

Repensar la investigación educativa: de las relaciones lineales al paradigma de la complejidad

por Arturo GALÁN

Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)

Marta RUIZ-CORBELLA

Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)

Juan Carlos SÁNCHEZ MELADO † [1]

Escuela Superior Luther King, La Laguna

1. Introducción

Periódicamente surge el debate sobre los resultados de algún estudio que evalúa el rendimiento académico o el nivel de adquisición de competencias. Tanto el Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA), como el Estudio Internacional en Tendencias en Matemáticas y en Ciencias (TIMMS) o el Estudio Internacional de Progreso en Alfabetización Lectora (PIRLS), todos ellos promovidos por la OCDE, devuelven a la sociedad un debate permanente sobre la calidad de la enseñanza a partir de los resultados obtenidos en determinados campos de aprendizaje. Se trata de un tema relevante que debe preocuparnos y sobre el que debemos reflexionar para lograr propuestas dirigidas al logro del máximo nivel de competencias básicas de todos los estudiantes (Rochex, 2006). La competencia lectora o matemática, entre otras, son claves para la participación plena de cada individuo en la sociedad del conocimiento y, así, lograr sociedades competitivas e innovadoras. Ahora bien, tanto estos informes mediáticos como buena parte de

la literatura internacional de impacto sobre eficacia escolar se focalizan de tal manera en el nivel de rendimiento (competencias cognitivas) y sus variables explicativas, que olvidan que el proceso de enseñanza aprendizaje en la escuela y su espectro de resultados es algo mucho más *complejo* y no reducible a una sola variable (Galán, 2009). Una visión realista de la escuela exige tener en cuenta todos los elementos que intervienen y sus relaciones dinámicas en un contexto y tiempo determinados. Si no hay un análisis completo de esa realidad, los grandes estudios referidos podrán aportar un diagnóstico comparativo sobre la situación educativa de un país en algunas materias de aprendizaje –algo ciertamente relevante–, pero dejan fuera otros muchos objetivos de la escuela que quedan relegados al no ser evaluados, desvirtuando el verdadero debate sobre qué es y cómo mejorar la calidad de la educación de un país.

Ante una realidad así definida, el objetivo de este trabajo es cuestionar si el paradigma de la complejidad resulta un

enfoque más evolucionado que el lineal para plantear la investigación educativa. El paradigma de la complejidad pretende mostrar la realidad de la educación tal cual es: fenómeno irreversible en lo temporal, de alta complejidad, inestable, incierto, impredecible, en absoluto lineal, con diferencias significativas en su punto de partida, dinámico y, en definitiva, caótico (Colom, 2005). Esta perspectiva está promoviendo una investigación educativa desde la teoría del caos, veta que ha ido ganando espacio en las últimas décadas (Pecora *et al.*, 1997; Cilliers, 2000; Snell, 2009; Martínez *et al.*, 2009; Weichhart, 2013). Escuela y teoría del caos están profundamente relacionadas ya que la mayoría de las leyes educativas son no lineales y potencialmente caóticas, lo que implica consecuencias importantes tanto a la hora de interpretar situaciones aparentemente aleatorias, como en la selección de los métodos utilizados para la predicción en el contexto educativo (Martín, 2003).

A lo largo de la historia, la comprensión de la realidad se ha planteado de un modo permanente como el debate entre la simplicidad y la complejidad, entre el orden y el desorden. Así, la teoría del caos «(...) aglutina a científicos de diversos campos de conocimiento que insisten en la conveniencia de adoptar nuevos modelos teóricos, metodológicos y, por ende, una nueva epistemología, que permita a la comunidad científica elaborar teorías más ajustadas de la realidad que posibilite, al mismo tiempo, diseñar y poner en práctica modelos de intervención –social, sanitaria, educativa, política, económica, ambiental, cultural, etc.– más eficaces que ayuden a pilotar y regular las accio-

nes individuales y colectivas» (Romero, 2003, 2). Si bien es cierto que la teoría del caos no es una novedad en los estudios pedagógicos, también lo es que no se le ha dado la relevancia que tiene para el análisis de la compleja realidad educativa, probablemente por las dificultades de pasar del lenguaje metafórico a los modelos matemáticos susceptibles de contrastación empírica (Tourñan y Saéz, 2012).

Una de las áreas de investigación pedagógica que más ha incidido en el estudio de la calidad educativa es la relativa a la eficacia escolar. Revisando su vasta producción científica a nivel internacional (Townsend, 2007), algo más incipiente en Iberoamérica (Murillo, 2005; López Cobo y González Brito, 2012), es fácil concluir que imperan los estudios lineales cuantitativos, centrados prioritariamente en los resultados cognitivos. Una característica común en todos estos trabajos es el análisis de la realidad como un conjunto de elementos que interactúan a través de relaciones lineales y causales, incluso cuando se presta atención a factores no cognitivos y de contexto (Murillo y Hernández-Castilla, 2011). Es decir, se aborda el estudio de la escuela no como una realidad compleja, sino mediante una serie de factores aislados que redundan en una mal entendida objetividad cuantitativa, limitándose a conocer sólo la parte superficial de lo real (Morin, 2007). Esto nos da a entender que la experiencia de la escuela como un todo se ve reducida en muchas ocasiones a sus elementos constituyentes, y los cambios controlados sobre un elemento particular pueden ser evaluados en términos del impacto sobre otros, sin tener en cuenta la realidad completa de ese sistema.

Wrigley (2004) identifica una serie de problemas en esta perspectiva reduccionista: el primero de ellos es que la existencia de una correlación entre dos eventos es insuficiente para que exista una relación causal. Pese a los avances en las ecuaciones estructurales y en los modelos jerárquico-lineales utilizados en los modelos de eficacia escolar, el establecimiento de una relación causal requiere de una explicación de las relaciones entre los eventos en un contexto amplio (López-González, González-Such y Lizasoain, 2012). No faltan críticas a las implicaciones de estos modelos, como el uso del concepto de *valor añadido* o la atención a lo fácilmente mensurable en vez de lo realmente importante (Mata y Ballesteros, 2012).

Desde el paradigma de la complejidad se constata que el pensamiento lineal no es suficiente, ya que se pierde la información valiosa sobre los procesos y la interacción entre todos los elementos del sistema. Es necesario otro enfoque que nos permita pensar en una red de causalidades en la que múltiples factores se relacionan entre sí, superando los modelos lineales de interpretación de resultados. A la vez, debemos recordar que la investigación sobre la escuela siempre será ideológica y políticamente controvertida, dado que aborda la naturaleza y los propósitos de la educación (Kiel y Elliott, 1997). Para Colom (2005), la teoría del caos nos aporta el nexo de unión entre teoría y práctica, independientemente de los ámbitos de la ideología. La valoración lineal y simple nos ha permitido controlar, homogeneizar, clasificar, categorizar, ordenar, dominar, excluir, etc. Sin embargo, también somos conscientes de que la educación es

incertidumbre, desorden, desequilibrio, heterogeneidad, libertad, azar, complementariedad, pregunta, juego, creación, diversidad, etc. (Ferrer, 2006). En esta línea, nuestro trabajo pretende mostrar la necesidad y validez del paradigma de la complejidad en la investigación sobre la escuela, ya que aporta una visión más completa del análisis que habitualmente se está haciendo de la realidad escolar.

2. El pensamiento complejo, una nueva mirada de la realidad

2.1. Complejidad y pensamiento complejo, acercamiento a su definición

¿Qué se entiende por complejidad? Lo complejo se aproxima en el lenguaje ordinario a lo desconocido, a lo incierto, a la antinomia y a lo dialéctico. Se asocia generalmente a la idea de lo complicado, de algo compuesto de múltiples aspectos de difícil comprensión (Ochoa, 2006). En el ámbito filosófico, lo complejo, como sustantivo, se aplica sólo a un conjunto de elementos de cualquier naturaleza (física, biológica, social, antropológica, psíquica, etc.) unidos en un todo orgánico (Foulquié, 1967). Etimológicamente proviene del latín *complexus*, que significa aquello que está entretejido o tejido en conjunto. Como adjetivo, dicho término califica a lo que contiene un número significativo de elementos de diferentes especies, o a lo que forma un todo que, de ordinario, presenta aspectos diversificados.

Además no debemos obviar que el término complejidad señala el carácter de lo que es complejo: la cualidad que posee al-

guna cosa por estar formada por un gran número de elementos estrechamente organizados entre sí. Sin embargo, no debemos confundir el término *complicado*, que hace referencia a estar compuesto de muchos elementos heterogéneos, con el término *complejo*. Es decir, la complejidad de los sistemas está relacionada con la cantidad y variedad tanto de los elementos como de las interacciones entre ellos (Gell-Mann, 1994), siendo estas las que dan realmente significado y sentido a esa realidad. La complejidad no es necesariamente sinónimo de complicación, antes bien nos da la oportunidad de abordar la educación, en cualquiera de sus escenarios, como proceso de relaciones posibles (Calvo, 2010), fuente de fascinación más que de frustración, como algo para celebrar, antes que para lamentar (Colom, 2006; Bishop, 2009).

Radford (2006) enuncia que la complejidad es una característica de los sistemas que contienen múltiples variables conectadas por relaciones dinámicas y no lineales. Así, no sólo se requiere de un gran conjunto de elementos, también se necesita de una interacción entre ellos en base a relaciones dinámicas, es decir, cambiantes a lo largo del tiempo. Según este autor, la teoría de la complejidad se fundamenta en que la naturaleza de las relaciones, un sistema en un momento dado, es el producto de las interacciones previas que han tenido lugar a lo largo de la historia particular de la organización. Por ello, el papel del investigador en educación debe ser el de proporcionar descripciones y explicaciones que ofrezcan una perspectiva amplia del desarrollo del sistema. De este modo, más que preten-

der entender la escuela solo en términos cuantitativos, el investigador necesita observar la naturaleza de la información que fluye por el sistema y su impacto.

En esta línea, la noción de complejo, entendida como una multiplicidad de elementos entrelazados y formando parte de un todo al que denominamos sistema, está ampliamente reconocida (Rubio, 2011). En todas las definiciones se asocia el término complejo a las situaciones que requieren de una gran cantidad de información para dar cuenta de su estructura organizacional, es decir, de los elementos constituyentes y de las relaciones entre ellos (Warren, 2013). No obstante, la dinámica no lineal ha demostrado que podemos observar intrincados comportamientos en sistemas de unos pocos elementos. Ejemplos los encontramos en la ecuación logística que da cuenta de un sistema en el que, a pesar de tener un único elemento, su comportamiento fluctúa entre el orden y el caos, como en el caso del atractor de Henon y Pomeau, que modela sistemas discretos de dos elementos en los que también aparecen evoluciones extrañas. O para sistemas continuos, encontramos los modelos de tres elementos de Lorentz y Rössler. Todos estos casos nos indican que no es necesario disponer de un gran número de elementos interrelacionados para obtener sistemas difícilmente predecibles en su comportamiento (Madrid, 2010).

Nuestra conceptualización del término complejo está más próxima a la expuesta por Morín (2003, 2004, 2007), que asegura que la complejidad es un estado temporal de un sistema que evoluciona hacia otros

estados, por lo que el orden se torna aparente y dinámico. En esta línea, la naturaleza no es analítica, estable y ordenada, sino sistémica y compleja, dinámica y cambiante, por lo que requiere de una nueva narrativa que nos enseñe los caminos que se recorren entre el orden y el desorden. Para abordar este diálogo con la realidad, Morín enuncia tres principios básicos de la complejidad (citado por Colom, 2006), que comprobamos continuamente en todo hecho educativo:

1. Dialógico: se concibe el orden y el desorden como cooperantes en la producción de la organización y la complejidad.
2. Recursivo: los productos y efectos son, al mismo tiempo, causas y productos de aquellos que los producen. Es decir, la realidad es autoorganizativa, autoestructurativa y, en definitiva, autoproductora.
3. Hologramático: un elemento ínfimo posee información de todo el conjunto, ya que no sólo la parte está en el todo, sino que el todo está en la parte.

Si pensamos en la escuela, reconocemos estos tres principios en todas sus manifestaciones: en el proyecto educativo, en la programación de aula o en la interacción de todos los actores que intervienen en ella. Por ello, cualquier análisis de uno de estos elementos que conforman la escuela, si no tiene en cuenta los otros factores presentes en este microcosmos, difícilmente podrá aportar una lectura válida de esa realidad.

Los sistemas complejos se ubican entre el orden y el desorden: por un lado, el

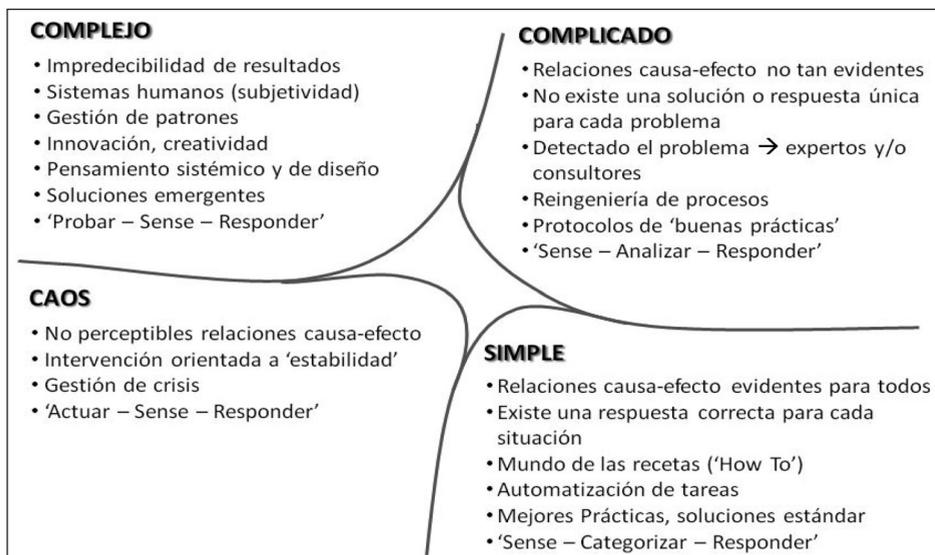
orden es necesario para almacenar información y mantener la estabilidad de las estructuras, pero también se precisa de ese caos que promueve la innovación, el desarrollo y el avance. A mediados de los años noventa del pasado siglo, varios autores propusieron una hipótesis acerca del origen de la complejidad (Solé *et al.*, 1996), en la que se establece que esta aparece en los puntos críticos en los que tienen lugar las transiciones de fase. En estos puntos críticos el sistema sería susceptible de amplificar cualquier fluctuación fortuita que se produjese en su seno, de forma que llega a abarcar a todo el sistema. Los sistemas complejos serían el resultado de una evolución hacia dichos puntos, en el que se manifiesta una de sus propiedades: las estructuras fractales (o autosimilares), que se caracterizan por presentar el mismo aspecto básico a distintas escalas.

En múltiples campos de la naturaleza se encuentran ejemplos de sistemas en puntos críticos: avalanchas en un montón de arena producidas por la caída de un único grano al alcanzar aquél su pendiente crítica; pequeñas tensiones entre las placas tectónicas provocan el desencadenamiento de terremotos; la autoorganización de ciertas colonias de hormigas se consigue al alcanzar una determinada densidad de individuos, etc. Y si nos trasladamos a la escuela, un cambio en una programación, en un docente, en el número de alumnos e incluso la incorporación de un nuevo alumno en un grupo determinado genera un cambio en el orden de esa estructura y en el desarrollo de la misma, lo que podrá influir en los resultados. En este sentido la complejidad es más una norma que una excepción (Martín, 2003; Colom, 2006).

Sin embargo, en la perspectiva de la nueva ciencia es caracterizada como el estudio de «la ordenación y el desorden creados por procesos simples» (Fleener, 1995, 3). Complejidad se entiende como el balance entre orden y caos, de modo que los sistemas complejos se caracterizan por estar «en el borde del caos», un estado de constante batalla entre la estabilidad y la anarquía, el lugar donde un sistema

complejo puede ser espontáneo, adaptativo y vivo (Fleener, 1995). En esta línea, es interesante valorar la diferente perspectiva con la que se afronta un problema desde cada una de estas teorías (Rubio, 2011), que sintetizamos en la siguiente figura, en la que se destaca lo específico de cada una de estas para analizar la realidad y sus consecuentes enfoques para la investigación:

Figura 1. Contenido de las diferentes teorías de investigación, adaptado de Dave Snowden.



Fuente: Rubio (2011), p. 26.

Esta radiografía refleja plenamente la investigación sobre educación que encontramos hoy en día. Ahora bien, también es una llamada de atención para resaltar de nuevo que estamos ante un fenómeno irreversible, de alta complejidad y en absoluto lineal, lo que nos lleva a analizarla desde la perspectiva del caos, ya que es un comportamiento impredecible que responde a un orden subyacente (Romero, 2003). El caos es un estado paradójico, una dan-

za espiral entre orden y desorden, una oscilación entre los dos extremos, caracterizada por el riesgo, la exploración y la experimentación. Aquí es donde el sistema opera en su más alto nivel de funcionamiento, donde el mayor procesamiento de información tiene lugar, donde se toman riesgos y surgen nuevas conductas. En esta línea entendemos que cuando la nueva conducta que emerge beneficia al sistema, las reglas del sistema primario son

modificadas de manera que podemos decir que el cambio es innovador, el sistema ha aprendido, ha evolucionado (Oekerman, 1997). En suma, «mediante el paradigma de la complejidad nos aproximamos a una nueva forma de pensar la realidad. Si la ciencia mecanicista aspiraba al conocimiento de lo universal, la ciencia de la complejidad aspira al conocimiento de la diversidad y lo particular. (...) Se estructura sobre presupuestos no dualistas que reconoce diferencias de procesos de naturaleza diferentes –biofísicos, psicosociales y socioculturales– integrados en un sistema o todo organizado en funcionamiento» (Romero, 2003, p. 8).

2.2. Factores que impulsan el comportamiento complejo

Una vez definido lo que entendemos por complejidad, podemos identificar los factores centrales que impulsan un sistema hacia un comportamiento complejo. Si bien Morín (2003) sitúa la complejidad en la transición entre el orden y el caos e insinúa el carácter recursivo de las relaciones entre los elementos de un sistema complejo, no entra a describir la naturaleza misma de estas relaciones ni el mecanismo que produce la transición entre el orden y el caos. Una explicación la ofrece Colom (2006) al identificar las cinco características de los sistemas complejos: la no linealidad; la carencia de información o «agujeros de información»; la imposibilidad de predicción a partir de patrones pasados; la inestabilidad perenne y la alta sensibilidad al cambio.

La educación es compleja no por la presencia de múltiples elementos, sino

por la alta interacción de todos sus agentes y actores. De ahí que «si la educación es un complejo y multifacético fenómeno social que tiene lugar en una variedad de instituciones y situaciones, entonces tiene que ser estudiada de muchas maneras diferentes» (Lagemann, 2008, 424). Ello nos exige abandonar nuestra visión lineal de los fenómenos y reemplazarla por una visión del mundo basada en la no linealidad, que impulsa y explica ese comportamiento complejo propio de toda realidad (Cilliers, 2000; Bloch, 2005), evidentemente dinámica, en constante cambio de forma, componentes y energía, evolucionando entre el orden y el caos, como en una transición de fase que presenta la oportunidad para la creatividad y la emergencia de nuevas formas.

Por tanto, es necesario recuperar el estudio de los factores que revelan ese comportamiento complejo: las relaciones no lineales entre las variables, el tiempo como factor crucial a tener en cuenta, la alta sensibilidad a las condiciones iniciales o el denominado «efecto mariposa», –en el que pequeños errores iniciales y perturbaciones despreciables aumentan drásticamente sus efectos a través de los bucles de realimentación positivos– y la alta sensibilidad a los cambios –pequeñas actuaciones sobre un sistema pueden provocar importantes cambios en el mismo–. Si trasladamos estos factores a la investigación, por ejemplo, del rendimiento entre diferentes grupos, nos daremos cuenta de la cantidad de factores que usualmente no atendemos en el desarrollo de ese estudio y que podrían alterar drásticamente los resultados obtenidos.

3. Metodología en el estudio de lo complejo en educación

Fue principalmente Morin (1994, 2003, 2007) quien difundió en las ciencias sociales el concepto de pensamiento complejo, señalando con ello la necesidad de construir un nuevo modo de pensar y racionalizar desde la perspectiva de la complejidad fenomenológica. Define y conceptualiza el pensamiento complejo como una estrategia capaz de permitir la construcción de un conocimiento no fragmentado ni desarticulado, que apuesta por el estudio de las relaciones. «Pensar la educación en toda su complejidad implica aprender a proyectar un interés pedagógico, amplio y general, por saber desentrañar las múltiples vías de acceso a la realidad educativa, por adoptar diversos criterios de racionalidad, por aceptar una pluralidad de niveles de fundamentación teórica y por acoger orientaciones para la acción práctica de diferentes niveles y hasta estilos» (Gil Cantero, 2011, 30). La certidumbre generalizada es un mito y es más potente un pensamiento que reconoce la vaguedad y la imprecisión, que un pensamiento que la excluye irreflexivamente.

Un pensamiento complejo nunca es un pensamiento completo. Así, el pensamiento complejo está animado por una tensión permanente entre la aspiración a un saber no parcelado, incapaz de lograr la certeza total, la formulación de leyes eternas y la concepción de un orden absoluto (Ochoa, 2006). Estamos, por ello, ante una teoría que abarca un enorme campo científico, recibiendo, por ello, múltiples denominaciones: teoría del no equilibrio, teoría de la autoorganización, dinámica no lineal, teoría del caos o sistemas complejos adaptativos, cada una de las cuales afronta el

estudio de tres clases de procesos: determinista, caótico y aleatorio. Pone a disposición de los investigadores en ciencias sociales un conjunto de técnicas conceptuales, matemáticas y geométricas que permiten tratar con sistemas complejos caracterizados por elementos periódicos, no lineales, dinámicos y transitorios. Por ejemplo, si atendemos a la participación en la escuela, comprobamos que esta conduce a una institución autogestionada que se enfrenta a una realidad hipercompleja y caótica, que adquiere una singularidad propia, por las condiciones iniciales de partida, que no puede ser equiparable a otras instituciones y que por ende no responde de la misma manera a propuestas generales de gestión. O al estudiar el fracaso escolar, o cualquier otra situación educativa esquivada, se concibe, por lo general, como una anomalía del alumno, o de los padres, pero muy pocas veces se involucra al proceso educativo, a la educación misma, como mediadora del fracaso (Colom, 2003).

En cuanto a las herramientas metodológicas es fácil comprender por qué este paradigma ha surgido justo en la era del desarrollo tecnológico en todos los órdenes, ya que facilitan unos instrumentos fundamentales para la exploración experimental y para la simulación de los sistemas dinámicos (Martín, 2003). La simulación informática constituye hoy en día una herramienta más al alcance del científico, que proporciona posibilidades de estudio hasta ahora impensables. Permite mostrar consecuencias dinámicas de las interacciones entre los componentes del sistema que escapan a nuestro procesamiento mental debido a nuestra fuerte tendencia a pensar en relaciones cau-

sa-efecto lineales cercanas en el tiempo y en el espacio. Para abandonar el campo conceptual e hipotético-deductivo, Hudson (2000) propone el uso de series temporales así como la simulación desarrollada por la Dinámica de Sistemas. La simulación en el ordenador sustituye de este modo a la experimentación en el laboratorio, experimentación, por otra parte, de difícil realización cuando hablamos de sistemas sociales (Navarro y Quijano, 2003).

Sin embargo, la aplicación de la teoría de la complejidad a las ciencias sociales, y en particular a la investigación educativa, se centra todavía en el campo conceptual más que en la aplicación de sus herramientas matemáticas o gráficas. Los conceptos como las relaciones no lineales, la retroalimentación, los atractores extraños o los fractales, todavía no han sido llevados a la práctica de la investigación pedagógica de una forma rigurosa. No está aún desarrollado cómo los modelos matemáticos pueden ser aplicados a la complejidad de las situaciones sociales. No obstante, existe bastante bagaje en la teoría de la complejidad para que los investigadores en ciencias sociales, y concretamente en educación, se atrevan a explorarlos más allá del nivel metafórico o de la analogía, a pesar de que, como dice Tsoukas (1998), cuando se refiere a la aplicación de los conceptos de la complejidad a las ciencias sociales, sólo somos subliminalmente conscientes de ellos. Sin embargo, estamos ante un nuevo modo de mirar la realidad que conlleva la necesidad de retomar la investigación, en la línea de analizarla a partir de los elementos que se conectan entre sí, en términos de conectividad, de relaciones y de contexto (Coromoto, 2004).

Ahora bien, tampoco debemos dejar de lado que algunos estudios que presentan la complejidad como un hecho explicativo de la realidad social, lo hacen borrando de un plumazo todo avance científico anterior; no aprecian las limitaciones de la metodología reduccionista como algo susceptible de investigar y mejorar, sino que ven en el fenómeno de estudio una identidad acientífica. Esto solamente conduce a abrir aún más la brecha que ya distanciaba a los paradigmas analítico y complejo, dejando el primero como única senda en el camino de una investigación científica y relegando el segundo a narrativas más próximas al campo filosófico. Y esto tampoco ayuda a la ciencia ni a sus avances.

La propuesta de Morín (1994) es la construcción de una epistemología de la complejidad aplicable a todos los ámbitos de la ciencia y del quehacer humano, que en ningún caso pretende ser un método o una teoría exclusivista y excluyente. Anima a que no actuemos en nombre de un mal entendido nuevo paradigma científico, de una forma subjetiva y acientífica y a recurrir a los avances en la teoría de la complejidad.

4. La escuela y el paradigma de la complejidad

Como ya hemos expuesto, todavía son escasos los estudios empíricos que aplican el paradigma de la complejidad, tanto por su dificultad como por la escasez de herramientas tecnológicas. Pese a los avances de la informática, hemos tenido que esperar casi a esta última década para encontrar algunos trabajos de investigación en el campo educativo (Erwin y Erwin, 2003; Navarro y Quijano, 2003; Bloch, 2005; Ferrer,

2006; Ochoa, 2006; Radford, 2006; Sierra y Sierra, 2006; Pryor and Bright, 2011).

Desde la perspectiva metafórica, sin entrar a desarrollar los fundamentos gráfico-matemáticos, Erwin y Erwin (2003) proponen una metodología heurística como vehículo de investigación en educación de la teoría del caos. Estos autores emplearon dicha metodología para explicar las prácticas educativas a través de las metáforas de la teoría del caos y de la complejidad. También Bloch (2005) utilizó la teoría del caos para explicar la teoría del desarrollo profesional bajo los conceptos de la dinámica no lineal, el caos y la complejidad, frente al paradigma que ha prevalecido en las ciencias a lo largo de los siglos XIX y XX. La presencia de la complejidad aporta unas conclusiones sumamente sugerentes para abordar la investigación en el campo de las ciencias sociales (Bloch, 2005):

1. Se deben evitar los estudios que ignoran las pequeñas diferencias (el ruido) en las medidas. Cuando trabajamos con sistemas sensibles a los cambios y a las condiciones iniciales, no podemos suponer que una pequeña variabilidad en la medida conduce a una pequeña variabilidad en las predicciones.
2. Se debe evitar examinar el fenómeno de forma aislada. El Universo se debe considerar como una colección de entidades individuales con propiedades relacionadas.
3. Se deben fomentar los estudios de casos y otras metodologías cualita-

tivas que desarrollen explicaciones de cómo las redes de relaciones trabajan en los sistemas complejos adaptativos.

Precisamente Sierra y Sierra (2006) introducen el concepto de sistema complejo adaptativo para dar cuenta del proceso del aprendizaje humano. Afirman que todo aprendizaje es un mecanismo de adaptación, una forma de relación entre los organismos y el mundo que los rodea que es capaz de modificar la estructura biológica del cerebro. Selección y diversidad deben ser, pues, las guías esenciales para el aprendizaje de la complejidad y en la complejidad.

En la misma línea, Colom (2001, 2006) indica que el acto educativo en la modernidad jamás se vio como un todo, sino que era ordenado, estructurado y estudiado bajo los planteamientos del pensamiento analítico desde donde era investigado. Pero es precisamente en la cultura social emanada de las tecnologías, cuando la certidumbre ha perdido valor por el mero hecho de que ya no hay certidumbre, llegando a asegurar que, por tanto, el orden tampoco interesa, pues es una entelequia que, como tal, no tiene razón de ser en el nuevo contexto cultural. En este sentido, coloca a la teoría de la complejidad como un primer intento para superar la posición analítica y ordenada de la ciencia por un enfoque y un discurso en el que la racionalidad no se encuentra ya en la objetividad o externalidad, sino que se encuentra en la consideración subjetiva de la complejidad intrínseca del universo educativo. Así, Erwin y Erwin (2003) descubren que la escuela secundaria se presenta como un sistema autoorganiza-

do con múltiples lazos de realimentación. Encuentran evidencias de no linealidad en las relaciones, así como múltiples ejemplos de la sensibilidad a las condiciones iniciales. También identifican puntos de bifurcación, atractores extraños, fractales y signos de irreversibilidad. Por otra parte, observan el carácter holístico en las relaciones escolares, de lo que se induce la imposibilidad de separar los elementos constituyentes de su estudio, ya que éstos pierden su significado cuando son distanciados del contexto en el que existen.

Un trabajo que merece especial atención, por apostar decididamente por abandonar el plano metafórico para adentrarse en la senda de los conceptos matemáticos y gráficos de la teoría del caos y su aplicación al campo social, es el realizado por los investigadores Navarro y Quijano (2003). Los autores proponen un modelo dinámico de la motivación laboral en el cual se pretende recoger una variable tradicionalmente olvidada en las teorías de motivación en el trabajo: el factor tiempo. El modelo propuesto contempla la motivación como un proceso dinámico que incluye relaciones de retroalimentación y agrupa variables motivacionales de fuerte tradición teórica y ampliamente contrastadas en la investigación empírica. Introducen potentes herramientas de análisis de los sistemas complejos como los exponentes de Lyapunov y los mapas de retardo, demostrando que el concepto de complejidad puede aparecer en modelos simples siempre que entre ellos existan relaciones no lineales de realimentación, apoyándose en la simulación informática como metodología para el estudio de estos sistemas.

Con este recurso instrumental, los fundamentos gráfico-matemáticos de la teoría de la complejidad van mucho más allá de la explicación metafórica de la realidad. Ciertamente la «complejidad» de las ciencias sociales es, sin duda, superior a la de las ciencias naturales, pero esto no debe llevar a la renuncia previa, sino que debe conducir al despliegue de un esfuerzo mayor para, en el peor de los casos, demostrar que la aplicación de los conceptos de la teoría de la complejidad tienen cabida en éstos ámbitos. Mientras no lo logremos, toda investigación fundamentada en la teoría del caos no pasará de ser anecdótica.

5. Conclusiones y discusión

Retomando las investigaciones en el campo educativo, comprobamos que la realidad nos muestra la imposibilidad del análisis lineal de los procesos, aunque sigamos empeñados en el descubrimiento racional de relaciones causa-efecto a través de las numerosas investigaciones empíricas. Sin embargo, la realidad del aula y del centro nos muestra que las escuelas, como sistemas sociales complejos, están situadas en un equilibrio crítico entre la sensibilidad del sistema a pequeños cambios que crean inestabilidad, y las reglas o procedimientos formales, cuyos objetivos se dirigen a crear control y estabilidad (Radford, 2006; Pryor y Bright, 2011). Los procesos educativos se nos presentan complejos, interactuantes, propiciando cambios no pensados y situaciones imprevisibles, que nos hacen ampliar, pero no destruir, la concepción de una educación lineal y estable. Por este motivo debemos buscar el punto de confluencia de la inves-

tigación analítica y la investigación apoyada en el paradigma de la complejidad, sin descartar los beneficios que cada una de ellas aporta al proceso educativo. Los estudios sobre la escuela siempre han tenido en el orden y en la estructura su razón de ser. Debemos avanzar sobre ellos para dar cuenta de las emergencias y bifurcaciones que producen cada día en el aula. Y es precisamente la teoría del caos la que nos ofrece un instrumento para explicar la realidad de la educación, una realidad en la que surgen inestabilidades y problemas en situaciones aparentemente estables.

Si no se abandona el plano metafórico para adoptar herramientas que aseguren cierta objetividad, estamos alejándonos del espacio que corresponde a cualquier investigación fundamental para adentrarnos en el terreno de la pseudociencia. Cuando se emplea el término «objetividad» en la investigación de lo complejo no buscamos el control de los resultados, sino un mecanismo que, al menos, asegure que las conclusiones no son fruto exclusivo de un sujeto. La pretendida necesidad de la subjetividad en el estudio de los sistemas complejos la enarbolan aquéllos que simplemente han usado la misma como única herramienta en sus investigaciones, y que no han tenido en cuenta –quizás por animadversión hacia la racionalización y el análisis científico y hacia los mecanismos de las ciencias experimentales–, los importantes avances que la teoría de la complejidad ha realizado en las últimas décadas.

También es cierto que la teoría de la complejidad es fácilmente manejable por mentalidades sesgadas o influenciadas por tendencias sociales e incluso políticas

que se alejan de todo tratamiento científico. Vidoni y Notarbartolo (2004) advierten de este peligro cuando señalan que la complejidad del sistema escolar es tal y las incertidumbres tan amplias, que no siempre es posible tomar todos los elementos en consideración, lo que trae consigo el peligro de la interpretación malintencionada de los resultados en la investigación. Desgraciadamente, ante esta situación en muchas ocasiones se recurre al concepto de complejidad para rechazar cualquier reforma o intento de mejora en la escuela o en el sistema educativo. Además, los avances en la aplicación de la complejidad a la educación deben sustentarse sobre la investigación desarrollada en las últimas décadas por los investigadores sobre la escuela y el proceso de enseñanza aprendizaje que se genera en ella. Todo nuevo paso en el conocimiento debe ser capaz de abrazar todo el conocimiento anterior e ir un poco más allá. Por ello, si la explicación de la realidad escolar olvida los análisis precedentes, correrá el riesgo de ser calificada de insustancial e intrascendente. No obstante, también debemos decirlo, existen los detractores de esta teoría, aduciendo que los sistemas complejos presentan unas características específicas que no se dan en los sistemas educativos y que si se admite que la educación presenta estos rasgos, deberíamos abandonar toda opción de control o de comprensión de esta realidad (Norman, 2011).

Freeman Dyson, uno de los creadores de la electrodinámica cuántica, propone una expresiva metáfora para explicar la situación de la ciencia de hoy. Afirma que las grandes teorías de la física, y desde nuestro entender también los logros de la

investigación sobre la escuela, son como los picos de las grandes montañas. Al explorar un país desconocido, al principio, el objetivo de los exploradores será llegar a las montañas más altas o al menos precisar su situación. Esas cumbres son simples, puras y claras. Pero luego, continúa diciendo, hay que explorar los valles entre ellas, las selvas y las ciudades donde se desarrollan complejos procesos en una diversidad explosiva de formas vivas y sistemas sociales. En la ciencia ocurre algo parecido.

Los estudios sobre la escuela tienen como objetivo descubrir esas nítidas cumbres que servirán de guía en la exploración de la complejidad. El descubrimiento de los factores que han demostrado estar asociados con el rendimiento o el progreso de los alumnos son un punto de partida, un escalón fruto del esfuerzo de innumerables entusiastas. Forman una plataforma cuya estructura puede no ser perfecta, que tiene defectos y grietas, pero es nuestra responsabilidad restaurarla para, a partir de ella, avanzar en la explicación de la complejidad en educación. Hemos avanzado mucho en el conocimiento de las montañas, nos falta explorar los valles, las ciudades y las selvas. Ciertamente, lo más interesante no está ya en los fenómenos simples que permiten detectar las grandes leyes, sino en los sistemas complejos que no se pueden investigar únicamente con métodos reduccionistas, pero sí apoyarse en los resultados obtenidos por éstos. Lo mismo que es necesario situar primero los grandes picos, para orientarnos con su referencia, es también preciso estudiar las grandes leyes, sin las cuales sería imposible no perderse en el mundo de la complejidad.

En suma, la teoría de la complejidad nunca ha pretendido comenzar de nuevo el edificio del conocimiento de la humanidad desde los cimientos, únicamente pretende ser una nueva metodología que se sustenta sobre todo lo que el ser humano ha sido capaz de crear hasta la actualidad. Y en esta línea nos brinda buenas y malas noticias para las ciencias sociales. Por un lado, si aceptamos que muchos sistemas sociales probablemente contienen significativos procesos complejos, el problema de la predicción u otras intervenciones como la optimización resultarán imposibles, ya que la más ligera alteración en las condiciones iniciales o de intervención puede provocar un cambio completo en el resultado final. Sin embargo, si estamos más interesados en explicar la existencia de tendencias o conductas en el sistema, la teoría de la complejidad claramente posee características de gran calado para entender, analizar y modelar las estructuras y los fenómenos complejos de la realidad (Martín, 2003; García Villalobos *et al.*, 2005; Gozávez, 2010).

Dirección para la correspondencia:

Arturo Galán. Departamento MIDE I. Facultad de Educación UNED. Calle Juan del Rosal, 14. 28040 Madrid (España).

Fecha de recepción de la versión definitiva de este artículo: 20. II. 2014.

Nota

[1] Este trabajo está dedicado a Juan Carlos Sánchez Melado, fallecido el 6/4/2010. Brillantísimo doctorando, físico y profesor, dedicó parte de sus trabajos en el Departamento MIDE I de la UNED al estudio de la complejidad y la dinámica de sis-

temas en educación. Antes de terminar sus estudios de doctorado, su destino nos apartó de su compañía. Descanse en paz.

TOS REGO, M. A. (coords.) *Avances en complejidad y educación: teoría y práctica* (Barcelona, Octaedro) pp. 17-34.

Bibliografía

BISHOP, R. (2009) Chaos. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Ver <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/chaos/> (Consultado 13. XI. 2013).

COROMOTO, I. (2004) El paradigma de la complejidad en la investigación social, *Educere*, 8:24, pp. 22-25.

BLOCH, D. (2005) Complexity, Chaos and Nonlinear Dynamics: A New Perspective on Career Development Theory, *The Career Development Quarterly*, 53:3, pp. 194-208.

ERWIN, S. y ERWIN, J. (2003) *Heuristic Methodology and New Science Studies*, Annual Meeting of the Chaos and Complexity Sciences Special Interest Group, April 21-25 (Chicago, IL).

CALVO, C. (2010) Complejidades educativas emergentes y caóticas, *Polis. Revista de la Universidad Bolivariana*, 9:25, pp. 87-100.

FLEENER, M. (1995) *Dissipative Structures and Educational Contexts: Transforming Schooling for 21st Century*, Annual Meeting of the American Educational Research Association. April 18-22 (San Francisco, CA).

CILLIERS, P. (1998) *Complexity and Postmodernism* (London, Routledge).

FERRER, V. (2006) De Penélope y Antígona y viceversa: los desaprendizajes del profesorado para la complejidad educativa, en GUILLAUMIN, A. y SANTOS REGO, M. A. (coords.) *Avances en complejidad y educación: teoría y práctica* (Barcelona, Octaedro) pp. 85-109.

CILLIERS, P. (2000) What can we learn from a theory of complexity?, *Emergence*, 2:1, pp. 23-33.

COLOM, A. J. (2001) Teoría del caos y educación (acerca de la reconceptualización del saber educativo), **revista española de pedagogía**, 218, pp. 5-24.

FOULQUIE, P. (1967) *Diccionario del Lenguaje Filosófico* (Barcelona, Labor).

COLOM, A. J. (2003) La educación en el contexto de la complejidad: la teoría del caos como paradigma educativo, *Revista de Educación*, 332, pp. 233-248.

GALAN, A. (2009) Una aproximación a la evaluación de la eficacia a través de la percepción de resultados por el profesorado, *Bordón. Revista de Pedagogía*, 61:4, pp. 21-38.

COLOM, A. J. (2005) Teoría del caos y práctica educativa, *Revista Galega do Ensino*, 47, pp. 1325-1343.

GARCIA VILLALOBOS, J. C., MATEOS S., CABO, R. y OLMEDO, E. (2005) De la linealidad a la complejidad: hacia un nuevo paradigma, *Cuadernos de Estudios Empresariales*, 15, pp. 73-92,

COLOM, A. (2006) Complejidad y teoría del caos en educación, en GUILLAUMIN, A. y SAN-

GIL CANTERO, F. (2011) Educación con teoría. Revisión pedagógica de las relaciones entre

- la teoría y la práctica educativa, *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 23:1, pp. 19-43.
- GELL-MANN, M. (1994) *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo* (Barcelona, Tusquets Editores).
- GOZALVEZ, V. (2010) Hacia una reconstrucción de la razón pedagógica, *Teoría de la Educación, Revista Interuniversitaria*, 22:2, pp. 19-42.
- HUDSON, C.H., (2000) At the Edge of Chaos: a new Paradigm for Social Work?, *Journal of Social Work Education*, 36:2, pp. 215-230.
- KIEL, L. D. y ELLIOTT, E. (eds.) (1997) *Chaos Theory in the Social Sciences. Foundations and Applications* (Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan Press).
- LAGEMANN, E. C. (2008) Comments on Bulterman-Bos: Education Research as a Distributed Activity across Universities, *Educational Researcher*, 37, 424-428.
- LOPEZ COBO, I. y GONZÁLEZ BRITO, A. I. (2012) Incidencia de RINACE en el desarrollo de la investigación sobre eficacia escolar en América Latina, *RINACE*, 10:3, pp. 153-164.
- LÓPEZ-GONZALEZ, E., GONZÁLEZ-SUCH, J. y LIZASOAIN, L. (2012) Explicación del rendimiento a partir del contexto. Algunas propuestas de análisis gráfico y estadístico, *Bordón, Revista de Pedagogía*, 64:2, pp. 127-149.
- MADRID CASADO, C. M. (2010) Historia de la teoría del caos contada para escépticos. Cuestiones de génesis y estructura, *Encuentros multidisciplinares*, 34, pp. 2-15.
- MARTÍN, M. A. (2003) Caos y fractales, *Ars Médica. Revista de Humanidades*, 1, pp. 68-79.
- MARTÍNEZ, F., ORTIZ, E., GONZÁLEZ, A. y BRITO, H. (2009) Antecedentes, iniciadores y fundamentos de los estudios de la complejidad, *Quórum Académico*, 6:1, pp. 19-120.
- MATA, P. y BALLESTEROS, B. (2012) Diversidad cultural, eficacia escolar y mejora de la escuela: encuentros y desencuentros, *Revista de Educación*, 358, pp. 17-37.
- MORIN, E. (1994) *Introducción al pensamiento complejo* (Barcelona, Gedisa).
- MORIN, E. (2003) *Educación en la era planetaria* (Barcelona, Gedisa).
- MORIN, E. (2004) La epistemología de la complejidad, *Gazeta de Antropología*, 20, Ver http://www.ugr.es/~pwlac/G20_02Edgar_Morin.pdf (Consultado el 25. 10. 2013).
- MORIN, E. (2007) Complejidad restringida, complejidad general, *Sostenible*, 9, pp. 23-49.
- MURILLO, F. J. (2005) *Investigación sobre eficacia escolar* (Barcelona, Octaedro).
- MURILLO, F. J. y HERNÁNDEZ-CASTILLA, R. (2011) Factores escolares asociados al desarrollo socio-afectivo en Iberoamérica, *Relieve*, 17:2. http://www.uv.es/RELIEVE/v17n2/RELIEVEv17n2_2.htm
- NAVARRO, J. y QUIJANO, S. D. (2003) Dinámica no lineal en la motivación en el trabajo: propuesta de un modelo y resultados preliminares, *Psicothema*, 14:4, pp. 643-649.

- NORMAN, G. (2011) Chaos, Complexity and Complicadness: Lesson form a Rocket Science, *Medical Education Review*, 45, pp. 549-559.
- OCHOA, O. (2006) Apuntes para una educación universitaria del siglo XXI desde la perspectiva del pensamiento complejo, en GUILLAU-MIN, A. y SANTOS REGO, M. A. (coords.) *Avances en complejidad y educación: teoría y práctica* (Barcelona, Octaedro), pp. 57-84.
- OEKERMAN, C. (1997) *Facilitating and Learning at the Edge of Chaos: Expanding the Context of Experimental Education*, Anual AEE International Conference Proceedings.
- PECORA, L.M., CARROLL, T.L., JOHNSON, G. A., MAR, D.J. y HEAGY, J.F. (1997) Fundamentals of Synchronization in Chaotic Systems, Concepts and Applications, *Chaos*, 7, dx.doi.org/10.1063/1.166278
- PRYOR, R. y BRIGHT, J. (2011) *The Chaos Theory of Careers. A new Perspective on Working in the Twenty First Century* (New York, Routledge).
- RADFORD, M. (2006) Researching Classrooms: Complexity and Chaos, *British Educational Research Journal*, 32:2, pp. 177-190.
- ROCHEX, J. V. (2006) Social, Methodological, Theoretical Issues regarding Assessment. Lessons from a Secondary Analysis of PISA 2000 Literacy Test, *Review of Research in Education*, 30:1, pp. 163-212.
- ROMERO, C. (2003) Paradigma de la complejidad, modelos científicos y conocimiento pedagógico, *Agora Digital*, 6, Ver http://www.uhu.es/agora/version01/digital/numeros/06/06-articulos/monografico/pdf_6/clara_romero.pdf (Consultado el 4. XI. 2013).
- RUBIO ROYO, E. (2011) La brecha de la complejidad: perfil del aprendiz como propuesta de adecuación personal al nuevo entorno vital, expandido y complejo, *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 187 - Extra 3 - doi: 10.3989/arbtor.2011.Extra-3n3126.
- SOLÉ, R. V., BASCOMPTE, J., DELGADO, J., LUQUE, B. y MANRUBIA, S. C. (1996) Complejidad en la frontera del caos, *Investigación y Ciencia*, 236, pp. 14-21.
- SIERRA, G. y SIERRA, G. (2006) Neurociencias y complejidad del aprendizaje humano, en GUILLAU-MIN, A. y SANTOS REGO, M. A. (coords.) *Avances en complejidad y educación: teoría y práctica* (Barcelona, Octaedro), pp. 35-55.
- SNELL, J. (2009) Chaos Theory and Post modernism, *Education*, 130:2, pp. 274-276.
- TOWNSEND, T. (ed.) (2007) *International Handbook of School Effectiveness and Improvement* (Dordrecht, Springer).
- TOURINÁN, J. M. y SÁEZ, R. (2012) *Teoría de la Educación, metodología y focalizaciones. La mirada pedagógica* (A Coruña, NetBiblo).
- TSOUKAS, H. (1998) Introduction: Chaos, Complexity and Organisation Theory, *Organisation*, 5:3, pp. 19-33.
- VIDONI, D. y NOTARBARTOLO, D. (2004) *Una scuola che funziona* (Roma, Armando Editore).
- WARREN, K. (2013) Chaos Theory and Complexity, *Encyclopaedia of Social Work*, National Association of Social Workers Press and Oxford University Press. Ver <http://socialwork.oxfordre.com/view/10.1093/acrefore/9780199975839.001.0001/acrefore>

re-9780199975839-e-45?rsk= YVnQAO&result=9 (Consultado el 20. XII. 2013).

WEICHHART, G. (2013) The Learning Environment as a Chaotic and Complex Adaptive System, *Systems*, 1:1, pp. 36-53.

WRIGLEY, T. (2004) School Effectiveness, The Problem of Reductionism, *British Educational Research Journal*, 30:2, pp. 227-244.

Resumen: Repensar la investigación educativa: de las relaciones lineales al paradigma de la complejidad

La investigación educativa de las últimas décadas se ha caracterizado por un excesivo énfasis empirista basado en las relaciones lineales causa-efecto entre variables. Reconociendo los importantes avances que ha supuesto la investigación empírica sobre la calidad de la escuela, surge el interrogante de si puede evaluarse y mejorarse verdaderamente su calidad sin atender a su complejidad intrínseca y contextual. Para responder esta pregunta se confronta investigación sobre eficacia escolar con la concepción más holista procedente del paradigma de la complejidad y la teoría del caos. Así, el análisis del significado de la complejidad nos lleva a defender que la naturaleza de la escuela no es analítica, estable y ordenada, sino sistémica, dinámica y cambiante, por lo que requiere de una nueva narrativa que nos enseñe a leer y comprender los caminos que se recorren entre el orden y el desorden en cada proceso educativo. Los avances técnicos en simulación informática posibilitan ya al investigador social

pasar de la metáfora subjetiva al uso de una metodología de modelos sistémicos no lineales que permiten una interesante experimentación de los efectos dinámicos entre variables, incluyendo factores decisivos como el tiempo.

Descriptores: Complejidad, teoría del caos, escuela, eficacia, mejora, investigación.

Summary: Rethinking educational research: from linear relationships to the complexity paradigm

Educational research in recent decades has been characterized by an excessive emphasis on empiricism based on linear cause-effect relationships between variables. Recognizing the significant progress that empirical research has brought on school quality, the question arises whether its quality can truly be assessed and improved without regard to its intrinsic and contextual complexity. To answer this question research on school effectiveness is compared with the more holistic conception from the paradigm of complexity and chaos theory. Thus, the analysis of the meaning of complexity leads us to argue that the nature of the school is not analytic, stable and orderly, but systemic, dynamic and changing; so it requires a new narrative that teaches us to read and understand the roads that run between order and disorder in each educational process. Technical advances in computer simulation allow social researchers to move from the subjective metaphor to the use of a methodology of nonlinear systemic models that allows an

interesting experiment of dynamic effects between variables, including key factors such as time.

Key Words: Complexity, chaos theory, school effectiveness, excellence in education, research.