and Workshop on Engineering of Computer Based Systems, pp. 1-2. Berlin, Germany.
Kushwaha, D.; Singh, R. & Misra, A. (2006). Cognitive complexity of procedural and object oriented programs. Proceedings of the 10th WSEAS international conference on Computers, pp. 854-859. Athens, Greece.
Kuvaja, P.; Palo, J. & Bicego, A. (1999). TAPISTRY - A Software process improvement approach tailored for small enterprises. Software Quality Journal 8(2), pp. 149-156.
Lamsweerde, A. (2001). Goal-oriented Requirements Engineering - A guided tour. Proceedings 5th IEEE international Symposium on Requirements Engineering, pp. 249-262. Toronto, Canada.
Lemberger, P. & Morel, M. (2012). Managing complexity of information systems - The value of simplicity. USA: John Wiley & Sons.

Loucopoulos, P. & Champion, R. (1989). Knowledge-based support for Requirements Engineering. Information and Software Technology 31(3), pp. 123-135.
Loucopoulos, P. & Karakostas, V. (1995). System requirements engineering. London: McGraw-Hill Book Company.
Lubars, M.; Potts, C. & Richter, C. (1993). A review of the state of the practice in requirements modelling. Proceedings of the IEEE International Symposium on Requirements Engineering, pp. 2-14. San Diego, USA.
Lycett, M. et al. (2002). Migrating agile methods to standardized development practice. Computer 36(6), pp. 79-85.
Macaulay, L. (1996). Requirements Engineering. Berlin: Springer Verlag.
Mahaux, M. & Canon, C. (2012). Integrating the complexity of sustainability in Requirements Engineering. Proceedings 1st international workshop on Requirements for Sustainable Systems, pp. 1-5. Essen, Germany,
Malhotra, A. et al. (1980). Cognitive processes in design. International journal Man-Machine Studies 12(2), pp. 119-140.
McFeeley, B. (1996). IDEAL: A user's guide for software process improvement. Handbook CMU/SEI-96-HB-001. Pittsburgh: USA.
Moriello, S. (2002). Dinámica de los Sistemas complejos. Online [Sept. 2014].
Morin, E. (1980). El método II: La vida de la vida. Madrid: Cátedra.
Morin, E. (1982). Ciencia con conciencia. Barcelona: Anthropos Editorial del Hombre.
Morin, E. (1991). Un nouveau commencement. Paris: Editions du Seuil.
Morin, E. (1994). Introducción al pensamiento complejo. México: Gedisa.
Morin, E. (2008). On Complexity. London: Hampton Press.
Morin, E. (2008a). Reform of Thought. In Basarab, N. (Red.), Transdisciplinarity: Theory and Practice. London: Hampton Press.
Nguyen, L. & Swatman, P. (2000). Essential and incidental complexity in requirements models. Proceedings 4th International Conference on Requirements Engineering, pp. 130-139. Schaumburg, USA.
Nicolescu, B. (2006). Transdisciplinarity - Past, present and future. In Haverkort, B. & Reijntjes, C. (Eds.), Moving Worldviews – Reshaping sciences, policies and practices for endogenous sustainable development, pp. 142-166. Holland: COMPAS Editions.
Nicolescu, B. (2008). Transdisciplinarity: Theory and Practice. USA: Hampton Press.
Nikula, U & Sajaniemi, J. (2005). Tackling the complexity of requirements engineering process improvement by partitioning the improvement task. Proceedings Australian Software Engineering Conference, pp. 48-57. Brisbane, Australia.
Nishiyama, T.; Ikeda, K. & Niwa, T. (2000). Technology transfer macro-process: A practical guide for the effective introduction of technology. Proceedings 22nd International Conference on Software Engineering, pp. 577-586. Limerick, Ireland.
Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995). The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press.
Penrose, R. (1991). La nueva mente del emperador. Teoría de la complejidad. México: Grijalbo Mondoval.
Pohl, K. (1994). Three dimensions of requirements engineering - A framework and its application. Information Systems 19(3), pp. 243-258.
Ramesh, B. & Edwards, M. (1993). Issues in the development of a requirements traceability model. Proceedings IEEE Int. Symposium on Requirements Engineering, pp. 256-259. San Diego, California.
Ramesh, B. (1993). Process knowledge based rapid prototyping for Requirements Engineering. Proceedings IEEE International Symposium on Requirements Engineering, pp.248-255. San Diego, California.
Ramingwong, R. (2011). A review of requirements engineering processes, problems and models. International Journal of Engineering Science and Technology 4(6), pp. 2997-3002.
Regnell, B. et al. (2008). Can we beat the complexity of very large-scale requirements engineering? Requirements Engineering: Foundation for software quality. Lecture Notes in Computer Science 5025, pp. 123-128.
Regnell, B.; Olsson, H. & Mossberg, S. (2006). Assessing requirements compliance scenarios in system platform subcontracting. Proceedings 7th International Conference on Product Focused Software Process Improvement, pp. 362-376. Amsterdam, The Netherlands.
Reynolds, P. (2007). Managing requirements for a US$1bn IT-based business transformation: New approaches and challenges. Journal of Systems and Software 80(3), pp. 285-293.
Richardson, I. (2002). SPI Models: What characteristics are required for small software development companies? Software Quality Journal 10(2), pp. 101-114.
Richardson, K. (2010). Thinking About Complexity - Grasping the Continuum through Criticism and Pluralism. USA: Emergent.

Romero, O. & Abelló, A. (2006). Multidimensional design by examples. In Min, A. & Trujillo, J. (Eds.), Data Warehousing and Knowledge Discovery (pp. 85-94). Berlin: Springer.
Roux, M. (2002). Inventer un nouvel art d'habiter - Le ré-enchantement de l'Espace. Edit. Paris: L'Harmattan.
Satria, R. (2003). Analyzing requirements engineering problems. Proceedings IECI Japan Workshop, pp. 55-58. Chofu Bunka Kaikan Tazukuri, Japan
Scharnhorst, A., Börner, K. & Besselaar, P. (2012). Models of science dynamics - Encounters between complexity theory and information sciences. USA: Springer-Verlag
Schultze, U. (1998). Investigating the contradictions in knowledge management. Proceedings IFIP Working Groups 8.2 and 8.6 Joint working conference on information systems: Current issues and future changes. Helsinki, Finland.
Serna, M.E. & Polo, J.A. (2014). Logic and abstraction in engineering education: A necessary relationship. Ingeniería, Investigación y Tecnología XV(2), pp. 299-310.
Serna, M.E. & Zapata, A.L. (2014). Approach to logic and abstraction in the engineering training. Revista Internacional de Educación y Aprendizaje 2(1), pp. 35-47.
Serna, M.E. (2011). Analysis and selection to requirements elicitation techniques. Proceedings 7th Colombian Computing Congress, pp. 1-7. Medellin, Colombia.
Serna, M.E. (2011a). The importance of abstraction in the informatics. Revista Scientia et Técnica 2(48), pp. 122-136.
Serna, M.E. (2012). Current state of research on non-functional requirements. Revista Ingeniería y Universidad, 16(1), pp. 225-246.
Serna, M.E. (2012a). Maturity model of Knowledge Management in the interpretativist perspective. International Journal of Information Management 32(4), pp. 365-371.
Serna, M.E. (2013). Logic in Computer Science. Revista Educación en Ingeniería 8(15), pp. 62-68.
Serna, M.E. (2015). Development of logical-interpretative and abstractive capacity. Theoria - Revista de Teoria, Historia y Fundamentos de la Ciencia. *In press*.
Sharma, A. & Kushwaha, D. (2010). A complexity measure based on Requirement Engineering document. Journal of Computer Science and engineering 1(1), pp. 112-117.
Sommerville, I. & Sawyer, P. (1997). Requirements Engineering: A good practice guide. USA: John Wiley & Sons.
Sommerville, I. & Sawyer, P. (1998). Viewpoints: Principles, problems and a practical approach to requirements engineering. Annals of Software Engineering 3, pp. 101-130.
Sotolongo, P. & Delgado, C. (2006). La revolución contemporánea del saber y la complejidad social: Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo. Buenos Aires: CLACSO.
Sutcliffe, A. et al. (2003). Evolutionary requirements analysis. Proceedings 11th IEEE International Conference on Requirements Engineering, pp. 264-273. Monterey Bay, USA.
Tenkasi, R. & Boland, R. (1996). Exploring Knowledge diversity in knowledge intensive firms: A new role for information systems. Journal of Organizational Change Management 9(1), pp. 79-91.
Tsoukas, H. (1996). The firm as a distributed knowledge system: A constructionist approach. Strategic Management Journal 17, pp. 11-25.
Venters, W. (2002). Literature for C-Sand: Knowledge management. C-SandD/WP/1002/2. Online [Sep. 2014].
Vijayan, J. & Raju, G. (2011). A new approach to requirements elicitation using paper prototype. International Journal of Advanced Science and Technology 28, pp. 9-16.
Visser, W. (1992). Designers' activities examined at three levels: Organization, strategies and problem-solving processes. Knowledge-Based System 5(1), pp. 92-104.
Wang, Y. & Shao, J. (2003). Measurement of the cognitive functional complexity of software. Proceedings Second IEEE International Conference on Cognitive Informatics pp. 1-8. London, UK.
Wiegers, K. (1999). Software Requirements. Redmond: Microsoft Press.
Xiong, J. (2011). New Software Engineering paradigm based on complexity science. USA: Springer.
Zahran, S. (1998). Software process improvement: Practical guidelines for business success. UK: Addison-Wesley.
Zemelman, H. (2003). Conocimiento y ciencias sociales: algunas lecciones sobre problemas epistemológicos. México: Editorial Universidad Ciudad de México.

Capítulo X

Gestión del Conocimiento Transdisciplinar

Aunque en esta era la investigación es transdisciplinar, los diferentes modelos de madurez que se proponen en la literatura se orientan a la gestión del conocimiento interdisciplinar, y a lo sumo al multidisciplinar. En este capítulo se propone un modelo de madurez para la gestión del conocimiento transdisciplinar. El objetivo es proponer un modelo evolutivo en el que se acepta al conocimiento como intensamente activo y dinámico, que evoluciona en madurez desde las primeras etapas de la investigación. Pero esto solamente será posible si el equipo de investigadores asume un proceso limpio, claro y conjunto de intercambio disciplinar y de integración transdisciplinar del conocimiento creado y descubierto. De esta forma, los resultados de la investigación tendrán un mayor impacto y aprovechamiento en la sociedad.

1 Introducción

Promovida como una respuesta científica adecuada a los problemas sociales trascendentes, la investigación transdisciplinar tiene una larga historia en el discurso académico-científico. Sin embargo, está aún lejos de establecerse académica y científicamente como un área de amplio sustento en las universidades e instituciones de investigación. Una de las razones es que todavía no se promulga una definición aceptada universalmente. En consecuencia, todavía son insuficientes las normas de calidad bajo las cuales se puedan comprometer los investigadores, administradores de programas y financiadores (Serna, 2013). Por lo tanto, prevalece en el campo de la retórica y quienes la toman en serio y realizan esfuerzos integradores corren el riesgo de quedar marginados. Es necesario encontrar principios y terrenos comunes en el discurso de la investigación transdisciplinar; identificar las características de un marco compartido; presentar modelos conceptuales que puedan ser utilizados por la política científica para caracterizar los diferentes tipos y sus exigencias en materia de integración; y definir modelos de madurez para gestionar el conocimiento transdisciplinar emergente.

En este sentido, un grupo internacional de científicos advirtió que el futuro de la ciencia dependía de la financiación a la colaboración científica transdisciplinar (Vasbinder, Nanyang y Arthur, 2010). Argumentan que la ciencia basada en un método oxidado, que mantiene y refuerza la disciplinariedad, no es capaz de comprender adecuadamente las formas en que los complejos desarrollos tecnológicos de esta era se interconectan e impactan a la sociedad. Afirmaciones como estas recuerdan que después de años de debate al interior de la ciencia y en la política científica, las nuevas culturas y prácticas de colaboración científica transdisciplinar todavía no se han establecido. A primera vista, y desde esta y otras perspectivas, parece que la transdisciplinariedad es un concepto difícil de alcanzar, por lo que, de hecho, todavía no se dispone de una definición universalmente aceptada, incluso después de más de medio siglo de un intensivo discurso académico. Sin embargo, cuando los conceptos o ideas no se definen correctamente se corre el riesgo de que prevalezca una interpretación superficial, con el peligro latente, que se corre en estas circunstancias, de que se subestime los verdaderos retos de la investigación transdisciplinar y que queden marginados quienes los toman en serio. Por eso es que algunas cuestiones fundamentales siguen siendo controversiales:

1. Todavía no hay acuerdo si la investigación transdisciplinar es un nuevo y distinto modo de producción de conocimiento. En este sentido, Zierhofer y Burger (2007), al

analizar algunos proyectos reportados como de investigación transdisciplinar, no encontraron un plan único que permitiera clasificarlos como tal desde una perspectiva epistemológica o metodológica; por lo que concluyeron que desde ese punto de vista no parecían un nuevo y distintivo modo de producción de conocimiento. Maasen y Lieven (2006) subrayan que la transdisciplinariedad carece de una evaluación crítica del nuevo conocimiento, que es constitutivo para la producción del conocimiento científico. Argumentan que los escenarios transdisciplinares son útiles para el aprendizaje mutuo, pero no para la investigación conjunta. En el ámbito de las discusiones necesarias para ayudar al posicionamiento de la transdisciplinariedad, estos y otros argumentos merecen una cuidadosa consideración. Porque negarle el estatus de modo de producción de conocimiento puede, por un lado, desmejorar seriamente los intentos necesarios para establecerla dentro de la academia, y por otro, localizarla por fuera de ella perjudicaría los esfuerzos por definir criterios de calidad para la investigación transdisciplinar, que sean ampliamente aceptados. Esto es una herramienta necesaria para gestionar el conocimiento transdisciplinar y puede contribuir al progreso del trabajo en problemas concretos sociales y científicos.

2. La cuestión de si la transdisciplinariedad es un nuevo modo para gestionar el conocimiento científico es un tema recurrente en el discurso. En este sentido, Nowotny, Scott y Gibbons (2001) afirman que la investigación transdisciplinar no solamente debe producir conocimiento cierto, sino también socialmente robusto. Como respuesta a esta exposición, Maasen y Lieven (2006) argumentan que esto se refiere a lo que principalmente hace un investigador individual para generar resultados de calidad al conciliar diferentes normas y enfoques disciplinares, y que tiene diferentes exigencias extra-científicas. Desde una perspectiva de individualización de responsabilidades, estos autores advierten que la transdisciplinariedad es una nueva forma de gestionar conocimiento que incorpora procedimientos de responsabilidad social. Esta crítica subraya que, debido a esa nueva relación ciencia-sociedad, se cambian radicalmente las funciones y responsabilidades de los científicos. Sin embargo, estos cambios todavía no se discuten suficientemente en la literatura, ni se reflejan adecuadamente en la práctica de la investigación, ni en un modelo de madurez, que permita la gestión del conocimiento generado.

Es decir, la transdisciplinariedad es el enfoque de investigación que mejor se adapta para hacerles frente a los problemas complejos que el propio desarrollo científico genera, y de hecho se refiere principalmente a la relación ciencia-sociedad. Además, es intervencionista, porque metódicamente enmarca, estructura y organiza el discurso social sobre una problemática determinada. En este modelo y junto a sus tareas tradicionales, a la ciencia se le asigna un papel especial: la investigación transdisciplinar tiene la obligación de gestionar y distinguir las diferentes formas de conocimiento, debido a que esclarece la forma en que se produce y cómo se relaciona en la red de interconexiones complejas. En esencia, la transdisciplinariedad es tanto crítica como auto-reflexiva, porque examina no solamente la forma sistemática en que se produce y utiliza el conocimiento, sino también los diferentes actores que lo soportan. Además, desafía metódicamente el cómo la ciencia misma se ocupa de la resistencia entre la búsqueda de la verdad y la cada vez mayor demanda por resultados de utilidad.

En este orden de ideas, este capítulo tiene dos objetivos: por un lado, analizar cómo se produce, difunde y utiliza el conocimiento transdisciplinar, y por otro, proponer un

modelo de madurez para gestionarlo. Surge como una necesidad detectada en las diferentes investigaciones realizadas por el autor con equipos de diversas disciplinas, pero en las que no se logra estructurar un verdadero trabajo de equipo, libre de subordinaciones y de poder. El modelo de madurez para la gestión del conocimiento transdisciplinar que se propone aquí, se validó ampliamente en una investigación transdisciplinar-multinacional en la que el autor participa, con excelentes resultados.

2 Transdisciplinariedad

El hecho que el significado de transdisciplinariedad todavía esté en debate no implica que no se puedan encontrar aportes que aviven la discusión. Por el contrario, un análisis de las definiciones hasta ahora revela varias tendencias (Pohl y Hadorn, 2007):

1. La definición suele progresar desde la interdisciplinariedad, a través de la multidisciplinariedad hasta la transdisciplinariedad. Es una progresión porque cada *x-disciplinariedad* va más allá que la anterior en un aspecto específico, y puede ser parte de la definición retórica en lugar de una necesidad objetiva (Klein, 1990). Por su parte, Jantsch (1970) ve esta progresión como el grado de coordinación entre el sistema de educación y la innovación, donde todo el sistema gira en torno a un objetivo general, denominado progreso o equilibrio ecológico. Para Rosenfield (1992), esa progresión se encuentra en un marco conceptual compartido, donde interdisciplinariedad significa que investigadores de diferentes disciplinas utilizan sus respectivos métodos, técnicas y habilidades para enfrentar un problema común. En tal caso, la transdisciplinariedad es una fuerza que alienta a representantes de diferentes disciplinas a trascender sus orientaciones conceptuales, teóricas y metodológicas individuales, con el objetivo de desarrollar un enfoque común de investigación a partir de un marco conceptual común. Por su parte, Lawrence (2004) ve la progresión en los cuerpos de conocimiento y los grupos sociales involucrados. Para este autor, la interdisciplinariedad es una mezcla conjunta de disciplinas, mientras que la transdisciplinariedad implica la fusión entre los conocimientos disciplinares y el *know-how* de los laicos. Por lo tanto, mientras que estas definiciones comparten la idea de una progresión hasta la transdisciplinariedad, difieren en la característica principal de dicho progreso.
2. La definición se limita a describir una serie de características de la transdisciplinariedad, como que se focaliza en temas de relevancia social, que trasciende e integra paradigmas disciplinares, que hace que la investigación sea participativa, y que busca la unidad del conocimiento más allá de las disciplinas. De acuerdo con la importancia de estas características, se estructuran definiciones diversas (Cerrosen y Pong, 2012). Por ejemplo, la investigación es transdisciplinar si trasciende e integra paradigmas disciplinares a fin de abordar cuestiones socialmente (no académicamente) pertinentes. Este tipo de investigación se necesita porque el proceso de especialización de la producción de conocimiento es impulsado por intereses científico-disciplinares internos (Boleros, 2013), que cada vez se desvían más de los problemas y necesidades sociales. Brewer (1999) opina que esto es como que el mundo tiene problemas, pero las universidades tienen departamentos o facultades. La producción de conocimiento académico, organizado desde lo disciplinar, debe ser re-organizado y re-evaluado desde la perspectiva de cuestiones socialmente relevantes (Jantsch, 1970; Rosenfield, 1992; Mittelstrass, 1993).

   Asimismo, transdisciplinariedad significa ampliar el concepto anterior, incluyendo actores no-académicos mediante una investigación participativa. En este sentido,

Gibbons et al. (1994) y Nowotny, Scott y Gibbons (2001) identifican un nuevo modo de producción de conocimiento, que complementa al modelo lineal tradicional en el que *la ciencia propone y la sociedad dispone* (Guston y Sarewitz, 2002). Este modo se desarrolla en el contexto de la aplicación del conocimiento, lo que es contrario a la tradicional torre de marfil académica. Este proceso incluye a las partes interesadas de la ciencia, la sociedad y los sectores privado y público. Por ejemplo, en el contexto americano comúnmente no se le atribuye a la transdisciplinariedad la función de investigación participativa, por lo que Stokols (2006) designa a este modo de producción de conocimiento como de investigación-acción transdisciplinar, que para él representa un enfoque participativo. Al final, la investigación se convierte en transdisciplinar cuando se le añade una búsqueda de unidad de conocimiento, lo que no es un fin en sí mismo. El objetivo general consiste en reorganizar el conocimiento académico para que sea útil para abordar temas de relevancia social. Sin embargo, el conocimiento no es re-organizado, ni re-evaluado de manera pragmática y ecléctica, sino por el desarrollo de un punto de vista general o perspectivo, que va más allá de toda disciplina. Sobre la base de este punto de vista es que se estructuran, analizan y procesan los temas socialmente relevantes en una segunda etapa (Nicolescu, 2002; Ramadier, 2004).

3. La sociedad juega un importante papel en esta nueva perspectiva científica, porque el conocimiento transdisciplinar se debe re-contextualizar para una audiencia más amplia y de múltiples disciplinas, donde se hace más accesible e interpretable (Hunsinger, 2005). Para Charles Kleiber (2002), transdisciplinariedad significa poner en común los conocimientos e información disciplinares, las revoluciones tecnológicas y la creación de redes y nuevas formas de conocimiento. Debido al aspecto global de los problemas actuales, que no pueden ser resueltos por personas o grupos individuales, en la investigación deben participar otros sectores de la sociedad (Häberli y Thompson, 2002). Además, ya que el conocimiento es transgresivo, la transdisciplinariedad no respeta las fronteras institucionales (Gibbons y Nowotny, 2002), por lo tanto, cruza las nacionales porque es un concepto transnacional. De ahí que signifique algo más que una suma de investigadores de diferentes disciplinas que trabajan juntos, tal como en la inter o multidisciplinariedad. Otro aspecto es que con el fin de resolver los problemas del mundo real cruza las fronteras académicas. Las universidades y otras organizaciones de investigación tienen que tener mente abierta y estar dispuestas a cooperar con no-académicos y con científicos de otras disciplinas. En este entendimiento todos pueden aprender todos, porque la colaboración en un trabajo transdisciplinar requiere actores y participantes de la ciencia, que abran los horizontes y que aporten nuevos puntos de vista e ideas, para conocer mejor el tema del mundo real y las pruebas y la adaptación de sus teorías (Häberli y Thompson, 2002).

3 Conocimiento transdisciplinar

Informalmente se afirma que la ciencia produce muchos y diversos tipos de cosas, y que le proporciona a la sociedad los medios tecnológicos para controlar la naturaleza y el mundo cultural. Además, que es la base para producir estructuras elitistas y de poder que contribuyen a sus propios intereses o a perpetuar el *statu quo* político. Sin embargo, si se concibe como una institución social, es razonable y legítimo esperar que produzca conocimientos fehacientes e importantes para resolver todo tipo de problemas sociales (Merton, 1942; Weingart, 2001). Kitcher (2001) complementa esta afirmación al notar que de la ciencia se puede esperar que sea epistémica y que luche por darle importancia

práctica a la producción de conocimiento. De esta manera, es más confiable si se produce bajo restricciones metodológicas sistemáticas. De hecho, la investigación transdisciplinar se conceptualiza para asegurar que la elección de los problemas científicos genere conocimiento dirigido a impactar las más importantes necesidades de la sociedad actual.

Es común que el conocimiento científico se identifique con el conocimiento proposicional, es decir, el que se representa en proposiciones como $A \in B$ o $x > z$, y similares. Esta noción de conocimiento se desarrolló en la epistemología, donde se define explícitamente como justificado, garantizado, o confiable. Pero desde la integración cognitiva se refiere a una noción de justificación, y representa el elemento central del concepto de conocimiento definido de esta manera. Por eso es que para referir al que está restringido por metodologías sistemáticas se utiliza la expresión *producción de conocimiento científico*, es decir, por justificaciones y estándares. Además, hay que aceptar que las afirmaciones de conocimiento científico se refieren explícitamente a temas muy específicos, y por lo tanto presuponen algún tipo de compromiso ontológico (Quine, 1948). En este escenario, las especialidades científicas pueden básicamente ser objeto de discriminación, entre otras cosas por las características específicas de sus modelos metodológicos y ontológicos. Y debido a que todas las afirmaciones de conocimiento provienen de alguna disciplina, la investigación transdisciplinar tiene que satisfacer esta restricción, por lo que básicamente la integración cognitiva se refiere a la integración de las demandas heterogéneas del conocimiento científico, y en este caso, de la integración de sus pautas metodológicas y ontológicas.

Aparte de estas nociones de conocimiento transdisciplinar existen otras que se han discutido desde la epistemología, por ejemplo, la noción de Russel (1912) del *conocimiento conocido*, o la discusión de Ryle (1946) acerca del *conocimiento cómo*, que contrasta con la del *conocimiento para qué*, es decir, el conocimiento proposicional. Si bien éstas y otras nociones todavía se discuten en la epistemología contemporánea, la identificación científica del conocimiento proposicional todavía no tiene la misma atención. En todo caso, en campos como la sociología de la ciencia, la noción de conocimiento proposicional es adecuada para el análisis de las tareas cognitivas integracionales y en los modos transdisciplinares de producción de conocimiento. El problema al que se enfrenta esta noción es que todavía no está definida explícitamente, y desde la epistemología y la filosofía de la ciencia no aparece un consenso general sobre la misma. Sin embargo, esto no desvirtúa sus ventajas analíticas relacionadas con el conocimiento transdisciplinar.

De todas formas, la integración transdisciplinar del conocimiento se puede dar en el contexto de las evaluaciones integradas y de vulnerabilidad de la investigación científica. Pero a pesar de que esta integración es fundamental para diseñar un modelo de gestión del conocimiento, rara vez se ha abordado explícita y metódicamente el proceso real. En este trabajo se conceptualiza desde las fases posteriores a su producción y a través de un lenguaje compartido y de diseño metodológico, y mediante: 1) el ascenso semántico o cambio de lenguaje, para hablar en un metalenguaje sobre lo pasado, 2) la formalización o traducción de las declaraciones en lenguaje corriente o técnico a un lenguaje formal, y 3) los métodos de integración de conocimientos, que proporcionan el metalenguaje para referir el conocimiento que se va a integrar y organizar en el modelo de gestión.

Debido a que el conocimiento es una categoría mental que se refiere a la relación entre la creencia de un individuo y el mundo exterior, hay que evitar ciertas cuestiones epistemológicas y alejarse de la naturaleza o certeza de dicha relación, porque el conocimiento así es caracterizado con la creencia de que es verdadero y justificado (Plato,

1921). En lugar de ello, lo mejor es considerar las representaciones externas del mismo, es decir, las expresiones lingüísticas producidas por las personas que lo poseen (Carnap, 1938). Porque una cualidad característica del conocimiento científico es que se puede representar y comunicar de forma oral, visual, o escrita. Para esto sirven los metalenguajes que se desarrollan sobre una base disciplinar, y asimismo es posible estudiar explícitamente el conocimiento y su representación, tal como en la filosofía de la ciencia, las Ciencias Computacionales, la didáctica, la semiótica y la lingüística.

Con base en estos metalenguajes desarrollados hay que darle significado a la integración del conocimiento transdisciplinar. Para lograrlo, y debido a que como ya se expresó hay que respetar su origen disciplinar, es necesario elaborar un lenguaje compartido y diseñar una metodología que conduzca a la integración, la comprensión y la comunicación. En este proceso hay que tener en cuenta que en la integración del conocimiento transdisciplinar se debe haber aprendido de intentos fallidos, como el del empirismo lógico (Neurath, 1938) y el de la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, 1968). Esto se debe a que el objetivo es re-establecer la unidad de la ciencia, es decir, establecer una teoría científica para la transdisciplinariedad que tenga amplia acogida. La dificultad que enfrentaron estos y otros intentos fue tratar de encajar los lenguajes, las teorías y los métodos disciplinares como piezas de un rompecabezas (Kitcher, 1999). La realidad es que cada disciplina abstrae el mundo físico de manera diferente, porque únicamente selecciona los aspectos necesarios y abandona los demás (Jaeger, 2003). De esta forma se concentra en un pequeño número de aspectos para solucionar sus problemas en el mundo complejo. Además, por su propia naturaleza, los lenguajes y las teorías tienen como objetivo simplificar el mundo real para un propósito específico, por lo que tienen un alcance limitado. En contraste con esta visión unitaria de la ciencia, los problemas transdisciplinares integran el conocimiento local, tanto pragmático como específico, además de la dimensiones en que se origina y las variables complejas que lo definen.

En la transdisciplinariedad el conocimiento no existe en la ausencia de diálogo. Ya sea a través interacciones socio-culturales, el intercambio con pares, o porque se extrae de la naturaleza, se acumula a través del intercambio bidireccional de información. Sin este diálogo no hay transmisión, revisión, gestión, o expansión porque son inherentemente procesos reflexivos, dinámicos y transdisciplinares. Si no se comparte, todo conocimiento será estéril y condenado al olvido, y no mutará ni evolucionará porque al igual que otros sistemas vivos la mente necesita fertilización cruzada para mantener su vigor. Por eso es que el conocimiento transdisciplinar se potencializa en el intercambio constructivo entre disciplinas y mediante la gestión asertiva y estructurada. Las bases teóricas que soportan los principios de la transdisciplinariedad, que han puesto de manifiesto una posible crisis en la gestión del conocimiento, ponen de relieve la necesidad de una investigación que interrelacione ciencia, disciplinas múltiples y científicos para abordar los problemas complejos de este siglo. No es solamente la cantidad de conocimiento que se produce sino quiénes tienen acceso a él, cuáles son sus relaciones de poder en la sociedad, cómo adaptar e incorporar la investigación transdisciplinar a un mundo cambiante y cómo se puede gestionar para hacer ese conocimiento socialmente útil.

Se puede pensar que un enfoque multidisciplinar es suficiente para superar esta crisis en el conocimiento, y es posible esgrimir el trabajo que hacen muchos equipos, por ejemplo, en la conservación del medio ambiente. Pero ellos no hablan entre sí de manera significativa porque se limitan a realizar sub-procesos cuyos resultados se informan al coordinador, y no conocen sus efectos sobre el resultado final porque simplemente no

dialogan. También se puede utilizar una perspectiva interdisciplinar, donde el mismo grupo de científicos trabaja alrededor del mismo tema, pero en realidad no tienen una comunicación continua. Por lo tanto, los problemas complejos y la crisis de gestión del conocimiento necesita una investigación de enfoque transdisciplinar, donde trabaje una amplia gama de científicos inmersos en la comunidad, desarrollando adecuadas iniciativas de investigación y de diseño, que busquen solucionar sus problemas y que sirvan para vincular la evidencia con la acción. Pero hay relativamente pocos ejemplos exitosos de este tipo de trabajo.

De esta manera, las actividades de creación de conocimiento implican el descubrimiento de nueva información, porque existe un equipo transdisciplinar de investigadores que se embarca en una exploración de conocimientos, actitudes y prácticas relacionadas con cada problema en particular. Este equipo trabaja de manera conjunta y, a través del diálogo, descubren y potencializan el conocimiento, al que gestionan adecuadamente para impactar positivamente en la resolución de los problemas sociales. Es decir, trabajan con, y no a pesar de, la sociedad. El problema aquí es la falta de capital social preparado para realizar este tipo de investigación (Levison et al., 2011). Por eso es que se necesitan modelos para gestionar el conocimiento transdisciplinar, que permitan conocer su nivel de madurez y que le brinden confianza a la comunidad mediante actividades de creación y socialización.

4 Modelo de madurez de la gestión del conocimiento transdisciplinar

Desde un enfoque racional y empírico lo importante en la gestión del conocimiento transdisciplinar es su perspectiva funcionalista, porque permite conocer acerca del mundo racional a la vez que integra a las disciplinas y a los individuos como partes sustantivas del conocimiento científico. El punto de vista es que el conocimiento científico que se genera de forma transdisciplinar se logra a través de la puesta en común de los cuerpos de conocimiento de las disciplinas individuales, y de la experiencia propia de cada individuo participante. Pero a este universo hay que sumarle el conocimiento que se descubre o produce en el proceso de la investigación misma, por lo que está intrínsecamente indeterminado pero socialmente necesitado (Serna, 2012). Es por eso que la investigación transdisciplinar se hace con y no para la sociedad.

Desde esta perspectiva, el conocimiento no existe *a priori* esperando a ser descubierto, sino que este tipo de investigación lo analiza, experimenta y reflexiona antes de presentarlo, porque asume que se requiere una interacción entre las disciplinas, las experiencias y la sociedad (Serna, 2011). Por eso hasta el conocimiento más simple atraviesa por un complejo proceso social, donde los investigadores interpretan el mundo y aprenden de él mediante la interacción social (Daft & Weick, 1984). Además, la investigación transdisciplinar enfatiza en la acción social dentro de la práctica, porque esta acción es fundamental para comprender la adquisición del conocimiento y su utilidad para la comunidad. Por otro lado, se crea significado mediante una acción participativa dentro del contexto social. Un modelo de madurez para la gestión de este conocimiento debe enfatizar en el descubrimiento del mismo al interior del proceso investigativo y mediante una interacción social de intercambio, de esta forma adquiere importancia y demuestra su utilidad al interior de estas estructuras. Una vez incorporado a la sociedad, se disemina a través de los procesos dinámicos que rigen a las comunidades. Entonces, el conocimiento emerge de acciones compartidas y de procesos multidimensionales complejos, y se promulga en la práctica de las personas. Por eso es que desde la visión de la investigación transdisciplinar se hace énfasis en la práctica, para indicar que el

conocimiento es en un momento dado lo que la práctica y la diseminación han hecho, y que se logra a través de acciones mutuamente constitutivas del mismo.

Además de estas consideraciones, en la gestión transdisciplinar el conocimiento se debe considerar como un objeto activo, porque está embebido en las prácticas humanas recurrentes que rodean la investigación, y porque si fuera estático no sería transdisciplinar. Por otro lado, poder transferirlo de un lugar a otro no significa que es un objeto móvil, solamente porque se transmite, codifica, o difunde, sino que logra esa movilidad porque es un producto permanentemente embebido en toda actividad científica y porque las acciones y representaciones humanas se reflejan y observan en los contextos sociales (Venters, Cushman y Cornford, 2002). Al realizar investigación transdisciplinar para construir y descubrir conocimiento, se enfatiza en la naturaleza social del mismo, lo que debe obligatoriamente conducir a una gestión centrada en la interacción social en lugar de en la información fría. Es por eso que en esta visión se considera que el conocimiento es un logro continuo y un proceso, más que un objeto aislado, por lo que es dinámico y no estático. Al observar al conocimiento desde esta perspectiva se enfatiza en conceptos como construcción de sentido y comunidad de práctica, porque su razón de ser son las prácticas sociales de creación y de aplicación.

Un modelo de madurez para gestionar este conocimiento debe ser de naturaleza evolutiva, es decir, estructurado en una serie de etapas progresivas en las que la complejidad se incrementa hasta lograr una perfecta inclusión en la sociedad. Este tipo de modelos se caracteriza por construir escenarios multidimensionales óptimos, que se reflejan en las etapas de desarrollo. Tradicionalmente, se acepta que un modelo de estas características debe estar conformado por cinco etapas o niveles en las que el conocimiento evoluciona progresivamente: predispuesto, reactivo, apreciativo, organizado y optimizado (Serna, 2012). Pero aunque es similar a los propuestos en otras áreas, en la investigación transdisciplinar requiere de ciertos componentes de administración asignados a la escala de madurez, tales como gestión de las personas, gestión de los procesos, gestión de la tecnología, gestión del conocimiento disciplinar y gestión del beneficio social. Además, hay que gestionar la dimensión cognitiva del aprendizaje con base en la taxonomía de Bloom (1956), porque desde este punto de vista es posible ver la semiótica del proceso del conocimiento.

Tabla 1: Niveles de la dimensión afectiva (Bloom, 1956)

Recepción	Los investigadores, como individuos, son pasivos; saben escuchar y perciben emociones; y están motivados por el conocimiento. Sin este nivel no puede haber generación de conocimiento.
Respuesta	Los investigadores trabajan en equipos y son activos en el proceso del conocimiento; atienden a los estímulos disciplinares y reaccionan y asignan juicios de valor a lo descubierto o construido.
Valoración	Los investigadores asignan juicios de valor al conocimiento compartido desde las otras disciplinas.
Organización	Los investigadores se organizan como equipo transdisciplinar para crear y organizar un sistema de valor; priorizan el conocimiento; resuelven conflictos disciplinares; y crean un sistema único de validación y verificación del conocimiento transdisciplinar.
Caracterización	Los investigadores definen el sistema de aplicación y utilización del conocimiento en la sociedad; construyen una escala para evaluar el impacto en las comunidades; y divulgan el conocimiento que han validado y verificado.

Esta taxonomía utiliza un sistema de valores que se puede adecuar para administrar el comportamiento del conocimiento disciplinar individual, visto desde las dimensiones afectiva y sicomotora. La primera se refiere a la forma como las personas comparten

niveles de sentimientos, valores, apreciaciones, entusiasmos, motivaciones y actitudes alrededor de la construcción, el descubrimiento y la utilización del conocimiento, tal como se observa en la Tabla 1. La segunda proporciona un punto de vista en el que lo importante no son los diversos objetivos del conocimiento sino sus niveles jerárquicos, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Niveles de la dimensión sicomotora (Bloom, 1956)

Percepción	Los investigadores desarrollan habilidades para guiar su actividad motriz en pro de la integración del conocimiento disciplinar.
Disposición	Los investigadores están dispuestos a actuar desde sus capacidades disciplinares y planean acciones para comprender e interactuar con las demás.
Respuesta dirigida	Los investigadores desarrollan habilidades para dar respuestas guiadas a las solicitudes del conocimiento desde las otras disciplinas.
Respuesta automática	Los investigadores desarrollan destrezas para presentar respuestas a la sociedad acerca del conocimiento transdisciplinar.
Ejecución consiente	Los investigadores crean patrones de responsabilidad para incorporar el conocimiento en las comunidades y en los nuevos entornos.

4.1 Operacionalización del modelo de madurez

1. *Nivel predispuesto.* El equipo de investigadores tiene una adecuada capacidad para responder o atender el conocimiento que se genera desde las disciplinas individuales. Algunos integrantes se pueden especializar para escuchar y responder a las necesidades pero están limitados a su disciplina. El equipo carece de habilidades, destrezas y capacidades adecuadas para desempeñar las actividades de la dimensión sicomotora, porque su percepción de integración del conocimiento es pobre y desconocen las fuentes del conocimiento de las otras disciplinas. Puede que individualmente tengan un adecuado conocimiento de ellas, pero siempre en un contexto disciplinar individual. El equipo tiene una baja capacidad de percepción, por lo que no responde adecuadamente a las dificultades para integrar el conocimiento. Esto se debe a que en este nivel, y como equipo, los investigadores no tienen la habilidad para desarrollar mecanismos, respuestas complejas, adaptaciones, o de participar en las creaciones que exigen una integración disciplinar, y aunque existen individuos capacitados para conducirlas, todavía no lo logran como equipo.
2. *Nivel reactivo*. Los investigadores responden a la presión externa para mejorar la gestión del conocimiento disciplinar e inician estrategias para atender y responder a las fuentes de información interdisciplinar. Los individuos gestionan de mejor manera la información procedente de las distintas disciplinas e inician procesos de interacción interdisciplinar. En este punto es posible que como equipo no realicen la integración total, pero algunos individuos empiezan a sintonizarse con la gestión del conocimiento interdisciplinar, aunque todavía se les dificulta reconocer las relaciones de la información proveniente simultáneamente desde varias disciplinas. En este nivel se espera que el equipo de investigadores mejore su percepción y su disposición a actuar, y que responda a la información que fluye entre las disciplinas.
3. *Nivel apreciativo*. El equipo valora la necesidad de transformar la información en conocimiento, y empieza a gestionar acuerdos multidisciplinares y de análisis transversal y horizontal para lograr una mejor apreciación de la información y de las relaciones que permitan procesarla, darle significado y gestionarla como conocimiento. El equipo de investigadores incrementa su rango de percepción, mejora la disposición para interactuar y comienza a madurar su capacidad para gestionar el conocimiento desde una visión transdisciplinar. Esto se debe a que los

investigadores aprenden a interrelacionarse mediante actividades de gestión del conocimiento multidisciplinar, y empiezan a estructurar y a desarrollar actividades e instancias para responder a las complejas exigencias de la gestión de ese conocimiento. Para hacerlo, necesitan coordinar sus actividades de gestión a través del desarrollo de habilidades, destrezas y capacidades para gestionar el conocimiento desde lo multidisciplinar a lo transdisciplinar.

4. *Nivel organizado*. El equipo de investigadores se organiza mediante una arquitectura alrededor del conocimiento transdisciplinar, y empieza a aplicar actividades de administración de recursos, de administración analítica, de administración significativa y de administración activa del conocimiento. Ahora es capaz de realizar todas las actividades de gestión estructuradas para el conocimiento transdisciplinar, es decir, de percepción, de disposición para actuar, de respuesta guiada, de mecanismos, de respuestas complejas y de adaptación y creación, lo que logra mediante la comprensión y transformación total del conocimiento multidisciplinar a un conocimiento transdisciplinar activo, que todos los investigadores comprenden y pueden transformar en un bien social.

5. *Nivel optimizado*. El equipo logra descubrir y adaptar las similitudes individuales entre sus conceptos de personalidad y de desarrollo de carácter para gestionar el conocimiento transdisciplinar. El trabajo en equipo se beneficia de la apertura a la mejora continua de la gestión del conocimiento, y para impactar positivamente la sociedad se apoya en las prácticas, habilidades, destrezas y capacidades de los individuos. Con esto pone a punto su capacidad de adaptación, creación y descubrimiento de conocimiento. Su objetivo ahora es disminuir el tiempo de adaptación del conocimiento e incrementar la fluidez y las habilidades para ponerlo en los contextos sociales que se requiera.

En la Tabla 3 se resumen los niveles y las características de la operacionalización del modelo de madurez de la gestión del conocimiento transdisciplinar.

Tabla 3. Operacionalización del modelo de madurez

Niveles	**Características Administrativas**			
	De recursos	**Analíticas**	**Significativas**	**Activas**
Predispuesto	▪ Los investigadores, individualmente, tienen sus propios recursos y responsabilidades para gestionar la información que consideren necesaria desde su disciplina. ▪ No todas las disciplinas son de interés para el equipo. ▪ Es deficiente el valor, el volumen, y el contenido de la información.	▪ No existe una definición estándar para la información disciplinar. ▪ Cada investigador define las fuentes de información. ▪ Las apreciaciones analíticas del equipo son de baja calidad y no son portables. ▪ Los análisis generados desde cada disciplina no son armónicos o compatibles con las demás.	▪ Los investigadores interpretan individualmente la información. ▪ Las interpretaciones son incompletas y no se comparten eficazmente con las otras disciplinas. ▪ El equipo emprende acciones sin comprobación. ▪ No se genera ni aplica conocimiento integral de equipo.	▪ Cualquier acción se basa en presentimientos individuales. ▪ No hay predisposición para la retroalimentación entre disciplinas para monitorear la eficacia y eficiencia de la información disciplinar.
Reactivo	▪ Se crean subgrupos por disciplinas afines con el objetivo de encontrar convergencia en la	▪ Los subgrupos estandarizan procedimientos para regular el análisis, el despliegue, y la gestión	▪ Se estandarizan las interpretaciones en cada subgrupo. ▪ Se estructura un lenguaje común para gestionar la	▪ Las acciones al interior de los subgrupos se basan en las interpretaciones acordadas.

	utilidad de la información. ▪ Se crean definiciones y mapas conceptuales para iniciar la estandarización de un proceso de gestión de disciplinas. ▪ Se integran las disciplinas al interior de los subgrupos. ▪ Los investigadores de cada subgrupo estructuran herramientas para recuperar e integrar la información interdisciplinar.	de la información interdisciplinar. ▪ Se logra una transformación eficiente y efectiva de la información interdisciplinar en cada subgrupo.	información interdisciplinar. ▪ Cada subgrupo intercambia, compara, debate, integra, y retroalimenta activamente la información interdisciplinar. ▪ Se mejoran los informes e indicadores de progreso.	▪ Se incrementa la eficiencia de las operaciones y se flexibiliza el intercambio de información. ▪ La retroalimentación de la información interdisciplinar se restringe al subgrupo.
Apreciativo	▪ Se comienzan a formar alianzas entre los subgrupos. ▪ Se promueve la integración y la gestión de la información multidisciplinar. ▪ Se intercambian las definiciones, los mapas mentales, y los esfuerzos de gestión de la información multidisciplinar. ▪ Se comparten los mecanismos de análisis, recuperación, y representación de la información multidisciplinar.	▪ Los subgrupos comparten procesos de análisis e intercambio de información multidisciplinar. ▪ Se redefinen los procesos de análisis y se comprende mejor cada proceso involucrado. ▪ La información analizada multidisciplinarmente incrementa su alcance. ▪ Se incrementa el volumen de información multidisciplinar y los repositorios crecen y se sofistican.	▪ Se comparten significados y funciones. ▪ Se definen interlocutores-traductores para estructurar la sintaxis y la terminología necesaria para gestionar la información multidisciplinar. ▪ Los subgrupos comienzan a tener en cuenta la información multidisciplinar de los otros.	▪ Se crean alianzas entre subgrupos con información multidisciplinar afín. ▪ Se extienden las formas de acción y se comparten experiencias. ▪ Se amplía el contexto de interpretación de la información multidisciplinar. ▪ Se incremente la eficiencia y eficacia de la gestión multidisciplinar.
Organizado	▪ El equipo desarrolla un repertorio de información transdisciplinar. ▪ Se examinan los mapas mentales para viabilizar su convergencia y dirimir los posibles conflictos en la información transdisciplinar. ▪ El equipo desarrolla una arquitectura estandarizada para recuperar la información transdisciplinar. ▪ El quipo dispone de un mapa mental amplio de la información transdisciplinar.	▪ El equipo es capaz de realizar análisis transdisciplinares con base en una adecuada definición de la información transdisciplinar y sus elementos de integración. ▪ Se estructura e implementa en el equipo un repositorio para promover la reutilización de los análisis de la información transdisciplinar, y se definen ciclos permanentes de retroalimentación y seguimiento.	▪ Se incrementan los niveles de análisis de la información transdisciplinar y se comparten con miembros de la sociedad. ▪ Se comienza a generar conocimiento desde la información transdisciplinar. ▪ El equipo gestiona la diversidad de lenguajes y fomenta y promueve el diálogo transdisciplinar con base en los significados sociales.	▪ El quipo diseña acciones únicas de gestión del conocimiento transdisciplinar con base en los significados. ▪ Se crea un repositorio de acciones-respuestas para facilitar la reutilización del conocimiento transdisciplinar existente. ▪ Se diseña un procedimiento para evaluar el impacto del conocimiento transdisciplinar en el contexto social.

Optimizado	▪ El equipo reconoce, respeta, y promueve activamente la transformación de la información disciplinar a conocimiento transdisciplinar, y actualiza rutinariamente los procedimientos para lograrlo. ▪ El mapa mental transdisciplinar se actualiza y refina permanentemente para reflejar el dinamismo del conocimiento transdisciplinar que se crea y/o descubre.	▪ El equipo se compromete a buscar formas más eficaces para evaluar los análisis transdisciplinares antes de implementar el conocimiento en la sociedad. ▪ Se diseñan mecanismos para racionalizar los procesos de generación y aplicación del conocimiento transdisciplinar.	▪ El equipo de investigadores pone en marcha procedimientos para facilitar la revisión permanente de significados, ventajas, y desventajas del conocimiento transdisciplinar. ▪ Se crea y respeta el compromiso de capacitar a los agentes sociales. ▪ Se diseñan mecanismos para mantener la eficiencia y eficacia del conocimiento transdisciplinar y de sus implicaciones sociales.	▪ Las estructuras de gestión del conocimiento transdisciplinar se enriquecen permanentemente atendiendo a la multidimensional y complejidad de los contextos sociales. ▪ Se actualizan continuamente las pre y pos-evaluaciones a las acciones de incorporación del conocimiento transdisciplinar en la sociedad. ▪ El equipo dispone de un repositorio de acciones para aprovechar e incorporar al cuerpo de conocimiento toda la información que generen las disciplinas.

5 Conclusiones

La gestión del conocimiento transdisciplinar es una estrategia de investigación que se debe planear desde la formulación de cualquier línea de trabajo, y sus beneficios sociales dependen de muchos factores. Un modelo de madurez para gestionar esa estrategia es esencial para cualquier equipo de investigadores y debe estar marcado entre sus actividades. En este capítulo se describe un modelo de madurez que combina las fortalezas de la gestión del conocimiento y se orienta a potencializar los beneficios sociales de la investigación transdisciplinar. El modelo es altamente flexible debido a su concepto de proyección, y se puede adaptar a cualquier entorno de investigación. Se utiliza un enfoque equilibrado entre la concepción tradicional de conocimiento interdisciplinar y multidisciplinar, y su necesaria evolución hacia el transdisciplinar. Aunque concentrado en potencializar los saberes disciplinares, el objetivo es obtener los mayores beneficios de cada uno, teniendo en cuenta áreas clave, procesos, tecnologías y productos para moldear la mejor forma de hacerlos útiles y sólidos al momento de su incorporación. El nivel de madurez final considera a la comunidad destino y a otras asociadas, como una sociedad conjunta. De ahí que el modelo se pueda extender desde lo tradicional a lo global en pro de una gestión adecuada del conocimiento transdisciplinar.

El análisis y el diseño de la aplicación de la investigación transdisciplinar develan retos importantes. Por ejemplo, la cuestión de la cantidad de control disciplinar cedida en un proceso transdisciplinar resulta crucial, porque afecta el equilibrio de poder entre los investigadores. Además, los acuerdos y desacuerdos entre ellos, los productos y las organizaciones sociales se definen en relación con aspectos específicos de cómo incorporar todo el proceso de la investigación y sus productos. Aunque los actores científicos y no-científicos comparten un objetivo común y un conjunto de valores acerca de cómo administrar los recursos, esas divergencias representan claramente diferentes perspectivas sobre la investigación transdisciplinar.

En contraste con las investigaciones inter o multidisciplinares en las que el control, la autoridad y el impacto se definen claramente, en la transdisciplinar se deben incorporar como actividades en el plan de acción. De esta manera se obtiene un nivel de madurez desde la misma formulación del proceso, por lo que iniciar y controlar lo implícito de la investigación transdisciplinar no se debe asumir como una posición de poder, porque genera asimetrías que podrían potencialmente impedir la igualdad necesaria para avanzar en los diferentes niveles del modelo. Como se describe en este capítulo, esto es posible gracias a que se planifica el proceso de evolución hasta la transdisciplinariedad, pero favoreciendo un equilibrio entre flexibilidad y coordinación compartida y llevando a cabo negociaciones durante todo los niveles del modelo. Cuestiones como control, equilibrio de poder y análisis de la inmersión del conocimiento transdisciplinar en las comunidades se han abordado marginalmente en algunas investigaciones, pero en este modelo se involucran desde un comienzo y se gestionan a través del progreso en el nivel de madurez.

Lo anterior es importante para alcanzar las metas de la investigación transdisciplinar, en el sentido de que no se beneficie solamente una parte de la comunidad de la inmersión del conocimiento, porque sería una visión inter o multidisciplinar, sino que todo el proceso debe hacerse desde la colaboración disciplinar y con los agentes sociales. En este sentido es importante notar cómo los debates epistemológicos, alrededor de la objetividad científica, proporcionan ideas y argumentos sobre cómo hacer frente a las posiciones disciplinares en la investigación. Estos puntos de vista se tienen en cuenta en el modelo propuesto, porque demuestran que todos los investigadores individuales y los actores sociales, tienen una contextualización específica que facilita, a la vez que limita, la gestión del conocimiento transdisciplinar. Además, estas teorías ofrecen argumentos para romper las barreras del trabajo disciplinar en la investigación y la generación de conocimiento, que son factibles de aplicar y utilizar en un modelo de madurez de la gestión del conocimiento transdisciplinar. Otra cuestión que se propone aquí es que la investigación transdisciplinar, como tal, debe tener en cuenta a los actores marginales, es decir, a los no-investigadores, porque de esta forma se logra una mejor comprensión del orden social y disciplinar y de las estructuras que limitan su participación. Así se logra una mayor y mejor apropiación del conocimiento y de sus beneficios e impactos sociales.

Dado el potencial de transformación social de la investigación transdisciplinar y del conocimiento que genera, en este modelo de madurez también se involucra el tratamiento multidimensional y complejo del conocimiento, un asunto que pocas veces se trata en la literatura transdisciplinar. Un modelo como el que se propone, y en relación con la objetividad y el cumplimiento de las normas y la ética de aplicación, genera menos controversia acerca de la efectividad y los beneficios de la investigación científica. En parte porque la sociedad está involucrada en todo el proceso, pero en especial porque los investigadores conocen todo de todos, debido a que no existe una autoridad única sino un trabajo colaborativo.

Referencias

Bertalanffy, L. (1968). General System Theory. New York: George Braziller.

Bloom, B. S. (1956). Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals, Handbook 1: Cognitive Domain. USA: Addison Wesley Publishing Company.

Boff, L. (1986). Cómo trabajar con el pueblo: Metodología de trabajo popular. Petrópolis: Vozes.

Boleros, C. (2013). Analysis to the culture shock in scientific software development. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (RACCIS) 3(1), pp. 19-24.

Brewer, G. (1999). The challenges of interdisciplinarity. Policy Sciences 32(4), pp. 327-337.

Carnap, R. (1938). Logical foundations of the unity of science. In Neurath, O.; Carnap, R. & Morris, C. (Eds.), International Encyclopedia of Unified Science, Vol. 1. Chicago: Chicago University Press.

Cerrosen, J. & Pong, J. (2012). Science in Computational Sciences. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (RACCIS) 2(2), pp. 12-20.

Daft, R. & Weick, K. (1984). Towards a model of organizations as interpretation systems. Academy of Management Review 9(2), pp. 284-295.

Freire, P. (1970). Pedagogy of the oppressed. New York: Seabury.

Gibbons, M. & Nowotny, H. (2002). The potential of transdisciplinarity. In Bill, A. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society. An effective way for managing complexity, pp. 67-80. Berlin: Akademie Verlag.

Gibbons, M. et al (1994). The new production of knowledge - The dynamics of science and research in contemporary societies. London: Sage.

Guston, D. & Sarewitz, D. (2002). Real-time technology assessment. Technology in Society 24(1-2), pp. 93-109.

Häberli, R. & Thompson, J. (2002). Summary. In Bill, A. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society. An effective way for managing complexity, pp. 3-5. Berlin: Akademie Verlag.

Hunsinger, J. (2005). Toward a transdisciplinary internet research. The Information Society 21(4), pp. 277-279.

Jaeger, C. (2003). A note on domains of discourse - Logical know-how for integrated environmental modelling. PIK Report 86. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Germany.

Jantsch, E. (1970). Inter-disciplinary and transdisciplinary university - Systems approach to education and innovation. Policy Sciences 1(1), pp. 403-428.

Kitcher, P. (1999). Unification as a regulative ideal. Perspectives on Science 7(3), pp. 337-348.

Kitcher, P. (2001). Truth, science, and democracy. New York: Oxford University Press.

Kleiber, C. (2002). What kind of sciences does our world need today and tomorrow? A new contract between science and society. In Bill, A. et al. (Eds.), Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology and society. An effective way for managing complexity, pp. 47-58. Berlin: Akademie Verlag.

Klein, J. (1990). Interdisciplinarity - History, theory, and practice. Detroit: Wayne State University Press.

Lawrence, R. (2004). Housing and health: From interdisciplinary principles to transdisciplinary research and practice. Futures 36(4), pp. 487-502.

Levison, M. et al. (2011). You cannot prevent a disease; you only treat diseases when they occur: Knowledge, attitudes and practices to water-health in a rural Kenyan community. East Africa Journal Public Health 8(2), pp. 103-111.

Maasen, S. & Lieven, O. (2006). Transdisciplinarity: A new mode of governing science? Science and Public Policy 33(6), pp. 399-410.

Merton, R. (1942). Science and technology in a democratic order. Legal and Political Sociology 1, pp. 115-126.

Mittelstrass, J. (1993). Unity and transdisciplinarity. Interdisciplinary Science Reviews 18(2), pp. 153-157.

Morin, E. (2008). On complexity. Paris: Hampton Press.

Neurath, O. (1938). Unified science as encyclopedic integration. In Neurath, O.; Carnap, R. & Morris, C. (Eds.), International Encyclopedia of Unified Science. Vol. 1. Chicago: Chicago University Press.

Nicolescu, B. (2002). Manifesto of transdisciplinarity. Albany: State University of New York Press.

Nowotny, H.; Scott, P. & Gibbons, M. (2001). Re-thinking science - Knowledge and the public in an age of uncertainty. Cambridge: Polity Press.

Nowotny, H.; Scott, P. & Gibbons, M. (Eds.) (2001). Re-Thinking science: Knowledge and the public in an age of uncertainty. London: Polity Press.

Plato (1921). Theaetetus. Plato in Twelve Volumes, Vol. 12. Cambridge: Harvard University Press.

Pohl, C. & Hadorn, G. (2007). Principles for designing transdisciplinary research. Munich: Oekom Verlag.

Quine, W. (1948). On what there is. The Review of Metaphysics 2, pp. 21-28.

Ramadier, T. (2004). Transdisciplinarity and its challenges: The case of urban studies. Futures 36(4), pp. 423-439.

Rosenfield, P. (1992). The potential of transdisciplinary research for sustaining and extending linkages between the health and social-sciences. Social Science & Medicine, 35(11), pp. 1343-1357.

Russell, B. (1912). The problems of philosophy. London: Oxford University Press.
Ryle, G. (1946). Knowing how and knowing that. Proceedings of the Aristotelian Society 46, 1-16.
Serna, M.E. & Serna, A.A. (2013). A review to processes for science, technology and innovation. Revista Entramado 9(1), pp. 172-187.
Serna, M.E. (2011). De las competencias, la formación, la investigación y otras: Visiones de reflexión. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
Serna, M.E. (2012). Maturity model of knowledge management in the interpretativist perspective. International Journal of Information Management 32(4), pp. 365-371.
Stokols, D. (2006). Toward a science of transdisciplinary action research. American Journal of Community Psychology 38(1-2), pp. 63-77.
Vasbinder, J. et al. (2010). Transdisciplinary EU science institute needs funds urgently. Nature 463(7283), 876-888.
Venters, W., Cushman, M. & Cornford, T. (2002). Creating Knowledge for Sustainability: Using SSM for Describing Knowledge Environments and Conceptualising Technological Interventions. Third European Conference on Organisational Knowledge, Learning and Capabilities. Athens, Greece.
Weingart, P. (2001). Die stunde der wahrheit: Zum verhältnis der wissenschaften zu politik, wirtschaft und medien in der wissensgesellschaft. Weilserswist: Velbrück Wissenschaft.
Zierhofer, W. & Burger, P. (2007). Disentangling transdisciplinarity: An analysis of knowledge integration in problem-oriented research. Science Studies 20(1), pp. 51-74.

Capítulo XI

Complejidad y Sistemas Adaptativos Complejos

El surgimiento del Pensamiento Complejo se convirtió en un acontecimiento que marcó un antes y un después en el progreso del trabajo científico. Sus partidarios han hecho innumerables aportes, primordialmente orientados a posicionar sus principios como un reemplazo para el oxidado método científico cartesiano. Pero, a pesar de estos esfuerzos, todavía no se ha consolidado como un paradigma propiamente dicho. En este capítulo se discute que es necesario trabajar en la integración de los logros científicos de los Sistemas Adaptativos Complejos y la visión del mundo de la Teoría de la Complejidad, en un esfuerzo por alcanzar la consolidación que necesita el Pensamiento Complejo para establecerse como paradigma científico.

1 Introducción

Actualmente, los mundos natural, social, económico y político se caracterizan cada vez más por la inestabilidad, la volatilidad y los cambios disruptivos, y conjuntamente conforman otro mundo en el que lo improbable, lo imprevisible y lo francamente catastrófico parece ocurrir con alarmante regularidad. Para Taleb (2007), estos acontecimientos son atípicos, ocurren más allá de los reinos de la expectativa normal, suelen tener consecuencias dramáticas en la vida cotidiana y abundan en prácticamente todos los aspectos de la sociedad. Lo que no se sabe o no se espera es ¿por qué parecen empeñados en frustrar los mejores planes humanos y perturbar de innumerables maneras la vida cotidiana? Por eso, y dada la incertidumbre que los acompaña, la humanidad se debe comprometer a reevaluar la comprensión de cómo funciona el mundo y aprender a adaptarse y a hacerles frente. En otras palabras, aprender a vivir en un mundo genuinamente complejo, multifacético, global y entrelazado.

Un mundo así exige pensar en cuestiones como la intimidad y la inmediatez de las experiencias vividas (James, 1912, 1996; Nishida, 1921, 1990; Ruskin, 1927; Morin, 1977, 1992); en reconocer y abrazar el desorden inherente, las contradicciones y el carácter desconcertante de la realidad (James, 1911, 1996; Morin, 2008); en situaciones que resisten o desbordan nuestras categorías familiares de pensamiento (James, 1911, 1996; Whitehead, 1926, 1985; Bergson, 1946, 1992; Morin, 1977, 1992); y en analizar el hecho de que el sistema dominante niega la legitimidad de las interrelaciones del pensamiento (Marcuse, 1964; Ehrenzweig, 1967; Said, 1978; Lacan, 1986). Esto le podría permitir a la humanidad reconocer que debe permanecer alerta a los supuestos que se dan por sentado, y que continúan ejerciendo un férreo control sobre los hábitos de pensamiento.

Como expresa Edgar Morin (1977, 1992), el pensamiento humano debe ponerle sitio a lo impensado, que ordena y controla, y se necesita un principio de conocimiento que no solamente respete sino que revele los misterios de las cosas. Esto implica reconocer que toda forma de ver y conocer implica un acto simultáneo de ceguera inevitable, para aceptar su existencia y sus causas. Al dirigir la atención a lo impensado, el Pensamiento Complejo aumenta la conciencia de la ignorancia, por lo que hay que empezar por extinguir la falsa certeza. Este acto establece procedimientos para acabar con la ignorancia, la incertidumbre y la confusión porque se convierten en viáticos, y dudar de la duda da lugar a una nueva dimensión de reflexividad, de aceptación de la confusión y a un medio para resistir la simplificación. Este es un punto de partida radical para pensar realmente en la complejidad.

Se puede afirmar entonces que los avances científicos de las últimas décadas han traído algunas sorpresas. Por ejemplo, los Sistemas Adaptativos Complejos (CAS) que, aun compuestos de muchas partes pueden, bajo determinadas condiciones, mostrar comportamientos ordenados, mientras que sistemas muy simples exhiben comportamientos caóticos complejos. Resultados como estos y muchos otros en la ciencia contemporánea, además de los primeros intentos de revisar lo humanístico desde una perspectiva compleja, proporcionan la base para la construcción del Pensamiento Complejo como paradigma científico. De hecho, con el fin de no perder de vista la visión de la construcción del conocimiento como una edificación histórica conjunta de mentes diversas, en la historia de la filosofía occidental se hace hincapié en las premisas de un Pensamiento Complejo como apropiadamente lo señala Edgar Morin (2007). Ya en Heráclito estaba presente la necesidad de involucrar una serie de términos contradictorios para afirmar una verdad (Kahn, 1979); Pascal afirmaba que había que considerar la imposibilidad de conocer el todo sin conocer las piezas y de conocer las partes sin conocer el todo (Bloomfield, 2006); Kant (2008) ponía de relieve los límites, o *aporía,* de la razón; Spinoza considera la auto-producción del mundo; la dialéctica hegeliana anunciaba la dialógica; Nietzsche planteaba la primera crisis de los fundamentos de la certidumbre; y Adorno, Horkheimer y Lukács exponían los elementos de la crítica de la razón clásica y los ingredientes iniciales para pensar en la complejidad.

El Pensamiento Complejo es un constante ir y venir entre la certeza y la incertidumbre, entre lo elemental y lo global y entre lo distinguible y lo indistinguible. La construcción de un nuevo paradigma no es una cuestión de abandonar los principios de la ciencia clásica (orden, separabilidad y lógica deductiva-inductiva), sino de integrarlos en un esquema que es al mismo tiempo amplio y rico. Tampoco se trata de abandonar el reduccionismo o causalidad estricta, sino de usarlos cuando no sea posible comprender el objeto o sistema estudiado, combinando objeto/sistema con sus aspectos complejos, cuando estén presentes. No se trata de negar la disciplinariedad y la especialización en confrontación con la multi o la interdisciplinariedad, sino de utilizar cada una en la transdisciplinariedad cuando lo requiera el problema a resolver. No se trata de enfrentar un holismo global a un reduccionismo sistemático, sino de vincular la materialidad de las partes con el todo y de articular los principios de orden y desorden, separación y unión, autonomía y dependencia, presentes en la dialógica, es decir, las complementarias, rivales y antagónicas.

En este capítulo se propone integrar la visión del mundo de la Teoría de la Complejidad con los logros científicos de los Sistemas Adaptativos Complejos, en el fortalecimiento del Pensamiento Complejo como paradigma. Esta integración salvaría las exigencias de la comunidad para avanzar en el reconocimiento de este pensamiento como un paradigma, y colaboraría para que la colectividad y sus aportes traspasen las fronteras que los separan de su reconocimiento como corriente científica. Se inicia presentando un panorama de la complejidad, del Pensamiento Complejo y de los CAS, y luego se propone una comunión de sus principios, con descripciones procedimentales que pueden originar procesos de trabajo mancomunado para alcanzar una integración definitiva.

2 Complejidad

Durante años, los científicos vieron al universo como un lugar lineal, donde se aplicaban simples reglas de causa y efecto. Para ellos era como una máquina grande y estaban convencidos que si la dividían en sus partes y las entendían entonces podrían comprender el todo. Aceptaban que los componentes de ese universo eran como

dispositivos y tenían la creencia de que si trabajaban en ellos y los mejoraban entonces el todo funcionaría mejor, y estaban convencidos que el universo y todo en él se podía predecir y controlar. Sin embargo, por mucho que tratan de encontrar esos componentes, hasta el momento no lo han logrado. Por ejemplo, a pesar de utilizar los computadores más potentes para estudiarlo, el clima se mantiene impredecible, y aunque se aplican amplios e intensivos estudios y análisis, los ecosistemas no se comportan como se predicen. Posteriormente, se dieron cuenta que en el mundo de la física cuántica se estaban haciendo descubrimientos extraños, y era evidente que las partículas sub-atómicas se comportaban de acuerdo con un conjunto muy diferente de reglas causa-efecto. Gradualmente y a medida que los científicos de todas las disciplinas exploraban estos fenómenos, surgió la Teoría de la Complejidad.

Esta teoría se base en relaciones, emergencias, patrones e iteraciones y sostiene que el universo es un sistema de sistemas, y que cado uno es un sistema complejo en constante adaptación a su entorno y a los demás sistemas. En un ámbito teórico, cuatro puntos esbozan las orientaciones de esta teoría: 1) la *sistémica*, que esquiva las debilidades de los enfoques mecanicistas de la causalidad estricta; 2) la consideración de una *historicidad irreversible* y no-lineal, hecha de rupturas y continuidades para huir del estructuralismo; 3) la *pragmática*, evidenciando los actores, las acciones e intenciones para evitar el estancamiento intelectual que reduce al hombre al estado de agente inerte de su futuro; y 4) la *hermenéutica*, en el sentido preciso de la revisión de todas las actividades humanas como un conjunto de discursos y significados, y abriendo nuevas perspectivas en un dominio antes bloqueado por la primacía de las fuerzas materiales.

Para comprender la complejidad es necesario remontarse al paradigma científico predominante en el siglo XVIII, el *newtoniano*, que estaba caracterizado por el determinismo y apoyado por el reduccionismo cartesiano. Ese determinismo constituyó la base para el diseño del método científico moderno, en el que cualquier sistema se puede estudiar a través del análisis de sus partes constituyentes. Además, el principio de la causalidad fuerte establece que *las mismas causas producen las mismas consecuencias*, por lo que la descripción, la comprensión y el conocimiento precisos de cualquier sistema, implican directamente la capacidad de predecir con precisión absoluta su pasado y su futuro. Pero dado que el conocimiento perfecto no es posible, este principio se redefinió como: *aproximadamente las mismas causas pueden producir aproximadamente las mismas consecuencias*. Esto justificó la predicción estadística, que las leyes deterministas fueran reemplazadas por leyes estadísticas y que el paradigma naciente fuera la simplificación de la causalidad o paradigma estadístico.

Pero en el siglo XX se cuestionaron estos principios con la aparición de la incertidumbre de Heisenberg (Olmedo, 2012), que establece que la independencia entre el observador y lo observado no es real. Más tarde, la Teoría del Caos se centró en dos principios: 1) la *linealidad*, porque las mismas causas necesariamente no originan las mismas consecuencias, y 2) la propiedad de la *sensibilidad de las condiciones iniciales* presente en algunos sistemas no-lineales, porque amplifican exponencialmente las divergencias insignificantes en las mismas. Estos dos principios concluyeron que descripciones exactas no garantizan predicciones exactas. De esta manera surge el concepto de complejidad, que demuestra que complejo es cualitativamente diferente de simple y que da lugar a un nuevo paradigma en el que la ciencia trabaja junto a conceptos como retroalimentación y adaptabilidad. Esta noción rompe con la dualidad determinismo-aleatoriedad y, aunque no se opone al paradigma newtoniano, lo complementa con nuevos conceptos (Prigogine, 1984). La Teoría de la Complejidad no es

unificada y homogénea, pero presenta un amplio acuerdo sobre las características de los fenómenos estudiados, particularmente de los dinámicos no-tradicionales (Teisman y Klijn, 2008) que evolucionan de forma endógena, no están aislados y los conforman agentes auto-organizados que interactúa entre sí para producir nuevos patrones, comportamientos y estructuras emergentes de mayor nivel. En este sentido, para Edgar Morin (2007) es posible distinguir dos enfoques:

1. *Complejidad general*. Fundamentalmente epistemológica y que fuera desarrollada por científicos y filósofos a partir del surgimiento en el siglo XX de nuevas disciplinas, tales como la cibernética de segundo orden (von Foerster, 1974), la Teoría General de Sistemas (von Bertalanffy, 1974), la teoría de las estructuras disipativas (Prigogine y Nicolis, 1977), la teoría de las catástrofes (Zeeman, 1977) y la teoría de la auto-poiesis (Maturana y Varela, 1973). El Pensamiento Complejo de Morin es una de sus mejores síntesis.

   La complejidad general se acerca a la Teoría de la Complejidad desde un lenguaje natural y traza sus implicaciones epistemológicas desde el punto de vista del sujeto que conoce, por lo que podría integrar un nuevo paradigma (Morin, 1977) o una nueva alianza (Prigogine y Stengers, 1979), que potencialmente serían transdisciplinares. Por lo tanto, ofrece una explicación teórica de las propiedades de auto-organización y de autonomía de los sistemas físicos, biológicos y sociales desde la perspectiva de su observación. Desde allí la complejidad podría expresar el grado de ignorancia de un observador, que no es consciente de la información del sistema observado (Atlan, 1986), ni del proceso de construcción de un objeto externo que es inalcanzable para su sistema cognitivo (von Foerster, 1981). Se caracteriza más por su propio cierre operacional y coherencia interna (Varela, 1979) que por la representación fiel de la realidad externa. Este enfoque, que se remonta a las históricas conferencias Macy (1946-1953) sobre cibernética (Dupuy, 2000), fue ampliamente desarrollado en los años 70 desde la transición de la cibernética de primer orden o cibernética de los sistemas observados (Wiener, 1965), a la cibernética de segundo orden o cibernética de los sistemas de observación (von Foerster, 1981).

   Al mismo tiempo, esta complejidad expresa la naturaleza auto-organizada y sistémica del mundo y de los límites cognitivos de los observadores humanos, y pone en duda los principios deterministas, reduccionistas y positivistas de la ciencia clásica. Actualmente, incluye propuestas como la de Edgar Morin (2014) y la de Fritjof Capra (2014), para quienes el *cambio de paradigma* no solamente tendría alcances epistemológicos e implicaría cambiar la visión de la ciencia o de la realidad, sino que tendría implicaciones éticas orientadas hacia una relación más armoniosa con la naturaleza y con otras personas y culturas, pero desde un punto de vista *holístico* o *sistémico*. Al asociar algunos elementos complementarios, este punto de vista integra a la biosfera y a la humanidad entera en un todo armonioso.

2. *Complejidad restringida*. Un enfoque fundamentalmente metodológico, desarrollado por científicos como Stuart Kauffman (1993), Murray Gell (1994), Stephen Wolfram (1994), John H. Holland (1995) y Robert Axelrod (1997) tras la creación de Santa Fe Institute y del mejoramiento y la sofisticación de las tecnologías computacionales. Actualmente, los Sistemas Adaptativos Complejos es su tendencia dominante.

   La complejidad restringida se acerca a la complejidad mediante un lenguaje formal, tratando de modelarlo a través de técnicas computacionales. Por medio de la interacción local de sus componentes estos modelos se basan en estructuras globales

objetivas y observables, tales como los autómatas celulares o la simulación multi-agente (Miller y Page, 2007), y también en las funciones emergentes de las dinámicas impredecibles de los CAS físicos, biológicos y sociales (Gell, 1994; Holland, 1995). Los algoritmos de esta complejidad son radicalmente diferentes de los de la ciencia clásica, que se basaban en sistemas lineales y en ecuaciones diferenciales. La metodología de simulación que emplean demuestra las limitaciones de las capacidades cognitivas y de predicción del modelador. Las estructuras y funciones de los sistemas superan las capacidades de cómputo humanas y emergen como resultados computacionales sorprendentes (Wolfram, 2002) o contra-intuitivos (Axelrod, 1997). En 1984 se inició en el Santa Fe Institute un proyecto interdisciplinar ampliamente extendido sobre modelado y simulación de Sistemas Adaptativos Complejos (Waldrop, 1992).

A diferencia de la complejidad general, la restringida se rige por el espíritu científico clásico, y no atraviesa las fronteras científicas. Se acerca tanto a las regularidades ocultas de la complejidad y el refinamiento como al modelado de CAS. Por lo que existe una profunda separación entre estas dos formas de aproximación a la Teoría de la Complejidad: cada una tiene sus propias referencias, escuelas, publicaciones y conferencias, y cada una se presenta como exclusiva y con frecuencia descuida o ignora a la otra. Muchos de los científicos que trabajan en una no conocen a los de la otra, y viceversa. Este escenario de dicotomía y polarización parece contradecir el sentido mismo de la complejidad como la vinculación de principios opuestos y complementarios, y demanda una reunificación de ambas perspectivas en el contexto de un paradigma integral, incluyendo a la *cosmovisión* y a los *modelos de las realizaciones científicas* (Malaina, 2012) como dimensiones del mismo (Kuhn, 1996).

En todo caso, la complejidad es un término que en las últimas décadas ha diseñado una amplia gama de procedimientos y enfoques para abordar los problemas de la ciencia, y recientemente ha sido empleado en muchas áreas del conocimiento. En general, la complejidad trata de recorrer el difícil camino de la simplicidad (reduccionismo) y la causalidad estrictas, en busca de una mejor representación de la realidad, es decir, de las cosas del mundo. Por eso, muchos científicos están convencidos que el Pensamiento Complejo consiste de un nuevo paradigma científico.

2.1 Complejidad del mundo y sus modelos

Como se ha expresado antes, la complejidad ofrece una nueva imagen del mundo y de la sociedad. La visión de un universo concebido como un mecanismo de relojería se opone a la de un ser vivo, al mismo tiempo más inestable e impredecible, pero también más abierto y creativo. Las Ciencias Naturales utilizan ampliamente los modelos de la complejidad, y gran parte de los conceptos disponibles actualmente se han desarrollado desde ellos. Como resultado, algunas de las manifestaciones del Pensamiento Complejo podrían ser percibidas como un cambio en el enfoque de los años 60, acerca de los temas relativos a la física de la materia condensada, a la vez que los modelos de la complejidad también se aplican en otras Ciencias Naturales, por ejemplo, a los patrones espacio-temporales complejos en química y los conceptos de la Teoría del Caos y la auto-organización en el estudio de las reacciones químicas oscilantes. En biología se construyen modelos no-lineales sofisticados para la dinámica poblacional, a la que la variabilidad microscópica (fertilidad y longevidad) le añade aleatoriedad (nacimientos y defunciones) y mutaciones, para producir dinámicas en las que estos factores son simultáneamente causas y productos de la evolución.

Los modelos de la complejidad también se utilizan en epidemiología e inmunología, donde toman en cuenta varios factores imitando conductas complejas y resultados aplicables a situaciones del mundo real. En medicina se utilizan los conceptos y métodos de la Teoría del Caos, particularmente en el estudio de las enfermedades atípicas del corazón a través del análisis de electrocardiogramas, y en el estudio de los trastornos neurológicos mediante el análisis de las señales de la actividad cerebral en los pacientes epilépticos, dando lugar en algunas situaciones al surgimiento de la auto-organización a gran escala. Además, en las últimas décadas se han verificado enormes progresos en las ciencias neuronales, crédito a la construcción de modelos para la dinámica del cerebro.

En lo social las aplicaciones son más recientes. Por ejemplo, desde una perspectiva compleja la economía corresponde a una dinámica no-lineal generada por una interacción de fuerzas múltiples: el gobierno, la tecnología, la acción de los grupos sociales, la cultura,… y esta dinámica puede converger creando patrones auto-organizados o destruyendo estructuras regulares. En ambos procesos hay momentos de estabilización, de evaluaciones (positivas o negativas), de desestabilización y bifurcación de polos de desarrollo desiguales, y así sucesivamente. Por su parte, la Teoría del Caos se utiliza en modelos de crecimiento, de crisis o de fluctuación, donde en lugar de considerar al mercado como un sistema auto-equilibrado (modelo neo-clásico) el objetivo es encontrar elementos inestables en las bolsas de valores u otros mercados. En este caso, las variaciones infinitesimales en la evolución de los precios o la aparición de un rumor podrían llevar al mercado a un lejano estado de equilibrio, al alcanzar una masa crítica.

En lo administrativo hay intentos de utilizar modelos sistémicos y de complejidad para entender los cambios causados por crisis o regulaciones en las corporaciones, y de los problemas de decisión y aplicaciones prácticas derivadas de ellos. También hay estudios de riesgo en la sociedad con el fin de anticiparse a posibles daños causados por una decisión humana, tales como los riesgos de invertir en las regiones con un programa de desarrollo, los relativos al sistema bancario, los relacionados con la innovación tecnológica, los del tránsito, y otros tantos. En el sistema legal y político y desde una perspectiva compleja, las cortes, la legislación y los casos legales y de reconciliación se consideran, antes del análisis al sistema, como un proceso auto-referencial en el que convergen dinámicamente las evaluaciones recíprocas entre niveles superiores e inferiores en un circuito lógico, que es una característica típica de los sistemas complejos. En psicopatología, en los procesos de construcción de la personalidad, se evidencian intentos de interpretar los problemas psicológicos como una articulación entre lo físico, lo emocional y los sistemas sociales.

En geografía y socio-economía se busca interpretar el sistema-mundo como una arquitectura compleja, donde se observan varios niveles de organización (local, nacional, internacional) y varios sistemas de acción (financiero, económico, geopolítico, demográfico, ecológico, e ideológico). Es una cuestión de identificar los subsistemas que en secuencia reconstruyen las interconexiones. En previsión, esto no es cuestión de extender las tendencias en curso (crecimiento económico o crecimiento de la población) con el fin de predecir el futuro, porque sería como asimilar los modelos actuales con los modelos climáticos. Además, porque en estos sistemas existen escenarios que admiten bifurcaciones, con transiciones y estados estables e interacciones entre los niveles políticos, económicos y monetarios. Sin embargo, esto no significa que todo sea posible y que, por lo tanto, nada se pueda predecir. Según Lesoume (1975), el futuro es la reunión del determinismo, el azar y la voluntad, y la cuestión es encontrar un equilibrio entre las conexiones fuertes, las tendencias inciertas y los momentos de cambios importantes y

viables para dibujar los contornos de algunos escenarios que sean más o menos probables. Por ejemplo, en sociología, la complejidad aparece como un método para integrar los cambios y las innovaciones teóricas de las últimas décadas, lo que lleva a una mejor comprensión de lo social, por excelencia el dominio de la interpenetración. Algunos autores tratan de explicar el hecho de que la sociedad, a pesar de estar constituida por individuos autónomos, tiene una dinámica relativamente ordenada y regular. Para sustentarlo utilizan las ideas y teorías de Adam Smith acerca de la auto-organización del mercado.

En educación se reconoce y reafirma el Pensamiento Complejo pionero de Piaget, aunque más recientemente algunos autores han tratado de construir planes de estudios y metodologías que permitan la transición de un pensamiento simple a uno complejo (Serna, 2014). La búsqueda es por una perspectiva compleja del mundo que permita superar nociones basadas en la causalidad estricta y lineal, que a menudo están presentes en la práctica educativa así como en los libros de texto. Es decir, una perspectiva compleja que aborde la necesidad de superar el proceso de fragmentación del conocimiento. En relación con el proceso de aprendizaje, la transdisciplinariedad tiene un significado más preciso en este contexto. Se vuelve esencial entonces la selección y organización de contenidos escolares desde una perspectiva sistémica y compleja.

2.2 Itinerario a través de la complejidad

En una guía de viaje siempre es difícil proponer un primer lugar para visitar, porque la guía como tal proporciona solamente algunas opciones turísticas y al viajero le corresponde elegir una. Sin embargo, en su mente permanece la impresión de que tal vez alguna de las otras opciones hubiera sido más interesante, y como el tiempo no permite verlo todo se crea el deseo y la emoción de una futura visita. En el caso del itinerario de la complejidad la situación no es diferente, en particular por ser un paradigma en construcción que se utiliza en muchas áreas del conocimiento. A veces estas aplicaciones no se producen en las disciplinas tradicionales, sino en enfoques transdisciplinares, lo que hace que todo sea más complicado. El viajero de este itinerario experimenta la incertidumbre de penetrar en regiones nebulosas, donde identifica algunos elementos a la vez que otros le parecen oscuros. Tal vez para esta guía sean convenientes algunas precauciones, tales como no mostrar atajos desconocidos y dejar que los viajeros elijan los caminos y las alternativas, y permitirles que participen en la construcción de su propio camino. Ese es el propósito de las referencias que a continuación se proponen, las cuales son una introducción y no una selección de las últimas obras publicadas. La única precaución es que son pertinentes y correctas, y mientras que habrá viajeros que lo consideren como el camino más seguro, otros por su formación específica, por su temperamento, o por su agudeza investigativa, lo juzgarán como demasiado lejos del mundo real.

En todo caso, la primera puerta de entrada debe ser desde la epistemología de autores como Edgar Morin, que en alguna ocasión y en respuesta a la afirmación de que su importancia en la construcción de los cimientos de la complejidad era similar a la de Descartes en la ciencia clásica, afirmó modestamente que esa era su expectativa de trabajo. A continuación se presenta una propuesta de guía para seguir un viaje a través de la complejidad, mediante una descripción de la obra de algunos de los autores más representativos.

- *Edgar Morin.* La obra de este autor es vasta y de excelencia y su mayor contribución radica en el monumental Método, una obra escrita durante varios años y publicada

en seis volúmenes (Morin, 1977, 1980, 1986, 1991, 2001, 2004). Otro libro de Morin, anterior al método y fácil de leer, presenta un resumen de su trabajo futuro y declara con bastante claridad los elementos centrales de su pensamiento (Morin, 1982). También es conveniente mencionar los autobiográficos (Morin, 1994), el que se ocupa de la importante cuestión de la preservación del medio ambiente y las relaciones con la complejidad (Morin & Kern, 1993), y otro que es el resultado de la sensibilidad y la inteligencia del autor, expresado en tres conferencias (Morin, 1997).

- *Humberto Maturana.* Un autor que aboga por una visión no representacionalista de la cognición y que escribió con su estudiante Francisco Varela un excelente libro (Maturana y Varela, 1987), con el objetivo de presentar el tema de la cognición en una nueva forma epistemológica. Conceptos como la estructura y la organización juegan un papel central en la visión de estos autores, así como la *auto-poiesis* (auto-producción). Este último concepto ha sido utilizado por otros que trabajan en educación, en particular para hacerle frente a la auto-formación en los procesos educativos. Otros libros de Maturana unen varios de sus textos, especialmente los de la *auto-poiesis* en el proceso de aprendizaje (Matrurana y Varela, 1991), y el lenguaje y la cognición (Maturana, 2004).
- *Francisco Varela.* Las contribuciones de este biólogo chileno han colaborado para abrir caminos en la renovación de la cognición con trabajos publicados en biología, y también en investigaciones donde interactúa con físicos (Varela, Thompson y Rosch, 1991; Varela, 1996). En lo cognitivo propuso una nueva dimensión, más allá de la cognitivista y la conexionista: la alternativa de la promulgación o la develación, una de las cuales es el representacionalismo (Varela, 1979). Este punto de vista sustituye las formas de organización humana desde una perspectiva creativa, histórica y centrada en el cuerpo y el contexto sensitivo, con consecuencias importantes sobre todo para la educación. El pensamiento de Varela se acerca a la idea de una fenomenología naturalizada husserliana, es decir, estaba buscando una aproximación a las ideas de Husserl para las ciencias naturales (Petitot et al., 1999). Parte de su herencia también incluye preocupaciones, en un cálculo exploratorio audaz, al diálogo entre el pensamiento occidental y las tradiciones educativas orientales, representadas por el budismo, el taoísmo y el confucianismo, y desde esta perspectiva publicó reflexiones sobre la ética (Varela, 1992).
- *Heinz von Foerster y Gregory Bateson*. Las contribuciones de Von Foerster (1981) se refieren principalmente a la auto-organización, que relaciona con problemas importantes en la ciencia cognitiva emergente de la época. Para este físico se entrelazan preguntas sobre la naturaleza de la vida y de la cognición, y para él el problema consiste en poder explicar la actividad de un ser vivo en un entorno incierto, y no en una explicación de un comportamiento finalizado (fisiología). Por su parte, Bateson (1972) se propuso establecer una epistemología del ser vivo. Sus investigaciones se ubican en una búsqueda por volver sobre lo que diferencia a los seres vivos en los diversos niveles de la organización, y para analizar las propiedades que caracterizan a los sistemas mentales que permiten clasificarlos, es decir, encontrar cómo la complejidad de la estructura y la complejidad de las funciones reflejan el uno en el otro. Bateson también introdujo la idea de retroalimentación en lo social y fue el creador de la Teoría del Doble Vínculo, para explicar la esquizofrenia. En este itinerario, Bateson y von Foerster tienen no solamente un papel histórico, sino que también proporcionan importantes y originales contribuciones cuyas consecuencias aún no se han explorado a fondo.

- *Ilya Prigogine*. Otro brillante investigador en complejidad y también un excelente escritor que difunde masivamente sus ideas al público en general. Sus libros (Prigogine y Stengers, 1984, 1986, 2009) son alentadores, pero a pesar de incluir contenidos científicamente correctos, a veces puede conducir a los lectores no-especialistas a posibles generalizaciones inmediatas. Por ejemplo, las lecturas apresuradas que hacen los investigadores de las humanidades, los lleva a generalidades que no siempre son correctas. Sin embargo, los lectores con una formación básica en Ciencias Naturales son capaces de optimizar el uso de sus escritos. Además de estos libros dirigidos al público en general, publicó otro más técnico (Nicolis y Prigogine, 1989), que es legible para profesionales y estudiantes de las Ciencias Naturales y en el que aplica la matemática elemental.
- *Henri Atlan*. Un médico e intelectual notablemente original en sus propuestas y que habla de las ciencias biomédicas con un enfoque en el que relaciona los conceptos de la teoría de la información y la comunicación. En relación con la complejidad, sus temas e intereses son más amplios incluyendo a la educación, la psicología y la filosofía, especialmente la ética. Muchos de sus libros no son técnicos y fáciles de leer (Atlan, 1986, 1991, 1994).

Sin embargo, hay viajeros para quienes el camino a través de la ciencia pura es más desafiante. Para ellos existen textos con cierta dificultad matemática y un universo conceptual más especializado, aunque muchos no constituyen publicaciones científicas. Estos aportes deben ser leídos por quienes estén interesados en profundizar el enfoque de las Ciencias Naturales, porque le deben dedicar un tiempo considerable, como en el caso de Nicolis y Prigogine (1989). En la monografía de Luzzi y Vasconcellos (1999) se puede encontrar, más allá de un relevante contenido para la complejidad en física y química, diversas referencias y lecturas sugeridas incluyendo a otras áreas del conocimiento. Por su parte, la obra de Philip Anderson (1991) puede ayudar a aclarar las ideas de la complejidad en las ciencias duras. Otra obra, también muy técnica, es la de Hermann Haken (1977), en la que presenta importantes y elegantes contribuciones que ayudaron a la construcción de un aparato teórico aplicable a procesos complejos de la física, la química y la biología.

En lo relacionado con las ciencias duras hay dos formas para caracterizar la complejidad: 1) a través de la construcción de medidas sistémicas, cuyo objetivo es definir una medida eficaz de la complejidad de un objeto, proceso o sistema sin conocer sus detalles organizativos y funcionales. La complejidad se identifica como la información que falta, necesaria para obtener una explicación completa de la formación del sistema y de cómo funciona (Pelite y Vulpiani, 1988; Pessoa, 1996). 2) A través de modelos, en los que la complejidad es una propiedad intrínseca independiente de lo amplio o estrecho del conocimiento que un observador externo pueda tener de los detalles del sistema. En este caso, la complejidad no desaparece cuando las funciones del sistema se reconstruyen a partir de sus partes, porque el objetivo es definir las condiciones estructurales necesarias para identificarlo. Esas diferentes definiciones son proporcionadas por modelos complejos, que pueden ser aplicables a situaciones y problemas específicos. Ejemplos de ellos son la Teoría del Caos, las estructuras disipativas de Prigogine, la dinámica de poblaciones y los de infiltración.

La educación es una zona de mucha actividad para la construcción del Pensamiento Complejo, debido a que la dinámica de sus procesos es compleja y su realidad del mundo es en la que están inmersos sus actores. A pesar de que existe una fuerte intuición en este sentido, también es cierto que en la acción en el aula y en la selección y organización de

contenidos, que se manifiesta en los planes de estudios y en la mayoría de libros de texto, el sistema educativo todavía está muy lejos de lograr los cambios necesarios para superar la fragmentación disciplinaria del conocimiento (Serna, 2015). Lo mismo sucede con la práctica de presentar contenidos con base en una lógica de causalidad estricta, lo que restringe la retro-alimentación de los mismos y entre profesores y estudiantes. En este sentido hay que admitir que cuando se habla del cambio de paradigma la educación es uno de los puntos cruciales, porque es en la escuela donde deben comenzar a dar frutos las bases de esta nueva forma de pensar. En este sentido, se puede citar la obra de García (1988), Zabala (1999), Fiedler y Mattos (2002) y Serna (2015).

3 Pensamiento Complejo

De acuerdo con Edgar Morin, el Pensamiento Complejo se presenta como un edificio de varios pisos: la base se construye a partir de tres teorías (la información y la comunicación, la cibernética y la Teoría General de Sistemas) e incluye herramientas esenciales para una teoría de organización; en un segundo piso están las contribuciones de von Neumann, Von Foerster y Prigogine, en relación con las ideas de auto-organización y los conceptos de la Teoría del Caos; además, se pueden agregar elementos complementarios en otros pisos en la forma de los tres principios propuestos por Morin: el dialógico, el de la recursividad organizacional y el principio hologramático. Debe quedar claro que estos principios, aunque muchos puedan disfrutarlos y utilizarlos, no están presentes en todas las formulaciones complejas, pero se relacionan con la contribución específica de Edgar Morin sin excluir los aportes de sus predecesores y contemporáneos:

- *Principio dialógico*. A través de él, dos procesos o conceptos antagónicos, que deben rechazarse el uno al otro, se unen de manera complementaria, esencial e inseparable para comprender una realidad determinada. De esta manera, dos nociones antagonistas se unen para pensar los procesos organizativos, productivos y creativos en el mundo complejo. La noción dialógica en Morin implica complementariamente al antagonismo y la competencia entre los elementos que están en diálogo, y la noción dialógica se extiende de la dialéctica. Ellos están ejemplificando pares en dialógica: orden/desorden, unión/disyunción, universal/particular, y así sucesivamente.
- *Principio de la recursividad organizacional*. Este principio va más allá de una retroalimentación de la teoría de sistemas y de la cibernética. La regulación se extiende por la noción de auto-producción y auto-organización, y es, por así decirlo, un anillo generativo en el que los productos y los efectos son, ellos mismos, creadores de lo que los produce. Por ejemplo, de esta manera es que los individuos son producto de un sistema de cultivo ancestral, pero este sistema no puede auto-reproducirse a menos que ellos mismos sean los productores. Los seres humanos producen la sociedad en sí mismos y por sus interacciones, pero la sociedad produce la humanidad de estos individuos ofreciéndoles el lenguaje y la cultura.
- *Principio hologramático*. Aquí se destaca la aparente paradoja de ciertos sistemas, en los que no solamente la parte está en el todo si no que el todo también está en la parte. Por ejemplo, cada célula es parte de un todo, el cuerpo, que también es parte del patrimonio genético presente de forma independiente en cada célula. Del mismo modo, el individuo es parte de la sociedad, pero la sociedad está presente en cada individuo a través del lenguaje, la cultura y las normas.

El pensamiento científico clásico se construyó sobre tres pilares: el orden, la separación y la razón, pero el Pensamiento Complejo, lejos de sustituir la idea del orden por el la del trastorno, o viceversa, tiene como objetivo darle el lugar en una perspectiva

dialógica de orden, desorden y organización. Las ideas de orden y desorden ya no son excluyentes entre sí y el orden organizacional puede salir de la turbulencia, y los procesos desordenados surgir de contextos deterministas. La noción de separación corresponde al principio cartesiano de que para estudiar un fenómeno debemos dividirlo en elementos simples. Una consecuencia de esto es la idea de que se puede considerar la realidad objetiva sin tener en cuenta al observador. Pero, a través del principio de incertidumbre de Heisenberg, la física cuántica ha demostrado que el observador interfiere con la observación. El Pensamiento Complejo no sustituye la separación por la inseparabilidad, pero opera sobre una dialógica que utiliza lo separable insertado en lo inseparable.

El tercer pilar, la razón, se basa en los principios de la inducción, la deducción y la identidad, es decir, el rechazo a la contradicción. La primera estocada contra la inducción la dio Popper (2012), para quien ésta tiene un valor heurístico pero no tiene el valor de una prueba absoluta. Por ejemplo, no se puede inducir una ley universal, como que *todos los cisnes son blancos*, por el simple hecho de que no se ha visto un cisne negro. Por su parte, la estocada contra la deducción la asestó el teorema de la incompletitud de Gödel (Goldstein, 2006), que demuestra que un sistema deductivo formal, como las matemáticas, no puede encontrar en sí mismo la demostración de su validez. Lo mismo demuestra Tarski (1944) en la lógica semántica, concluyendo que ningún sistema tiene suficientes métodos o formas para auto-explicarse. Por último, en cuanto a la incorporación de la contradicción en las teorías científicas, la física incorpora los dos tiempos contradictorios naturales de la partícula: onda/corpúsculo. El Pensamiento Complejo clama no por abandonar la lógica deductiva-inductiva sino por una combinación dialógica entre su uso segmento por segmento y su transgresión, donde deja de ser operacional.

Hasta mediados del siglo XX, el conocimiento científico objetivo consistía del descubrimiento de las leyes necesarias y universales de la naturaleza en una conexión reduccionista. Se suponía que esa era la forma de reducir la explicación de las propiedades de un sistema, constituido por un gran número de unidades elementales que interactúan, hasta el conocimiento de las propiedades simples de las mismas. Desde los años sesenta, e incluso hasta la década pasada, se observó que los sistemas estructuralmente idénticos pueden manifestar, bajo condiciones diversas, comportamientos diferenciados. Entonces comenzó a producirse lo que algunos autores llamaron la *renunciación a la prioridad epistemológica* de categorías como la simplicidad, el orden y la regularidad, en favor de otras como la complejidad, el desorden y el caos. Esto quería significar que al renunciar a esa prioridad epistemológica se separaban la simplicidad, el orden y la regularidad, pero se incorporaban en un marco epistemológico más grande. Se comprobó que a partir de modelos muy simples (unos grados de libertad) era posible un comportamiento impredecible (caótico) representado por reglas precisas no-lineales (sistemas deterministas), a lo que se llamó *caos determinista*. Y entonces se desboronó el mito fundamental de la ciencia del siglo XVII: la previsibilidad de la naturaleza.

El surgimiento del Pensamiento Complejo se produjo poco antes de la década de 1930, en contraposición a dos enfoques en el estudio de los seres vivos: la biología evolutiva (heredera de la Historia Natural) y la biología funcional. Esta última tiene un carácter reduccionista e intenta explicar los fenómenos biológicos de los acontecimientos que ocurren a nivel molecular, tratando de reducir la biología a la química y a la física molecular. La biología evolutiva, de donde surgen las ideas de la complejidad, trata a los organismos vivos como entidades indivisibles y promulga que las particularidades específicas surgen a nivel de todo el organismo, y que no son deducibles salvo en algunos aspectos del análisis de las sub-unidades constituyentes.

Posteriormente ocurrieron acontecimientos que constituirán las bases del Pensamiento Complejo, que se origina de la intersección de diversas teorías. En la década de 1940, la cibernética y las teorías de la información y las comunicaciones proporcionaron las bases de una teoría de la organización. En los años 1960 los trabajos de Ilya Prigogine, John von Neumann, Heinz von Foerster y Henri Atlan, proporcionaron los elementos de una teoría de la auto-organización. En los años 1970 y 1980, la Teoría del Caos, más que para reunir el determinismo y la imprevisibilidad, promociona una nueva visión de los procesos y proporciona un marco conceptual y las herramientas matemáticas originales para hacerle frente a los fenómenos de la naturaleza y de la sociedad, que hasta ese momento no se entendían muy bien.

Desde un punto de vista epistemológico, el Pensamiento Complejo se caracteriza por tres actitudes fundamentales: 1) la insistencia en la necesidad de esfuerzos teóricos enérgicos para enfrentar al empirismo y al eclecticismo, todavía presentes en la vida cotidiana de la investigación, porque se debe entender la necesidad de inventar y hacer nuevos objetos discursivos y conceptuales; 2) la orientación constructivista, que en lugar de al positivismo conduce en dirección de la imaginación conceptual; y 3) la re-integración de la producción de conocimiento en la sociedad, evitando una epistemología excesivamente abstracta y lejos de la sociología y de la historia de la ciencia, es decir, explicando lo social por lo social.

Esta corriente es una amplia línea de investigación para una comunidad de filósofos, pensadores y científicos de diversas disciplinas y áreas de conocimiento, y la síntesis más reconocida de esta perspectiva epistémica transdisciplinar es el Pensamiento Complejo de Edgar Morin (1977). Este pensador ha generado una escuela de pensamiento que se extiende por todo el mundo, y en su obra trata la complejidad desde las ciencias físicas y biológicas hasta las sociales y la noología, y finalmente a la ética. En sus textos construye un paradigma de auto-eco-re-organización y un genésico mundo de ciclos, el *tetragrámaton*: orden-desorden-interacción-organización. Con una amplia visión epistémica, Morin deja entrever las bases de un nuevo paradigma de la complejidad, con implicaciones no solamente científicas y filosóficas sino también sociales, políticas, culturales y económicas. Plantea un nuevo tipo de relación armónica con el mundo, que se genera a partir del descubrimiento de la complejidad en la ciencia (Morin, 2008). El Pensamiento Complejo confronta ampliamente los principios de reducción, disyunción y determinismo de la ciencia clásica no-compleja, que data desde Galileo y Newton, y que es anterior al cambio de paradigma propuesto por la teoría de la información, la cibernética y las Ciencias Computacionales. Por último, confronta al clásico principio central del objetivismo y a la separación entre el sujeto y el objeto, y con una fuerte influencia de la física cuántica explora cómo el objeto es inseparable de la materia y cómo el sistema observado es la construcción del observador, y no una realidad externa y objetiva.

Sin embargo, esta construcción epistemológica pierde solidez en su base metodológica. Ante todo porque para Kuhn (1996) un paradigma está representado por ejemplos de logros científicos, tanto concretos como formalizados. Morin y muchos de los autores que encajan en el enfoque de la complejidad general no han incorporado plenamente, por ejemplo, los Sistemas Adaptativos Complejos a sus nuevas metodologías. Su lenguaje natural no ha podido agregar las contribuciones positivas de éstos y ahí es donde se ubican sus límites. Pero estos pensadores ciertamente comparten una nueva visión del mundo de alcance extraordinario, un horizonte discursivo basado en el problema de la complejidad que apunta a principios holísticos que operan desde la física a la ética, tales como sistemas, conexiones, caos e inseparabilidad. Sin embargo,

generalmente no comparten los modelos formales y los ejemplos de logros científicos que, en palabras de Kuhn, definen un paradigma. Y aunque actualmente estos modelos y ejemplos los trabajan los CAS, los científicos de la complejidad raramente se refieren a modelos como autómatas celulares, algoritmos genéticos, simulaciones basadas en agentes, criticidad auto-organizada, conjuntos auto-catalíticos, pequeños mundos, o redes libres de escala. Asimismo, es difícil encontrar alusiones a los patrones matemáticos de complejidad observados en muchos Sistemas Adaptativos Complejos, tales como la ley de potencias, la pila de arena, las fluctuaciones en el mercado de valores, las guerras mundiales, o las congestiones de tráfico. Por todo esto se puede afirmar que el Pensamiento Complejo es un paradigma en construcción.

4 Sistemas Adaptativos Complejos

El estudio transdisciplinar de los CAS ha dado lugar a la articulación de nuevas perspectivas conceptuales y metodologías, que han probado su valor para la ciencia y para todos los actores que deben enfrentar los retos sociales y los problemas globales de este siglo (Jacobsen y Wilensky, 2006). La aplicabilidad de los conceptos de estos sistemas a una amplia gama de fenómenos naturales y sociales, ofrece poderosas opciones para que los modelos pedagógicos los adopten, con el objetivo de desarrollar conocimientos y habilidades científicas importantes en los estudiantes (Jacobsen, 2001; Serna, 2015). Su perspectiva también ha impactado en las organizaciones, involucrando conceptos como la sinergia y la ventaja competitiva (Axelrod y Cohen, 1999). Por otro lado, una manera de explicar el comportamiento no-deseado o inesperado de los sistema del mundo real, tales como los apagones eléctricos, las crisis de los mercados económicos o los sistemas sociales, es considerar al sistema inmerso como a un Sistema Adaptativo Complejo (Kauffman, 1993; Gell, 1994; Holland, 1995). Por lo general, estos sistemas se analizan retrospectivamente debido a las dificultades inherentes a la vigilancia y a la predicción de su comportamiento, y para comprenderlos se requieren conceptos específicos que describan sus características específicas. Estos y otros conocimientos son los que ayudan a la comprensión y el diseño de los CAS, y a que comprenderlos sea una prioridad para la complejidad y el Pensamiento Complejo.

Algunos sistemas del mundo real físico son difíciles de analizar y comprender con los métodos de análisis tradicionales, en parte porque en ellos ocurren fenómenos inesperados tales como terremotos, inundaciones, caídas de asteroides, o tornados. Sin embargo, los métodos de las teorías de la complejidad y del caos han hecho progresos para analizarlos y comprenderlos (Lansing, 2003). Aunque es de esperar que los sistemas físicos sigan reglas conocidas como las leyes de la física, en los sistemas socio-técnicos se desarrollan fenómenos similares para los que no se tienen reglas disponibles. Además, en ellos se entrelazan e interactúan aspectos socio-políticos y físico-técnicos que incrementa su complejidad (Herder y de Bruin, 2009).

Los sistemas con múltiples elementos adaptativos, y reactivos a los patrones que esos mismos elementos crean, son comunes en todos los estudios de la complejidad (Arthur, 2014), lo que da lugar a patrones de auto-organización y emergencia. Para lograr explicaciones y comprensiones de los mismos es necesario utilizar métodos derivados de las Ciencias Naturales, con los que se pueden observar estas infraestructuras y sistemas urbanos como sistemas multi-partículas. Este es el caso del modelado del tráfico y del control de multitudes (Helbing, 2004). Sin embargo, cuando los elementos en el sistema complejo están conformados no solamente por elementos técnico-físicos sino también por actores sociales cognitivos, capaces de actuar y reaccionar con estrategias a los patrones

que ellos mismos ayudan a crear, se le añade una capa de complejidad no experimentada en las Ciencias Naturales (Lansing, 2003).

En este sentido, los Modelos Basados en Agentes (ABM) pueden capturar algunos de los efectos no-lineales de estos sistemas, que de otra manera estarían por fuera de su alcance (Herder y de Bruin, 2009) y que permiten someter las hipótesis de los fenómenos a una prueba rigurosa. Sin embargo, los modelos puramente computacionales tienen una limitación fundamental: carecen de la capacidad de los actores reales para aprender, y por tanto para re-interpretar su entorno, re-enmarcar sus problemas y desarrollar nuevas estrategias (Argyris y Schön, 1978). Los avances en potencia de computación, visualización e interacción humano-computador, ofrecen nuevas posibilidades para que las partes interesadas del mundo real integren un avanzado modelo de simulación (Mayer 2009). En este modelo se puede modelar y simular en el computador parte de la complejidad del sistema, al mismo tiempo que se capturan mediante interacción social las dimensiones significativas de comportamiento y aprendizaje. Pero, cuando se trata de la modelización teórica de los Sistemas Adaptativos Complejos, de repente estas fortalezas se convierten en debilidades. Los seres humanos son reacios a descripciones y predicciones adecuadas, aunque juegan un papel crucial en los CAS. Por eso es que el análisis de los sistemas sociales se ve obstaculizado, porque el seguimiento o la medición de las variables clave son difíciles o imposibles, y para apoyar este análisis es necesario considerar su visualización como un Sistema Adaptativo Complejo (Kauffman, 1993; Gell, 1994; Holland, 1995).

Los CAS se estudian mediante disciplinas que utilizan diferentes términos y conceptos. Como punto de partida para su comprensión es necesario entender las fuentes y características de la complejidad (Fromm, 2004), y reconocer que surge del choque de fuerzas opuestas y que se caracteriza por la consonancia en la disonancia, la regularidad en la irregularidad, la cooperación en la separación, la integración en la diferenciación, el orden en el caos, la simplicidad en la complejidad y la unidad en la diversidad. A la complejidad se le considera situada en algún lugar entre el orden y el desorden, y a los Sistemas Adaptativos Complejos como no-regulares, no-predecibles, no-aleatorios y caóticos (Heylighen, 2008). Por lo tanto, la complejidad de un sistema se comprende de la cantidad de información necesaria para describirlo, que a su vez depende del nivel de detalle requerido en su descripción (Bar, 1997).

Los CAS son sistemas dinámicos capaces de adaptarse y de cambiar dentro, o como parte, de un entorno cambiante (Moffat, 2003). En estos entornos, sus componentes se modelan comúnmente como agentes (personas, empresas, animales, células y moléculas, neuronas,…), y por lo general buscan un objetivo (tratar de maximizar la aptitud individual, la utilidad o la preferencia), o siguen una lógica de causa-efecto o condición-acción. Además, su número es variable porque pueden multiplicarse o desaparecer en el sistema, y las condiciones ambientales a las que un agente reacciona pueden ser afectadas por otros agentes (Heyligen, 2008). Estos sistemas se caracterizan por ser adaptativos, auto-organizados y emergentes (Heyligen, 2008). La *auto-organización* es una característica brindada por la estructura del sistema y por sus procesos internos, y representa la tendencia de los sistemas dinámicos grandes a organizarlos alrededor de un estado crítico de alta organización (perfección). Cuando cambia la escala de observación, la *emergencia* define un cambio cualitativo en su comportamiento, como de una de elemento individual a una de grupo de elementos. Esta es una característica común de los Sistemas Adaptativos Complejos, donde el comportamiento de la totalidad es más complejo que la suma de los comportamientos de sus elementos y partes. Las *propiedades*

emergentes se pierden al descomponerlo en sus partes y cuando un componente individual se elimina de la totalidad. Entonces, el sistema, con sus propiedades y funcionalidades, siempre será más que la suma de sus partes.

El estudio de los Sistemas Adaptativos Complejos y sus partes, de la interacción entre ellos y de su conducta, no siempre se puede hacer sobre el mismo sistema. La manera científica es obviar algunos detalles del mismo y encontrar una abstracción de alto nivel para generar un modelo que permita simularlo (Miller y Page, 2007). El enfoque general en el estudio y simulación por computador de los CAS, se realiza mediante la iteración de algunas reglas simples a nivel local en una población de agentes de interacción, que generan a su vez fenómenos globales complejos. La representación usual de elementos y partes de un sistema complejo, junto con sus relaciones internas y dependencias, se encuentra en forma de redes complejas, tales como las redes neuronales, los sistemas sociales, las redes sociales, el sistema neuronal, los sistemas económicos,… y generalmente tienen en común:

- *Surgimiento*. En lugar de ser planificados o controlados los agentes interactúan de formas aparentemente aleatorias. De estas interacciones surgen patrones que informan el comportamiento de los agentes dentro del sistema y del sistema mismo. Por ejemplo, un nido de termitas es una pieza maravillosa de arquitectura con un laberinto de pasajes interconectados, grandes cavernas, túneles de ventilación y mucho más. Sin embargo, no hay ningún gran plan, el nido surge justo como resultado de que las termitas siguen algunas reglas locales simples.
- *Co-evolución*. Todos los sistemas existen dentro de su propio medio ambiente, que también forma parte de ese entorno. Por lo que debido a cambios de entorno necesitan cambiar para garantizar un mejor ajuste, pero debido a que son parte del entorno, cuando cambian, cambian el entorno y entonces tienen que cambiar de nuevo, lo que continúa como un proceso constante. Algunos científicos hacen distinción entre los Sistemas Adaptativos Complejos y los Sistemas Evolutivos Complejos. Los primeros se adaptan continuamente a los cambios a su alrededor y no aprenden del proceso, mientras que los otros aprenden y evolucionan a partir de cada cambio que les permita influir en su entorno, es decir, predicen cambios probables en el futuro y en consecuencia se preparan para ellos.
- *Sub-optimización*. Un CAS no tiene que ser perfecto para prosperar dentro de su entorno, solamente tiene que ser un poco mejor que sus competidores y utilizar la energía de mejor forma. De esta manera, una vez que ha alcanzado un estado lo suficientemente bueno, el intercambio será lo que incremente su eficiencia en pro de alcanzar una mayor eficacia.
- *Variedad requerida*. Un sistema será más fuerte cuanto mayor sea la variedad en su interior. De hecho, la ambigüedad y las paradojas abundan en los CAS que utilizan contradicciones para crear nuevas posibilidades para co-evolucionar con su entorno. La democracia es un buen ejemplo de que esa fuerza se deriva de la tolerancia, e incluso de la insistencia, en una variedad de perspectivas políticas.
- *Conectividad*. Las formas en que los agentes se conectan y relacionan entre sí es fundamental para la supervivencia del sistema, porque es a partir de esas conexiones que se forman patrones y se difunde la retroalimentación. Generalmente, las relaciones entre los agentes son más importante que los propios agentes.
- *Reglas simples*. Los Sistemas Adaptativos Complejos no son complicados. Los patrones emergentes pueden tener gran variedad, pero como en un caleidoscopio las

normas que rigen su funcionamiento son muy simples. Un ejemplo clásico son los sistemas de agua, que con su infinita belleza, poder y variedad se rigen por el mismo principio simple: el agua siempre encuentra su propio nivel.

- *Iteración*. Pequeños cambios en las condiciones iniciales del sistema pueden tener efectos significativos, después que pasan un par de veces a través de un circuito de entrada-retroalimentación (a menudo referido como efecto mariposa). Por ejemplo, una bola de nieve gana en cada giro mucha más nieve de la que logró en el anterior, y rápidamente incrementa su tamaño.
- *Auto-organización*. Los CAS no tienen una jerarquía de mando y control y mucho menos de planificación o gestión. Pero tienen una re-organización constante para encontrar el mejor ajuste con el medio ambiente. Un ejemplo es que si se tomara cualquier ciudad y se sumaran todos los alimentos en las tiendas, y ese total se dividiera por el número de habitantes, solamente habría suministros para unas dos semanas. En ese sistema no hay un plan de alimentos, un gerente de alimentos o cualquier otro proceso de control formal, sino que se auto-organiza continuamente a través de procesos de entrada-retroalimentación.
- *Al borde del caos*. La Teoría de la Complejidad no es lo mismo que la Teoría del Caos, que se deriva de las matemáticas, pero el caos tiene un lugar en la complejidad, en la que existen sistemas en un espectro que va desde el equilibrio al caos. Un sistema en equilibrio no tiene la dinámica interna que le permita responder a su entorno, y poco a poco o rápidamente muere. Un sistema en caos deja de funcionar como sistema. El estado más productivo se realiza al borde del caos, donde hay máxima variedad y creatividad, dando lugar a nuevas posibilidades.
- *Sistemas anidados*. La mayoría de sistemas están anidados dentro de otros sistemas y muchos son sistemas de sistemas más pequeños. Por ejemplo, la tienda de alimentos es en sí misma un sistema con sus empleados, clientes, proveedores y vecinos; pero también pertenece al sistema alimentario de la ciudad y al sistema de alimentos más grande del país. Pertenece al sistema de ventas a nivel local y a nivel nacional y al sistema económico local y nacional, y probablemente a muchos más, por lo que es parte de muchos sistemas diferentes que a su vez hacen parte de otros sistemas.

Los Sistemas Adaptativos Complejos están alrededor de todas las cosas y de todas las personas. La mayoría de sucesos que se dan por sentados son de este tipo, y existen agentes en cada uno que se comportan ignorando totalmente el concepto, pero que siempre hacen su contribución al mismo. Los CAS son un modelo para pensar el mundo que nos rodea, no un modelo para predecir lo que sucederá. Al analizar lo que sucede en cualquier situación particular En términos de los Sistemas Adaptativos Complejos, se abre una variedad de nuevas opciones que a su vez ofrecen más opciones y más libertad.

5 Pensamiento Complejo: Un paradigma en construcción

Para apoyar esta tesis hay que decir que la comunidad de la complejidad todavía no encuentra su lugar en la corriente principal de la historia de la filosofía, precisamente porque aún se localiza en un dominio entre la ciencia y la filosofía (Morin, 1982), proponiendo desde allí enfoques transdisciplinares. De este modo se espera que la integración con los Sistemas Adaptativos Complejos sea su derivación natural, precisamente porque el Pensamiento Complejo no es una filosofía sino más bien un reflejo del descubrimiento científico de la complejidad. Este nuevo paradigma invita a la reflexión filosófica, como lo sugiere el trabajo de algunos de sus principales autores (Gell, 1994;

Wolfram, 2002; Kauffman, 2010). Otra cuestión que se nota en el Pensamiento Complejo es que hace más énfasis en los aspectos discursivos de la complejidad que en sus aspectos científicos, lo que ha llevado a enfocar sus aplicaciones mayoritariamente en el campo educativo. En América Latina se utiliza como soporte en reformas de la educación y en nuevas líneas pedagógicas, introduciendo modelos transdisciplinares o planes de estudio típicamente centrados en temas complejos, tales como la sostenibilidad o las relaciones eco-humanas. De esta manera la aplicación es capital y crucial para una nueva y necesaria visión holística del mundo. Sin embargo, parece no tenerse en cuenta que este pensamiento también está fuertemente enraizado en la nueva ciencia contemporánea, por lo que además de estas importantes aplicaciones sería interesante incorporar, sin perder el pensamiento crítico, las contribuciones de los CAS.

Dos pilares centrales de la construcción paradigmática, que deberían actualizarse con base en las contribuciones más importantes de los CAS, son los conceptos de *agentes* y *sistemas complejos* derivados del modelado basado en agentes, y el concepto de *red compleja* derivado del análisis de redes complejas. El primero es esencial en la complejidad, sin embargo, está ausente en el ciclo tetralógico de Morin: orden/desorden/interacción/organización. Además, el autor no incluye en su presentación a un quinto término que constituiría su culminación a la luz de la última ola de la ciencia de los sistemas complejos: *los agentes*, el elemento base principal y en cuyas interacciones locales con el medio ambiente ocurren la evolución y la complejidad de los sistemas organizacionales. Por lo que en lugar de un ciclo tetralógico se podría hablar de uno pentalógico: orden/desorden/agentes/interacciones/organización. La brillante intuición en Morin sucedió antes de la aparición de la ciencia de los CAS y de los modelos multi-agente, por lo que la ausencia del término se explica por razones cronológicas. Por otro lado, el hilo lógico de complejidad, que proporciona la columna vertebral de *La Méthode*, está representado por la línea directriz de la biología. Sin embargo, debido al trabajo de Gell y Wolfram y al surgimiento de disciplinas como la socio-física o la econo-física, actualmente los Sistemas Adaptativos Complejos y las redes complejas son conducidos en gran parte por físicos, siendo la física y la llamada física estadística las nuevas directrices, en lugar de la biología. Esta nueva línea directriz enfatiza menos en las estructuras organizativas y mucho más en los micro-movimientos de los componentes de los agentes que generan efectos macro en los sistemas.

Esto es importante para re-pensar el concepto de sistema complejo en el Pensamiento Complejo, junto con las aportaciones de los Sistemas Adaptativos Complejos. De esta forma no sería tanto una estructura organizacional que da orden a un conjunto, como lo propone Morin, sino un esquema variable de adaptación y aprendizaje para modificar el ambiente, que es operado por agentes que interactúan de forma no-lineal (la noción de sistema complejo como esquema adaptativo (Gell, 1994)). Es decir, un concepto más cercano al principio de Henri Atlan (1986) que al de Maturana y Varela (1973), y que tiene que ver más con un proceso de la complejidad que con un estado de la misma. De esta forma, el sistema complejo se ajustaría a la teoría de la evolución de Dennett (1995), precisamente uno de los principales marcos teóricos ausentes en la construcción de Morin. Debería haber sido un tomo, que el propio Morin anunció pero que nunca llegó a concluir, titulado *Le devenir du devenir*. De acuerdo con la ciencia actual, la re-conceptualización de agentes y sistemas complejos debería re-orientar el discurso del Pensamiento Complejo, aunque sin caer en las simplificaciones que pueda traer.

En el mismo sentido, en la ética compleja, que puede considerarse el punto final de El Método, también perdió referencia el concepto de red compleja y la nueva ciencia de las

redes (Barabasi, 2003; Watts, 2004), particularmente la teoría de los pequeños mundos de Watts (2004). Pero la ética compleja, como el Pensamiento Complejo, tiene raíces científicas. Además, la ciencia de los Sistemas Adaptativos Complejos continúa brindando ejemplos en línea con la misma, en los que postula una mayor vinculación de los seres humanos entre sí y con el planeta en su conjunto. Al incorporar los conceptos de *sociedad mundial* y *sociedad planetaria* como signos emergentes de esta profunda e inevitable vinculación (Morin, 2008), se observa que el pensamiento de Morin (2014) no se refiere a lo que constituye hoy el principio científico complejo en la base de su teoría de la vinculación humana y la sociedad mundial, o sociedad planetaria: la ciencia de las redes complejas. Una red compleja se puede concebir como la estructura típica de un sistema complejo, que a su vez es en última instancia una red compleja de interacciones entre agentes. Una red compleja es una red que tiene propiedades topológicas no-triviales, un intermedio entre redes puramente ordenadas y redes puramente aleatorias; un estadio entre el orden y el desorden, donde según Langton (1991), se maximiza la computación de la información.

La mayoría de las redes biológicas, sociales, ecológicas y tecnológicas son complejas, y el modelo de red social compleja de Watts (2004) demuestra la extrema conectividad de ellas con la sociedad. Esta conectividad extrema contra-intuitiva de los nodos de las redes complejas, podría ser un soporte científico de la legitimidad de una ética compleja, que incluya un vínculo humano fundamental apuntando a un cambio de la estructura de un sistema antropo-social, que todavía se guía por la ilusión del atomismo y el individualismo extremos. Por lo tanto, podría ser un ejemplo paradigmático del substrato científico que se necesita introducir en el pensamiento y la ética complejos. Es decir, es necesario que el Pensamiento Complejo se abra a la ciencia de los Sistemas Adaptativos Complejos y que dibuje en ella sus horizontes discursivos, manteniendo y reforzando un alcance epistemológico más amplio. Los modelos de esta ciencia son ciertamente modelos simplificados de una complejidad mucho mayor, sin embargo, dado el creciente número de centros de investigación dedicados a los CAS, las publicaciones, los proyectos de investigación, etc., tener en cuenta su integración en los discursos teóricos de la complejidad y del Pensamiento Complejo representa un gran avance en la comprensión de su importancia.

El Pensamiento Complejo trata en sí mismo de pensar en fenómenos donde varios factores interactúan; donde se combinan los principios de regulación y de no-equilibrio; donde se encuentran la contingencia y el determinismo, la creación y la destrucción, el orden y el desorden; y donde los niveles de organización y la dinámica no-lineal pueden ser identificados por retro-alimentación. No supone que todo es complejo, únicamente aquello que no se puede entender. Esto no es lo impreciso y lo incierto, a pesar de que incluye imprecisión e incertidumbre. Su objetivo es trabajar como una base para ayudar a construir conceptos y metodologías (herramientas de pensamiento, reflexión y acción en el mundo), para articular conocimiento y experiencia. Aunque no es un paradigma terminado, sí es una herramienta conceptual en proceso de elaboración. Además, puede considerarse no-holístico y centrado en lo global en lugar del análisis de lo particular de los elementos. Su objetivo es articular el todo y las partes, lo global y lo particular en un flujo interminable de ir y venir. De esta manera, complejo no significa complicado. Un auto es una máquina complicada, pero se puede descomponer en un conjunto finito de piezas y luego reconstruirlo; por su parte, un organismo vivo es complejo, en el sentido que no se puede descomponer y reconstruir a partir de los elementos simples e independientes que lo conforman, sin tener en cuenta la retroalimentación en medio de sus niveles de organización.

5.1 Complejidad y Sistemas Adaptativos Complejos

Los aportes en complejidad restringida los realiza una comunidad de científicos que trabaja sobre la base de ejemplos y modelos, que comparten varias teorías y métodos. Entre ellos se cuentan desde los pioneros de la máquina de Turing y los autómatas auto-reproductivos de von Neumann, hasta el autómata celular de Stephen Wolfram (1994), los algoritmos genéticos de John Holland (1995) y el juego de la vida de John Conway (2010). Todos se utilizan en la búsqueda de soluciones a los nuevos problemas en términos de la física, la biología o la sociología (Cowan, Pines y Meltzer, 1999; Waldrop, 1992). El paradigma central a través de estas prácticas es el de los autómatas celulares (matriz central o lógica formal de todas estas expresiones), un modelo matemático desarrollado por von Neumann y que esencialmente es una máquina de Turing universal, con una potencia de cálculo que explica los fenómenos naturales que se le escapan a las matemáticas tradicionales basadas en ecuaciones diferenciales. Son sistemas dinámicos discretos que se modelan a través de computadores y que se componen de elementos o células que siguen reglas simples de interacción local (donde el estado futuro de cada una está condicionado por el estado actual de sus vecinas), que son iteradas y elicitadas por la aparición de macro-estructuras complejas auto-organizadas, y no reducibles o explicables localmente. El modelado basado en agentes, la principal metodología utilizada en la complejidad restringida y que proviene de la Inteligencia Artificial distribuida, es una extensión sofisticada de los autómatas celulares, lo que le da mayor autonomía a los elementos del sistema para recrear los ambientes más aptos para la vida o las sociedades artificiales (Gilbert y Troitzsch, 2005).

Los CAS son el mejor ejemplo de esta nueva tendencia en la ciencia de la complejidad, que permiten por primera vez modelarla y visualizarla a través de técnicas computacionales avanzadas. Es un nuevo campo científico que cada vez tiene mayor reconocimiento en la comunidad científica y académica. Actualmente, existe una proliferación de institutos transdisciplinares y revistas científicas dedicados al estudio de los mismos, que conforman una comunidad prolífica que trabaja con el paradigma/modelo del autómata celular y que está promulgando un nuevo paradigma, nombrado *emergentist*, con un componente metafísico derivado de este modelo y que contrasta con el clásico paradigma que aún prevalece en la ciencia reduccionista. Además, este modelo no comparte la visión del mundo que se extendió a través de múltiples implicaciones filosóficas, epistemológicas y éticas, porque la ciencia de los Sistemas Adaptativos Complejos no entra en este campo y se retrae al corte epistemológico del paradigma clásico. Por otra parte y a pesar de su extraordinario progreso, la comunidad científica de los CAS todavía es un sub-sistema minoritario del sistema científico general, por lo que corre el riesgo de ser sub-sumido como otra rama de la *ciencia normal*, que es su raíz paradigmática y que resulta incapaz de definir de forma diferente los nuevos discursos que estructuran el sistema social en su conjunto.

Los CAS se ajustan a una cibernética de primer orden, convirtiéndose así mismo en una ciencia de primer orden de los sistema complejos observados, desde la que expurga los problemas epistemológicos hechos evidentes por la cibernética de segundo orden y por pensadores complejos como Maturana y Varela (1973), Luhmann (1975), Varela (1979), von Foerster (1981) y Morin (1982). Mediante observadores/modeladores, en esta ciencia se elimina todo el contexto de puntuación (distinción/indicación) de los sistemas. Aquí hay un predominio del algoritmo sobre el sujeto. Los problemas complejos son los principales problemas de la evolución adaptativa objetiva, que se expresa por medio de algoritmos cuyo significado siempre será una función de un sujeto. En este

contexto, la formación de estructuras complejas dentro del recorrido aleatorio, como en el caso de las carreteras en el modelo de las hormigas de Langton (1986), solamente tiene sentido para un observador individual que recorta formas discretas espacio-temporales cualitativas y subjetivas desde un fondo continuo. El algoritmo probabilístico se da cuenta de la falta de información en el sistema observado, pero elimina el principio de reflexividad del sujeto de su proceso sistemático de resolución de problemas, mientras que el observador reflexivo humano está presente en cada etapa como el último sustrato (de significado) de todos los algoritmos.

Este algoritmo es aleatorio, no-absoluto y relativo al sujeto-observador, que es tanto la condición de posibilidad del algoritmo como su límite epistémico intrínseco. Este sujeto-observador, como lo demuestran Maturana y Varela (1973) y von Foerster (1981), es un sistema cognitivo caracterizado por un cierre operacional, que se refiere más a su modo de pensar y a su propia coherencia subjetiva interna que a la representación objetiva y precisa de la externa real. Sin embargo, los algoritmos siempre buscan ser objetivos e ignoran esta presencia decisiva del sujeto (constructor/intérprete/limitador) en todo el conocimiento, aspiran a una representación de lo real y no tanto a una construcción, e incluso son ignorados por la arbitrariedad intrínseca para modelar. La idea fundamental de von Foerster no se tiene en cuenta: como computacional siempre se refiere al cálculo de *una* realidad (construida por el observador/modelador) y no a *la* realidad (la misma que en palabras de Luhmann (1975) siempre es imposible). En este orden de ideas: ¿será que los modelos del mundo son proyectados en el mundo? ¿Se está reemplazando el territorio por un mapa? Si toda la realidad es un modelo, entonces ¿podría considerarse como un CAS modelo del mismo o como una doble construcción? Finalmente, existe un desconocido tercer elemento para explicar qué construye la realidad común e intersubjetiva, que para von Foerster es la *sociedad* (la comunidad científica en el caso de la ciencia). Pero esta construcción social de la realidad dentro de la sociedad científica conduce directamente a la cuestión de los paradigmas, un asunto replegado por la ciencia de los Sistemas Adaptativos Complejos (al menos más allá del debate dicotómico *eductionism/emergentis*).

Los sistemas artificiales simulados son finalmente sistemas cerrados que preconcibe el modelador/programador, poseen fronteras fijas y se recortan en un fondo continuo. En cambio, los sistemas naturales son abiertos y no tienen fronteras definidas. Entonces, nuevamente son expulsados el sujeto detrás del modelo y el artificio. Aquí no existe ningún principio de reflexividad y el dominante será el clásico principio de objetividad. Desde este punto de vista, los CAS se articulan con la visión del mundo de la mecánica clásica y no con el de la mecánica cuántica, que marcó el punto de inflexión en ciencia para el Pensamiento Complejo. En parte, es por esto que los CAS son autónomos dominantes de su propio sentido (Dupuy, 1990), a diferencia de los sistemas artificiales complejos que son modelados. La complejidad y esta información son internas al sistema mismo y el observador externo no las puede captar. Debido a que los CAS no pueden evitar maniobras y operaciones heterónomas en sistemas autónomos, en los simulados no podría haber auto-organización auténtica. En ellos existe ausencia efectiva de la propiedad compleja de creación de novedad (Atlan, 1983) que manifiesta la resistencia del sistema a cualquier ley *a priori*, es decir, un confinamiento en un programa determinado, evolutivo o no (la programación evolutiva no genera ninguna novedad evolutiva verdadera). Esta propiedad de creación de novedades es la expresión de la creatividad del universo (Kauffman, 1996; 2010), que no es reducible a algoritmos porque en los modelos multi-agente podría no ser real. Así mismo, la creatividad es menos frecuente en las sociedades artificiales, en las que está ausente la propiedad antropo-social de la creación *ex nihilo* del imaginario de

Castoriadis (1997). De alguna manera, cualquier aparición (auto-organización, azar o creación) está incluida en la programación inicial del modelo, pero con reglas fijas *a priori*.

A menudo, en los CAS se confunde *complejidad* (no-algorítmica, irreductible) con *complicación* (algorítmica, reducible). Por lo que la vida y los sistemas sociales se parecerían más a los sistemas simulados complicados construidos por el hombre, cuya estructura es en última instancia cognoscible y descriptible por una máquina de Turing (aunque la cantidad de tiempo necesaria para el cálculo haga que el sistema parezca complejo para el observador). Sin embargo, los sistemas de la vida y los sociales reales son complejos, es decir, sistemas en los que el amplio conocimiento por parte del observador es inseparable de una profunda ignorancia de la información que no tiene, en concordancia con la continua creatividad de dichos sistemas.

Idealmente estos modelos deberían ser lo más simples posible, como lo demuestra el principio KISS (*Keep It Simple, Stupid*) de Axelrod (1997), donde el objetivo de lo complejo es ser explicado por lo simple. Se considera que lo complejo únicamente emerge de lo simple y que hay un surgimiento de Sistemas Adaptativos Complejos, de estructuras adaptativas y de funciones globales, desde la iteración (irreflexiva, mecánica) de las normas locales simples de interacción. Pero lo que tal vez puede ser admitido en los niveles físicos y biológicos se convierte más bien en reduccionismo en el nivel socio-antropológico, donde se puede decir que *lo complejo surge de lo simple*, pero también que *lo complejo emerge de lo complejo* y donde los agentes no solamente son mecanismos (máquinas triviales) sino sujetos auto-reflexivos (máquinas no-triviales). Por ejemplo, una revolución en esta área es el surgimiento de una complejidad formidable a través de la conciencia no-trivial y fuertemente compleja de los sujetos que componen el sistema: la capacidad de sus elementos para cambiar reflexivamente la estructura del mismo (Wilden, 1980). Esto no impide que en cualquier caso, dentro de una sociedad, también se puedan observar fenómenos que surjen de lo complejo a lo simple, como en el modelo de segregación de Schelling (1971), en el *Beach Problem* de Miller y Page (2007), o en la auto-organización de las ciudades y de los flujos de vehículos.

En definitiva, la ciencia de los Sistemas Adaptativos Complejos plantea un fondo epistemológico no-determinista, que no aborda el ideal último de la complejidad y que está implícito en sus modelos probabilísticos y definido como lo que está más allá de nuestro conocimiento, pero que sí expresan muy bien Morin y otros pensadores. Los sistemas complejos modelados solamente representan recortes y discretizaciones de una ramificación continua de la complejidad, y como mapas producen micro-territorios específicos. Aunque a menudo se identifican con el territorio global, que puede ser comprendido solamente a partir de un Pensamiento Complejo generalizado. Al mismo tiempo, en el cruce del objeto y el sujeto la complejidad ha sido considerada como una dimensión objetiva (probable de ser modelada) y como una dimensión subjetiva (requiriendo una visión holística epistemológica). Por lo tanto, se hace necesario integrar el amplio horizonte epistemológico del complejidad en la ciencia de los Sistemas Adaptativos Complejos y viceversa, constituyendo un ciclo epistémico interminable que re-envíe el Pensamiento Complejo a la ciencia de la complejidad y viceversa.

5.2 Pensamiento Complejo y Sistemas Adaptativos Complejos

Como puede deducirse hasta el momento, la complejidad surge en los CAS del modelado de principios simples y fundamentales, pero se requieren muchos actores y múltiples interacciones en el tiempo para generar la complejidad emergente. Esta caracterización representa solamente una muestra de la cantidad de diferentes facetas de

la complejidad (Casti, 1979). Ninguna de las definiciones o enfoques que aparecen en la literatura de la complejidad parece ser mutuamente excluyentes, lo que podría conducir a cierto grado de ambigüedad y hacia una inclinación a identificar un sistema como complejo de manera un tanto desordenada. A grandes rasgos y a pesar de la amplia variedad de factores que hacen que un sistema sea complejo, las caracterizaciones de la complejidad de un sistema tienden a agruparse en categorías:

1. *Complejidad estática*, que se refiere a los aspectos estructurales de la complejidad de un sistema e incluye nociones como jerarquía, conectividad, detalle, complejidad, variedad y niveles/fortaleza de las interacciones; lo que fácilmente se visualiza como una red con patrones complejos de enlaces y nodos. Esta complejidad depende hasta cierto punto del contexto, porque lo estructural parece muy diferente en los niveles micro y macro y su complejidad cambia cuando se redefine el alcance y los límites del sistema.
2. *Complejidad dinámica*, que abarca las ideas relacionadas con el comportamiento, los procesos de causa y efecto, la retroalimentación, las fluctuaciones y la estabilidad y los ciclos y las escalas de tiempo. El foco de los Sistemas Adaptativos Complejos está estrechamente identificado con esta noción de cambios en el comportamiento a través del tiempo, lo que se refiere a un importante aspecto de la complejidad dinámica: la evolución de la complejidad. Pero este aspecto evolutivo puede resultar de la adaptación de los sistemas y de los agentes individuales en ellos. De hecho, la complejidad de un sistema puede evolucionar sin ninguna adaptación de los agentes individuales.
3. *Complejidad informativa*, que representa una noción algo más abstracta (vinculada a la medida de la complejidad) y que puede ser pensada como la complejidad implicada en la descripción o la evaluación de un sistema complejo. En ella se puede reflejar la complejidad estática en la complejidad de una red, y la complejidad dinámica en la complejidad de los procesos implicados en la creación de un sistema. Desde la perspectiva de la ingeniería también se tiene en cuenta la complejidad evaluativa, que podría ser una forma de complejidad de la información necesaria para describir y evaluar la función, el rendimiento y el éxito de un sistema.

En todo caso, todos los sistemas humanos deben aprender y mantener saludable el proceso de aprendizaje y deben permitir que tenga lugar en su interior. Para ser conscientes requieren auto-conocimiento, que a su vez necesita del sistema individual para elegir y tener la capacidad de intervenir a nombre propio. Para elegir e intervenir requieren actividades mentales deliberadas que se clasifican en cuatro categorías de pensamiento y aprendizaje: creativas, críticas, estratégicas y pensamiento adaptativo complejo, incluyendo al aprendizaje y la comunicación. Aunque el pensamiento adaptativo complejo es la designación formal de las actividades mentales, necesarias para comprender los Sistemas Adaptativos Complejos y sus entornos, generalmente los términos pensamiento adaptativo y Pensamiento Complejo se utilizan indistintamente. A este respecto es necesario colocar al Pensamiento Complejo y al aprendizaje y la comunicación relacionados en cuatro categorías diferentes, pero orgánicamente interrelacionadas y superpuestas:

1. *Pensamiento creativo*, que requiere un marco innovador para impulsar las actividades mentales. Este pensamiento, el aprendizaje y la comunicación tienen las cualidades de ser imaginativos, originales, inspiradores, artísticos, innovadores y llenos de recursos. En términos de los CAS, el pensamiento creativo es impulsado por el caos y es un paradigma y un marco o molde de ruptura para la complejidad. Además, es una

mezcla de procesos internos y externos del sistema, lo que da lugar a una nueva condición que exige aprendizaje.

2. *Pensamiento crítico,* que requiere orden racional y sistémico para impulsar las actividades mentales; es racional, lógico y sistemático e implica un método para la resolución de problemas. En términos de un Sistema Adaptativo Complejo este pensamiento es impulsado por el orden y estabiliza y mantiene el sistema, y puede ayudar con el trabajo necesario. El pensamiento crítico es el núcleo de la enseñanza tradicional.

3. *Pensamiento estratégico,* que requiere cambios direccionales y orientados a objetivos para impulsar las actividades mentales. Combinado con el pensamiento creativo puede hacer que un CAS sea visionario y orientado al futuro, y con el pensamiento crítico potencializa la planificación estratégica. Como tal, exige una perspectiva global y requiere el desarrollo de nuevas habilidades y destrezas.

4. *Pensamiento Complejo*, que se basa en la dinámica de los Sistemas Adaptativos Complejos y de la conducta adaptativa compleja. El núcleo de este pensamiento es comprender el orden oculto y los patrones dinámicos del propio sistema, así como otros niveles de la complejidad. En términos de los CAS, este pensamiento impulsa a los otros tres tipos a la vez que a su resultado.

Para aplicar los Sistemas Adaptivos Complejos en la comprensión del Pensamiento Complejo se requiere un cambio de paradigma en el ejercicio mental, es decir, hay que adoptar una visión diferente de la dinámica del mundo real. El objetivo es diseñar una guía para comprender las actividades mentales implicadas y aplicarla a problemas reales para los que la sociedad demanda soluciones. Para las personas que enfrentan estos problemas en tiempo real es importante identificarlos y comprenderlos, tomar decisiones adecuadas y oportunas y ejecutar soluciones en el contexto complejo impulsado por la información global. Es decir, el Pensamiento Complejo es adaptativo y requiere un paradigma diferente para pensar la realidad, y es un modo de pensar esencial para que los sistemas humanos sobrevivan, prosperen y mantengan el crecimiento y el desarrollo en el contexto cambiante y tumultuoso del medio ambiente mundial. Además, explicar el Pensamiento Complejo necesario para comprender los CAS es un reto, porque esto implica la fusión deliberada y generalizada de la comprensión intuitiva e informal de cómo funcionan realmente las cosas desde la visión de la Teoría de la Complejidad. Porque esta última es una amalgama de campos científicos existentes con un enfoque en la dinámica de los Sistemas Adaptativos Complejos y sus entornos. Por eso es que es de especial importancia la contribución de la complejidad para la comprensión de la conducta adaptativa humana en entornos turbulentos, porque proporciona la base científica para la interacción de los CAS y el Pensamiento Complejo.

Este pensamiento se fundamenta en el comportamiento de los Sistemas Adaptativos Complejos y requiere entrenamiento y re-educación desde una nueva perspectiva de aprendizaje. Un componente clave para lograrlo es desarrollar habilidades como la intuición, la capacidad lógico-abstractiva y el ingenio (Olarte, 2011; Serna y Zapata, 2014). En otras palabras, es necesario partir de una visión rudimentaria e informal para darle sentido a los entornos cambiantes, por lo que el reto es lograr que estas habilidades hagan parte integral de un enfoque formal, en la comprensión y gestión del conocimiento dinámico y transdisciplinar (Greenspan, 2007). Las actividades mentales del Pensamiento Complejo incluyen pensamiento no-lineal, aprendizaje activo, comunicación abierta y una forma innovadora de creatividad. Además, requieren una mentalidad diferente, una

mentalidad global, porque este modo de pensar es libre para explorar el potencial humano, limitado solamente por la imaginación en la Era de la Información y el Conocimiento, que a su vez parece no tener límites. Por otro lado, al ser adaptativo se fundamenta en la comprensión de la dinámica de los CAS, porque es:

- *Contextual*, porque es sistémico y un cambio en las partes afecta al todo. Bien aplicado desarrolla la capacidad de cambiar la atención entre un nivel y otro del sistema, así como entre los sistemas conformantes. El mundo real anida al sistema dentro de otros sistemas, a los que es necesario aplicar los mismos conceptos contextuales para diferenciar los niveles en los que a menudo se obtiene conocimiento importante.
- *Holístico e integrado,* porque al reconocer que los niveles de diferentes sistemas representan diferentes niveles de complejidad, la aplicación del Pensamiento Complejo exige este enfoque. Las propiedades de los Sistemas Adaptativos Complejos no pueden ser reducidas a las de las partes más pequeñas, porque son esenciales o sistémicas como propiedades del todo y no para ninguna de las partes en especial. Por su parte, en el Pensamiento Complejo cualquier elemento aislado, como una parte del todo, no puede reflejar lo esencial del sistema. Además, la complejidad advierte que el análisis por sí solo no conduce a una comprensión profunda del sistema en su conjunto, de ahí la premisa de que el todo es mayor que la suma de las partes.
- *Creativo* y acepta propiedades emergentes dentro del sistema y entre sistemas. Cada nivel de un fenómeno exhibe propiedades que no existen en los otros niveles, y las propiedades sistémicas de uno en particular son emergentes porque surgen en ese nivel particular. El Pensamiento Complejo reconoce los diferentes niveles de complejidad y las propiedades emergentes de los sistemas, y cuando se aplica en los CAS permite comprender por qué las interacciones entre los diferentes niveles del mismo sistema, o de sistemas diferentes, desarrollan propiedades emergentes que no existían antes.
- *De red*, porque todo Sistema Adaptativo Complejo es una red de relaciones. Estos sistemas están en todas partes y el Pensamiento Complejo es un cambio de mirar no a los objetos sino a las relaciones. En última instancia, como lo demuestra la física cuántica, los objetos no existen en absoluto, de tal manera que lo que se llama parte no es más que un patrón en una red inseparable de relaciones. En el viejo paradigma mecanicista de partículas y materia se veía al mundo como una colección de objetos que interactuaban con otros, y por lo tanto tenían relaciones entre ellos. Sin embargo, para ese paradigma esas relaciones eran secundarias. Actualmente, los CAS dan cuenta de que los propios objetos son redes de relaciones incrustadas en redes más grandes.
- *Siempre pensar en procesos*, porque este pensamiento requiere una comprensión de la naturaleza de la auto-organización y del patrón de relaciones ordenadas. Como sistemas auto-organizados, los CAS se ocupan de lo novedoso y son sistemas abiertos alejados del equilibrio y de la interconexión no-lineal de los componentes. Por lo que el Pensamiento Complejo se ocupa simultáneamente de los ciclos de retroalimentación que los mantienen y hacen crecer.
- *Interviniente en la realidad*, porque no se puede observar la realidad sin cambiarla. En este sentido y mediante la aplicación en un Sistemas Adaptivo Complejo, este paradigma científico objetivo cambia para incluir el proceso de conocer. A diferencia de la asunción del método científico tradicional, el observador se convierte en parte crítica e integral de la misma teoría científica. El Pensamiento Complejo cambia desde

una certeza científica a teorías limitadas y aproximadas, por lo tanto es adaptativo y opera en el ámbito de la probabilidad.

- *Permite que el futuro emerja*, porque no puede ser intentado sino desarrollado. La teoría de la complejidad demuestra convincentemente que los sistemas creativos progresan en un espacio evolutivo de composición abierta, para que el futuro sea radicalmente impredecible. De este modo, el futuro a largo plazo del CAS no es simplemente desconocer la actualidad, sino que es completamente incognoscible. Por lo tanto, es no se puede planificar o tener alguna intención, excepto a través de la participación activa que brinda el Pensamiento Complejo.

Aunque este pensamiento se fundamenta en la dinámica de los Sistemas Adaptativos Complejos, también surge de la interacción de los otros tres tipos de pensamiento y se adapta fundamentalmente a los procesos de aprendizaje del sistema (Stacey, 1996). Para aplicar el Pensamiento Complejo en los CAS se requiere un cambio de paradigma en el ejercicio mental y adquirir una visión diferente de la dinámica del mundo real, porque se trata de entender e identificar los problemas, tomar decisiones adecuadas y oportunas y ejecutar soluciones en el contexto de un mundo impulsado por el conocimiento transdisciplinar global. Estas actividades mentales incluyen pensamiento no-lineal, aprendizaje activo, comunicación abierta y creatividad innovadora. Esto significa que el Pensamiento Complejo requiere una mentalidad diferente, global, libre para explorar el potencial humano, limitada solamente por la imaginación en esta nueva era que parece no tener límites. Para integrar el Pensamiento Complejo en el análisis y la comprensión de los Sistemas Adaptivos Complejos se debe tener presente que:

1. *No es algorítmico*. Un algoritmo es un medio de resolución de problemas a través de un procedimiento lógico paso a paso, con una visión matemática y en un número finito de pasos, y a menudo con la repetición de la misma operación básica. Mientras que en un CAS la ruta de acción no está totalmente especificada de antemano y no es lo bastantemente lógica o predecible. En este contexto no se puede proceder cómodamente para tomar decisiones o ejecutar acciones.
2. *Es complejo*. La ruta definitiva para interpretar y modelar un CAS no es mentalmente visible desde un punto de vista único, porque tienen muchos niveles y múltiples conexiones entre ellos.
3. *Ofrece múltiples soluciones*. No hay una solución única para enfrentar un CAS, toda vez que cada solución tiene sus propias complejidades, costos y beneficios.
4. *Implica un juicio y una interpretación sutiles*. En el trabajo con los Sistemas Adaptivos Complejos se trata de juzgar y de interpretar constantemente, y cada vez surge nueva información.
5. *Involucra múltiples criterios*. Al analizar un CAS se requiere aplicar múltiples criterios y puntos de vista e interpretación, que a veces presentan conflictos entre sí.
6. *Implica incertidumbre*. En el contexto de los CAS, es una realidad el hecho que no toda la información se apoya en conocimiento reconocido, por lo tanto, el Pensamiento Complejo debe lidiar con la incertidumbre de poder validarla.
7. *Involucra auto-regulación*. En un CAS, el Pensamiento Complejo no puede ser impuesto desde afuera, sino que debe surgir de dentro de las individualidades porque es auto-dirigido.
8. *Implica dar significado y traer orden al caos*. La realidad es que en los Sistemas Adaptativos Complejos se vive un aparente desorden, por lo que el Pensamiento

Complejo debe crear o descubrir estructuras para darle orden al caos, como una ciencia del orden oculto.

9. *Requiere esfuerzo*. Porque comprender los CAS implica trabajo mental para elaborar los diferentes tipos de discusiones, diálogos y juicios necesarios, para lo que el Pensamiento Complejo es particularmente útil.

10. *Es un reflejo de las actividades de los sistemas vivos abiertos*. Además, refleja las relaciones y las actividades dentro de un sistema y sus sub-sistemas y entre sistemas interconectados, interrelacionados, interactivos e integrados. Poder alcanzar una comprensión de estas relaciones en un CAS es una cuestión compleja que requiere otro tipo de pensamiento.

6 Conclusiones

De acuerdo con Thomas Kuhn (1996), un paradigma está compuesto por: 1) ejemplos de logros científicos, y 2) una visión del mundo. Entonces, el objetivo del Pensamiento Complejo debería ser lograr la combinación de las complejidades general y restringida en un paradigma de complejidad integral, es decir, una integración de ejemplos científicos de la complejidad (complejidad restringida) y una nueva visión del mundo de la complejidad (complejidad general). Para lograrlo, es necesario reunir a la epistemología y a la metodología de la complejidad para entender tanto el objetivo como las dimensiones subjetivas de la misma. Tal vez, solamente cuando esto se logre se empezará a ver un nuevo horizonte de esperanza, como el expuesto por Morin en muchas de sus obras (1977; 1982; 2007; 2008; 2011; 2012). De esta manera se entiende que el horizonte de la construcción del paradigma integral está en el mismo camino y necesita de los Sistemas Adaptativos Complejos, porque entonces la complejidad se realizará plenamente y se convertirá en un nuevo paradigma que estructure ciencia y sociedad como un todo, y de una manera justa y saludable.

Gran parte de la ciencia significativa que se practica actualmente no responde a las necesidades de este siglo, y mucho menos al llamado método científico. Por eso el Pensamiento Complejo suele considerarse el inicio de un cambio de paradigma. Algunas cuestiones de la ciencia que sustentan esta afirmación son: restringe la creatividad, se rige por la lógica perversa del mercado, está demasiado lejos de la realidad y de la complejidad de lo concreto, no se centra lo suficiente en la solución de los problemas que tienen millones de personas que viven en situación de pobreza y de abandono en el mundo, es ciega y dirigida por la mano de los poderosos, la mayor parte de los científicos ignora los problemas sociales y solamente luchan por alcanzar una reputación propia y por encontrar el dinero para sus proyectos, y no tiene en cuenta los graves problemas ambientales causados por un avaricioso sistema económico. Todos deberían ser motivos suficientes para aunar esfuerzos en la búsqueda del cambio.

Por su parte, el Pensamiento Complejo aporta nuevas y potentes herramientas para hacerles frente a estos problemas del mundo real, es más abierto a los cambios y a la creatividad y contribuye a la reducción del egoísmo absurdo y de la ceguera de las corporaciones y sus cómplices. Sin duda, esta época es fascinante y estimulante porque la humanidad participa y vive el momento de surgimiento de un paradigma, después de siglos de hegemonía cartesiana. Sin embargo, esto también genera una nueva situación y no se trata simplemente de reemplazar el cartesianismo por la complejidad, porque a lo largo de los siglos se ha aprendido que se entrelazan armoniosamente. Entonces, ¿para qué el cambio? ¿Para demostrar una vez más el poder de la inteligencia humana? ¿Para

aplaudir la supremacía del hombre en los nuevos límites del universo? Y, ¿qué se va a hacer con los *homo-demens* dentro de cada ser humano? ¿Será que la idea es pretender que no existen? Claro que no. Porque esta vez se requieren personas más especializadas y cualificadas, porque se necesita algo más que brillantes intelectuales y porque la humanidad tiene que lograr un cambio profundo en su mente y actitudes. Y este cambio debe ocurrir con base en profundos análisis y a una comprensión adecuada de la gravedad de la situación que se vive en este siglo. Es en esa dirección que se debe trabajar y formar a las nuevas generaciones. El esfuerzo debe orientarse a la construcción o fortalecimiento de un nuevo paradigma, como el del Pensamiento Complejo, o cualquiera otro que se genere del proceso histórico-cultural que se vive hoy. Pero lo que sí se debe buscar es que sea armonioso con los seres vivos y con la naturaleza en general.

Tenemos que volver a la definición original de paradigma en Thomas Kuhn y dar pasos agigantados hacia la integración de las dos complejidades en un paradigma integral, es decir, hacia una integración de ejemplos científicos de complejidad (Sistemas Adaptativos Complejos) y una nueva visión del mundo de la complejidad (transdisciplinariedad, multidimensionalidad). En este proceso de trabajar en la dirección de construir un paradigma, se deben reunir la epistemología y la metodología de la complejidad para entender tanto el objetivo como las dimensiones subjetivas del Pensamiento Complejo. Esta naturaleza inextricablemente enredada del mundo globalizado sugiere que la oblicuidad de la influencia y el efecto multiplicador de las acciones periféricas y la causalidad no-local, se han convertido en factores importantes en la evaluación de las circunstancias locales y sus ramificaciones más amplias. Aprender a pensar complejamente es aprender a apreciar y a discernir lo aparentemente poco visible y periférico que todavía no se revela a la sociedad. La gestión de la complejidad implica el arte de buscar lo oscuro, lo oculto y lo implícito, y tratar con ello antes de que se manifieste de forma explícita. Poder impulsar el surgimiento de este paradigma anima a reconocer la oblicuidad de los CAS y de la complejidad como una estrategia legítima y eficaz para el tratamiento desde el Pensamiento Complejo de los asuntos humanos.

Referencias

Anderson, P. (1991). Is complexity physics? Is it science? What is it? Physics Today 44(7), pp. 9-11.

Arthur, W. (2014). Complexity and the economy. Oxford: Oxford University Press.

Atlan, H. (1983). L'émergence du nouveau et du sens. In Dumouchel, P. & Dupuy, J-P. (Eds.), L'auto-organisation. De la physique au politique, pp. 115-130. Paris: Seuil.

Atlan, H. (1986). Entre le cristal et la fumée: Essai sur l'organisation du vivant. Paris: Seuil.

Atlan, H. (1991). Tout, non, peut-être: Education et vérité. Paris: Seuil.

Atlan, H. (1994). Com razão ou sem ela: Intercrítica da ciência e do mito. Lisboa: Instituto Piaget.

Axelrod, R. & Cohen, M. (1999). Harnessing complexity: Organizational implications of a scientific frontier. New York: Free Press.

Axelrod, R. (1997). The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration. Princeton: Princeton University Press.

Bar, Y. (1997). Dynamics of complex systems. USA: Addison Wesley.

Barabasi, A. (2003). Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business, science, and everyday life. London: Plume.

Bateson, G. (1972). Steps to an ecology of mind: Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology. Chicago: University Of Press.

Bloomfield, L. (2006). How things work: The physics of everyday life. New York: John Wiley & Sons.

Capra, F. (2014). The systems view of life - A unifying vision. Chicago: Cambridge University Press.

Casti, J. (1979). Connectivity, complexity, and catastrophe in large-scale systems. New York: Wiley.

Castoriadis, C. (1997). The imaginary institution of society. Massachusetts: MIT Press.

Conway, J. (2010). On numbers and games. London: AK Peters/CRC Press.

Cowan, G.; Pines, D. & Meltzer, D. (1999). Complexity: Metaphors, models and reality. USA: Westview Press.

Dennett, D. (1996). Darwin's dangerous idea: Evolution and the meanings of life. USA: Simon & Schuster.

Dupuy, J. (1990). Ordres et désordres. Paris: Seuil.

Dupuy, J. (2000). The mechanization of the mind: On the origins of cognitive science. Princeton: Princeton University Press.

Fiedler, N. & Mattos, C. (2002). Seleção e organização de conteúdos escolares: Recortes na pandisciplinaridade. Encontro de Pesquisa em Ensino de Física 8. Águas de Lindóia, São Paulo.

Fromm, J. (2004). The emergence of complexity. Kassel: Kassel University Press.

García, J. (1988). Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares. Sevilla: Díada.

Gell, M. (1994). Complex adaptive systems. In Cowan, G., Pines, D. & Meltzer, D. (Eds.), Complexity: Metaphores, models and reality. Reading: Addison Wesley.

Gilbert, N. & Troitzsch, K. (2005). Simulation for social scientist. UK: Open University Press.

Goldstein, R. (2006). Incompleteness: The proof and paradox of Kurt Gödel. London: W.W. Norton & Company.

Greenspan, A. (2007). The age of turbulence: Adventures in a new world. New York: Penguin Press.

Haken, H. (1977). Synergetics: Nonequilibrium phase transition and self-organization in physics, chemistry and biology. Berlin: Springer.

Helbing, D. & Nagel, K. (2004). The physics of traffic and regional development. Contemporary Physics 45(5), pp. 405-426.

Herder, P. & de Bruin, H. (2009). System and actor perspectives on sociotechnical systems. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 39(5), pp. 981-992.

Heylighen, F. (2008). Complexity and self-organization. In Bates, M. & Maack, M. (Eds.), Encyclopedia of Library and Information Sciences. New York: Taylor & Francis.

Holland, J. (1995). Hidden order: How adaptation builds complexity. Reading: Addison-Wesley.

Jacobsen, M. & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. The Journal of the Learning Sciences 15(1), pp. 11-34.

Jacobsen, M. (2001). Problem solving about complex systems: Differences between experts and novices. Complexity 6(3), pp. 41-49.

Kahn, C. (1979). The art and thought of Heraclitus. Cambridge: Cambridge University Press.

Kant, I. (2008). Critique of pure reason. Berlin: Penguin Classics.

Kauffman, S. (1993). Origins of order: Self organisation and selection in evolution. Oxford: Oxford University Press.

Kauffman, S. (1996). At home in the universe. Oxford: Oxford University Press.

Kauffman, S. (2010). Reinventing the sacred - A new view of science, reason, and religion. USA: Basic Books.

Kuhn, T. (1996). The structure of scientific revolutions. Chicago: The University of Chicago Press.

Langton, C. (1986). Studying artificial life with cellular automata. Physica D 22(1-3), pp. 120-149.

Langton, C. (1991). Life at the Edge of Chaos. In Langton, C. et al. (Eds), Artificial Life II, pp. 41-91. New York: Addison-Wesley.

Lansing, J. (2003). Complex adaptive systems. Annual Review of Anthropology 32, pp. 183-204.

Lesoume, J. (1975). Cost-benefit analysis and economic theory. Netherlands: North Holland.
Luhmann, N. (1975). Systemtheorie, Evolutionstheorie und Kommunikationstheorie. Soziologische Aufklärung 2, pp. 154-168.
Luzzi, R. & Vasconcelos, A. (1999). Algumas considerações sobre complexidade, autoorganização e informação. Campinas: Instituto de Física Gleb Wataghin.
Maturana, H. & Varela, F. (1973). Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living. In Cohen, R. & Wartofsky, M. (Eds.), Boston Studies in the Philosophy of Science 42. Boston: D. Reidel Publishing Co.
Maturana, H. & Varela, F. (1987). The tree of knowledge: The biological roots of human understanding. Massachusetts: Shambhala.
Maturana, H. (2004). Desde la biología a la psicología. USA: Paperback.
Miller, J. & Page, S. (2007). Complex Adaptive Systems: An introduction to computational models of social life. Princeton: Princeton University Press.
Morin, E. (1977). La Méthode I. - La Nature de la nature. Paris: Le Seuil.
Morin, E. (1980). La Méthode II - La Vie de la vie. Paris: Le Seuil.
Morin, E. (1982). Science avec conscience. Paris: Fayard
Morin, E. (1986). La Méthode III - La Connaissance de la connaissance (Theorem). Paris: Le Seuil.
Morin, E. (1991). La Méthode IV - Les Idées. Leur habitat, leur vie, leurs moeurs, leur organisation. Paris: Le Seuil.
Morin, E. (1994). Mes démons. Paris: Stock.
Morin, E. (1997). Amour, Poésie, Sagesse. Paris: Le Seuil.
Morin, E. (2001). La Méthode V - L'Humanité de l'humanité. Paris: Le Seuil.
Morin, E. (2004). La Méthode VI - L'Éthique complexe. Paris: Le Seuil.
Morin, E. (2007). Complexité restreinte, complexité générale. In Le Moigne, J. & Morin, M. (Eds.), Intelligence de la complexité. Epistémologie et pragmatique (28-50). Paris: Editions de l'Aube.
Morin, E. (2008). On Complexity. London: Hampton Press.
Morin, E. (2012). La voie - Pour l'avenir de l'humanité. Paris: Fayard/Pluriel.
Morin, E. (2014). Introduction À La Pensée Complexe. Paris: Points.
Morin, E., Kern, A. (1993). Terre-patrie. Paris: Le Seuil.
Nicolis, G. & Prigogine, I. (1989). Exploring complexity: An introduction. New York: W. H. Freeman.
Olarte, L. (2011). An experiment to harness the creativity in requirements engineering. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (RACCIS) 1(1), pp. 24-26.
Olmedo, E. (2012). The future of leadership: The new complex leaders' skills. Global Journal of Accounting and Economy Research (GJAER) 1(1), pp. 979-90.
Pelite, L. & Vulpiani, A. (1988). Measures of Complexity. Berlin: Springer-Verlag.
Pessoa, O. (1996). Medidas sistêmicas e organização. In Debrun, M., Gonzáles, M. & Pessoa, O. (Eds.), Auto-organização (129-161). Campinas: Editora da Unicamp.
Petitot, J. et al. (1999). Naturalizing phenomenology: Issues of contemporary phenomenology and cognitive sciences. Stanford: Stanford University Press.
Popper, K. (2012). The logic of scientific discovery. USA: Routledge.
Prigogine, I. & Nicolis, G. (1977). Self-Organization in Non-Equilibrium Systems. New York: Wiley.
Prigogine, I. & Stengers, I. (1979). La nouvelle Alliance - Métamorphose de la science. Paris: Folio.
Prigogine, I. & Stengers, I. (1984). Order out of chaos: man's new dialogue with nature. New York: Bantam New Age Books.
Prigogine, I. & Stengers, I. (2009). Entre le temps et l'éternité. Paris: Flammarion.
Schelling, T. (1971). Dynamic models of segregation. Journal of Mathematical Sociology 1, pp. 143-186.
Serna, M.E. & Zapata, A. (2014). Approach to logic and abstraction in the engineering training. Revista Internacional de Educacion y Aprendizaje 2(1), pp. 35-47.
Serna, M.E. (2015). Por qué falla el sistema de educación. Medellín: Ed. Instituto Antioqueño de Investigación.
Stacey, R. (1996). Strategic management & organizational dynamics. London: Pitman Publishing.
Taleb, N. (2007). The black swan. London: Allen Lane.
Tarski, A. (1944). The semantic conception of truth and the foundations of semantics. Philosophy and Phenomenological Research 4(3), pp. 341-376.
Varela, F. (1979). Principles of biological autonomy. USA: Elsevier.
Varela, F. (1992). Sobre a competência ética. Brasil: Edições 70.
Varela, F. (1996). Invitation aux sciences cognitives. Paris: Le Seuil.
Varela, F.; Thompson, E. & Rosch, E. (1991). The embodied mind: Cognitive science and human experience. Massachusetts: MIT press.
von Bertalanffy, L. (1974). Perspectives on General System Theory. London: George Braziller.
von Foerster, H. (1974). Cybernetics of Cybernetics. USA: Urbana Illinois.
von Foerster, H. (1981). Observing systems. Seaside: Intersystems Pubns.

Waldrop, M. (1992). Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos. London: Simon & Schuster.
Watts, D. (2004). Six Degrees: The science of a connected age. USA: W. W. Norton & Company.
Wiener, N. (1965). Cybernetics: Or the control and communication in the animal and the machine. Massachusetts: The MIT Press.
Wilden, A. (1980). System and Structure - Essays in Communication and Exchange. London: Routledge Kegan & Paul.
Wolfram, S. (1994). Cellular Automata and Complexity: Collected Papers. New York: Westview Pres.
Wolfram, S. (2002). A New Kind of Science. Chicago: Wolfram Media Inc.
Zabala, A. (1999). Enfoque globalizador y Pensamiento Complejo: Una respuesta para la comprensión e intervención en la realidad. Barcelona: Graó.
Zeeman, E. (1977). Catastrophe Theory-Selected Papers 1972–1977. USA: Addison-Wesley.

© 2015 Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Edgar Serna M. Científico Computacional Teórico

Tecnólogo Mecánico, Tecnólogo en Sistemas de Información, Ingeniero de Sistemas, Especialista en Computación para la docencia, Especialista en Hardware, Magister en Ingeniería, PhD(c) en Pensamiento Complejo.
Tiene más de 10 años de experiencia en la industria como líder de proyectos en Sistemas de Información y Arquitecto de Software. Actualmente es profesor universitario e investigador con más de 25 años de trayectoria. Sus áreas de investigación son Lógica y Abstracción, Ciencias Computacionales, Gestión del Conocimiento y Neuro-Computación, alrededor de las cuales ha publicado libros y artículos, y participado con ponencias y conferencias en diversos eventos nacionales e internacionales.

Otros libros de este autor:

- Avances en Ingeniería – 2015.
- Por qué falla el sistema de educación – 2015.
- La capacidad lógico-interpretativa y abstractiva - 2015
- Los ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) y la formación en Estadística – 2015.
- Prueba funcional del software - Un proceso de Verificación constante - 2013.
- Manifiesto por la Profesionalización del Desarrollo de Software - 2013.
- Libro Blanco de la Ingeniería de Software en América Latina – 2013.
- Proceedings Latin American Congress on Requirements Engineering & Software Testing – 2012.
- De las Competencias, la Formación, la Investigación y otras: Visiones de Reflexión - 2011.
- III Jornadas de Investigación Facultad de Ingenierías USBMed– 2011.
- Memorias Congreso Colombiano de Ingenierías Verdes - 2011.
- Estado de la Implementación, Desarrollo y Soporte al año 2004 de Plataformas GNU/GPL en el Sector Solidario y PYMES del Área Metropolitana de Medellín – 2006.
- Software + Hardware = Sistemas Hoy – 1994.

Más información en:
http://www.eserna.com/curriculo.html

Editorial
Instituto Antioqueño de Investigación