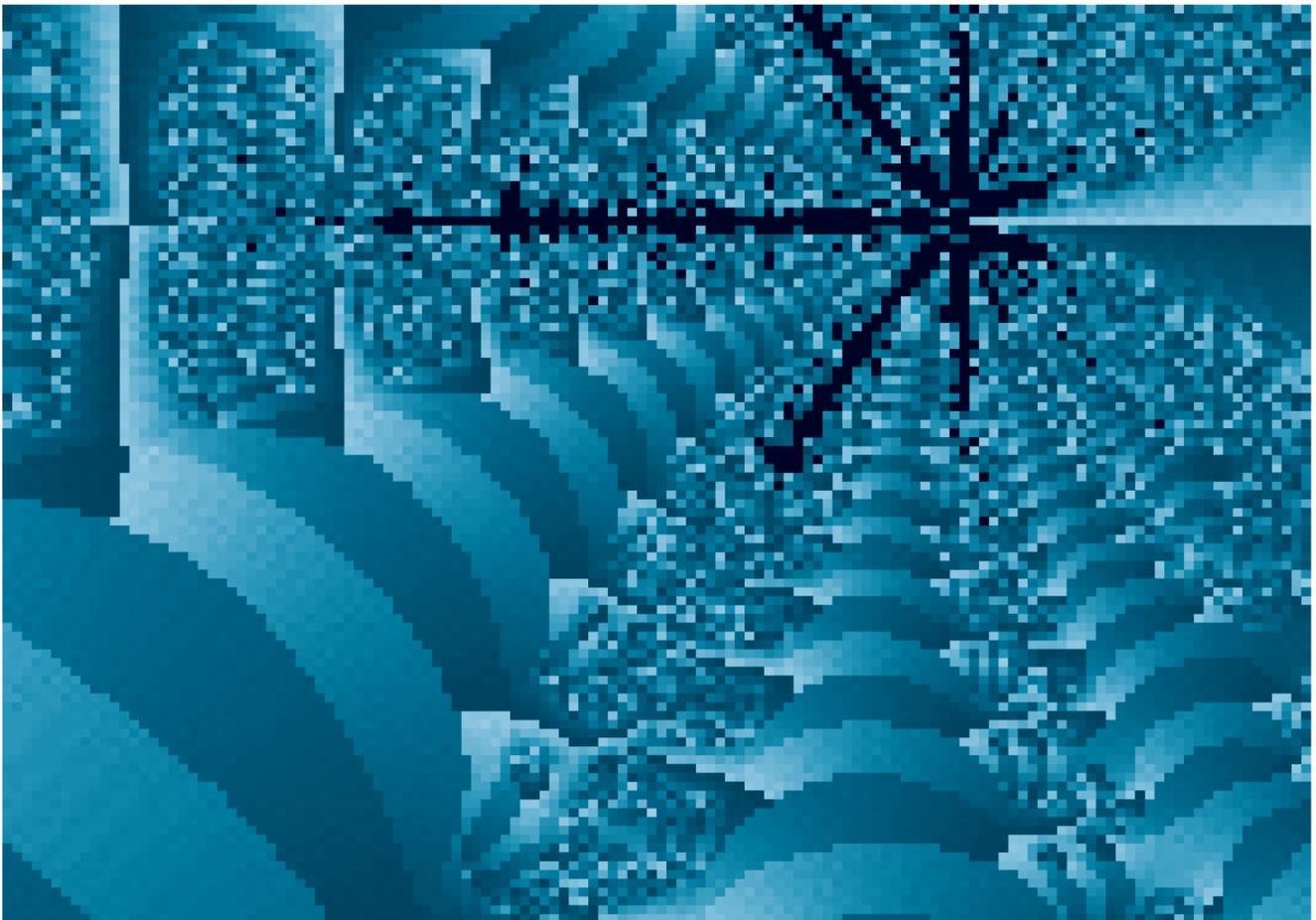


# Pre•Impresos

## Estudiantes

# 3

Facultad de Ciencia y Tecnología Departamento de Física 2006



## Los fluidos

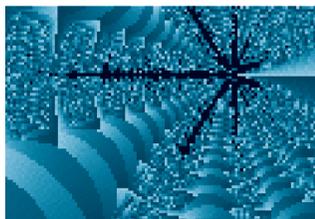
y sus formas extrañas

Erick Hernando Daza Sarmiento



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*



## Pre•Impresos **3** Estudiantes

Oscar Armando Ibarra Russi

**Rector**

Alejandro Álvarez Gallego

**Vicerrector Académico**

Mario Ballesteros Mejía

**Vicerrector Administrativo y Financiero**

Gerardo Andrés Perafán Echeverri

**Vicerrectora de Gestión Universitaria**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Departamento de Física**

Steiner Valencia

**Jefe de Departamento**

Enseñanza de las Ciencias  
desde una Perspectiva Cultural

**Línea de profundización**

Rosa Inés Pedreros

**Supervisión de contenido**

Juan Carlos Bustos

**Coordinador editorial**

© Universidad Pedagógica Nacional

© Erick Hernando Daza Sarmiento

**Imagen de portada**

Fractal mostrando la fragilidad de la estructura del agua, lo cual se evidencia en la forma como la turbulencia provocada por un motor perturba su estado de equilibrio.

Fotografía del autor.

Artículos publicados en diferentes medios escritos y referenciados en cada uno de los textos.

**Preparación editorial**

Universidad Pedagógica Nacional

Fondo Editorial

Luis Eduardo Vásquez Salamanca

**Coordinador**

Impreso en

**Bogotá, Colombia.**

**Primer semestre de 2007**

## Los fluidos, y sus formas extrañas

<b>Nacimiento de la Teoría del Caos</b>	<b>4</b>
Comprendiendo las formas de la naturaleza	<b>5</b>
Descripción de eventos	<b>7</b>
<b>Los fluidos y su extrañeza</b>	<b>10</b>
Movimientos turbulentos	<b>11</b>
<b>Bibliografía recomendada</b>	<b>14</b>

## Presentación

Con la publicación de estos cuadernillos se pone de relieve la importancia de la socialización de las ideas en el campo de las ciencias y su enseñanza. Actividad que resulta pertinente y significativa en la formación de las nuevas generaciones de maestros de ciencias, en la medida en que contribuye al fortalecimiento de la docencia y la investigación en educación. En concordancia con la filosofía de la Universidad Pedagógica Nacional que aporta a la sociedad investigadores en pedagogía desde campos disciplinares específicos, quienes en su futura práctica profesional tendrán que afrontar los retos y circunstancias diversos, y en ocasiones difíciles, que el entorno social le plantea a la educación en nuestro país.

En este marco, la serie Pre•Impresos es una iniciativa editorial del Proyecto de Comunicación y Publicaciones del Departamento de Física, que está dirigida a la comunidad académica en general y que tiene como propósito divulgar la producción intelectual de los estudiantes, en la que se destacan sus experiencias y reflexiones respecto a los temas propios de su quehacer disciplinar y pedagógico. Invitamos a la comunidad estudiantil a participar en este espacio de divulgación, en el cual no hay restricción alguna en cuanto al formato, número de páginas o tema, con la salvedad de aquellos que estén fuera de los intereses propios de la actividad del Departamento

### Información:

Departamento de Física

Tels.: (57) (1) 347 11 90

# Los fluidos y sus formas extrañas

**Erick Hernando Daza Sarmiento**  
Universidad Pedagógica Nacional  
Departamento de Física  
erickd1@mixmail.com  
verickhs@yahoo.com.mx

## Resumen

Este trabajo plantea una alternativa más dinámica para estudiar los eventos físicos, y particularmente los fluidos reales. En este sentido, se realiza una introducción sobre la perspectiva de la Teoría del Caos y algunas de sus características, como las formas

que muestran los fluidos en diferentes situaciones que llevan a vincular procesos como la caída libre, la ebullición y el cambio climático, entre otros, que dejan ver la complejidad y el dinamismo en los movimientos y comportamientos de dichos eventos.

## Nacimiento de la Teoría del Caos

A comienzos del siglo XX se realizó un concurso patrocinado por el rey de Suecia, en el que la tarea consistía en demostrar que el sistema solar, tal como lo planteó Newton, funcionaba para más de 2 cuerpos. Henri Poincaré, físico y matemático francés, decidió trabajar en esta demostración y comenzó su trabajo con la interacción entre dos cuerpos, la Tierra y la Luna. Este sistema, trabajado desde la ecuación de la fuerza gravitacional, dio como resultado unas ecuaciones que determinaban y predecían el evento con exactitud, pero aún faltaba hacer la demostración con cuerpos para comprobar las ecuaciones de Newton. Es así que Poincaré decide trabajar con tres cuerpos: la Tierra, la Luna y el Sol, de manera que realizó los cálculos correspondientes y encontró dificultades en la resolución de las ecuaciones; por tal motivo, propuso una solución al problema de los tres cuerpos, por medio de una serie de aproximaciones que al ser graficadas mostraron que el movimiento de la Luna era irregular, debido a las fuerzas de atracción que ejercieron la Tierra y el Sol, pues la Luna mostró en sus trayectorias perturbaciones que alteraban su movimiento.

El problema de los tres cuerpos condujo a Poincaré a analizar la forma en que las perturbaciones pequeñas pueden ocasionar una conducta caótica y hasta errática. De manera que, al seguir con sus trabajos y observaciones, reflexionó sobre éstos y no lograba comprender con claridad cómo un sistema determinista puede evolucionar hacia un estado caótico. Esto le ocasionó conflictos con el pensamiento mecánico en el que se había forjado, lo cual hizo que abandonara la idea de irregularidad y no linealidad, y continuara trabajando con hipótesis físico-matemáticas. Sin embargo, el descubrimiento de Poinca-

ré sólo se pudo comprender totalmente hasta 1954, con los resultados de los rusos Kolgomorov, Arnold y Moser (también conocidos con el colectivo de KAM), quienes venían trabajando varios años atrás con el problema de los tres cuerpos, llegando a la conclusión de que al menos en lo que respecta al sistema solar, éste no se descompondría por obra de su propio movimiento, siempre que uno de los siguientes supuestos fuera cierto:

- Que la interacción del tercer planeta mantenga una distancia considerable (miles de km) y que su fuerza de atracción sea mínima en comparación con la de los otros planetas.
- Que la distancia del tercer planeta no se salga de su órbita, es decir, que en sus trayectorias alrededor del sol sean irregulares y que conserve la distancia entre las órbitas de los planetas.

Estos supuestos plantearon varias inquietudes sobre los sistemas fuera de equilibrio y el desorden, que fueron la clave para posteriores trabajos que encaminaron la ruta de la perspectiva de la Teoría del Caos, y que plantearon visiones sobre el estudio de los eventos naturales y cómo pueden ser abordados desde una perspectiva distinta a la de la ciencia clásica, esto implica comenzar a percibir el mundo de otra forma.

Entre los años 1960 y 1970, los científicos (Boltzman, El colectivo KAM, David Ruelle, Edward Lorenz, George Cantor, Prigogine, Mandelbrot) comenzaron a trabajar en problemas relacionados con los fluidos, y es David Ruelle, quien al estudiar el fenómeno de la turbulencia, encuentra una cualidad, la cual surge de los movimientos de los fluidos, pues éstos, al interactuar con el entorno, muestran unas figuras raras que se

comprenden con el estudio de las formas irregulares y también que el sistema se encuentra fuera del equilibrio. Además, otros científicos comenzaron a vincular el aire con eventos como el movimiento pendular, lo que evidenció un proceso de retroalimentación en este movimiento, debido a la fricción que hay entre el péndulo y el aire, lo cual ocasiona una pérdida de energía, que antes no era tomada en cuenta por considerar el sistema del péndulo aislado del entorno (aire). Estas y otras inquietudes dieron herramientas y argumentos para sentar las bases de la **Teoría del Caos**. Igualmente, el desarrollo tecnológico permitió agilizar los procesos matemáticos de forma práctica, teniendo en cuenta la teoría de los métodos numéricos, los cuales se caracterizan por introducir una o varias ecuaciones a un programa de computación que permite manipular gráficamente un evento físico, matemático, químico o biológico, entre otros.

Sin embargo, la dificultad radica en reconocer otra forma de abordar los eventos naturales, la cual se comprende, analiza, estudia y piensa desde una visión de mundo que va ligada a la cultura occidental, que se ha caracterizado por fragmentar, determinar y predecir los eventos naturales. Por tal motivo, pensar un fenómeno físico con todas sus interacciones como un todo es realmente difícil, y en esa medida, para poder comprender la perspectiva de la Teoría del Caos debemos desligarnos del pensamiento de partición y comenzar a pensar un evento como un conjunto de interacciones, en el que cada interacción altera y afecta al evento a corto y a largo plazos. Al comprender la visión de conjunto debemos estudiar la esencia de las formas geométricas, y así construir más razones que aclaren este pensamiento, por eso es necesario realizar una “comprensión de las formas de la naturaleza” para identificar las características, los aspectos y las razones de cómo el hombre ha venido construyendo una geometría que dé cuenta de las formas que encontramos en el mundo, iniciando el discurso desde las formas regulares y continuando con las irregulares,

para después realizar una relación coherente de las formas que percibimos en el planeta.

### Comprendiendo las formas de la naturaleza

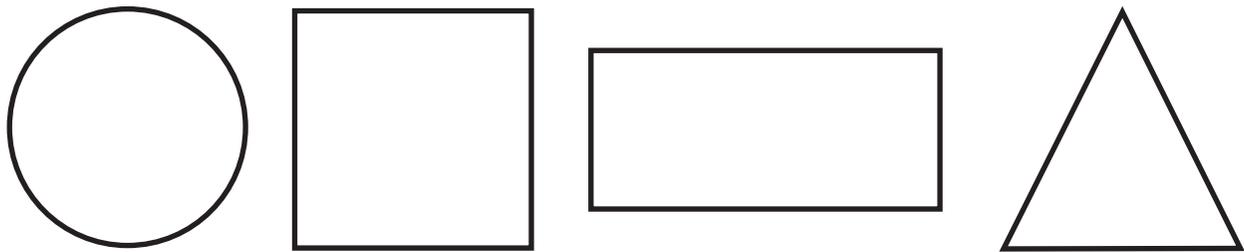
El estudio de las formas se realiza a través de la geometría euclídeana, en la que se estipulan unos postulados generales<sup>1</sup>, los cuales rigen su desarrollo y comprensión. Esta geometría es totalmente exacta y rígida, lo que permite ser trabajada por la matemática y la mecánica clásica, entre otras áreas del conocimiento. También se pueden realizar cálculos y construcciones para el beneficio del hombre, entre las que encontramos: puentes, iglesias, carreteras, autopistas, entre otros ejemplos que muestran la eficacia y capacidad de la geometría euclídeana.

A mediados del siglo XIX se realizaron investigaciones relacionadas con la matemática y la geometría que hicieron notar que la distribución de los espacios de una figura pueden ser cambiados para formar otra; de esta manera al estudiar las formas regulares se deben tener en cuenta sus medidas exactas y sus espacios simétricos, los cuales tienen una distribución en el espacio que es definido por unas coordenadas que establecen un espacio configurado por la figura, de modo que al redefinir las coordenadas (otra distribución en el espacio) obtenemos otra figura, pero conservando su espacio. A este manejo del espacio se le conoce como topología.

En este marco, en el ejemplo de la transformación de una dona se tiene en cuenta su espacio vacío, su longitud y sus coordenadas para realizar la transformación en una galleta cuadrada; es decir, un círculo se puede

---

<sup>1</sup> Los postulados generales se dieron a conocer por el filósofo y matemático Euclides, quien instauró unas normas y reglas para toda su geometría, entre las cuales encontramos “que una línea es una sucesión de puntos y que la recta tiene fin y comienzo”, entre otros.



Gráfica 1. Si tenemos un pedazo de plastilina y formamos con ésta un círculo, y después comenzamos a moldearla, podemos formar un cuadrado; luego se sigue moldeando y se convierte en un rectángulo, hasta que realizamos la última transformación y queda convertido en un triángulo. Éste es un ejemplo de la topología y de las transformaciones que se pueden realizar conservando su espacio inicial.

transformar en un cuadrado, rectángulo o triángulo, pero conservando su espacio y longitudes. Si bien la topología permite comprender las formas regulares a diferentes escalas, tiene dificultades en el análisis y la comprensión de las formas irregulares, y para esto vamos a introducirnos en la geometría fractal.

La geometría fractal se encarga de estudiar las formas irregulares que encontramos diariamente, como las hojas de los árboles, las coliflores, los repollos, los árboles, las marcas en la arena, los movimientos de los fluidos y del corazón, las sustancias viscosas, las montañas, las rocas, entre otros, que muestran características esenciales de un fractal, como los rasgos comunes que se dan en una figura irregular, por



Foto de paisaje europeo, donde se muestra cómo en la naturaleza se evidencia la geometría fractal en la estructura de los árboles, el reflejo de las ondas en el agua en contraste con la geometría euclidiana de la casa.

ejemplo el repollo, pues si observamos su forma total y una parte pequeña nos damos cuenta que son semejantes y lo único que los diferencia es el tamaño; por tanto, es necesario comprender cómo surgió la geometría fractal para entender los eventos y formas naturales que encontramos a diario en nuestro mundo.

Ahora bien, para construir una teoría geométrica deben existir varios elementos de otras teorías en las cuales se sustente; en este sentido, en la relación entre la geometría euclidiana y la topología se encuentran varios elementos que sirven para instaurar y crear la geometría fractal, que percibe y comprende las formas irregulares en su esencia. Por esta razón es necesario introducir una matemática más ágil que se pueda relacionar con la simulación numérica, lo que permite crear, analizar y comprender los fractales (ver gráfica 2). Esta matemática realiza una descripción cualitativa que se fundamenta en la comprensión y el análisis de gráficas, que permite razonar sobre las formas y características semejantes entre éstas, para así establecer unas coordenadas que identifiquen la forma irregular en un determinado espacio.

Para comprender las formas irregulares consideremos el caso del aparato circulatorio. Lo primero es conocer el motor de este sistema, el corazón, que

es el encargado del bombeo de la sangre por todo el cuerpo y que varía de acuerdo a la actividad del individuo, por lo cual la capacidad de bombeo del corazón no es regular. Lo segundo es reconocer que la sangre es una sustancia viscosa que dificulta su estudio, y por último, es necesario tener en cuenta las dimensiones por donde transita la sangre en el sistema circulatorio (las arterias y venas). Ahora, si analizamos el comportamiento de la sangre en el sistema circulatorio, encontramos que en su recorrido la velocidad de flujo es variable debido a la fricción que hay con las paredes de las arterias y venas; igualmente, como el bombeo del corazón no es constante, esto genera que al expulsar la sangre sus variaciones sean mayores, lo que nos muestra que es un comportamiento no lineal que se define mediante algunos estudios gráficos como una forma irregular, la cual tiene características de un fractal.

Este ejemplo nos permite reflexionar sobre la relación entre formas y movimientos que muestran un tipo de comportamiento que evidencia características de un sistema en constante interacción con miles de cuerpos, y estos comportamientos no lineales son comunes en nuestro contexto inmediato. Para estudiar un evento natural es necesario realizarlo desde una perspectiva particular; a continuación estudiare-

mos dos perspectivas, la reduccionista<sup>2</sup> y la nueva racionalidad, para comprender la forma de abordar los eventos naturales.

### Descripción de eventos

Cuando se estudia la caída de los cuerpos desde el reduccionismo, en la descripción del movimiento se idealiza su comportamiento, soslayando las interacciones con el entorno, obviando variables como la temperatura, el aire, entre otras. La manera de proceder de esta perspectiva se caracteriza por: aislar la interacción con el entorno y suponer que hay un vacío; reducir el número de variables, y predecir con exactitud, pues esto permite realizar cálculos y mediciones exactas de los eventos naturales.

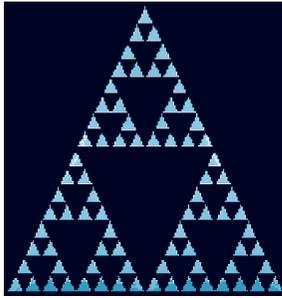
Por otro lado, la perspectiva reduccionista comenzó a tener inconvenientes para explicar algunos eventos naturales como la turbulencia, la dinámica de poblaciones y otros que no se podían solucionar en su totalidad, lo cual originó nuevas formas de abordar los eventos y una nueva perspectiva que estudiaremos a continuación.

Ahora, si tenemos en cuenta la interacción del cuerpo cayendo con el entorno, nos damos cuenta de otras interacciones, como la presencia de otras

---

<sup>2</sup>En ciencia clásica, se considera que un fenómeno es ordenado si su dinámica se puede explicar dentro de un esquema de causa y efecto, representado por una ecuación diferencial. Esta postura, cuando es extrema, se conoce como reduccionismo y percibe la naturaleza básicamente como lo haría un relojero con un mecanismo: algo que es susceptible de ser desarmado y vuelto armar tantas veces como se quiera. Esta perspectiva se establece como una forma precisa y exacta de explicar los fenómenos que predicen y determinan un acontecimiento.

Todo esto generó que la perspectiva reduccionista se aplicara en construcciones, diseños y modelos científicos que mostraron la capacidad y eficacia que tiene este movimiento, por tal motivo, tuvo y tienen varios seguidores que siguen su filosofía y pensamiento. Además, su orden y sus estructuras indicaron que la perspectiva identificaba todos los eventos que encontramos en la naturaleza. Lo que permite desarrollar en gran parte la ciencia; sin embargo, también retrasó su desarrollo debido a que los defensores y grandes discípulos se negaban a asumir o a tener en cuenta otra perspectiva. De modo que otras teorías se basan en este pensamiento mecanicista, por tal motivo es vital reconocer que el movimiento reduccionista ha instaurado unas bases y estructuras sólidas de las ciencias exactas.



Gráfica 2. Para éste, se comienza con un triángulo equilátero. En su interior, se traza otro triángulo equilátero, cuyas puntas, o esquinas, deben coincidir con los puntos medios de cada lado del triángulo mayor. Esta nueva figura tendrá una orientación invertida con respecto a la primera. Seguido, se retira, o se elimina de la figura ese nuevo triángulo invertido, tal que solamente se conserven los tres triángulos equiláteros menores –y similares– que se observan dentro del grande. Luego, realizamos el mismo procedimiento (de iteración) para cada triángulo pequeño, obteniéndose, como resultado, un triángulo de Sierpinski.

partículas del medio que influyen en el suceso físico o de hechos como la variación de la temperatura del aire o la contaminación del medio en el que cae el cuerpo. Estas nuevas consideraciones en relación con el entorno, interacciones y hechos implican un cambio en el análisis del evento, lo cual a la vez genera otra forma de pensar y describir los movimientos que aparentemente no tienen un orden y que también comportan un desorden inminente en ellos.

Al estudiar el mismo fenómeno desde la nueva racionalidad, lo primero a tener en cuenta es la interacción con el entorno, su dependencia a las con-

diciones iniciales, lo segundo es comprender las relaciones entre las variables para poder encontrar un resultado, el cual no es totalmente predecible; lo tercero es comprender las formas que generan dicho comportamiento, esto evidencia que las interacciones que no se habían tenido en cuenta por la perspectiva de la mecánica clásica pueden dar cuenta de las formas extrañas y eventos desordenados.

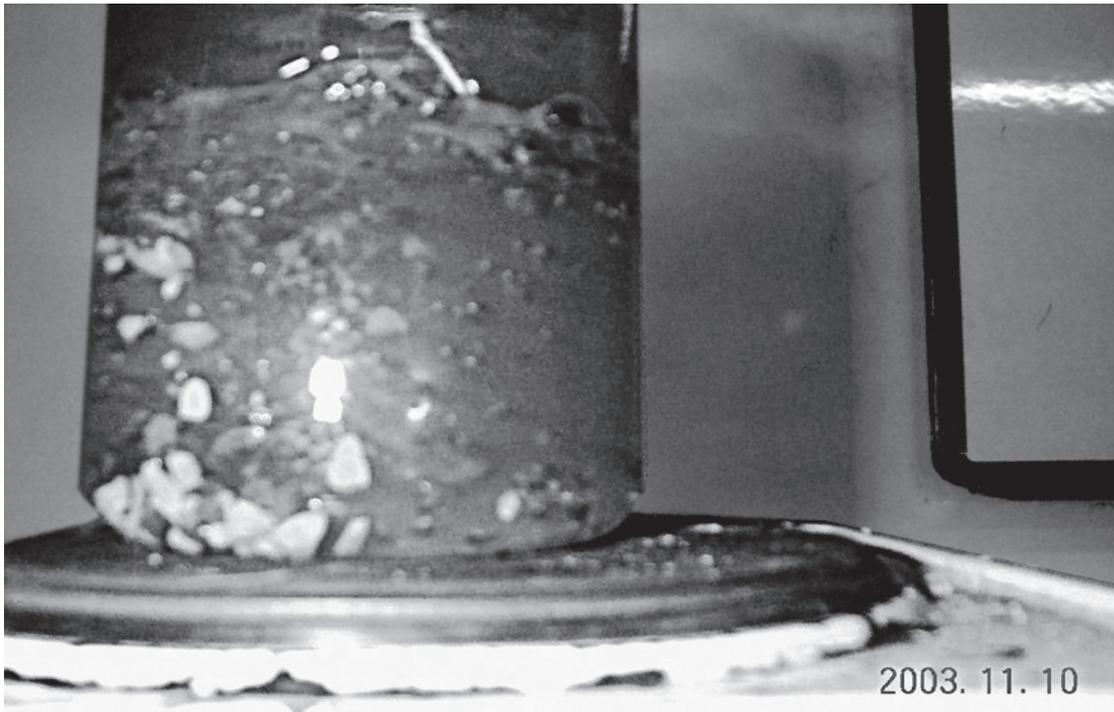
Para avanzar en la comprensión de esta nueva racionalidad, es conveniente reflexionar y pensar en acontecimientos que muestren un desorden en su movimiento, que miremos cómo suceden estos hechos en los que se tienen presentes características como la sensibilidad a condiciones iniciales y la interacción con el entorno. Por ejemplo, en la caída libre y en la ebullición del agua tenemos situaciones como las que se observan en la foto (foto1).

Además, la nueva racionalidad plantea la reflexión sobre la interacción que ocurre con el entorno, por eso al estudiar la caída libre de los cuerpos desde esta perspectiva se puede diferenciar las masas y gravedades, dependiendo de dónde se encuentren, lo que permite establecer características generales para los cuerpos grandes y pequeños, y también estudiar el fenómeno del paracaídas y algunas aves que utilizan el aire como medio de interacción para volar, por esto es necesario comprender y aplicar otra forma de abordar los eventos.

Cuando se realiza la ebullición del agua para comprobar los cambios de estado, no se tiene en cuenta algunas variables que intervienen y modifican el



La imagen pone en evidencia al aire como evento principal en los eventos físicos.



Fotografía sobre el estudio de la turbulencia del agua en estado de ebullición tomada por Erick Daza.

desarrollo del evento; por lo general se mide la temperatura ambiente del agua, pero no se considera la temperatura del entorno; la hora de realizar el suceso tampoco es tomada en cuenta. Al hervir el agua no se estudia la interacción con las partículas del entorno, y no se analiza el movimiento que se genera al interior del beaker. Ahora, si este evento se estudia desde la nueva racionalidad, es importante conocer las condiciones iniciales en que se encuentra el sistema, como la temperatura del entorno, como la del agua, la hora de comienzo y finalización, y la interacción con las partículas del entorno, además al ebullición el agua se puede analizar los diversos movimientos que se generan.

De manera que si le agregamos pedazos de tiza al agua, como se puede ver en la foto 1, parece haber un movimiento desordenado, que si nos detenemos a mirar con más detalle observamos una serie de remolinos jugando con otros remolinos, pero que

mantiene una dirección y una organización más compleja, que muestran cómo un movimiento caótico tiene un orden más estructurado. En realidad, comprender el comportamiento de un fluido que experimenta varios cambios de estado nos lleva a estudiar la turbulencia en diferentes ámbitos: (masas de aire, movimiento del agua, sustancias viscosas –sangre–), entre otras, que muestran como esta perspectiva puede explicar eventos aparentemente desordenados.

La manera de estudiar los fluidos desde las formas y movimientos, implica reconocer que la teoría del caos puede dar explicaciones elaboradas desde lo cualitativo y lo cuantitativo, y estos eventos se pueden pensar, analizar y explicar desde la nueva racionalidad. A continuación, se expondrán algunos eventos naturales, observados y analizados desde la nueva racionalidad.

## Los fluidos y su extrañeza

En la primera parte del trabajo se ha realizado una introducción sobre el surgimiento y las características de la teoría del caos, lo cual permite orientar el camino y comenzar a indagar en diferentes textos los eventos naturales como los fluidos reales, lo que genera cuestionamientos y análisis de estos eventos que muestran el “caos” en sus movimientos y comportamientos en diferentes sistemas. También realizando diferentes observaciones sobre los comportamientos de los fluidos, se puede apreciar la relación que existe entre sus movimientos y formas, esto lleva a continuar con la búsqueda y explicación de los fluidos reales, que generan varias inquietudes y preocupaciones debido a la dificultad de trabajarlos y aplicarlos con destreza.

Al concentrar la mirada en el estudio de los fluidos, se puede observar que en los arroyos las formas del agua, y especialmente en el caso donde el agua fluye normalmente y choca con una piedra, originan remolinos, y éstos, a su vez, forman más remolinos. Este hecho nos llevó a comprender que los movimientos tienen un orden oculto más estructurado que muestran cómo hay formas de semicírculos abiertos que dan origen a múltiples formas de diferentes tamaños y direcciones, los cuales se entrelazan, lo que nos lleva a tener una organización compleja.

Al estudiar la forma de una coliflor, se puede observar que la parte más pequeña es similar a toda la coliflor, lo que indica que todas sus partes son semejantes y que es una estructura compleja. De modo que es necesario vincular un análisis con tres dimensiones, lo que origina que al hallar su área se introduzcan los números fraccionarios, debido a la forma irregular como está constituida la coliflor, y éstos a su vez construyen dimensiones fraccionadas que im-

plica concentrarse en el campo de los fractales. Sin embargo, las formas irregulares no sólo se encuentran en cuerpos sólidos, sino también en líquidos, es decir, en los movimientos de un fluido. Cuando se analiza una corriente de agua que al chocar con una piedra forma remolinos dentro de remolinos que a simple vista parecen un movimiento desordenado, pero que al tomar una foto digital y ampliarla se logra ver una especie de círculos semiabiertos que están interaccionando, y al aumentar la imagen y trabajarla en tres dimensiones se puede observar una curva que pasa sobre otra sin tocarse, y cuando se mira la imagen en su totalidad se puede visualizar una gran cantidad de curvas entrelazadas que forman movimientos de ida y vuelta, que muestran una cierta organización que parece no tener fin, generando un movimiento complejo.

De manera que es necesario realizar varias observaciones del mismo fenómeno y tomar varias fotos para comprender el sentido de este movimiento turbulento que se encuentra instaurado en el caos. Después de realizar las observaciones necesarias o suficientes, se realiza un análisis de los movimientos generados por los remolinos, los cuales muestran una región que atrae a la mayoría de éstos; aunque no es claro cómo se forma esta atracción, sí hay una manifestación organizada y estructurada que origina el movimiento de los remolinos. No obstante, comprender esta forma extraña, requiere tener en cuenta una ecuación que nos dé cuenta del evento y además que ésta se puede trabajar con un método numérico para introducirla al computador y así poder trabajar con sus variables para ver la gráfica y la animación de dicho evento, en varios instantes, con más detalles que evidencian el orden estructurado.



En esta imagen se muestra la autosimilitud (procesos repetitivos), una característica de la geometría fractal.

“La teoría del caos, que muchos consideran, trata sobre la impredecibilidad, también versa sobre la predictibilidad de los sistemas, aún de los más inestables. La teoría del caos no hace énfasis en el desorden del sistema bajo estudio, sino precisamente en el orden que exhibe o el comportamiento universal de sistemas similares”. (Monroy, 1997).

Lo que asevera César Monroy nos confirma que no todos los eventos naturales son impredecibles, sino que hay eventos que se pueden predecir con gran exactitud, además aclara que hay fenómenos caóticos que mantienen un orden más complejo que debe ser estudiado con más detalle, debido a sus interacciones. Por tal motivo, vamos a estudiar unas características de la turbulencia.

A continuación se mostrará un experimento de un fluido gaseoso que consta de los siguientes materiales: hielo seco, campana de vacío, fuente, bananos, filamento (alambre) y bomba de vacío. Con estos materiales se realiza el siguiente montaje: la fuen-

te se conecta a los dos bananos que se encuentran en el interior de la campana de vacío, los cuales a su vez están conectados al filamento, y por último, se introduce el hielo seco; después se comienza a variar el valor de los voltios para generar diferentes movimientos en el gas. Esto muestra cómo hay unos movimientos regulares a una escala macro, pero al realizar una observación más precisa se puede ver cómo los movimientos son irregulares y se comportan en forma de remolinos por el piso de la campana de vacío, mientras en la altura su movimiento es prácticamente regular. En conclusión, el evento nos muestra una relación entre los movimientos irregulares y regulares que evidencian un comportamiento no lineal, y además que un movimiento depende del otro y que éste alimenta el movimiento subsiguiente, lo que genera una autorregulación.

### Movimientos turbulentos

Cuando se estudia un movimiento turbulento (remolinos, es decir fluidos en forma de vórtice), éste se puede comportar como un líquido, un sólido o

un gas; a estos estados de la materia se les conoce como fluidos, y uno de los primeros en trabajar la atmósfera como un fluido incomprensible y dinámico fue el científico Edward Lorenz, quien al observar el fenómeno del clima estableció que la atmósfera era una inmensa masa de gas que al tener contacto con los rayos solares se comporta de forma regular y se puede predecir su comportamiento. Construyó un modelo con 12 ecuaciones, las cuales tienen las características más importantes del entorno, y al manipularlas en la computadora observó en los primeros valores un movimiento regular, y después de unos días lo que observó fue un movimiento caótico, lo cual lo llevó a realizar un análisis del trabajo, del cual pudo constatar que este hecho era totalmente impredecible. Teniendo en cuenta esto, Edward Lorenz consideró que las perturbaciones del clima de un barrio pueden alterar el clima de la ciudad y lo ilustra con la siguiente analogía: “Si una mariposa que se encuentra en una región deshabitada de Filipinas mueve sus alas formando remolinos, estos ocasionan después de tres meses un tornado en Texas”. Lo que puso en evidencia Lorenz es que los microcambios en el entorno pueden generar macrocambios, en otras palabras, la mariposa, al formar una pequeña turbulencia, va aumentando gradualmente el fenómeno, esto ocasiona un suceso de mayor magnitud, es decir, el clima se ve afectado por miles de variables, las cuales generan una impredecibilidad climática, debido a la complejidad de sus interacciones que están sujetas a constantes cambios; este hecho se conoce como el “efecto mariposa” y es conocida con el nombre de sensibilidad a condiciones iniciales”.

Esto deja ver que los pequeños cambios en un entorno estable pueden perturbar a otro a gran escala, pues un pequeño cambio se duplica exponencialmente hasta llegar a un fenómeno mayor que altera el entorno. En la nueva racionalidad se estudian más interacciones que ocurren en los eventos naturales, como la fricción con el aire, temperatura y otras que no se tenían en cuenta, de modo que para esto se



Mariposa silvestre proveniente de los bosques de china. Imagen que refleja la delicadeza y fragilidad del cambio climático.

debe tener claro las variables, parámetros y magnitudes que se estudian en un fenómeno. Además, lo que sí asegura esta nueva perspectiva es que no es posible estudiar un evento natural con todas sus variables y llegar a la realidad que manifiesta todo el evento.

Ahora bien, se tiene un mundo real que está ante nuestros ojos, pero, debido a la cantidad de interacciones que allí ocurren, el hombre ha fragmentado la realidad para poder estudiarla, de otra manera sería imposible estudiar cualquier evento con todas las variables que intervienen en un acontecimiento natural. De tal manera que la nueva racionalidad afirma que es totalmente imposible llegar a la realidad última, pero que con esta nueva perspectiva podemos comprender aquellos eventos naturales que antes no se habían estudiado debido a su complejidad, y

que son más comunes y se encuentran en nuestra cotidianidad.

Además, esta nueva perspectiva, muestra una alternativa más dinámica que se concentra en explicar los fenómenos caóticos y que implica buscar un significado complejo desde el pensamiento y la filosofía de la Teoría del Caos, y esto genera que se dé una explicación desde sus formas y movimientos para comprender la complejidad de los eventos, y genera una incertidumbre constante frente al estudio de los eventos naturales, debido a sus múltiples interacciones que desencadenan los comportamientos que encontramos en nuestro entorno. De modo que la Teoría del Caos, nos muestra cómo las formas extrañas y los eventos caóticos tienen una manera de comprender y explicar que implica construir una geometría y matemática más ágil y eficaz para estudiar los acontecimientos desordenados que encontramos diariamente, y que son más comunes debido a su cercanía y relación con ellos.

Por último, la relación entre las formas, los movimientos y las condiciones iniciales se generan en los eventos a partir de la interacción que existe entre los elementos del mundo, porque todo evento tiene unas condiciones iniciales y unos movimientos que lo caracterizan en las formas que evidencia el suceso en su evolución, es decir, que al comprender que los eventos son únicos en un espacio-tiempo, se puede vincular un proceso según las condiciones del sistema, y podremos estudiar y apreciar los eventos naturales en su totalidad. El propósito del trabajo también es mostrar que el estudio de todos los eventos naturales es posible realizarlo desde los fluidos dinámicos reales y que éstos involucran las características más importantes de la Teoría del Caos, pues, en todo evento “real” existe un fluido de alguna especie que está interaccionando en el evento, pero esto sólo se puede realizar si estamos instaurados en la perspectiva de la nueva racionalidad.

## Bibliografía recomendada

BRIGGS, J. y PEAT, F. (1994). *Espejo y reflejo del caos al orden*. Barcelona: Gedisa.

CAPRA, F. (1998). *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama.

IVAR, E. (1992). *Al azar, la probabilidad, la ciencia y el mundo*. Barcelona: Gedisa.

LORENZ, E. (2000). *La esencia del caos*. Madrid: Debate.

MALDONADO, C. (1999). *Visiones sobre la complejidad*. Vol. 1. Bogotá: Universidad del Bosque.

MATURANA, H. (1996). *La realidad: ¿objetiva o construida? Fundamentos biológicos de la realidad*. Barcelona: Antropos.

MONROY, C. (1997). *Teoría del caos*. México DF: Alfaomega.

MORIN, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.

PRIGOGINE, I. (1997). *El fin de las certidumbres*. Madrid: Santillana.

RUBIANO, G. (2000). *Fractales para profanos*. Bogotá: Unibiblos.

SCHITMAN, D. (1994). *Nuevos paradigmas. Cultura y subjetividad*. Buenos Aires: Paidós.

SMITH, P. (2001). *El caos*. Madrid: Cambridge University Press.



## Sobre el Autor

**Erick Hernando Daza Sarmiento:** es Licenciado en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, se tituló en marzo de 2004 con el trabajo Teoría del caos: una aproximación al atractor de Lorenz. En ese mismo año se vinculó al grupo de estudio pedagógico Fomento 2 en la Escuela Pedagógica Experimental, EPE. Actualmente hace parte del Grupo de Sistemas Dinámicos de los Egresados del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, y trabaja como docente en el sector privado.