



MINISTERIO DE EDUCACIÓN

DINFOCAD/UCAD

DINESST/UDCREES

PLANCAD
SECUNDARIA 2000

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y AMBIENTE



Fascículo Autoinstructivo

4.8

ENTRE EL CAOS Y EL COSMOS...
espacio donde florece la vida

Producción y Publicación:
MINISTERIO DE EDUCACIÓN
DINFOCAD/UCAD/PLANCAD
Van de Velde 160 San Borja
Lima.

Autoría:
UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
Facultad de Educación

Equipo de Trabajo:
Alina Gómez Loarte
Luis Huamán Mesía
Carmen Lauro Guzmán
César Quiróz Peralta
Daniel Quineche Meza
César Serra Guerra

**Corrección de Estilo y
Diagramación:**
Miguel Incio Barandiarán

Revisión de textos:
PLANCAD:
Jorge Jhoncon Kooyip
UDCREES:
Elizabeth Quinteros Hajar

Índice

I.	Conceptos introductorios	1
1.1	Conceptualización de Sistema	1
II.	Teoría del Caos	3
2.1	Conceptualización del Caos	3
2.2	Fractales	7
2.3	Aplicaciones de los fractales	9
III.	Sistemas complejos	11
3.1	Conceptualización de los sistemas complejos	11
3.2	Sistemas Complejos Adaptativos	11
3.3	Propiedades de los Sistemas Complejos Adaptativos	11
IV.	La vida como un sistema complejo adaptativo en evolución	13
4.1	El fenómeno vida	13
4.2	El fenómeno de la diversidad biológica	14
4.3	La trama de la vida	15
V.	La complejidad del conocimiento y el avance de la ciencia	16
5.1	En el aspecto de desarrollo intelectual	16
5.2	En el aspecto del avance científico y tecnológico	17
VI.	La educación, un sistema complejo adaptativo: estructuralismo y constructivismo	19
6.1	Concepción de la educación	19
6.2	Elementos de un sistema educativo	19
6.3	Educación ambiental	23
VII.	El ambiente: un sistema complejo adaptativo	24
7.1	Conceptualización holista y sistémica del Ambiente	24
7.2	Dinámica ambiental	25
	Glosario	28
	Bibliografía	30

I. CONCEPTOS INTRODUCTORIOS

Unas preguntas a manera de introducción:

1. *¿Qué significado tiene el concepto de sistema para explicarnos como funcionan el mundo, la vida, el universo?*
2. *¿Cómo se contraponen en nuestro lenguaje corriente los conceptos de caos y de orden?*
3. *¿Qué significado puede tener en nuestra visión profesional, el afirmar que la vida, el ambiente y la educación son sistemas complejos adaptativos?*
4. *¿Qué relación puede establecerse entre la complejidad de la naturaleza y la complejidad de la inteligencia humana para interpretarla y crear ciencia y tecnología?*
5. *¿Qué significado tiene el concepto de sistema para explicarnos como funcionan el mundo, la vida, el universo?*

Puedes ensayar a contestar imaginariamente estas preguntas, esto es, solamente pensando en ellas o, alternativamente, por escrito, anotándolas en tu cuaderno de notas. Las posibles respuestas, sin embargo, las iremos dilucidando en el transcurso de la lectura y del trabajo con el contenido de este fascículo y tendrás entonces la oportunidad de contrastar tu pensamiento o lo que escribiste con lo que vaya saliendo en el curso del análisis que hagas del material que contiene este documento.

1.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE SISTEMA

Comencemos por la última pregunta: *¿Qué significado tiene el concepto de sistema para explicarnos como funcionan el mundo, la vida, el universo?*

La concepción generalmente aceptada de sistema, implica un conjunto de elementos interrelacionados de manera que constituyen un todo o una unidad. Esta concepción, sin embargo, nos da una imagen estática de sistema, al no tomar en cuenta que los sistemas, ya sea naturales o sociales, son dinámicos. Víctor Afanasiev, tomando e introduciendo algunas modificaciones a una definición enunciada por Von Berthalanffy, ha definido el *concepto de sistema* como:

«un conjunto de elementos interactuantes, cuya interacción produce cualidades integradoras nuevas no inherentes a los elementos constitutivos originales».

Como puedes ver, el énfasis central del concepto considera prioritariamente las interrelaciones que se establecen o pueden establecerse en su seno, antes que el análisis aislado de sus componentes o los resultados de las interacciones entre éstos. Este

concepto también está resumido en la conocida sentencia: «El todo es mayor que la suma de sus partes».

En otras palabras, el elemento esencial del concepto, lo que caracteriza realmente a un sistema es **el dinamismo de las interrelaciones** entre sus diferentes componentes, antes que ellos mismos. Aún más, es importante hacer notar que la situación definida por el sistema no es el resultado de cada uno de sus factores, actuando independientemente, sino el resultado de sus mutuas interacciones.

Una clasificación simple y general de los sistemas, desde las funciones termodinámica, estructural y de predecibilidad, se expone en el cuadro N° 1, en el que también se incluyen de manera general las principales características de cualquier sistema natural o social. Una clasificación y las características de los sistemas en detalle, pueden ser encontrados en cualquier tratado de física, de ciencias sociales o de filosofía sobre el tema.

Cuadro N° 1. **CLASES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS NATURALES**

FUNCIÓN	CLASES	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Termodinámica	Abiertos	Libre flujo de energía intra y extra sistémico. Energía disipada al exterior como calor y luz.	<p>En general, todos los sistemas, naturales y sociales, tienen como características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento predecible (1) • Sensibilidad a las condiciones iniciales • Equilibrio dinámico
	Cerrados	Circulación intrasistémica de la energía; no se disipa nada fuera del sistema.	
Estructura	Simples	Constituidos por un número finito y pequeño de elementos.	
	Complejos	Generalmente con un número muy grande o infinito de elementos, que a su vez pueden constituir sistemas simples en interacción.	
Predecibilidad	Lineares	Sujetos a leyes naturales precisas. Tienen un comportamiento perfectamente predecible y anticipable.	
	No lineares	Aunque sujetos a leyes naturales precisas, muestran un comportamiento, generalmente impredecible y no anticipable	

Nota: (1) El comportamiento de los sistemas complejos caóticos, no lineares, es, generalmente, impredecible.

AUTOEVALUACIÓN N° 1

1. Además de los ejemplos citados en este documento, ¿Qué otros ejemplos de sistema puedes citar? Haz una lista de los sistemas que le son familiares.
2. ¿Cuáles de esos sistemas le parecen que son sencillos, lineares y predecibles?
3. ¿Cuáles de los sistemas que ha listado le parecen complejos y adaptativos? Identifique las características que los hacen aparecer complejos.
4. Es lo mismo un sistema complejo que un sistema complicado? ¿Podría citar ejemplos de cada uno?

II. TEORÍA DEL CAOS

2.1. CONCEPTUALIZACIÓN DEL CAOS

En la primitiva cosmología griega, el término se refería más bien al vacío primigenio del universo, antes de que las cosas empezaran a existir, o al abismo del mundo subterráneo de *Tartarus*. Este concepto se vincula con la noción temprana que vio en el *Caos*, la oscuridad del mundo subterráneo, engendradora del mal, de la enfermedad, de la muerte, de la oscuridad.

En cosmologías posteriores, la voz *Caos* designaba, generalmente, el desordenado estado original de las cosas; de alguna manera concebidas. El significado moderno de la palabra se deriva del poeta romano *Publio Ovidio Naso* (43 AC – 17 AD) recordado especialmente por sus obras *Arte Amatoria* y *Metamorfosis*. Su verso tuvo inmensa influencia tanto por sus imaginativas interpretaciones del mito clásico, como un ejemplo de supremo logro técnico, quien vio el *Caos* como la masa informe y desordenada, de la cual el *Hacedor del Cosmos* produjo el ordenado universo. Este concepto de caos también fue aplicado a la interpretación de la historia de la creación en el *Génesis 1* (del cual ese concepto no es nativo) por los padres de la Iglesia primitiva.

En mecánica y matemáticas, el caos se define como un comportamiento aparentemente impredecible y aleatorio, gobernado por leyes determinísticas. Un término más exacto *caos determinístico*, sugiere una paradoja puesto que conecta dos nociones que son familiar y comúnmente vistas como incompatibles.

La primera es la de *aleatoriedad* (azar) o *impredecibilidad*, como en la trayectoria de una molécula en un gas (movimiento Browniano) o en la elección del voto de un individuo particular entre una población. En el análisis convencional, el azar fue considerado más aparente que real, que nacía de la ignorancia de muchas causas en acción. En otras palabras, era comúnmente creído que muchos fenómenos en el mundo son impredecibles porque son complicados.

La segunda noción es la del *movimiento determinístico* —esto es, *predecible*— como el de un péndulo o de un planeta, que ha sido aceptado desde los tiempos de Isaac Newton como ejemplificación del éxito de la ciencia en hacer predecible lo que es inicialmente complejo.

En décadas recientes, sin embargo, se ha estudiado una diversidad de sistemas que se comportan impredeciblemente, a pesar de su apariencia de simplicidad y el hecho de que las fuerzas involucradas están gobernadas por leyes físicas bien entendidas. El elemento común en estos sistemas es un muy alto grado de sensibilidad a las llamadas *condiciones iniciales* y al modo en que son puestos en movimiento.

Por ejemplo, el meteorólogo Edward Lorenz (alrededor de 1960) descubrió que un simple modelo de convección atmosférica posee impredecibilidad intrínseca, una circunstancia que él llamó *efecto mariposa*, sugiriendo que el simple batir de las alas de una mariposa en algún lugar de la Tierra puede producir cambios drásticos en el clima, en un plazo no lejano, en cualquier otro lugar. Un ejemplo más doméstico es la máquina de

pinball: los movimientos de las bolas están precisamente gobernados por las leyes de rotación gravitacional y de colisiones elásticas —ambas plenamente entendidas—, aunque el resultado final es siempre impredecible.

En el marco de la mecánica clásica, el comportamiento de un sistema puede ser geoméricamente descrito como movimiento alrededor de un *atractor*. Las matemáticas de la mecánica clásica, efectivamente reconocen tres tipos de atractores:

- **Puntos simples**, que caracterizan los estados estables.
- **Lazos cerrados**, que caracterizan los ciclos periódicos.
- **Torus**, que son combinaciones de varios ciclos.

Las aplicaciones de la matemática del caos son altamente diversas, incluyendo el estudio de la turbulencia de flujo de los fluidos.

Muchos sistemas pueden ser descritos en términos de un pequeño número de parámetros que se comportan en modo altamente predecible; pues de lo contrario, las leyes de la física nunca habrían sido elucidadas. Si uno mantiene la oscilación de un péndulo mediante golpecitos a intervalos regulares, digamos una vez cada oscilación completa, eventualmente se establecerá en una oscilación regular. Ahora, dejémoslo saltar de su regularidad, en el momento debido, y volverá a su oscilación previa como si nada hubiera ocurrido. Los sistemas que responden en este modo de “buen” comportamiento han sido estudiados extensamente y tomados, frecuentemente, para definir la norma, de la cual los alejamientos son de alguna manera inusuales. Este documento se refiere a esos alejamientos.

Un ejemplo, no diferente del péndulo en movimiento, es proporcionado por una bola balanceándose repetidamente en una línea vertical sobre una placa de base que vibra hacia arriba y hacia abajo (verticalmente) para contrarrestar la disipación y mantener el balanceo. Con una amplitud de base pequeña pero con suficiente movimiento, la bola sincroniza con la placa, retornando regularmente una vez por ciclo vibratorio.

Con amplitudes mayores la bola se balancea más alto, pero aún así, se las arregla para matenerse sincronizada hasta que, eventualmente, eso se hace imposible. Entonces pueden ocurrir dos alternativas:

- La bola puede cambiar a un nuevo modo sincronizado en el cual se balancea mucho más alto de modo que retorna solo una vez cada dos, tres o más ciclos; o,
- Puede resultar desincronizado y retornar a intervalos aleatoriamente irregulares, esto es, aparentemente al azar.

Sin embargo, no es aleatorio en el sentido, por ejemplo, en que las gotas de lluvia golpean una pequeña área de superficie a intervalos irregulares. La llegada de una gota de lluvia no nos permite hacer una predicción de cuando llegará la siguiente; lo mejor que uno puede esperar es una afirmación de que hay la mitad de una posibilidad de que la siguiente llegue antes de transcurrir un cierto tiempo. En contraste, el balanceo de la bola se describe por un conjunto relativamente simple de ecuaciones diferenciales que pueden ser resueltas para predecir sin fallar cuando ocurrirá la siguiente oscilación, o cuán rápido estará moviéndose la bola en el momento del impacto, dados el tiempo de la última oscilación y la velocidad del impacto.

En otras palabras, el sistema es precisamente determinista, aunque para el observador casual parece estar desprovisto de regularidad. Los sistemas que son deterministas pero irregulares en este sentido, son llamados caóticos. Como muchos otros términos

científicos, éste es una expresión técnica que no guarda, necesariamente, alguna relación con el uso común de la palabra.

La coexistencia de irregularidad con determinismo estricto puede ser ilustrada mediante un ejemplo aritmético; uno que yace en algunos de los más fructíferos trabajos tempranos en el estudio del caos, particularmente los realizados por el físico *Mitchell Feigenbaum* (década de los 70), siguiendo una inspiradora exposición de *Robert M. May*.

Supongamos que uno construye una secuencia de números, empezando por uno elegido arbitrariamente x_0 (entre 0 y 1) y escribe el siguiente en la secuencia, x_1 , como $Ax_0(1-x_0)$; procediendo en la misma forma, escribe el segundo $x_2 = Ax_1(1-x_1)$...; uno puede continuar indefinidamente. Tendríamos, entonces la serie:

$$x_0, Ax_1, Ax_2, Ax_3, Ax_4, \dots, Ax_n$$

y la secuencia estará completamente determinada por el valor inicial x_0 y el valor elegido para A . Así, empezando por $x_0 = 0.09$, con $A = 2$, la secuencia pronto se establece en un valor constante:

$$0.09; 0.18; 0.2952; 0.4161; 0.4859; 0.4996; 0.5000; \dots; 0.5000$$

Cuando A cae entre 2 y 3, también se establece en una constante, pero toma más tiempo hacerlo. Ocurre que cuando el valor A es incrementado por encima de 3, la secuencia muestra más características inesperadas. Al inicio, hasta que A alcanza 3.42, el patrón final es una alternancia de dos números, pero con subsiguientes incrementos pequeños de A , cambia a un ciclo de 4, seguido por otros de 8, de 16 y así sucesivamente a más cortos intervalos de A . En el momento en que A alcanza 3.57, la longitud del ciclo ha crecido más allá de los límites y ya no muestra periodicidad alguna, sin importar cuán lejos se continúe la secuencia. Este es el ejemplo más elemental de caos.

Pero es fácil construir otras fórmulas para generar secuencias de números que pueden ser estudiadas rápidamente con la ayuda de la computadora programable más pequeña. Mediante tal *aritmética experimental*, Feigenbaum encontró que la transición de una convergencia regular a través de ciclos de 2, 4, 8 y así sucesivamente hasta secuencias caóticas, seguía cursos sorprendentemente similares para todos y dio una explicación que involucró gran sutileza de argumento y fue casi rigurosa para los matemáticos puros.

La secuencia caótica comparte con el balanceo caótico de la bola en el primer ejemplo, la propiedad de **predicibilidad limitada**, distinta de la predicibilidad fuerte del péndulo periódicamente impulsado y de la secuencia regular encontrada cuando A es menor que 3. Justamente como el péndulo que es perturbado, eventualmente se establece en su rutina original, de modo que la secuencia regular para una elección dada de A , se establece en el mismo número final, cualquiera que sea el valor inicial x_0 escogido. En contraste, cuando A es suficientemente grande para generar caos, el más pequeño cambio en x_0 conduce eventualmente a una secuencia completamente diferente, y la más pequeña perturbación al balanceo de la pelota cambia a un patrón diferente pero igualmente caótico.

Esto se ilustra por una secuencia de números, en la que dos secuencias son graficadas (puntos sucesivos unidos por líneas rectas) para $A = 3.7$ y x_0 elegido entre 0.9 y 0.9000009, una diferencia de una parte sobre un millón. Para los 25 primeros términos, las secuencias difieren tan poco como para aparecer en el gráfico, pero un registro de los números mismos los muestra divergiendo constantemente hasta que al llegar al término 40, las secuencias no parecen relacionadas. Aunque la secuencia está completamente determinada por el primer término, uno no puede predecir su comportamiento para un número

considerable de términos cualquiera, sin un conocimiento extremadamente preciso del primer término.

La divergencia inicial de las dos secuencias es aproximadamente exponencial, siendo cada par de términos diferente, por una cantidad más grande que la del par precedente, en un factor más o menos constante. Puesto de otro modo, para predecir la secuencia en este caso particular, entre n términos, uno debe conocer el valor de x_0 hasta un valor mejor que $n/8$ lugares decimales. Si este fuera el registro de un sistema físico caótico (por ejemplo, la oscilación de la bola), el estado inicial podría ser determinado midiéndolo con una exactitud de quizá un 1 por ciento (esto es, dos lugares decimales) y sin embargo, la predicción podría no tener valor más allá de 16 términos.

Por supuesto, sistemas diferentes tienen medidas diferentes de su [horizonte de predicibilidad](#), pero todos los sistemas caóticos comparten la propiedad de que cada lugar extra de decimales, si uno conoce el punto de partida, sólo empuja el horizonte una pequeña distancia extra. En términos prácticos, el horizonte de predicibilidad es una barrera infranqueable. Aún si es posible determinar las condiciones iniciales con precisión extremadamente alta, cada sistema físico es susceptible de sufrir perturbaciones aleatorias externas que crecen exponencialmente en una situación caótica, hasta que hayan ahogado cualquier predicción inicial.

Es altamente probable que los movimientos atmosféricos, gobernados por ecuaciones bien definidas, estén en un estado de caos. Si es así, puede haber poca esperanza de extender indefinidamente el rango de pronósticos del tiempo, excepto en los términos más generales. Hay, claramente, ciertas características del clima, tales como los ciclos anuales de temperatura y lluvia, que están exentos de los estragos del caos. Otros procesos de gran escala, pueden aún permitir pronósticos de largo alcance, pero mientras más detalles pide uno para una predicción, más pronto ella perderá su validez.

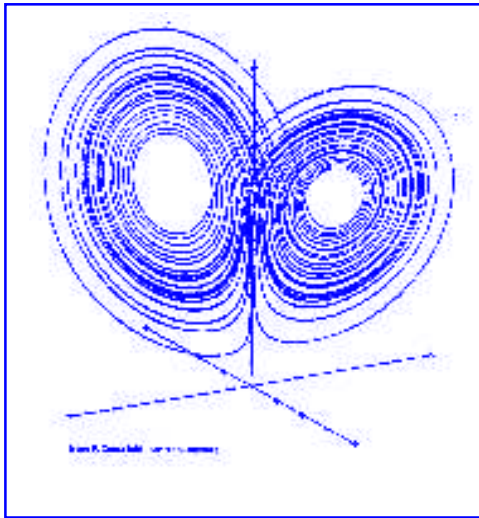
Los sistemas lineales para los que la respuesta a una fuerza es estrictamente proporcional a la magnitud de la fuerza, no muestra un comportamiento caótico. El péndulo si no se aleja demasiado de la vertical, es un sistema lineal, como lo son los circuitos eléctricos que contienen resistores que obedecen la ley de Ohm o capacitores e inductores para los que el voltaje y la corriente son también proporcionales. El análisis de los sistemas lineales es una técnica bien establecida que juega una parte importante en la educación de un físico. Eso es relativamente fácil de enseñar, puesto que el rango de comportamiento exhibido es pequeño y puede ser encapsulado en unas pocas reglas generales.

Los sistemas no lineales, de otro lado, son sorprendentemente versátiles en sus modos de comportamiento y, aún más, muy comúnmente no están sujetos al análisis matemático elegante. Hasta que las grandes computadoras se hicieron fácilmente accesibles, la natural historia de los sistemas no lineales fue poco explorada y la extraordinaria prevalencia del caos menospreciada. Los físicos han sido persuadidos, en grado considerable, de que la predicibilidad es una característica de una estructura teórica bien establecida, dadas las ecuaciones que definen el sistema; por lo que es sólo un asunto de computación, determinar como se comportará.

Sin embargo, una vez que se hace claro cuantos sistemas son suficientemente no lineales para ser considerados como caos, debe reconocerse que la predicción puede ser limitada a estrechos segmentos establecidos por el horizonte de predicibilidad. No se puede lograr una comprensión completa con sólo establecer fundamentos firmes, independientemente de lo importante que fueran ellos, más frecuentemente queda un proceso tentativo, un paso a la vez, con recurrencia frecuente a la experimentación y observación, en el caso que la predicción y la realidad hayan divergido demasiado lejos.

2.2 FRACTALES

Figura No. 1 Atractores extraños



En la década de los años 60, se descubrió una nueva clase de atractores con dimensiones no integradas, que el matemático norteamericano Stephen Smale, su descubridor, denominó *atractores extraños*. La dinámica alrededor de estos atractores es caótica. Mas tarde se reconoció que los atractores extraños tienen una estructura detallada en todas las escalas de magnificación.

Un resultado directo de su reconocimiento fue el nacimiento de la *geometría fractal*, un campo de investigación desarrollado por Benoit B. Mandelbrot, a comienzos de los años 80, en el Centro de Investigaciones Thomas J. Watson de la IBM en Nueva York, USA. Como resultado de

su trabajo, Mandelbrot (1983) creó el concepto de *fractal*, para referirse al estudio matemático de formas geométricas que tienen una *dimensión fraccional*.

El término fractal alude precisamente a esta dimensión fraccional de las ecuaciones que generan las figuras geométricas que constituyen lo que se conoce como «Conjunto de Mandelbrot». El límite del Conjunto de Mandelbrot, en particular, es un fractal, pero es también algo más que eso. El concepto se refiere a una clase de formas geométricas complejas que en común exhiben la propiedad de *autosimilaridad*, lo que a su vez, conduce a notables desarrollos en los gráficos por computadora.

El conjunto de Mandelbrot puede describirse como un sistema complejo en el sentido común de la expresión, pero el término complejo tiene, también, un significado matemático más técnico. Un número es «complejo» cuando está conformado por dos partes, que por razones históricas se denominan *real* e *imaginaria*, por ejemplo, la expresión $7+4i$ es un número complejo donde la parte real es 7 y la parte imaginaria es $4i$; la *i* itálica muestra cual parte del número complejo es la imaginaria.

Los fractales (fenómeno que al parecer había sido anticipado ya por otros investigadores que precedieron a Mandelbrot), se definen también, como conjuntos con dimensiones no íntegras, cuya característica principal es la repetición *at infinitum* de un patrón estructural (autosimilaridad), lo que comunica a la figura una imagen de extraordinaria compleja belleza. La figura 2 es un ejemplo de fractal.

Un fractal como fue inicialmente concebido por Mandelbrot, consiste en unos fragmentos geométricos de tamaño y orientación variables, pero con forma similar. Ciertas neuronas, por ejemplo, tienen una estructura fractal. Si la neu-

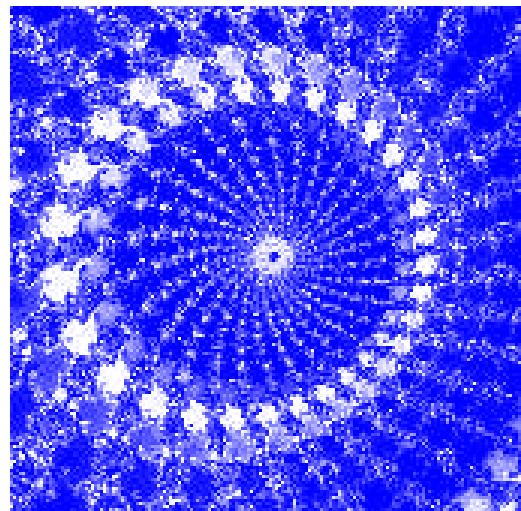


Figura N° 2
Ejemplo de Fractal (Conjunto de Mandelbrot)

rona se observa con una lente de bajo poder del microscopio óptico, se pueden ver ramificaciones asimétricas, las dendritas. Si se observan con una lente de ligeramente mayor poder, se verán nuevas ramificaciones saliendo de las primeras; aún a mayores ampliaciones, se verá otro nivel de detalle: ramas, sobre ramas, sobre ramas. Aunque las ramificaciones neuronales se detienen en algún momento, los fractales ideales presentan un detalle al infinito.

En el cuerpo humano ocurren estructuras semejantes a fractales, por ejemplo en la red de vasos sanguíneos, en los nervios, como ya se describió y en algunos ductos como en el sistema pulmonar. La secuencia de imágenes que aparece en la figura No. 3, muestra la estructura fractal de las vellosidades intestinales y en la figura No. 4 aparece un fragmento, moldeado en acrílico, de los bronquios y alvéolos pulmonares y una serie esquemática de las frondas de los helechos.

Figura No. 3 Fractales en vellosidades del intestino humano. *Scientific American*

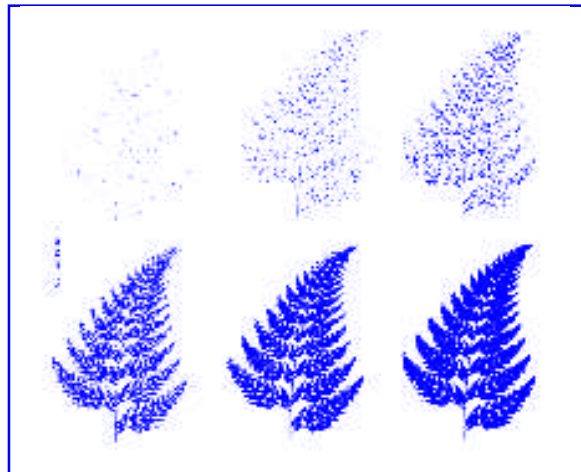
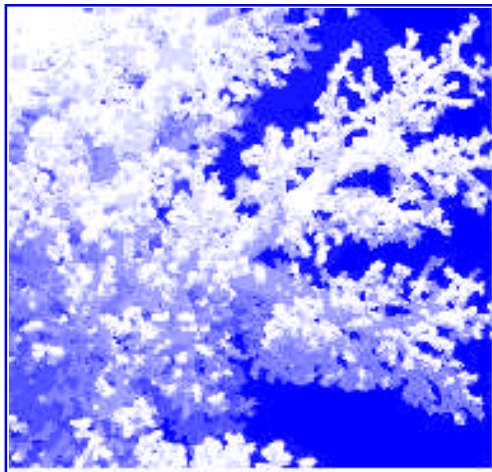


La autosimilaridad de un sistema implica que las características de una estructura o un proceso se ve semejante en diferentes escalas de longitud o de tiempo, como lo muestran estas ilustraciones y las de la figura siguiente.

Figura No. 4 Ejemplos de Fractales en los seres vivos

Arbol pulmonar

Fronas de helechos *Scientific American*



Scientific American

Gleick, CAOS.

2.3 APLICACIONES DE LOS FRACTALES

El concepto de Fractal se ha convertido en uno de los principios unificadores de la Ciencia, pero aparte de los gráficos por computadora, las aplicaciones tecnológicas de estas formas geométricas han sido lentas en aparecer. En la década pasada (en los 90), sin embargo, los investigadores han empezado a aplicar los fractales a un notablemente truculento asunto: el diseño de antenas.

Las antenas parecen ser artefactos muy simples, pero la teoría que las soporta, basada en la ecuaciones de electromagnetismo de Maxwell, es casi impenetrable. Como resultado de ello, los ingenieros de antenas se guían por el ensayo y el error, principalmente por el último. Los receptores de alta tecnología dependen, a menudo, de un rústico alambre, no mejor que el que usó Marconi en el primer radio que inventó y construyó hace un siglo (1896-97).

Los fractales ayudan, de dos maneras:

- Primero, **pueden mejorar el rendimiento de los arreglos de antenas**. Muchas antenas que se ven como una sola unidad, incluyendo la mayoría de antenas de radar, son realmente arreglos de miles de pequeñas antenas. Tradicionalmente, las antenas individuales son esparcidas aleatoriamente o espaciadas regularmente. Pero Dwight Jaggard de la Universidad de Pensylvania y Douglas Werner de la Universidad Estatal de Pensylvania y otros investigadores, han descubierto que un arreglo fractal puede combinar la robustez de un arreglo al azar y la eficiencia de un arreglo regular – con un cuarto del número de elementos. “Los fractales cierran la brecha” dice Jaggard. “Tienen un desorden de rango corto y un orden de rango largo”.
- Segunda, **aún antenas aisladas se benefician al tener forma fractal**. Nathan Cohen un radioastrónomo de la Universidad de Boston, ha experimentado con alambres doblados como fractales conocidos como las *Curvas de Koch*, o modeladas en lo que se llama *Triángulos de Sierpinsky*. No solamente pueden corrugar en un paquete de antena de la misma longitud, en un sexto del área, sino que la forma dentada también genera capacitancia e inductancia eléctricas, eliminando de esa manera la necesidad de componentes externos para sintonizar la antena o ampliar el rango de frecuencias a las que ella responda.

John Chenoweth dice que las antenas fractales son 25 % más eficientes que las cortas antenas forradas en goma, que se encuentran en la mayoría de teléfonos. Adicionalmente, son más baratas de fabricar, operan en bandas múltiples —permitiendo, por ejemplo, incorporar receptores del *Sistema de Posición Global* (SPG), en el teléfono— y pueden ser acomodadas dentro del cuerpo del teléfono.

El por qué esas antenas fractales funcionan tan bien fue, justamente, respondido en el número de marzo de la revista *Fractals*. Cohen y su colega Robert Hohlfield han probado matemáticamente que una antena que trabaja igualmente bien en todas las frecuencias, debe satisfacer dos criterios: Debe ser **simétrica** alrededor de un punto y debe ser **autosimilar**, con la misma apariencia en cualquier escala, esto es, debe ser fractal.

Scientific American

AUTOEVALUACION N° 2

1. En tu opinión, ¿en qué se parecen o se distinguen el caos del tránsito en una ciudad y el caos que parecen haber en la figura de la carátula de este fascículo?
2. La figura de la carátula es un ejemplo de fractal ¿Qué razones o evidencias pueden probar esta afirmación?
3. Haz un mapa conceptual con los elementos principales de la información contenida en este capítulo del fascículo.
4. Investiga que otros ejemplos de fractales se pueden encontrar en tu localidad.
5. En uno de los caños de la casa deje gotear el agua, gota a gota. Ponga un recipiente de metal para recibirlas y permita escuchar claramente el sonido. Observa el goteo y escucha el sonido de 5 a 10 minutos y registra las variaciones, ¿podrías predecir con que frecuencia caerán las siguientes 4 gotas? Este es un sistema ¿regular o caótico? ¿Por qué?

III. SISTEMAS COMPLEJOS

3.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS

Un sistema es **complejo** en tanto está constituido por una cantidad infinitamente grande de agentes o elementos independientes que interactúan en una gran variedad de formas y vías.

Esa riqueza de interacciones hace que el sistema se **autorganice espontáneamente**. Así, grupos de agentes que buscan una mutua acomodación y autoconsistencia, de alguna manera se trascienden a sí mismos, adquiriendo propiedades colectivas, tales como vida, pensamiento y propósito que ellos probablemente no hubieran podido adquirir individualmente.

Poseen una clase de dinamismo que los hace cualitativamente diferentes de los objetos estáticos —como los *chips* de cómputo o un cristal de nieve, objetos que son simplemente complicados—. Los sistemas complejos son más espontáneos, más desordenados y más vivos que eso y, al mismo tiempo, su peculiar dinamismo es un grito lejano de los arcanos e impredecibles giros conocidos como caos.

Los sistemas complejos han ganado, de alguna manera, la habilidad de poner al orden y al caos en una clase especial de balance o equilibrio. Ese punto crítico de equilibrio -a menudo referido como el **borde o filo del caos**-, es aquel donde los componentes casi jamás encajan en su lugar y, sin embargo, nunca se disuelven en turbulencia. El **borde del caos** es donde la vida tiene suficiente estabilidad para sostenerse a sí misma y suficiente creatividad para merecer el nombre de VIDA. El **borde del caos** es la constantemente variable zona de batalla entre el estancamiento y la anarquía; el único lugar donde los sistemas complejos pueden ser espontáneos, adaptativos y vivientes.

3.2 SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS

Los sistemas complejos adaptativos -SCA- son una variedad especial de sistemas complejos que tienen la capacidad de adecuarse a las circunstancias prevalentes en un momento dado y seguir operando de manera eficiente. Son **adaptativos** en tanto ellos no responden pasivamente a los eventos; tratan activamente de transformar cualquier acontecimiento en su propio beneficio.

En el mundo natural, la naturaleza misma es un ejemplo de SCA; como lo son los ecosistemas, todos los organismos vivientes, incluida la especie humana, y también el Ambiente. En el mundo humano, los SACs incluyen los sistemas económicos, culturales y sociales, tales como los partidos políticos, las comunidades sociales o la comunidad científica.

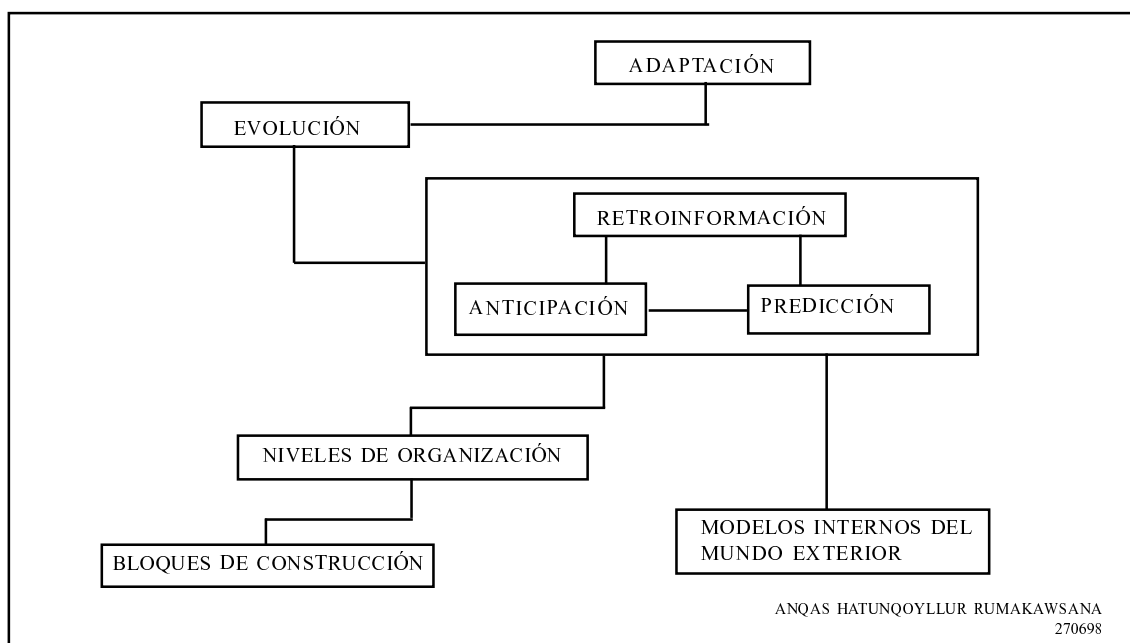
3.3 PROPIEDADES DE LOS SISTEMA COMPLEJOS ADAPTATIVOS

Holland les asigna las siguientes:

- Cualquier sistema es una **activa red** de muchos agentes actuando en paralelo. Su control tiende a ser altamente disperso.

- Tiene muchos **niveles de organización**; los agentes en cualquiera de los niveles sirven como bloques de construcción para los niveles más altos. Los SCA están constantemente revisando y reorganizando sus bloques de construcción en la medida en que ganan experiencia. Uno de los mecanismos fundamentales de adaptación es la revisión y recombinación de los bloques de construcción.
- **Anticipa el futuro**. El hecho de anticipación y predicción va más allá de la previsión humana y aún de la conciencia. Cada sistema está constantemente haciendo predicciones basadas en sus varios modelos internos del mundo —sus asunciones implícitas o explícitas acerca de como son las cosas en el mundo exterior. Esos modelos son activos, no meras plantillas. De hecho, se puede asumir que los modelos internos son los bloques de construcción del comportamiento.
- Tienen muchos **nichos**, cada uno de los cuales puede ser explotado por un agente adaptado para encajar en ese nicho.

Figura No. 6 Operación de los sistemas complejos adaptativos



Por otro lado, es precisamente, el surgimiento de aquellas nuevas cualidades integradoras, fruto de la interrelación de sus componentes, lo que expresa la permanente variación y la compleja diversidad de las manifestaciones ambientales

AUTOEVALUACION N° 3

1. En tu opinión, el sistema político nacional es un sistema ¿lineal predecible, complejo adaptativo o caótico? Explica tu respuesta.
2. Un ecosistema cualesquiera por su capacidad de resiliencia puede retornar a su situación de equilibrio dinámico. ¿Es esta una característica de adaptabilidad a las condiciones iniciales?
3. ¿Por qué se suele decir que todos los sistemas complejos adaptativos se pueden considerar sistemas vivientes?
4. ¿Qué significa que los SCA operan en función de un modelo interno de la realidad?
5. ¿Qué significa que los SCA pueden anticipar y predecir el futuro y en consecuencia, auto organizarse para afrontarlo?

IV. LA VIDA COMO UN SISTEMA COMPLEJO ADAPTIVO EN EVOLUCIÓN

4.1 EL FENÓMENO VIDA

La **vida** es un concepto indefinible por sí mismo, que los seres humanos lo percibimos intrínsecamente, como una condición particular de existencia en el espacio y el tiempo. Existencia que significa no solamente «estar», sino también «sentir y actuar», esto es, tener percepciones y sensaciones anímicas y **expresar emociones e influir y dejarse influir** sobre y por los otros seres que comparten el entorno con nosotros y los demás factores que lo caracterizan. Aunque no se puede definir la vida en una forma concreta por ella misma, sin embargo, se la define a través de sus manifestaciones en las características y comportamiento de los seres que la presentan.

La principal característica del fenómeno vida es que los seres que lo manifiestan, tienen la capacidad intrínseca de movimiento y de cambio endógeno, que los hace aparecer como mutables en forma, tamaño y funcionamiento a lo largo del tiempo, aunque sin perder su identidad específica y que pueden cambiar su ubicación espacial, a voluntad. Así pues, los seres vivos están sujetos a una serie de procesos de mutación y de transformación muy diversos, en un tiempo muy finito, que puede abarcar desde unos pocos minutos u horas, como en el caso del insecto **efímera**, cuya existencia adulta es de sólo 24 horas (en estado larvario puede vivir alrededor de dos años); hasta muchos años. Algunas tortugas, por ejemplo, alcanzan a vivir unos 200 años; o el caso de árboles del género **Sequoia**, en Norteamérica, muchos de cuyos individuos han estado allí por 2 o 3 mil años y tal vez más.

Sin embargo, pese a esta posibilidad de cambios o estadios por los que atraviesan los seres vivos a lo largo de su existencia, existe un patrón estructural constante común a todos los individuos que pertenecen a una especie determinada. Esta es otra característica importante del fenómeno vida: la estabilidad en el cambio. En suma, una planta o un animal cualesquiera, se origina siempre en un antecesor planta o animal, respectivamente; y a su turno, dadas las condiciones propicias, produce otras plantas o animales¹.

Aún cuando esta condición de estabilidad parece ser constante en un tiempo relativamente finito, la posibilidad de cambio a otras formas vivientes en el propio reino (vegetal o animal y, consecuentemente en la especie humana), no obstante, está siempre presente a través de un proceso de transformación o cambio genético, conocido como mutación² o alteración permanente en el genoma³ de una especie.

1 En ambos casos se mantiene no solamente la condición de identidad del reino -animal o vegetal- sino también la identidad de especie -pino o eucalipto. o mariposa o elefante o individuo humano-, según sea el caso en observación.

2 Mutación. proceso bio-físico-químico, por el cual el número y/o estructura de los cromosomas y/o de los genes que determinan las características de una especie pueden variar, ocasionando cambios o alteraciones en la constitución del individuo que la sufre. Las mutaciones, a menudo, son perjudiciales a los individuos que las presentan, pero son también la base de la evolución biológica.

3 Genoma. En el interior del núcleo celular, están los cromosomas, cuyo número par es constante para cada especie (en la especie humana este número es 23), que contienen los genes, conformados por moléculas de ácidos nucleicos (ADN y ARN), portadoras de la información genética hereditaria que hace que los descendientes de los seres vivos muestren siempre -o casi siempre- las mismas características de sus progenitores.

El efecto de una mutación se manifiesta⁴ en los individuos que la sufren, como aparición de nuevas características, que los van diferenciando de sus congéneres. Eventualmente y en el transcurso de períodos de tiempo muy largos, quizás milenios, la acumulación de muchas mutaciones en un solo individuo o un grupo de individuos, pueden dar lugar a formas vivientes muy diferentes de sus progenitores ancestrales. Este proceso es lo que se conoce como evolución. Así se ha producido —y se sigue produciendo— la diversidad biológica que ahora conocemos.

La figura No. 7, presenta una visión muy sinóptica, de la evolución de la biodiversidad, para mostrar las probables líneas del proceso de origen y evolución de la especie humana y de su relación con las demás formas de vida que han existido, existen y que posiblemente existirán sobre el Planeta.

4.2 EL FENÓMENO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Este concepto define las diferentes formas y variedades en que se manifiesta la vida en el planeta Tierra. Las cinco principales formas de manifestación de la vida (conocidas, también, como reinos biológicos) son, en grado de complejidad creciente, tanto de individuos como de organización sistémica, y de probable secuencia evolutiva:

- **El Reino Monera:** formas vivientes de organización relativamente sencilla, aún a nivel subcelular, carentes de membrana nuclear, pero con material nuclear disperso en el citoplasma (Procariotes), algunos carecen de pared celular o son parásitos intracelulares obligatorios.
- **El Reino Protista** (o protistas): incluye formas vivientes de organización muy simple, unicelular (Eucariotes), hasta grupos multicelulares coloniales en los que, sin embargo, los individuos no pierden su identidad. Ejemplo: hongos limosos, algas y protozoos.
- **El Reino Fungi:** Hongos verdaderos, organismos eucarióticos unicelulares microscópicos y multicelulares macroscópicos (hasta unos 25 cm de diámetro), de organización relativamente compleja. El cuerpo o soma del individuo adopta formas definidas con órganos diferenciados. La mayoría son saprófitos, otros parásitos y otros más, simbióticos (Por ejemplo: Líquenes = hongo+alga verde).
- **El Reino Plantae:** las plantas o vegetales, organismos multicelulares cuyo soma o cuerpo, está organizado en sistemas y éstos, conformando órganos (raíz, tallo, hojas, flores y frutos), con funciones específicas. Su más importante característica es su color verde, debido a su contenido de clorofila, pigmento que les permite utilizar la luz solar para sintetizar sus alimentos, tomando como insumos el agua (H₂O) y el anhídrido carbónico (CO₂), además de algunas sales minerales. Por ejemplo: helechos, hierbas, arbustos, árboles.
- **El Reino Animalia:** los Animales, organismos multicelulares, cuyo cuerpo está organizado en órganos (Por ejemplo: boca o stoma, corazón, pulmones, etc.) y sistemas (Por ejemplo: sistema circulatorio, digestivo, tegumentario, etc.), también con funciones específicas. Su característica más notable, es que todos ellos tienen la capacidad de moverse libremente, de un lugar a otro, en todas las etapas de su vida. Este grupo incluye la especie humana⁵.

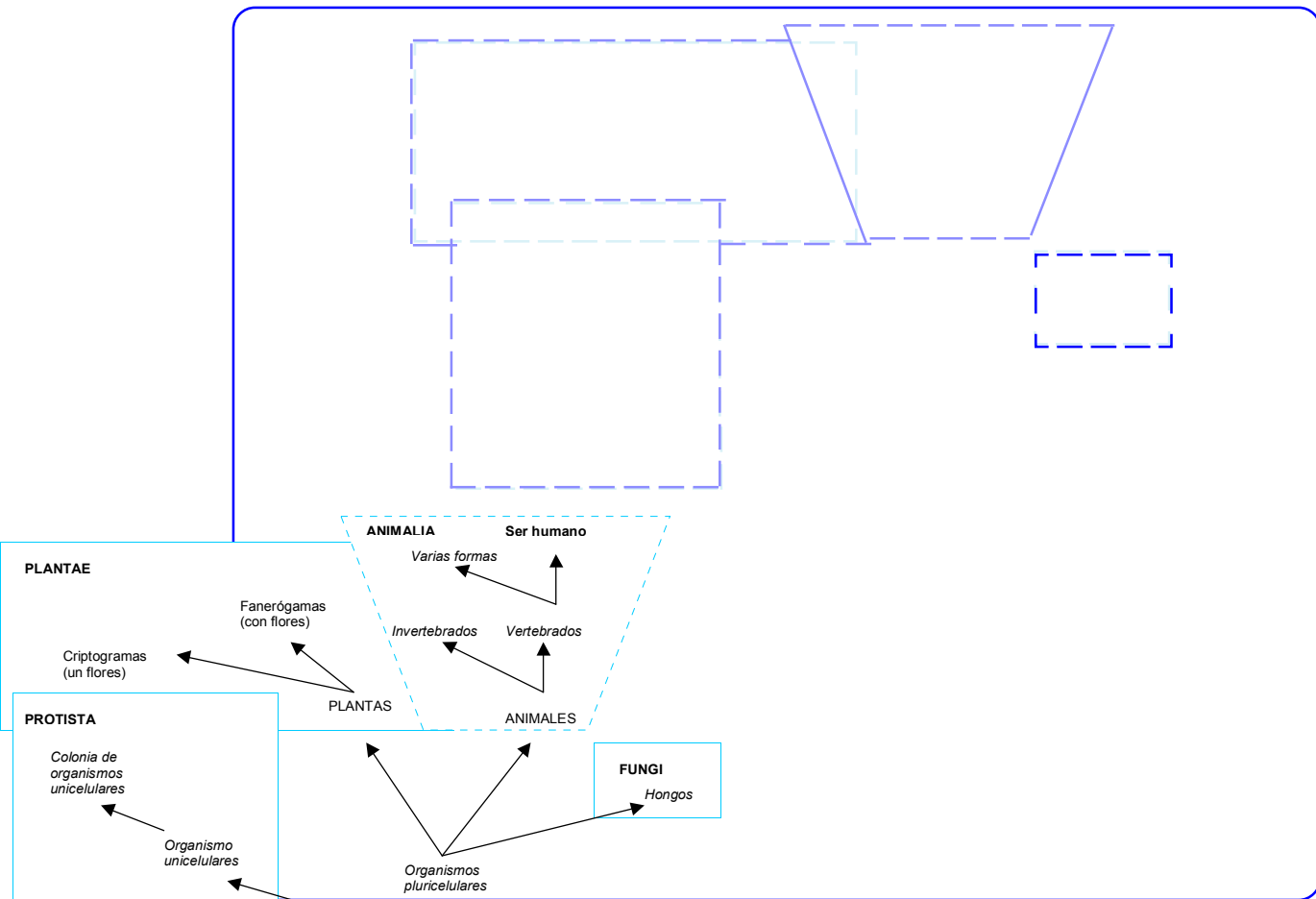
4 La información contenida en los genes se conoce como **genotipo** y su expresión visible es el **fenotipo**, La manifestación de esa información genética, como características percibibles en los individuos vivientes se llama **expresión genética**.

5 Se utiliza la expresión especie humana en lugar de Hombre, utilizada frecuentemente en su sentido genérico, que significa eso: especie o género humanos. Reservamos las expresiones varón para referirnos al sexo masculino y mujer, para el sexo femenino. La palabra Hombre, cuando se utiliza en casos específicos, se hace con la acepción arriba definida, como se verá en cada situación.

4.3 LA TRAMA DE LA VIDA

Se denomina así a la compleja e infinita red de interacciones que ocurren en la naturaleza, entre los seres vivos (**biosfera**) y el medio donde desarrollan sus actividades (**hábitat**), destinada a asegurar la permanencia de la vida. Esta red implica un infinito número de caminos, denominados **cadena trófica**, a través de los cuales fluye energía (en sus múltiples formas) y materia en variados niveles de complejidad (desde elementos minerales hasta compuestos orgánicos). El vehículo universal para este flujo e intercambio, intra y extra sistémico, de materiales y energía es el **agua**.

Figura No. 7 Modelo del sistema evolutivo de los seres vivos



AUTOEVALUACIÓN N° 4

1. ¿Cómo podríamos explicar el proceso de la evolución biológica tomando como base la teoría del caos?
2. ¿La teoría del caos está asociada, de alguna manera, a la teoría de las catástrofes, ¿podría esta relación explicar la aparición de nuevas formas de vida en el proceso esquematizado en la figura N° 7?
3. El fenómeno vida es el producto de una red infinita de factores físicos y químicos interactuando en un infinito número de vías posibles. ¿Cómo se puede vincular esta afirmación con el concepto de "borde del caos"?

Adaptado del Manual de Referencia sobre Conceptos Ambientales. C. A. Quiróz. Bogotá. 1992

V. LA COMPLEJIDAD DEL CONOCIMIENTO Y EL AVANCE DE LA CIENCIA

Un signo seguro de que la ciencia⁶ o una rama de la ciencia, especialmente la física, ayudada por la matemática y la lógica, ha alcanzado madurez es cuando ella produce una nueva clase de instrumentos para hacer la vida más confortable o para abrir nuevas puertas a la investigación y al desarrollo humano. Pero esto implica, de otro lado, un creciente desarrollo tanto estructural como fisiológico del cerebro humano y la estimulación constante de elementos intelectuales y afectivos humanos, como la curiosidad, inventiva, creatividad, interés, capacidad de admiración y asombro de y con los acontecimientos de los entornos local y global. Asimismo, un sentimiento de hermandad y afecto con todos los seres humanos, cuyo bienestar debe ser el principal motor del desarrollo.

En este punto es importante hacer notar que la noción de investigación incluye la acción de explorar, explicar y familiarizarse con los espacios físico y socio-cultural circundantes, con el objeto de conocerlo, entender su funcionamiento y consecuentemente, adecuar comportamiento —individual y colectivo— a las circunstancias actuales de manera que se pueda obtener el mayor provecho viable, que permita establecer la mejor calidad de vida posible para sí mismo y para las demás personas con quienes se comparte ese espacio ambiental.

Este proceso se inició cuando el protohomínido, descendiendo de las copas de los árboles, empezó a deambular por las extensas praderas sudafricanas en los albores de la humanidad, hace algo más de tres millones de años, y se ha repetido siguiendo una creciente espiral de complejización del conocimiento y del interés, igualmente creciente, por entender el funcionamiento del mundo a la par del desarrollo y complejización del sistema nervioso humano y de su inteligencia, hasta transponer las fronteras terrenales y lanzarse en la búsqueda del conocimiento y comprensión del universo, de sus leyes y de sus misterios.

Las restricciones de espacio impuestas en esta forma de comunicación, no permiten entrar en un análisis más o menos detallado de este proceso, de manera que solamente haremos un paseo sinóptico y sucinto por aspectos científicos y tecnológicos que representan hitos notables en el progreso de la humanidad. En consecuencia, lo que sigue es solamente un listado de algunas de las áreas o esferas evolutivas por las que debe haber pasado la humanidad en los más de dos millones de años de transitar sobre el planeta y de haber dado un primer paso fuera de ella, saliendo a explorar la Luna, satélite natural de la Tierra, en su interés por explorar y conocer el universo.

5.1 EN EL ASPECTO DEL DESARROLLO INTELECTUAL

- Desarrollo y complejización estructural y fisiológica del sistema nervioso central, especialmente de la corteza cerebral y de los núcleos nerviosos que procesan información y gobiernan o dirigen el comportamiento intelectual, tanto racional como instintivo, así como la actividad motriz del ser humano.

⁶ Ciencia o *Scientia* en su origen se entiende y se usa aquí, como toda forma de «conocimiento» organizado, que la humanidad ganó en todos los campos del saber, tanto empíricos como especulativos.

- Desarrollo y complejización de las funciones cerebrales, especialmente del pensamiento racional, de la inteligencia, de la creatividad, del ingenio y de los sentimientos. Este proceso ha pasado por una serie de etapas que incluye las supersticiones al no poder explicarse algunos eventos en la naturaleza tanto planetaria como del espíritu humano hasta alcanzar el pensamiento racional que intenta explicarlo todo, principalmente mediante la creación y adopción de modelos racionales del comportamiento del universo, incluido el modelo del caos y de los sistemas complejos adaptativos para explicar aquellos fenómenos que, aún siendo deterministas, son impredecibles en el mediano y largo plazos.
- Identificación y racionalización de las necesidades humanas y su satisfacción apoyada en una racional interrelación con el ambiente, como fuente de recursos, de tal manera que su provisión se haga sostenible transgeneracionalmente, construyendo una calidad de vida universalmente compatible con la naturaleza humana
- En el devenir del tiempo y al ampliar los horizontes de exploración, indudablemente, surgió la necesidad de comunicarse entre los seres humanos constituyentes del incipiente grupo social y así pasó de la simple producción de sonidos guturales, ancestralmente simioscos, hacia el balbuceo o la producción de sonidos articulados que fueron ganando, paulatina y progresivamente, significabilidad en la inteligencia del individuo y del grupo, hasta alcanzar una expresión comunicativa muy rica en el lenguaje complejo que caracteriza a los diferentes idiomas prevaletentes hoy en el mundo. En este proceso, la historia de Babel representa, al mismo tiempo, un ejemplo concreto de caos, un modelo fractal y un sistema muy complejo adaptivo de símbolos, sonidos y expresiones plásticas que ha facilitado el progreso de la humanidad en todos los campos del saber y de acción humanos.

5.2 EN EL ASPECTO DEL AVANCE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO

En este terreno, los aproximadamente dos millones que el género humano (*Homo s. sapiens*) como tal tiene de existencia en el planeta, han sido testigos de notables avances en el proceso de crear y construir conocimiento científico racional para explicar los fenómenos de la naturaleza y de la vida; y aplicar ese conocimiento —crear tecnología— al servicio de la humanidad para producir, desde diferentes ángulos, bienestar y comodidad y hacer posible en el tiempo la permanencia de la especie en el planeta.

- Uno de los hitos más notables del desarrollo humano, junto con la posición erecta del homínido primitivo es la de tener libres las extremidades anteriores (ahora superiores); la mirada estereoscópica y orientada hacia delante, la coordinación neuromotriz muy fina de los dedos de la mano y, sobre todo, el engrosamiento de la corteza cerebral y la creciente complejidad de su fisiología, que es fuente y base para toda la actividad intelectual y de pensamiento racional humanos.
- Otro hito importante fue, seguramente, el descubrimiento de la agricultura y del fuego, y con ellos el de la posibilidad de domesticar plantas y animales para su consumo nutricional, y de protección frente a las inclemencias del tiempo de los lugares por donde se fue estableciendo. Estos descubrimientos hicieron que los grupos humanos, inicialmente recolectores y trashumantes, se convirtieran paulatinamente en pueblos sedentarios, dando origen a las comunidades humanas y más tarde a las ciudades, las nacionalidades y los países que hoy conocemos sobre la faz de la Tierra.
- Por otro lado, la invención de la rueda y de los instrumentos de navegación, así como la de la convencionalidad para medir el tiempo, le abrieron las posibilidades de colonizar la tierra más eficientemente de lo que lo hacen otras especies, que deben some-

terse a lentos y muy largos procesos morfológicos de evolución adaptativa. El ser humano se puede trasladar rápidamente desde cualquier lugar del planeta hasta otro, y quizá no este lejano el día en que los viajes espaciales masivos, turísticos y/o migratorios, hacia otros planetas se conviertan en actividades cotidianas.

- En el campo de las comunicaciones, el progreso ha pasado desde el estridente grito humano y el sonido ya lejano del primitivo tam-tam, a la comunicación vía Internet y las páginas web, pasando por la invención del teléfono, el telégrafo de hilo e inalámbrico, la radio, la televisión y las comunicaciones satelitales. Asociado a este progreso está el desarrollo de habilidades como la escritura y el lenguaje verbal, así como el cálculo que se inicia con sistemas tan sencillos como un tablero con algunos hoyos y piedrecillas como cuentas, pasando por el del ábaco y otros artefactos contadores, cada cual más complejo y complicado que el anterior, hasta llegar al ordenador electrónico, conocido entre nosotros como computadora.
- La lista de inventos es ahora sumamente larga, y el tamaño de este documento no sería suficiente ni con mucho para agotarla; por lo tanto, bástenos por el momento solamente nombrar algunos inventos y descubrimientos que en su momento fueron importantes hitos en el desarrollo humano: la invención del telescopio y del microscopio, que permitió explorar los dos extremos del cosmos —el micro (célula y átomo) por un lado y por otro, el macro (galaxias y el universo en expansión); invención de la máquina de vapor, seguida por la invención del motor de gasolina y luego la del motor a reacción que partiendo de las velas, hicieron que los viajes de exploración alcancen horizontes cada vez más lejanos, como América a los Vikingos y a Colón, o los viajes a la Luna de la veintena de afortunados seres humanos, a finales del Sigo XX, para quienes la poesía se hizo realidad tangible.
- Completa esta sucinta lista, el descubrimiento de la energía nuclear y el desarrollo de tecnologías que pasando por la fisión y fusión nucleares, han permitido manejarla, desafortunadamente no sólo con fines pacíficos —Hiroshima y Nagasaki son dramáticos testigos de su uso destructivo—.
- Finalmente, todo este progreso científico-tecnológico ha permitido a la humanidad avanzar desde las teorías primitivas de explicación de la naturaleza, que incluyen las leyendas, supersticiones, creencias folklóricas, hasta la recientemente desarrollada teoría del Caos, pasando por las teorías de la catástrofe y de la incertidumbre, para tratar de explicar el universo, intentar entenderlo y para adaptar nuestro comportamiento consecuentemente.

AUTOEVALUACIÓN N° 5

1. *Se dice que la corteza cerebral humana es una estructura fractal caótica, sin embargo tiene un alto poder de creatividad y de capacidad de organización. Tomando esta aparente paradoja como base ¿Cómo se puede explicar la creación del conocimiento científico?*
2. *¿Qué modificaciones, adaptaciones o cambios debe haber ocurrido en el cerebro humano para alcanzar el actual desarrollo intelectual? ¿Cuál puede haber sido el motor para que ocurran esos procesos?*
3. *¿Cómo el paso, por ejemplo, del primitivo tam-tam hasta las comunicaciones vía satélite, puede explicarse en términos de conocimiento acumulado y de complejidad fisiológica e intelectual del cerebro humano?*

VI. LA EDUCACIÓN, UN SISTEMA COMPLEJO ADAPTATIVO: ESTRUCTURALISMO Y CONSTRUCTIVISMO

6.1 CONCEPCIÓN DE LA EDUCACIÓN

En general, se la entiende como una característica del comportamiento adaptativo humano, que resulta de la interacción, a través de un proceso cognitivo entre un agente promotor de cambio y el sujeto en el cual se desea producir el cambio adaptativo de comportamiento. En la realidad formal, cuando el agente es otra persona los dos elementos sufren el impacto del proceso y, de alguna manera, el comportamiento de ambos, agente y sujeto, se verá alterado, al final del proceso.

El agente puede ser **externo**, tal como otra persona, o fenómeno, que ejerce una cierta presión afectivo-cognitiva sobre el sujeto para provocar un cambio en su comportamiento; o **interno**, esto es, el conjunto de motivaciones, intereses y expectativas que animan al sujeto, incluyendo su propia capacidad intelectual y de razonamiento, para producir conocimiento acerca de la realidad circundante y, consecuentemente, actuar sobre ella para lograr un nivel de calidad de vida compatible con su condición humana.

La educación es, al mismo tiempo, un estado o característica personal, un proceso y un servicio. Por un lado, se dice que una persona es «educada» o que tiene educación cuando muestra un comportamiento socialmente aceptable. Por otro, es un **proceso**, en tanto ocurre en una secuencia de pasos o eventos, que van desde la captación de información (espontánea o inducida) hasta la aplicación del conocimiento ganado, a la expresión modificada del comportamiento, pasando por transformaciones intelectuales de esa información e incorporación del producto del razonamiento a la estructura de conocimiento personal.

Desde otro punto de vista es un servicio que la comunidad, la sociedad o el Estado, están obligados a ofrecer a su población, para incorporarla como elemento útil y agente de cambio. Desde esta dimensión, es una necesidad humana básica por satisfacer y, por lo tanto, también un derecho humano inalienable. En términos prácticos, la educación, como servicio, tiene una variedad de aproximaciones, cuatro de las cuales se definen en la siguiente sección.

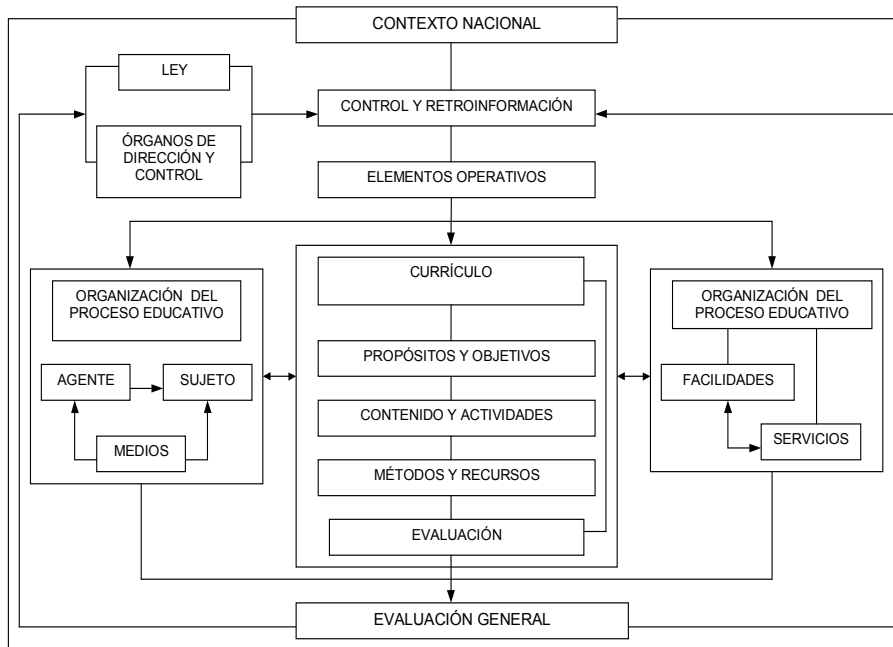
6.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA EDUCATIVO⁷

En cualquier contexto educativo, entre una infinita variedad de ellos, hay tres elementos principales en interacción: **i.** el sujeto de la educación; **ii.** el agente; **iii.** los medios, y, **iv.** el proceso. Todos ellos interactúan en el marco de un determinado contexto nacional: social, político y económico, a través de un rango variado de formas de ejecución, facilidades y servicios; así como de una gama de instituciones tanto públicas como privadas, conocidas bajo el concepto holista de escuela. La dinámica del sistema está regulada

⁷ Tomado, traducido y adaptado de César A. Quiróz Peralta. Towards a Theory of Teacher Education. Mimeo, Lima, Perú y Londres, UK. 1980.

por varias formas y mecanismos de retroinformación y control. El gráfico No. 8, intenta resumir la estructura e interrelaciones de los elementos principales —y de algunos otros— que constituyen un sistema educativo.

Figura No. 8 Diagrama de interrelaciones entre los elementos de un sistema educativo



C. A. Quiroz. Londres, 1980.

El grado de evolución de los sistemas educativos, en general, está condicionado por el grado de desarrollo nacional, especialmente por el desarrollo socio-económico y cultural. Sin embargo, el sistema educativo, en realidad la escuela —expresión tangible del sistema, por excelencia—, puede y debe, a su vez, influir en el desarrollo de la sociedad y del país; ésta parece ser la tendencia en los tiempos recientes. De hecho, ningún sistema educativo puede ser visto o estudiado, sin ser desnaturalizado, fuera del contexto social en el cual se desenvuelve y al cual, necesariamente, está estrechamente ligado.

Mirando ahora a los tres elementos esenciales enunciados:

- El **sujeto** es el alumno (educando o estudiante, aprendiz) sobre el cual el proceso de la educación, o la acción de aprender cosas, se espera que produzca algún cambio socialmente aceptable en su comportamiento futuro.
- El **agente** es el maestro (profesor, docente, preceptor, educador), de quien se espera que ejerza sobre el sujeto la influencia necesaria y adecuada, psicológica e intelectual, para promover y estimular las actitudes deseables y desarrollar las habilidades y destrezas que faciliten los procesos de aprendizaje para aprender cosas y construir su propio conocimiento.

Es posible, sin embargo, que bajo especiales circunstancias, no escasas por cierto, el sujeto y el agente se den en la misma persona. En otras palabras, en la medida en que el individuo crece física e intelectualmente, y pasa por la escuela, eventualmente desarrolla sus potencialidades y capacidades, especialmente su curiosidad e ingenio, lo suficientemente como para convertirse en promotor de su propio interés por autoeducarse (hacerse autodidacta), más allá de las facilidades ofrecidas y asequibles, del sistema.

Esto es también cierto para cualquier autoconstrucción de conocimiento, tanto fáctico como conceptual y, en verdad, todo el conocimiento construido a través de procesos de razonamiento especulativo (filosofía) es el resultado de la actividad intelectual, en la cual el individuo es al mismo tiempo agente y sujeto del proceso de educarse, como consecuencia del cual se genera conocimiento nuevo que produce cambios y adaptaciones perceptibles de su comportamiento.

Un ejemplo de lo que aquí se afirma es esta página —y con ella el contenido de este documento—, que entretiene su vista y su atención, queridos lector o lectora. Esta es el producto, principalmente, de mi razonamiento, utilizando toda la información que he asimilado hasta este momento —y el conocimiento significativo generado sobre ello— urgido tanto por la necesidad de encontrar respuestas a cuestiones sobre el tema, que me planteé varias veces, y que están aún operando en mi mente, así como la motivación creada por mi deseo de aprender un poco más acerca de educación, aprendizaje y demás conceptos relacionados; sin mencionar los requisitos que tuve que satisfacer durante mi formación humana y profesional y, ahora, para comunicármelos a través de este fascículo autoinstructivo.

- El tercer elemento en el modelo de la figura, los **medios**, están representados en la realidad concreta, principalmente por la organización escolar; por la maquinaria administrativa; y por el currículo .

La organización escolar, junto con la administración constituyen los que podríamos definir propiamente como el *hardware* del sistema educativo, puesto que ellos incluyen no solamente las reglas y mecanismos para hacer funcionar la institución educativa, sino también otros asuntos concernientes como edificio, movimiento presupuestal, provisión de materiales y equipamiento, provisión de facilidades y servicios, tales como transporte, energía, agua, así como servicios sanitarios y de salud, entre otros.

- Un cuarto elemento o factor, quizá el más importante, es el **proceso** mismo de educar y/o educarse. El instrumento rector de este factor es el currículo, junto con todas las teorías sobre educación y aprendizaje, estilos de enseñanza y demás cosas por el estilo, podrían ser definidas como el *software* del sistema y para este autor, la parte más importante del mismo y, por lo tanto, aquella que debe ser servida por el hardware y no al revés.

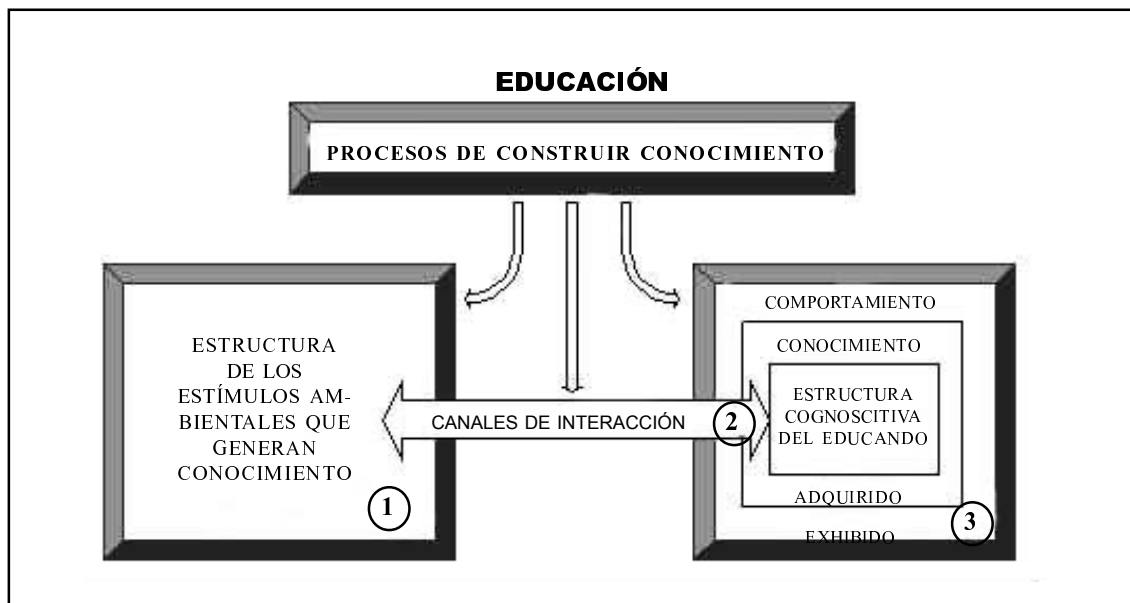
A manera de resumen, el diagrama que aparece en la figura N° 9, presenta una interpretación holista de varias teorías desarrolladas para explicar los procesos de aprendizaje que llevan a la creación y construcción del conocimiento y por ende, a la comprensión de la realidad.

En el modelo, los recuadros numerados representan:

- El **conocimiento** está en el medio, no tanto como conocimiento mismo, sino como una variedad de estímulos, con un variado grado de estructuración y complejidad, capaces de generar e impulsar los procesos creadores de conocimiento en el cerebro humano.
- Para que esto suceda, es necesario que pre-exista una **estructura cognoscitiva** en el cerebro humano. Esta está constituida por el conocimiento ya construido, al cual se puede ligar, incorporar o asimilar el conocimiento «nuevo»; o, alternativamente y como resultado de la interacción con la realidad, ser modificado —reestructurado— por lo tanto, ganando nuevo conocimiento. En este proceso, será necesario, obviamente, que el individuo desarrolle su dotación genética como estructuras y potencialidades tanto anatómicas como fisiológicas e intelectuales.

Figura No. 9

Modelo de interacciones en el proceso de aprender y conocer la realidad



C. A. Quiroz. Londres, 1980.

- Por otro lado, para que los estímulos incidan sobre la estructura cognoscitiva del aprendiz y lo impulsen a reaccionar en respuesta a ellos, se requiere el establecimiento de ciertos **canales y medios de flujo de información**. Estos pueden estar presentes como percepción sensorial, razonamiento (pensamiento), atención, expectativas, motivaciones (intereses), etcétera

Cuando estos tres elementos —junto con los demás que constituyen el sistema—, ocurren y entran en interacción, entonces el individuo construye, adquiere y asimila nuevo conocimiento; o reorganiza el ya existente en su estructura cognoscitiva. Sin embargo, y aunque éste es conocimiento «real», no puede ser evaluado por un observador externo, a menos que ese conocimiento se exprese en términos de un comportamiento o competencia exhibida por el sujeto y por lo tanto evaluable. Y para que esto ocurra, ese conocimiento debe, así estructurado, debe tener significabilidad y ser internalizado, de manera que se convierta en parte del nuevo comportamiento o competencia.

Las teorías sobre aprendizaje son, desde diferentes ventajosos puntos, relacionadas especialmente con estos tres aspectos de la actividad intelectual, dentro del marco de referencia de la educación, ya sea analizando la organización de los materiales que permiten su aprendizaje para generar conocimiento (Piaget, Luria, Vigosky) o con los canales a través de los cuales los estímulos del entorno son captados y procesados (Skinner y Gagné) e internalizados en la estructura cognoscitiva (Bruner, Piaget, Ausubel).

Las teorías sobre la educación, en general, conciernen a todo el proceso y en cómo modifican el comportamiento observable exhibido por el educando (B. Bloom y otros) y, por lo tanto, producen la retroinformación necesaria para ajustar todo el sistema una y otra vez. La fisiología, en general y la neurofisiología en particular, proveen el sustrato necesario para que todos estos fenómenos ocurran.

6.3 EDUCACIÓN AMBIENTAL

Es un proceso formativo, mediante el cual se busca que el individuo y la colectividad conozcan y comprendan las formas de interacción entre la sociedad y la naturaleza, sus causas y consecuencias, para que actúen en forma integrada y racional con su medio.

En esta concepción, se enfatiza, de un lado, la necesidad de la comprensión acerca de las causas y consecuencias de las relaciones entre lo social y lo natural; y, de otro, la importancia de la acción, expresada en la necesidad de que los procesos formativos conduzcan a la realización de actividades concretas de recuperación, conservación y mejoramiento del ambiente, con la participación de las comunidades

Se ha dicho que el propósito fundamental de la educación, en general, es el de formar integralmente ciudadanos eficientes para contribuir al desarrollo de su comunidad, sociedad y país. Analizada la educación desde este punto de vista, se reconocen en ella varias dimensiones de acción, como fundamentales o axiales, que se reflejan en la organización de la estructura curricular y en la ejecución de la actividad educativa. Esas dimensiones, entre otras, son: ética, informativa, científica, tecnológica, socializante, racional, etcétera.

Una de ellas es, necesariamente, la **dimensión ambiental**, que concebida e instrumentalizada apropiadamente debe conducir a que el individuo humano, y con él su grupo social, se haga consciente de su lugar en la intrincada red de interacciones que hacen posible (o que imposibilitan) la vida en el planeta Tierra, en todas sus manifestaciones, incluida la humana.

Esta dimensión juntamente con las antes citadas, forma parte de la filosofía y racionalidad en que se basa o fundamenta (y si no, debe hacerlo) cualquier sistema educativo. Se evidencia, como las demás dimensiones, mediante una serie de actividades (a veces asignaturas específicas) diseñadas para cultivar en la persona que se educa, aptitudes, actitudes, habilidades, destrezas y comportamientos socialmente deseables en relación con el cuidado del ambiente y de sus manifestaciones, que garantizan la existencia de la vida.

AUTOEVALUACIÓN N° 6

- 1. Piaget, Bruner y Ausubel, entre otros, coinciden con la idea de que la realidad se presenta con niveles crecientes de complejidad que para captarlos y entenderlos, la inteligencia humana debe sufrir ciertos procesos de acomodación. ¿Cómo se convalidan con esta afirmación las corrientes de estructuralismo y de constructivismo, hoy en boga en la educación peruana, en la creación de conocimiento (ciencia)?*
- 2. En este fascículo definimos el sistema educativo como un conjunto con un número grande de elementos en interacción, produciendo elementos nuevos y características nuevas, no inherentes a los elementos originales. Construya una mapa conceptual que incluya el mayor número posible de elementos operando en diferentes niveles (nichos), en un marco de referencia de las políticas de desarrollo a escala humana.*

VII. EL AMBIENTE: UN SISTEMA COMPLEJO ADAPTATIVO

7.1 CONCEPTUALIZACIÓN HOLISTA Y SISTÉMICA DE AMBIENTE

El concepto **ambiente** ha variado desde una visión estática de ser «todo lo que nos rodea», tomado como un instante fotográfico o como imagen estática (y tal vez lejana), mecanicista del espacio físico, hacia la comprensión sistémica, dinámica, holista de **interacción** y sus consecuencias, entre los elementos que lo componen. Ella, como visión antrópica de la Naturaleza, ve al ambiente como un complejo sistema de interrelaciones, muy activo, entre el espacio físico y el socio-cultural, en medio del cual está la **especie humana** (como individuos o como grupos organizados), actuando como agente motor y regulador de ese dinamismo. Este sistema comparte con los sistemas vivientes, la característica de su permanente adaptabilidad.

El primitivo concepto de ambiente, tomado como el entorno, lo externo a nosotros, por su amplitud y generalidad, no subraya características dinámicas y condiciones sistémicas provenientes de dos factores fundamentales de todo sistema: las interrelaciones entre los elementos constitutivos, y los elementos nuevos que estas interacciones producen. Por otro lado, excluye a los seres humanos, quienes pueden, entonces, asumir una posición ajenamente irresponsable, sintiéndose sólo observadores del «entorno», sin ser parte integrante de él.

En nuestros días, una concepción general del ambiente asume, por un lado, la naturaleza dinámica de las interrelaciones entre elementos naturales y elementos sociales y; por otro, desde un punto de vista holístico e integrador, que el individuo humano y sus diferentes niveles de organización social, con sus necesidades y potencialidades creativas (y destructivas), es parte indisoluble de esa red de interacciones. Esta concepción afina más la definición de ambiente, cuando delimita tiempo y lugar para el análisis de esas relaciones dinámicas⁸.

Así, pues, el término ambiente es un concepto dinámico que se refiere a un **sistema complejo adaptativo** (SCA) de múltiples interacciones, sus causas y consecuencias, entre la **sociedad** (elementos sociales) y la **naturaleza** (elementos naturales), en lugar y momento determinados. El elemento esencial del concepto, como ya se dijo antes, es **el dinamismo de las interrelaciones** entre los componentes del sistema, antes que ellos mismos. En esta concepción dinámica, el **ser humano** es, a la vez, elemento **natural**, en tanto ente biológico; y, elemento **social**, en tanto ser creador de cultura y desarrollo en su más amplia acepción. Esta posición conceptual hace que la definición de ambiente tenga un sesgo antrópico que, no obstante, no hace del ser humano el factor más importante en el sistema de interrelaciones; pero que, sin embargo, si él no actúa racionalmente puede resultar el más perjudicado⁹.

8 Otra aproximación a este concepto es la de considerarlo un sistema compuesto por elementos naturales, sociales y culturales, sus permanentes interacciones y los resultados que de ellas se derivan. En su visión más particular, es el conjunto de los elementos naturales, sociales y culturales existentes en un lugar, así como sus interacciones y resultados derivados, en un momento determinado.

9 Resumiendo, es un sistema complejo adaptativo que resulta de una red infinita de elementos en interacción entre la sociedad humana y la naturaleza. Los impactos de este dinamismo determinan la calidad de los factores que condicionan las posibilidades para la vida humana, en un lugar y momentos determinados.

Por lo tanto, el énfasis central del concepto es el **enfoque sistémico** en el que se consideran prioritariamente las interrelaciones, antes que el análisis aislado de sus componentes o resultados de la interacción de éstos. Los tres principales elementos citados (que en si mismos ya constituyen otros tantos sistemas complejos adaptativos), están siempre en una muy **dinámica interrelación**, de la cual surge una multiplicidad de condiciones, algunas benéficas y otras no tanto, que pueden llegar incluso a ser destructivas para los elementos naturales del ambiente, y para el ser humano. Una situación ambiental determinada, también tiene como características un **espacio geográfico** y un **tiempo definido**, en cuyo contexto es posible analizar y definir la situación ambiental que nos interese, a través de los efectos de las interacciones antes aludidas.

Desde otro punto de vista y aún cuando el ambiente, considerado globalmente, no tiene límites ni fronteras, para fines prácticos de estudio, análisis y comprensión conceptual, esta definición, además de dinamismo, le atribuye dimensiones limitantes (espacial y temporal). Dicho de otra manera, en términos espaciales, y desde un punto de vista holista, el ambiente es **sólo uno** en la Tierra (**ambiente global**). No obstante, dadas las variadas diferencias geológicas, morfológicas y fisiográficas de la superficie terrestre y de biodiversidad, así como la muy diversa variedad de formas de organización humana (sociedades, naciones, países, etnias, etc.), se puede distinguir infinidad de «ambientes» (**ambientes locales**), en los cuales son reconocibles los elementos conceptuales (naturales y sociales en interacción) que definen el ambiente.

La integralidad del ambiente se evidencia más sensiblemente, cuando se toma en consideración el impacto que las acciones humanas tienen sobre las características de los factores ambientales que condicionan la calidad, constancia y perdurabilidad de un ecosistema y, con él, la calidad de vida para la especie humana. En realidad la concepción de ambiente es un constructo intelectual puramente humano; es una visión antrópica del universo en el que se desenvuelve la vida. Podemos afirmar que sólo hay ambiente donde hay seres humanos¹⁰.

Finalmente, en la definición inicial de sistema se menciona el surgimiento de «cualidades integradoras nuevas no inherentes a los elementos constitutivos originales». Precisamente, el surgimiento de estas nuevas cualidades integradoras, fruto de la interrelación de sus componentes, expresa la permanente variación y la compleja diversidad de las manifestaciones ambientales y de la vida.

7.2 DINÁMICA AMBIENTAL

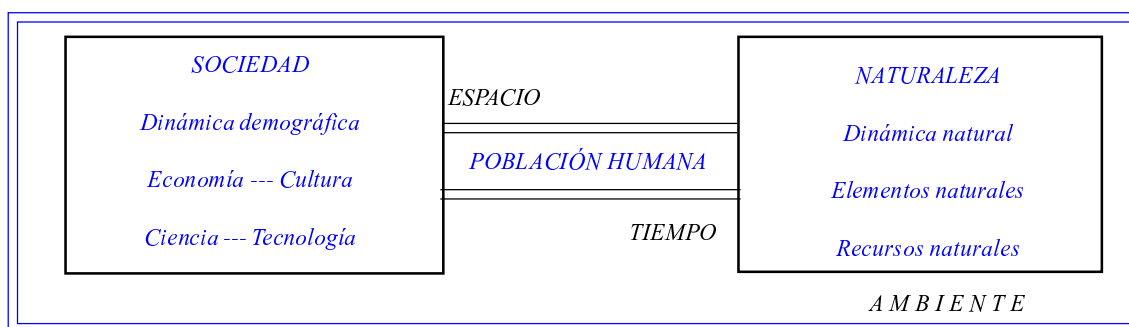
En el marco de esa concepción, resaltan dos factores y sus interrelaciones, como fundamentales del desarrollo humano. Ellos son la dinámica ambiental y la poblacional. En efecto, el impacto de esas interrelaciones sobre el desarrollo humano es una resultante, primero, del comportamiento intrínseco de su dinámica y, segundo, de la mutua afectación entre ambos factores.

La dinámica ambiental, con su variedad de elementos e interacciones, se convierte en fuente de recursos tanto naturales como sociales, los cuales, convenientemente utilizados, pueden asegurar un desarrollo sustentable que se materialice en una mejor calidad de vida para todos los sectores sociales de la población de cualquier país.

La siguiente figura sintetiza la precedente concepción sistémica y holista del ambiente.

¹⁰ Más adelante, se verá que en ausencia humana, los demás seres vivos tienen un «medio» en el cual viven y desarrollan su actividad, bajo «normas ecológicas» que aseguran el equilibrio en la naturaleza.

Figura No. 10 **Conceptualización del ambiente como un Sistema Complejo Adaptativo**



C. A. Quiroz. Lima, 1998

Los principales factores que determinan la dinámica ambiental, como un sistema complejo adaptativo, se pueden reunir en dos grandes grupos:

- Uno lo constituyen aquellos factores que, en general, identifican a lo que comúnmente llamamos «naturaleza». Son los factores físicos (abióticos) y bióticos o componente natural del ambiente. Ese componente se caracteriza por el **conjunto de seres y fenómenos naturales**, constituido por todas las formas de organismos vivientes (diversidad biológica¹¹): protistos, vegetales y animales, incluida la especie humana y las diferentes formas de manifestación de la materia no viviente, como el aire, el agua, el suelo, las rocas, los minerales. Hay que incluir allí, también, las diversas formas de manifestación de la energía: luz, calor, electricidad, energía atómica, hidráulica, et- cétera.
- El otro conjunto de factores que caracterizan al ambiente se agrupan bajo la denomi- nación de **factores sociales o culturales**; esto es, la componente social en la concep- ción dinámica de ambiente. Naturalmente, con ello nos referimos a la especie humana y al producto de su creatividad y acción.

Esas características humanas se traducen en una multifacética gama de manifestacio- nes culturales como historia, lengua, tradiciones, costumbres y folclore. Asociada a ellas, están la educación y la comunicación, procesos que se originan con la aparición de la especie humana en la tierra. El desarrollo cultural, como queda dicho, incluye también un cuerpo de conocimiento en ciencia y tecnología.

Naturalmente, ni el gráfico ni este texto, agotan todas las posibles formas de manifesta- ción cultural de los pueblos; sin embargo, muchas de ellas quedan implícitas en las que se han señalado, como la física, la medicina o el chamanismo, comprendidas respecti- vamente en la ciencia, la tecnología o las costumbres y creencias ancestrales. Así, pues, la dinámica ambiental hay que entenderla como una infinita variedad de relaciones, entre una diversidad de factores, analizadas y evaluadas en el marco de una concepción sistémica y holística de ambiente.

En el mundo natural, sin presencia humana, los ecólogos han encontrado que el tamaño de las poblaciones y el volumen de los recursos disponibles se regulan mutuamente en una interacción cíclica que conduce a un equilibrio dinámico, en el cual los excesos o disminuciones en el tamaño o volumen, se constituyen en factores dinámicos de regula- ción recíproca del comportamiento de ambos actores del desarrollo, con lo que se logra un nivel apropiado de calidad de vida más o menos sostenible en el tiempo.

11 «La diversidad biológica no se limita al mundo de las plantas y los animales; incluye también la diversidad de culturas se manifiesta en las difereetnes lenguas, religiones, arte, música, tipos de manejo de la tierra, estructuras sociales, dieta y selección de cultivos de la gente, entre otras cosas». (WRI. *Global Biodiversity Strategy*, 1992, citado en Parques y progreso. UICN/BID. 1993)

Cuando entra en juego la especie humana, con ella entran en acción otros elementos resultantes del crecimiento intelectual de esta especie. Nos referimos en particular a la ciencia y la tecnología y a los patrones culturales y estilos de vida adoptados por los diferentes grupos humanos.

Esos factores se relacionan entre sí a través de un concepto importante en esta línea de pensamiento: el ecumenismo. Este concepto asocia al individuo humano, en una relación de estrecha interdependencia, con la tierra en que vive y mora. Esta asociación tiene una influencia mutua en las respectivas dinámicas, ambiental y poblacional humana.

El conjunto social humano, con sus múltiples acciones, afecta —positiva o negativamente— las características edáficas y climáticas del entorno natural y éstas, a su vez, afectan al individuo y al grupo social humano, moldeando su carácter y comportamiento y comunicándole una identidad hombre-tierra. Así, esta unión materializa los conceptos de **ecumene**; es decir, el de «espacio de tierra habitada y cultivada, en estrecha interacción con la población humana que la habita» y de **ecodome**, esto es, el proceso de construir y mantener habitable la «casa», la morada natural, el terruño donde vivimos, en toda la extensión del concepto.

AUTOEVALUACIÓN N° 7

1. *En este capítulo se concibe el ambiente como un sistema complejo adaptativo- ¿De qué manera esta concepción involucra la asignatura —o el área curricular de su especialidad— en el tratamiento de lo ambiental?*
2. *Construya un diagrama de flujo que incluya las interrelaciones entre la educación y el tratamiento de lo ambiental, como base para el desarrollo de educación ambiental incorporada a su área curricular de actividad pedagógica.*

CUESTIONARIO FINAL

1. *¿Qué significado tiene el concepto de sistema para explicarnos como funcionel mundo, la vida, el universo?*
2. *¿Cómo se contraponen en nuestro lenguaje corriente los conceptos de caos y de orden?*
3. *¿Qué significado, en nuestra visión profesional, puede tener el afirmar que la vida, el ambiente y la educación son sistemas complejos adaptativos?*
4. *¿Qué relación se puede establecer entre la complejidad de la naturaleza y la complejidad de la inteligencia humana para interpretarla y crear ciencia y tecnología?*
5. *En qué medida la propia vida de cada uno de nosotros se mueve en una red compleja de eventos y cómo se relacionan ellos entre sí para dar sentido a nuestra existencia? ¿Qué significado tiene para nosotros, los seres humanos, conceptos como pasado, presente y futuro; o ayer, hoy y mañana?*
6. *¿Qué pensarían, amigo y amiga míos, si alguien les dijera que el presente y el hoy y ahora, son solamente una ilusión en nuestras vidas?*
7. *En nuestro diario caminar en la casa, en el centro de trabajo o por calles y plazas ¿Qué nos asegura que el siguiente paso lo vamos a dar sobre terreno firme y que él va a sostener nuestro cuerpo?*
8. *Cuando disfrutamos de una día de playa junto al mar o a la ribera de un río, nos hemos puesto a observar ¿Cómo terminan las olas en la arena o en los acantilados o en los bordes del río? Y, acaso nos hemos puesto a pensar si el siguiente tre de olas, ¿se comportará de la misma manera que el que acaba de llegar?*

GLOSARIO

- ALEATORIO.** Fenómeno o evento que ocurre en alguna de sus posibilidades, pero que aisladamente no puede ser previsto, ni pronosticado con precisión.
- ATRACTOR.** Atractor es un punto ubicado dentro de un espacio n-dimensional que genera una fuerza de atracción hacia si mismo, a partir de un campo infinito y cuyo grado de atracción depende de determinada función de la distancia.
- ATRACTORES EXTRAÑOS.** Punto o puntos que ejercen una fuerza de atracción radial, de manera no lineal y genera una cuenca orbital que produce trayectorias aperiódicas (sin periodo fijo) e irregulares en los objetos que caen en su horizonte de influencia.
- AUTOSIMILARIDAD.** Característica estructural manifestada por los objetos que pertenecen al campo de los fractales y que consiste en que el patrón original del diseño se repite indefinidamente en cada ampliación de la figura.
- AZAR.** Ocurrencia de un evento o suceso que, aparentemente, no esta gobernado o supeditado a una causa natural, ni a la intervención humana intencionada. En estadística, procedimiento de elección u ocurrencia de un suceso en el que todos los casos posibles tienen idéntica probabilidad de ser elegidos o de ocurrir.
- BORDE DEL CAOS.** Es un punto cualquiera entre el orden y el desorden, donde la vida tiene suficiente estabilidad para sostenerse a sí misma y suficiente creatividad para merecer el nombre de vida. El borde del caos es la zona de batalla, constantemente variable entre la anarquía y el estancamiento; el único lugar donde los sistemas complejos pueden ser espontáneos, adaptativos y vivientes.
- CAOS.** Uno de los extremos del continuo $\text{ΚΑΟΣ} \leftrightarrow \text{ΚΟΣΜΟΣ}$ (desorden \leftrightarrow orden), en la mitología griega. La Teoría del Caos describe el complejo e impredecible movimiento o dinámica de sistemas determinísticos no lineales, sensibles a las condiciones iniciales
- CONJUNTO DE MANDELBROT.** Es el objeto más complejo en matemáticas, con una colorida belleza de patrones que se repiten infinitamente en todas las posibles magnificaciones (ampliaciones). Este fenómeno se conoce como autosimilitud. Es el fractal más complejo de los fractales. El conjunto de Mandelbrot se ha convertido en el símbolo emblemático del caos.
- CONDICIONES INICIALES.** Prescripción del estado de un sistema dinámico en algún instante determinado, conocido como **instante cero**, a partir del cual se habrá de analizar su comportamiento dinámico. Una muy pequeña variación en estas condiciones puede significar una variación notable en el comportamiento del sistema
- COSMOS.** En la mitología griega, el otro de los extremos del continuo $\text{ΚΑΟΣ} \leftrightarrow \text{ΚΟΣΜΟΣ}$ (desorden \leftrightarrow orden). Significa la organización sistémica que rige el universo. En la tradición Judeocristiana, es el orden que el creador extrae del desorden inicial para crear el universo y todo lo que en él conocemos ahora, incluidas las diferentes manifestaciones de la vida y la vida humana misma, como máxima expresión de ese proceso creador.
- EFEECTO MARIPOSA.** Teoría asociada al concepto de dependencia de las condiciones iniciales

les. El concepto supone que el leve aleteo de una mariposa en cualquier lugar del planeta, puede causar, algunos días o semanas después, una variación drástica en el clima de cualquier otro lugar alejado sobre el planeta.

FRACTAL(ES). Es cualquier figura que tiende a tener una estructura autosimilar en cualquier grado de magnificación (ampliación); la ampliación de una parte de la figura contiene la misma imagen de la figura original, hasta la porción infinitesimal más pequeña imaginable. Estas figuras resultan del procesamiento de ecuaciones que tienen una dimensión no integral o imaginaria, además de una dimensión natural.

HORIZONTE DE PREDICIBILIDAD. Es el valor límite dentro del cual el comportamiento de un fenómeno caótico puede ser predecible. En términos prácticos, el horizonte de predicibilidad es una barrera infranqueable. También se define como línea límite que sirve para distinguir entre las partes de una dicotomía.

SISTEMAS CAÓTICOS. Este término define sistemas matemáticamente determinísticos; esto es, sistemas que siguen leyes precisas, pero su comportamiento irregular puede aparecer como aleatorio o gobernado por el azar, para un observador casual.

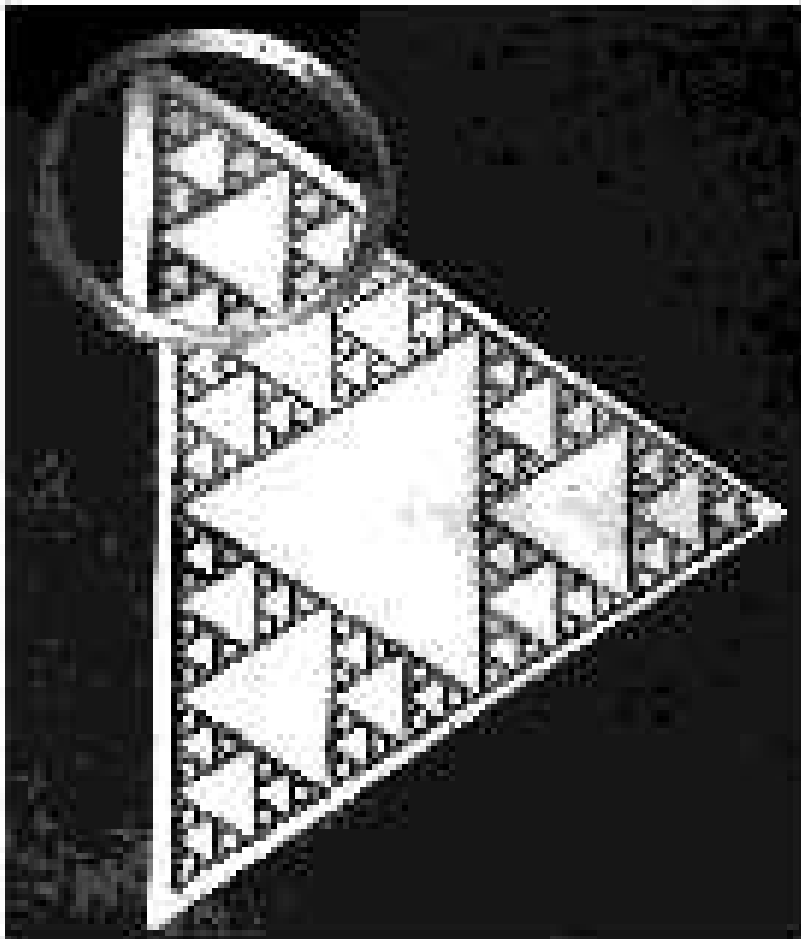
SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS. Son sistemas dinámicos constituidos por un número muy grande de elementos interactuantes, autorganizados espontáneamente en una activa red de interacciones en paralelo; son adaptativos en la medida en que pueden anticipar y predecir el futuro sobre la base de modelos internos de realidad; tienen muchos nichos de operación, lo que los ubica en el crítico borde del caos. En general, comparten la característica dinámica de la vida.

SENSIBILIDAD A LAS CONDICIONES INICIALES. Grado de afectación en el comportamiento del sistema, cuando cambia el valor de las condiciones que lo determinan, en el instante cero. Esta es una característica central a los sistemas complejos adaptativos y a los sistemas caóticos.

TEORÍA. En las ciencias en general, una teoría es un intento de explicar, lo más racional y objetivamente posible, ciertos fenómenos que se deducen como consecuencia necesaria de otros anteriores. Se define también como una clase de conocimiento considerado con independencia de su aplicación práctica (filosofía, epistemología). Conjunto organizado de leyes, principios o reglas generales que constituyen la base de una ciencia, doctrina o arte, a menudo deducidos a partir de la observación de algunos fenómenos y que sirven para intentar explicarlos (e.g. la Teoría de Darwin sobre la evolución de las especies, la Teoría del Caos, la Teoría del Color, etc.),

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALANDIER, G. *El desorden. La teoría del caos y las ciencias sociales. Elogio de la fecundidad del movimiento*. Gedisa. Barcelona, 1989
- BROUN, ELIEZER. *Caos, Fractales y cosas raras*. Serie La Ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica. México, D.F., 1996.
- CARLSON, SHAWN. *Falling into Chaos. The Amateur Scientist*, SCIENTIFIC AMERICAN, Vol. 281, No. 5, Noviembre 1999
- ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. <http://www.britannica.com> – search: Chaos
- EDITORIAL SANTILLANA. *Diccionario Enciclopédico Santillana*. Edición impresa y distribuida en el Perú por el diario *El Comercio*. Lima. 2000.
- GLEICK, JAMES. *Chaos. Making a new Science*. Penguin Books USA Inc. New York, N.Y. 1987. (existe una traducción al español. *Caos: La creación de una ciencia*. Seix Barral. Barcelona, 1988)
- HAYLES, N. K. *La evolución del caos: El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas*, Gedisa. Barcelona, 1993.
- LORENZ, E. N. *La esencia del caos*, Debate. Madrid, 1995
- MONROY OLIVARES, CÉSAR. *Teoría del Caos*. Serie Teorías Emergentes de Computo. Algaomega Group Editor, S.A de C.V. México D.F. 1997.
- MUSSER, GEORGE. *Practical Fractals*. Technology and Business, Wireless Communications SCIENTIFIC AMERICAN, Vol. 281, No. 1, July 1999
- NAGASHIMA, HIROYUKI Y YOSHIKAZU BABA. *Introduction to Chaos. Physics and Mathematics of Chaotic Phenomena*. (Mikio Nakhara, traductor del Japonés al Inglés). Institute of Physics Publishing. Bristol (UK), 1999
- PRIGOGINE, I. *¿Tan solo una ilusión? Una exploración del caos al orden*, Tusquets. Barcelona, 1988
- SCIENTIFIC AMERICAN, INC. SCIENTIFIC AMERICAN, Vol. 281, No. 5, Noviembre 1999





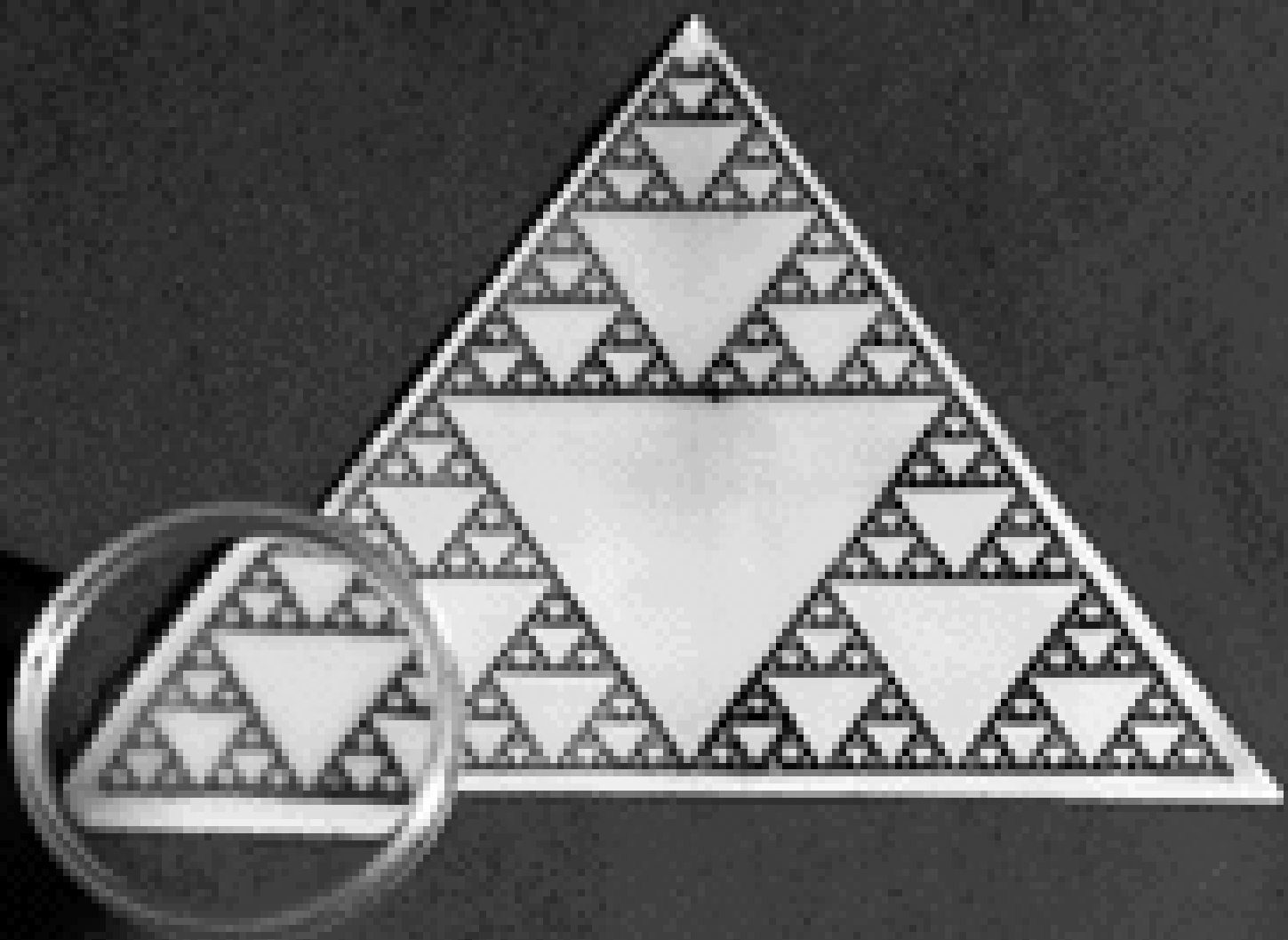
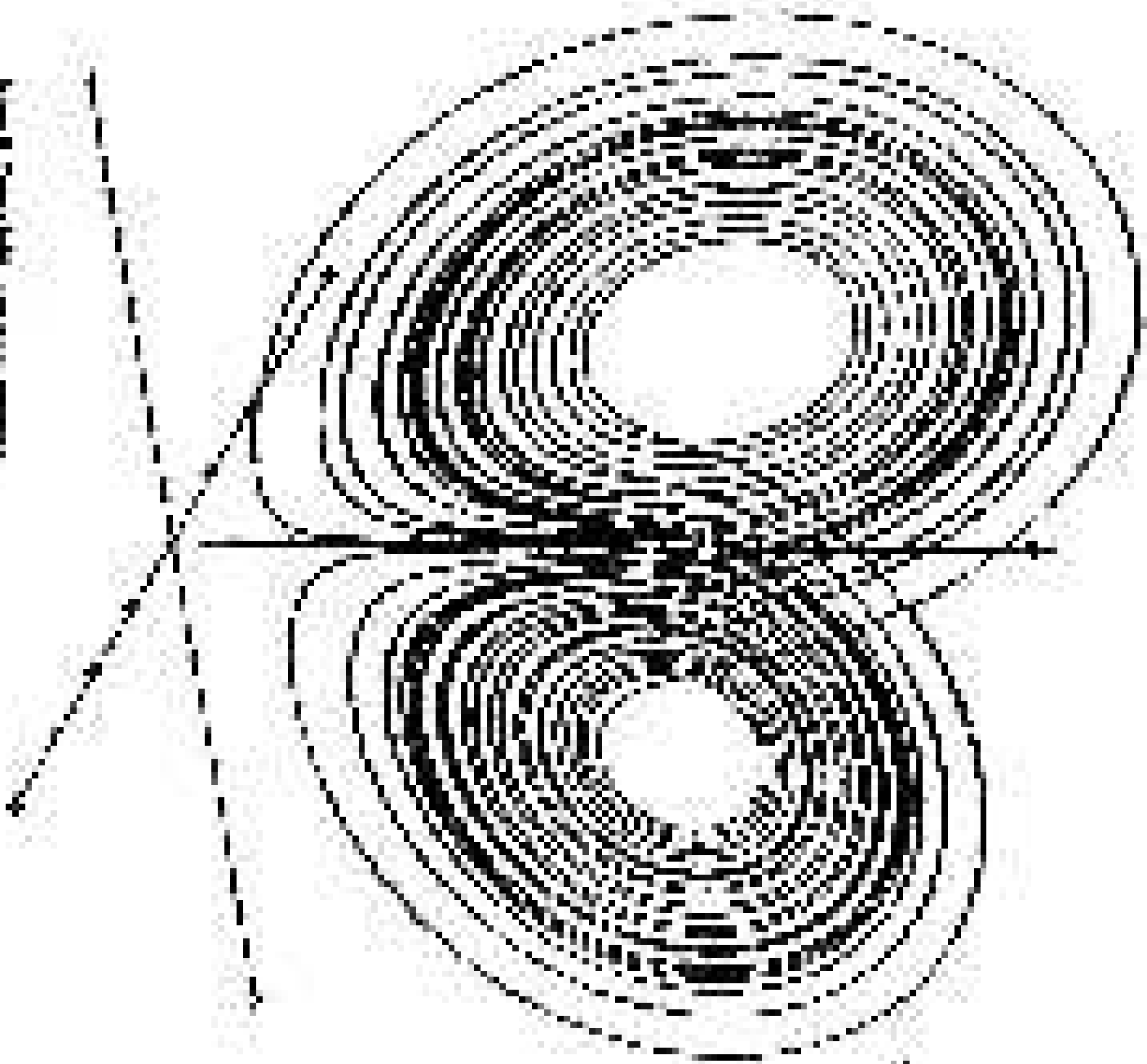
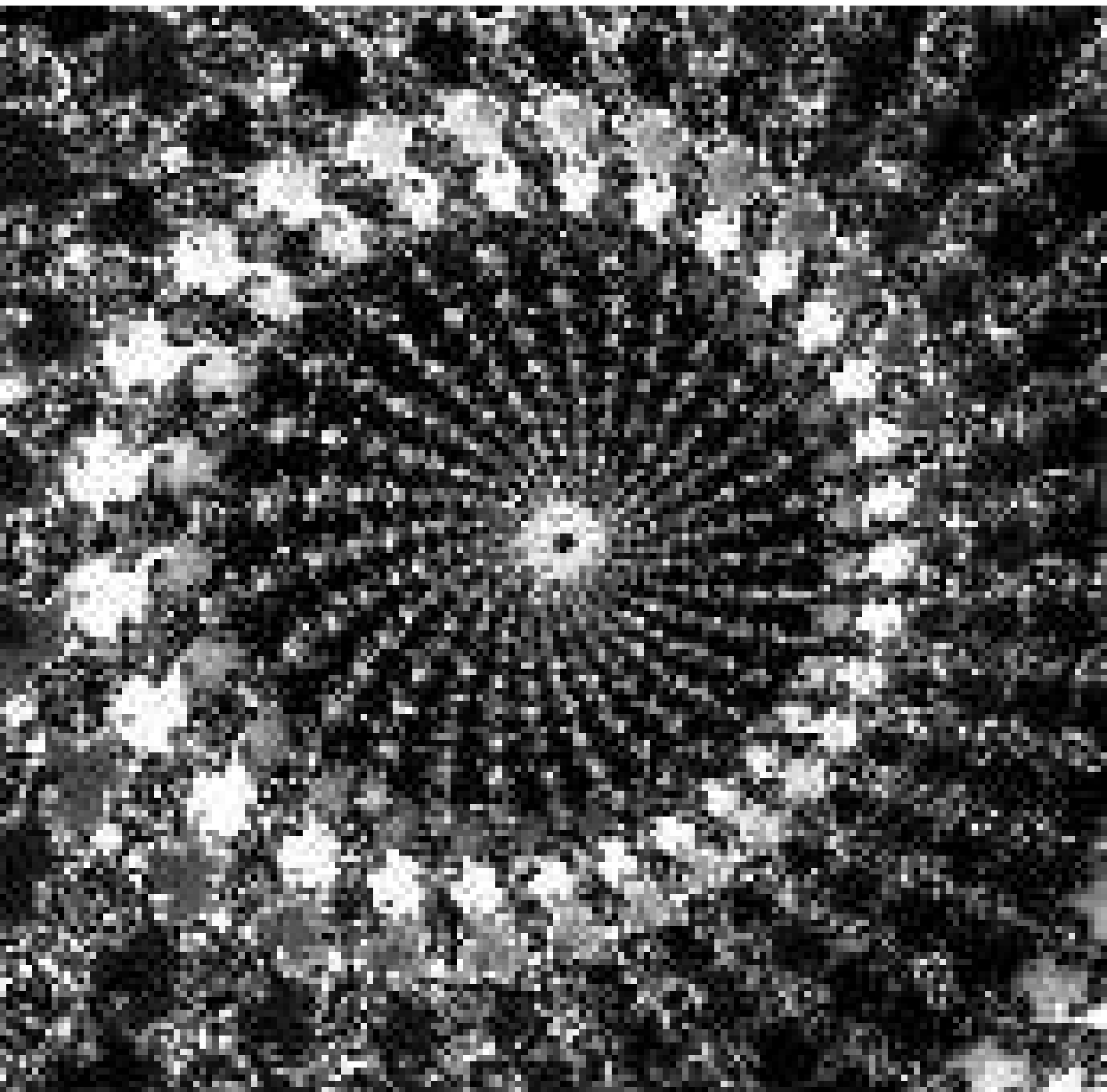
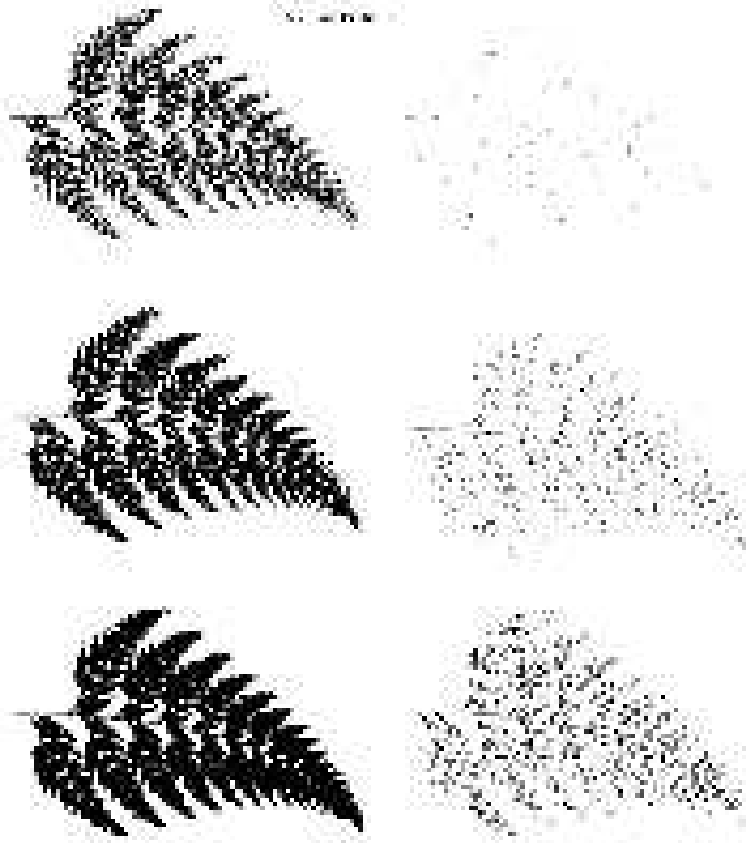


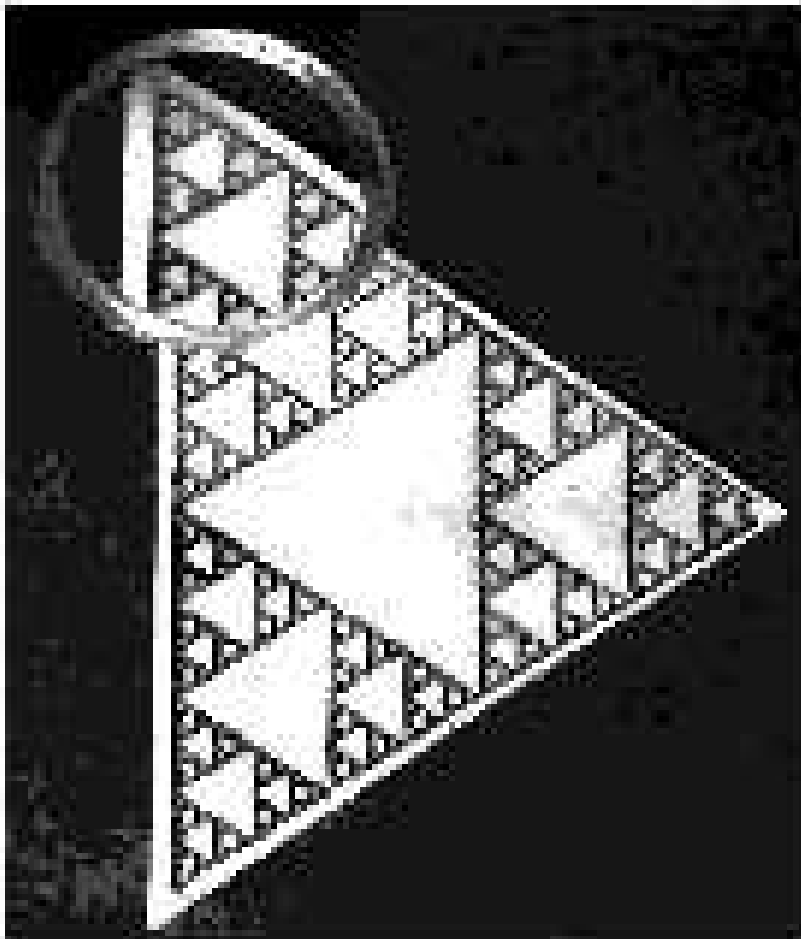
Figure 1. Schematic diagram of the experimental setup.

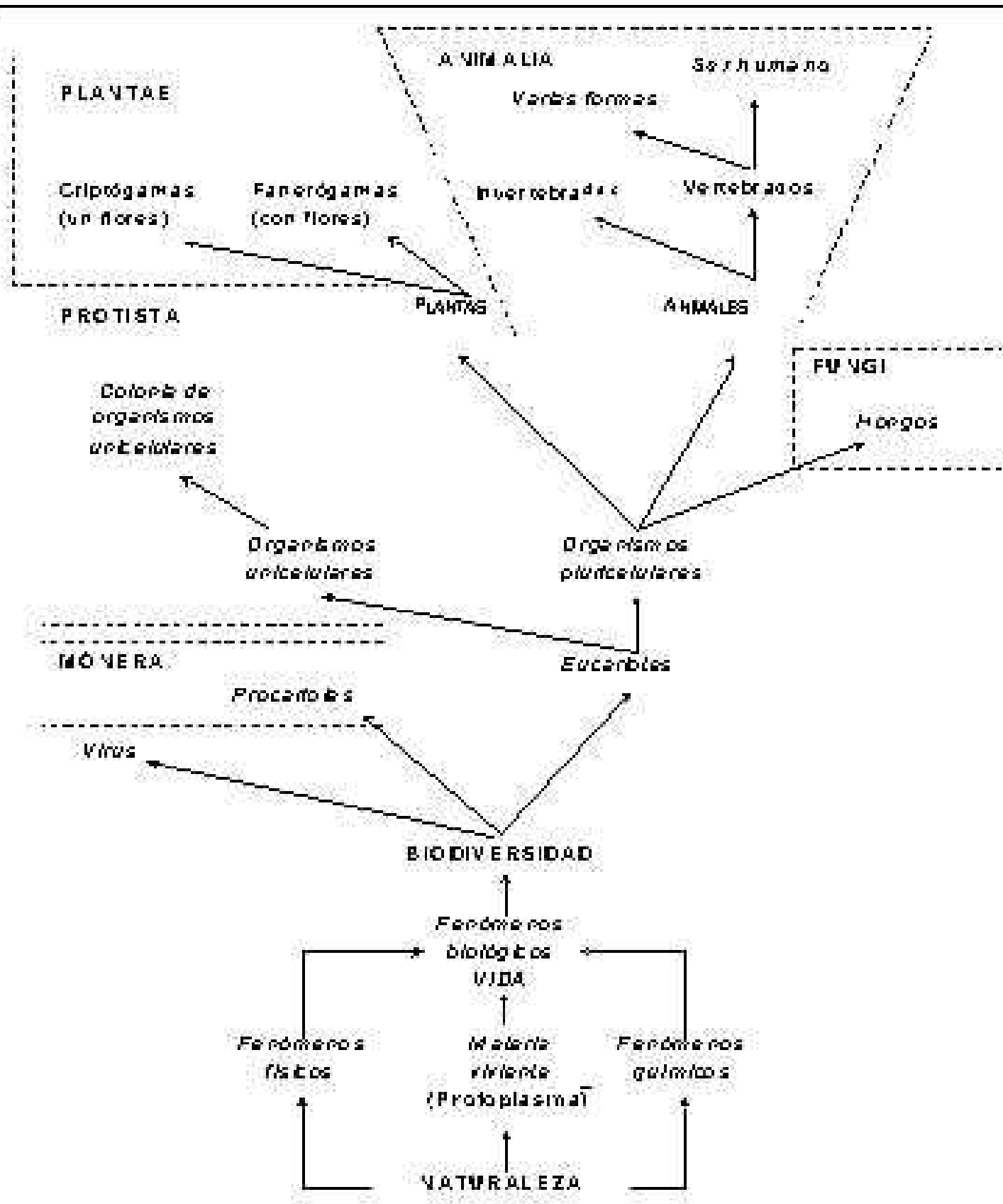




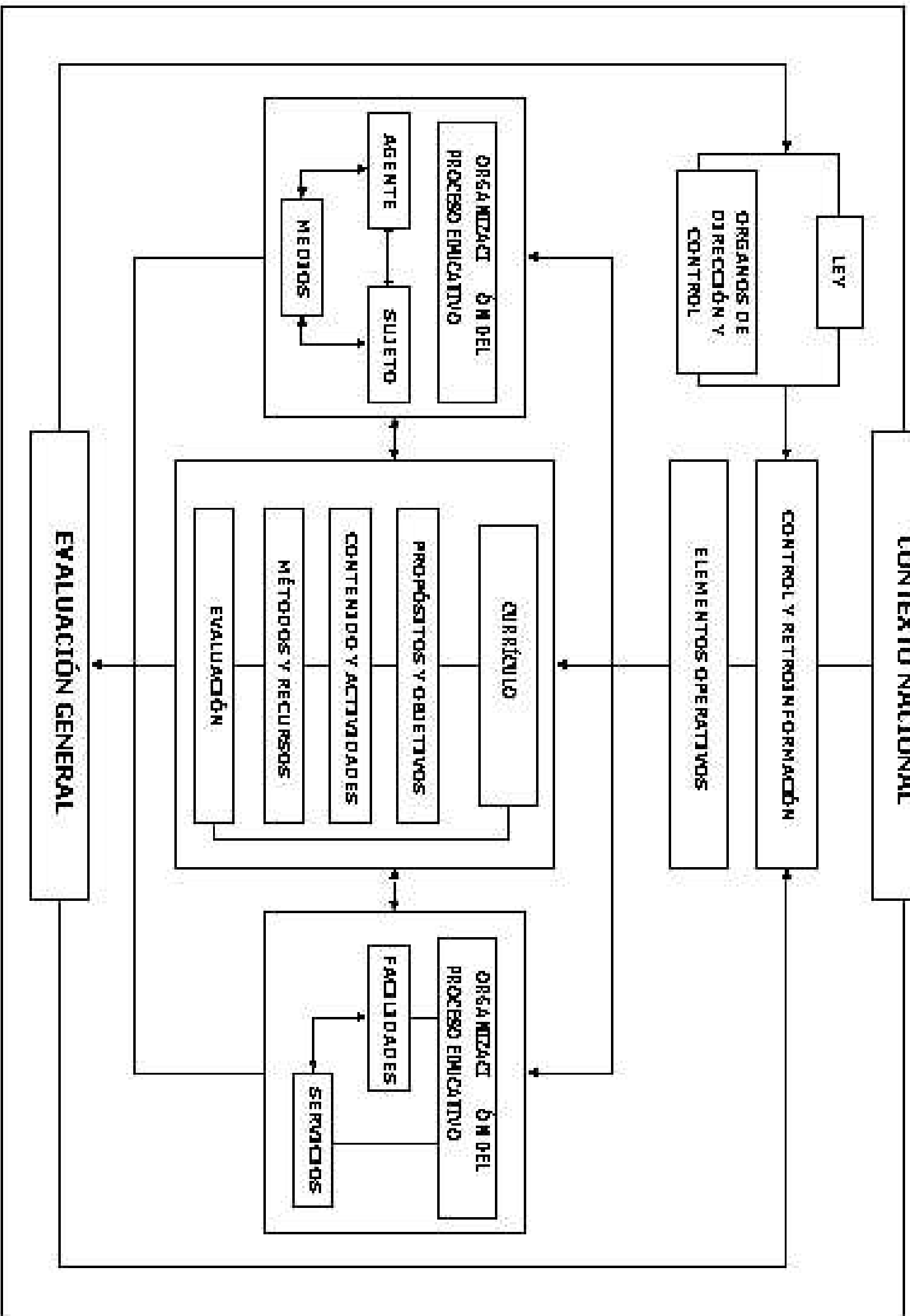








Adaptado del Manual de Referencia sobre Conceptos Ambientales C.A. Gómez Bogotá, 1992



CONTEXTO NACIONAL

LEY

ORGANOS DE
DIRECCION Y
CONTROL

CONTROL Y RETROINFORMACION

ELEMENTOS OPERATIVOS

EVALUACION GENERAL

CURRÍCULO

ORGANIZACION DEL
PROCESO EDUCATIVO

AGENTE

SUJETO

MEDIOS

ORGANIZACION DEL
PROCESO EDUCATIVO

FACILIDADES

SERVICIOS

EVALUACION

MÉTODOS Y RECURSOS

CONTENIDO Y ACTIVIDADES

PROPÓSITOS Y OBJETIVOS

