

El pensamiento complejo y los enfoques interdisciplinarios

Mauro Montealegre Cárdenas¹

Luis Arturo Polanía Q.²

Gustavo Londoño B.³

Jasmidt Vera Cuenca⁴

*«Salvo que no hay azar, salvo que lo que llamamos
azar es nuestra ignorancia de la compleja maquinaria de la casualidad»*

Jorge Luis Borges

Palabras Claves: Teoría de la Complejidad, Teoría General de los Sistemas, Caos, teorías Cognitivas, No - linealidad, no - Trivialidad.

Las ideas sistematizadas en este artículo fueron logradas dentro del proyecto Colciencias-USCO denominado "Bifurcaciones Homoclínicas de los Sistemas Dinámicos Continuos y sus Aplicaciones". Los autores exploran diversos aspectos de la teoría de la complejidad: no - linealidad, no - trivialidad, lógicas no bivalentes, caos y sus interrelaciones interdisciplinarias evidenciadas en los procesos investigativos y de los aprendizajes. De otro lado, proponen estrategias a ser implementadas en el Sistema Educativo Colombiano.

I. Contextualización.

Las conceptos a los cuales nos vamos a referir provienen de investigaciones interdisciplinarias inicialmente realizadas en el campo de las ciencias básicas: Biología, Química, Matemáticas, Física. De otro lado es conocido que las problemáticas socio-económicas tienen "más complejidad" que las de las Ciencias Naturales, y éstas que las de las

¹ Decano Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Surcolombiana. Doctor en Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional.

² Magister en Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional. Profesor Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Surcolombiana.

³ Magister en Matemáticas. Profesor Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Surcolombiana.

⁴ Licenciada en Matemáticas y Física. Estudiante Especialización en Educación Matemática con Aplicación en Sistemas Dinámicos.

Ciencias Formales, y que sus respectivas fronteras son cada vez más difusas; también es usual que el tratamiento de sus respectivos conocimientos tienen el sello del reduccionismo determinístico como única opción. Pero los saberes interdisciplinarios que han logrado las ciencias en la última década, y las interrelaciones internas y externas en sus **sistemas** particulares, evidencian la necesidad cognitiva de adentrarnos en lo que llamamos "las leyes de la incertidumbre", e inclusive la necesidad de explorar sus interrelaciones con el determinismo a través de la Ciencia del Caos. Aún más, por evidencias de los recientes avances tecnológicos somos conscientes de que "pequeñas causas pueden explicar grandes efectos", y en consecuencia, lo que creemos guarda proporciones simples, en el sentido usual de la expresión, esconde otras relaciones que por diversos métodos de prueba han mostrado ser relevantes. Con frecuencia subvaloramos la **no-linealidad** inherente a tales procesos.

Los aportes conceptuales de finales del siglo XX tienen mucho que decir. La prensa mundial registró en 1988 la publicación del libro "CHAOS", obra del reportero en ciencias James Gleik [1], como un estudio con la visión global de la evolución sistémica y del cómo afrontar el conocimiento de los procesos integrados desde las diferentes disciplinas: Ciencias Sociales, Naturales y Tecnológicas. La idea consiste en considerar el caos, que es mucho más frecuente de lo que se cree, como **la dialogía entre orden y desorden**. El autor mencionado, junto con una pléyade de investigadores de diversas universidades de países interesados en darle un papel relevante al desarrollo científico y tecnológico, han generado recientemente resultados sobre la Teoría Sistémica de la Complejidad, los cuales están publicados en revistas especializadas, como "International Journal of Bifurcations and Chaos", "Nonlinear Dynamics, Psychology and life Science", y múltiples libros de texto aplicados a las Ciencias de las Ingenierías, Ciencias Económicas, Ciencias de la Educación y Ciencias Biológicas.

Es sorprendente que "el Mapeo de Bernoulli" [13] , que se realiza a través de iteraciones con la función

$$X_{n+1} = 2X_n \pmod{1},$$

cuya gráfica se muestra en las figuras 1a) y 1b), es la representación simbólica básica del Caos, como expresión formal de lo que acontece en los fenómenos de las Ciencias Naturales (Física, Química, Biología, Geología) o en las Ciencias Sociales (Economía, Sociología, entre otras), o las Ciencias Formales como las Matemáticas y la Lingüística.

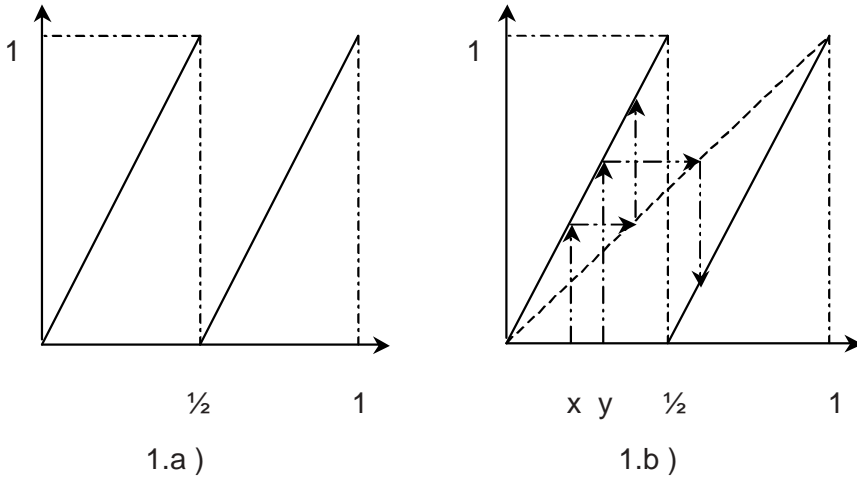


Figura 1

En efecto, es fácil mostrar que los puntos x , y cercanos en el dominio de la función, con el tiempo tendrán historias lejanas o muy separadas (se sugiere usar representaciones binarias).

En la fenomenología social pequeñas variaciones pueden producir resultados **cualitativamente muy diferentes**. En el contexto de las Ciencias Económicas, un dígito más en inversión en un sector estratégico de la economía de un país puede provocar su crecimiento y progreso sostenido que diez dígitos más de inversión en un sector de efectos secundarios, Keynes lo sabía muy bien; o por analogía, en el contexto de las Ciencias Naturales, el aumento mínimo de la temperatura en el Pacífico sur del continente Americano, provoca todas las implicaciones que ya conocemos del "Fenómeno del niño"; o en el contexto educativo, el poco énfasis en aspectos fundamentales de la formación del ser humano, por ejemplo, el no promover las competencias de contextualizar los aprendizajes, puede producir bajos niveles educativos, con el agravante que estas condiciones se puedan multiplicar no-linealmente para las generaciones siguientes.

Es cuestión de enfoque. El tratamiento sólo centrado en el dato o el número, como medida referente a una problemática de investigación o de aprendizaje, tal como se trata con frecuencia en las Ciencias Naturales y en las Matemáticas, es notoriamente deficiente; por el contrario, el énfasis en operar con los procesos, y medir los parámetros, involucra conocimiento intrínsecamente válido, dado que se respeta la naturaleza de sus tendencias. Conviene profundizar más en el conocer sistémicamente, las cualidades relevantes a través de estrategias que observen la no-linealidad como característica importante de los problemas, sean estos socio-económicos, naturales o también de las

Ciencias Formales, porque los problemas de investigación buscan describir con el mejor nivel posible los diversos grados de complejidad de sistemas y sus estructuras funcionales.

Lo que se gana con operar a partir de una **visión sistémica** es ver, por ejemplo, la Ecología [2] como una Economía macro en tiempos más largos; la Sociología como la Biología Social [12]; la Simulación Matemática como una Química de tiempos cortos y en posición límite [3]. Y como ya lo mencionamos arriba, en sus contextos diversos, "las problemáticas del conocer son complejas y generan intuiciones diversas"; es posible que la transferencia interdisciplinaria a través de métodos comunes, más en esta época en la cual mediante el desarrollo acelerado de los sistemas computacionales, conseguimos "ver" de alguna manera resultados que "a mano" era imposible reconocer hace una década: evidenciar que la complejidad y la promoción de la intuición no se contradicen, dado que los resultados relevantes de los conocimientos y sus investigaciones tienen siempre la factibilidad de ser expresados con descripciones no-triviales y sencillas, y por ello aceptables por sus respectivas comunidades académicas y los beneficiados con estos enfoques.

Las explicaciones a las problemáticas de las Ciencias Sociales, Naturales o Formales, han reconocido otras fuentes, además de las racionalmente aceptadas de la bivalencia o de la simple justificación causa - efecto. La búsqueda de "conocer el conocer", de explicar cómo funciona el cerebro y su mente, o del qué o cuáles son las acciones cognitivas que tienen como modelo los sistemas neuronales o los sistemas inmunológicos, han construido otras lógicas más correlacionadas con la vida. En este sentido, frente a la disyunción entre un "Sí" o un "No", está una curva construida entre estos dos polos, como lo reconoce la **lógica borrosa** (Fuzzy Logic), la cual es compatible con los sistemas neuronales para la identificación, decisión, y aprendizaje; también en las ciencias cuyo objeto es conocer el comportamiento humano, o el de las organizaciones, la lógica de la percepción o **lógica fluída**, tiene su campo de acción natural para explicar el por qué de determinadas conductas. Estas otras maneras de explicar, no contradicen la lógica aristotélica, pero sí la complementan desde otras visiones necesarias y que el conocimiento humano ha desarrollado a partir del conocerse a sí mismo a través de las descripciones posibles de su propia naturaleza. Las ciencias cognitivas, o biología de la cognición, son un resultado de estos esfuerzos [9]. Es la unidad en la diversidad cognitiva, ilustrada en la figura 2a), y que por el crecimiento hacia otras dimensiones que genera el cerebro humano, se convierte en la visión 2b).

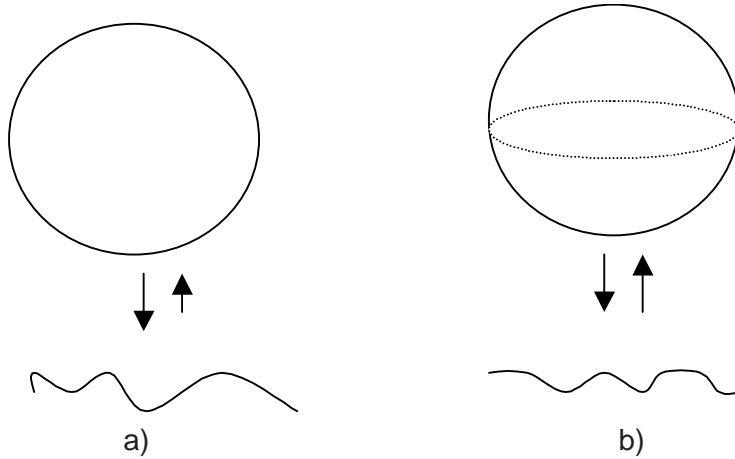


Figura 2.

Este crecimiento se debe, sin lugar a dudas, a que la tarea del conocimiento es la no-trivialidad, en otras palabras, es reconocer que los estados internos en los sistemas alteran el esquema simple de entrada - salida. Porque lo de interés está en destrivializar. De alguna manera nos estamos refiriendo al aforismo de que "las grandes ideas son sencillamente ingeniosas", que en el contexto educativo se traduce en formar **mediante la formulación y tratamiento a preguntas** [6], en los procesos de aprender a conocer, aprender a aprender, aprender a hacer, aprender a ser. Como se propone en [7], los procesos no-triviales que generan conocimiento significativo tienen la forma de la figura 3.

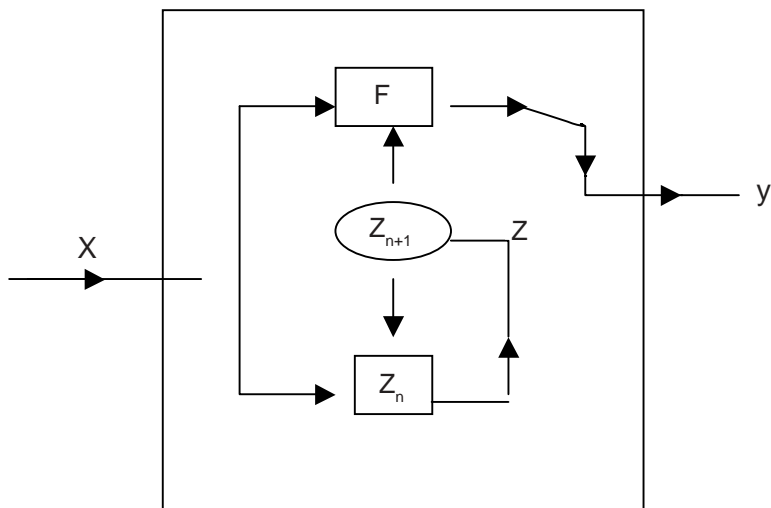


Figura 3

Los procesos no-triviales se caracterizan por tener una función de transición de estados

$$Z_{n+1} = Z(X, Z_n),$$

y la función matriz, o la función de salida,

$$Y = F(X, Z_{n+1}).$$

Y como en los procesos interesantes los estados internos de los sistemas son imprevisibles, muy probablemente inciertos, seguramente Z_{n+1} es no-lineal, o como lo escriben los matemáticos,

$$Z = A + G$$

donde A es una matriz y G es no matricial. De otro lado, frecuentemente la lógica interna seguramente no es la bivalente.

Según los planteamientos de arriba, **"la dificultad implícita en la definición del concepto de complejidad"** [2] está en su definición, la cual se está construyendo en los albores de este nuevo siglo en forma interdisciplinaria, y tiene formulaciones como:

- ✓ un todo hecho de elementos diferentes con tejidos en conjunto;
- ✓ la numérica, relacionada con el número de bits usado en definiciones mínimas y completas;
- ✓ las combinaciones mínimas de bloques constitutivos diferentes;
- ✓ el reconocimiento de trazos genéricos del azar en el mismo determinismo;
- ✓ en particular, la que se refiere a los procesos de la cognición, que reconoce interrelaciones significativas en la percepción en sus dimensiones dadas por el lenguaje, la inferencia y la acción. Como lo propone F. Varela en [10], según el esquema de la figura 4.

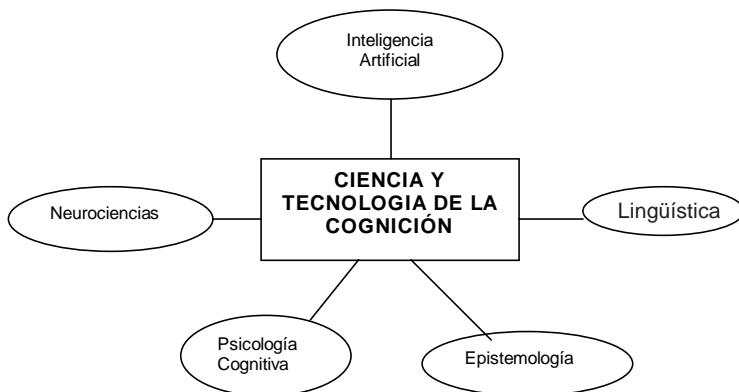


Figura 4

Como la realidad es sistémica [4], **el todo es más que la suma de las partes**, y compleja **por sus múltiples interrelaciones** en el espacio tridimensional ético-cultural, económico-social, y científico-tecnológico, entonces, para tratar con los problemas de aprendizaje y de investigación, desde los que corresponden al sentido común hasta los del nivel conceptual, es indispensable la exploración de métodos y enfoques coherentes con esa realidad, sobre todo si queremos tener una idea global y a la vez singular de las estructuras subyacentes. Por ello son relevantes los enfoques sistémicos de la Teoría de la Complejidad aplicados a los problemas socio-económicos, de las ciencias naturales o ciencias formales como la matemática o la lingüística.

II. Aportes del enfoque sistémico de la teoría de la complejidad a los procesos investigativos.

1. Reconocer en el **comportamiento humano**, el ser individuo-sociedad-especie, la base del actuar y el conocer [9]. Se precisan descripciones del sujeto sobre sí mismo, es decir, autoreferencias, sea este el sujeto individual o colectivo, porque "lo dicho es dicho en alguien".
2. Los **lenguajes formales**, con sus semánticas y lógicas contextualizadas, como los códigos, el lenguaje de las matemáticas y de los computadores [5], son factores relevantes en el proceso de producción de conocimiento y desarrollo científico-tecnológico.
3. Destacar la **no-trivialidad** como el fundamento del conocer [7], dado que el problema es "no-conocer porque no conocemos" como referente de segundo nivel. Por eso confrontar diversas visiones alternativas sobre las leyes internas de los sistemas, en la formulación del problema de investigación, es una fase importante de estos procesos.
4. En los posibles contextos las relaciones **No-Lineales** [13] son el motivo esencial para la generación de diversos escenarios en donde se desarrollan los conocimientos subyacentes. En consecuencia son necesarios esquemas circulares y de retroalimentación [12].
5. Más que **programas**, los proyectos de investigación deben disponer de diversidad de **estrategias** que respondan a las circunstancias cambiantes de la acción, a su incertidumbre natural, las cuales podríamos llamar de acción ecológica porque en la generalidad se refieren a la vida individual y social.
6. Importancia de las descripciones como **flujos** de la evolución de los fenómenos [3]. Estudiar sus equilibrios y su estabilidad, sus ciclos y su estabilidad, o soluciones que en la expresión global posiblemente generan caos, y por ello creación de oportunidades en el sistema.
7. Explora las interrelaciones espacio-temporales del sistema en

cuestión usando solidariamente métodos **cualitativos y cuantitativos** [4], en lo macro y en lo micro.

8. Explorar a través de la Dinámica del Sistema [11], los **Sistemas Dinámicos** que subyacen. Los modelos de redes neuronales, de autómatas finitos, también son buenos instrumentos de esta exploración.

III. Aportes del enfoque sistémico de la teoría de la complejidad a las actividades interdisciplinarias.

1. Las "**analogías contextualizadas**" en diversos campos de la actividad del conocer y del hacer. Por eso hemos identificado, por ejemplo, los procesos de la Economía con los procesos de la Ecología, dado que la diferencia está en la duración de los tiempos y no en la forma de los procesos [8].
2. La extrapolación a diversas opciones de experimentación con base en diversos **modelos conceptuales de carácter holístico**. Así el modelo de un fluido puede asimilarse a procesos de la economía, el modelo de defensa de un organismo al de los procesos de aprendizaje y también aplicables a la inteligencia artificial [5].
3. En el contexto educativo, el enfoque sistémico contribuye a descubrir '**el aprender a aprender, aprender a conocer, aprender a hacer**', sobre todo en concebir el aprendizaje como des-equilibración de los modelos mentales, en la búsqueda recurrente de equilibrios. El enfoque sistémico de la Teoría de La Complejidad aporta elementos como el trabajo pedagógico en contextos; la pregunta sobre la pregunta pertinente y la evaluación cualitativa que involucra el cerebro y su mente como un todo, y destaca las manifestaciones emocionales como principio de aprendizajes [10]. Lo fundamental es generar compromisos con los aprendizajes, que **el ser individuo - sociedad- especie** desarrolle integralmente su vida.
4. En las **ciencias de las organizaciones**, referentes a una empresa, sea esta una escuela o una región, se resaltan las influencias, acciones y retracciones, que catalizan compromisos para conseguir logros que las engrandezcan. Se reconoce la auto-eco-organización más que la jerarquización, fundada en el crecimiento de las organizaciones con el individuo, éste competente y comprometido [12]. Por ejemplo, las redes fluidas [5] provenientes del contexto de la biología, aplicadas al trabajo humano, permiten reconocer la diversidad de posibilidades comportamentales y la generación de creatividad.
5. El diálogo sistémico entre saberes, con su visión connatural no-lineal, y sus tecnologías, hacen posible describir dinámicamente las soluciones y el planteamiento de preguntas con mayor nivel de pertinencia y pertenencia. No tiene sentido separar artificialmente

las disciplinas del conocimiento universal en el proceso de conocer, lo que se debe tener claro son las **ideas centrales y sus dinámicas**. No es cuestión de buscar fórmulas reduccionistas sino de fomentar el conocimiento de procesos contextualizados.

Como consecuencia de los anteriores planteamientos, es de esperarse que las universidades y el sistema educativo en general, tengan que reevaluar sus currículos para involucrar mínimamente en las investigaciones los siguientes aspectos :

- ✓ **Sensibilidad de las condiciones iniciales** (la creatividad de la incertidumbre),
- ✓ La relación **sistémica entre los aspectos locales y globales** (relaciones entre los microcontextos),
- ✓ Alta probabilidad de entrar en **soluciones recurrentes**, sólo discriminables mediante métodos cualitativos o geométricos (tal como sucede frecuentemente en la economía o en los sistemas biológicos o mecánicos).

IV. Aportes operativos para la prospección de la Universidad Surcolombiana.

1. Desde el punto de vista de la convivencia, promover la generación de propuestas globales, que trasversen a todas las unidades académicas, pensando a largo plazo e involucrando estrategias creativas y examinadas permanentemente, para tratar las incertidumbres conaturales a la vida de la Universidad. Así servirle a la sociedad mostrando índices cualitativos y cuantitativos más satisfactorios a sus necesidades educativas.
2. Desde la óptica de los currículos,
 - ✓ Hacer los currículos multi-opcionales para los estudiantes, de tal manera que se aprovechen mejor los recursos humanos, financieros y materiales. Así los currículos se agrupan con un 60% en común, por ejemplo. En este sentido hay que unificar el personal docente en **departamentos disciplinares**, pues el tratamiento aislado de los saberes no es conatural con la evolución y las tendencias del desarrollo de las ciencias; en consecuencia, toda vinculación de personal se hace para fortalecer áreas del conocimiento en todos los aspectos investigativos, curriculares y de extensión, y no para orientar una asignatura como se hace actualmente.
 - ✓ Erradicar definitivamente la **instrucción memorística**, convirtiendo los aprendizajes en procesos constructivos que recurran a la evolución y la proyección actualizada de los

conceptos, pensar más en los valores "eigen", o valores intrínsecos de los campos conceptuales, en este sentido, más que cantidad, la preocupación debe ser la forma cualitativa.

- ✓ Integrar operativamente en cada currículo el cómo se conoce, el cómo se aprende y el cómo se hace.
 - ✓ Establecer conexiones interdisciplinarias concretas a través de los núcleos institucional, núcleos de Facultades y núcleos de formación para la investigación. Es recomendable realizar los niveles avanzados de los respectivos currículos a través de la metodología de los **seminarios** abiertos y un sistema de pasantías. A nivel de maestrías, integrar proyectos conjuntos con diversas universidades del país o del exterior.
 - ✓ Promover un sistema de evaluación cualitativa.
 - ✓ Divulgar abiertamente cursos interdisciplinarios (valen para las Ciencias Económicas, Ciencias de la Ingeniería y de la Salud) correspondientes a recientes desarrollos del quehacer científico-tecnológico, como teorías cognitivas, Teoría General de los Sistemas, Teoría de la Complejidad, Planeamiento Estratégico, Sistemas Dinámicos Caóticos, Biología Molecular, Programación Genética, Dinámica de Sistemas, Lógica Borrosa, Lógica Fluida, Redes Neuronales y Automatas Celulares. Una estrategia podría ser integrarlos a través de un seminario de aplicaciones.
3. Dada la escasez de recursos financieros y la proyección global a largo plazo, hay que preferir las inversiones para construcción hacia:
- ✓ Un número suficiente de aulas multimediales
 - ✓ Laboratorios modernos de ciencias básicas para prácticas directas o simuladas
 - ✓ Salas de computación con servidores multiusuarios
 - ✓ Modernización de los centros de documentación.

El propósito es contribuir significativamente a la formación de un número mayor de estudiantes con los parámetros propios de esta época.

Bibliografía

- [1] James Gleik, "Chaos", 1998 , Springer - Verlag.
- [2] W. Kenneth Hamlin and Eric H. Christiansen, "Earth`s Dynamic Systems", 1998, Prentice Hall.
- [3] A.B Cambel "Aplied Chaos Theory a paradigm for Complexity", 1997, Academic Press.
- [4] Joseph O'Connor and Iam Mc Dermott, "Introducción al pensamiento sistémico", 1997, Urano Editorial.
- [5] Edward De Bono, "lógica fluida, una alternativa a la lógica tradicional", 1998, Paidos textos.
- [6] www.brain.com
- [7] Heinz Von Foerster, "Las semillas de la Cibernética", 1996, Gedisa Editorial.
- [8] What is Complexity? Laura González - Guzmán and Peter T. Hraber, seminar In Ecological Complexity, Department of Biología, University of New Mexico. 1999 Internet.
- [9] Humberto Maturana y Francisco F. Varela, "El árbol del conocimiento", 1996 Editorial Universitaria Club .
- [10] Francisco F. Varela, "Conocer, ciencias cognitivas tendencias y perspectivas", 1998, Editorial Gedisa.
- [11] Isaac Dyer R., "Dinámica de Sistemas y simulación continua en el proceso de planificación", Colciencias 1993[12]
- [12] Edgar Morin, "El Método", 1997 Editorial Gedisa .
- [13] Robert L. Devaney, "An Introduction to Chaotic Dynamical Systems", 1995 Editorial Addison Wesley.
- [14] Revista "Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Siences", 1999 Human Sciences Press Inc.
- [15] Proyecto "Bifurcaciones Homoclínicas y Aplicaciones", Universidad Surcolombiana y Colciencias.
- [16] Edgar Morin, "Los Siete Saberes para la Educación del futuro", Unesco 1999.
- [17] Heinz Von Foerster, "Sistémica Elemental", Fondo Editorial de la Universidad Eafit, Medellín, 1998.
- [18] Varias tesis de grado del Programa de Especialización en Educación Matemática con énfasis en las aplicaciones de los Sistemas Dinámicos, Universidad Surcolombiana, Neiva 1999.