

FRACTALES, ECONOMÍA Y EMPRESAS

Fractals, economics and business

RUFINO ITURRIAGA¹, CARINA JOVANOVICH²
(UNNE, RESISTENCIA, ARGENTINA)

Resumen

No es novedoso afirmar que la geometría fractal ha ganado un amplio espacio en las décadas más recientes y que sus aplicaciones han ido en aumento, justamente el ámbito de las ciencias económicas se halla incluido dentro de esta afirmación.

Este trabajo busca establecer las posibilidades de aplicación de la geometría fractal a la economía, organización y administración de empresas, analizando la factibilidad de las mismas.

Palabras Clave: Fractales, Compañías, Mercados, Finanzas, Teoría de Elliot.

Abstract

No new claim that fractal geometry has gained much space in recent decades and its applications have been increasing, just the field of economics is included in this statement.

This paper seeks to establish the applicability of fractal geometry to economics, business administration and organization, analyzing the feasibility of the same.

Key Words: Fractals, Companies, Markets, Finance, Elliot theory.

Conceptos

Los fractales, cuya categorización ha desafiado a la geometría y al análisis convencional, han sido estudiados por diferentes autores buscando puntos de conexión entre ellos y distintas disciplinas; sus aplicaciones han crecido exponencialmente y se expandió

¹ Rufino Iturriaga - Ingeniero Electromecánico – UNNE, Resistencia, Argentina- rufinoit@yahoo.com.ar

² Ethel Carina Jovanovich – Licenciada en Tecnología Educativa, Especialista en Investigación Educativa – UNNE - UTN-FRRe, Resistencia, Argentina- carijovanovich@yahoo.com.ar

a diferentes ramas de las artes y las ciencias. Existen teorías basadas en fractales que regulan el enorme tráfico de las comunicaciones, comprimen las señales de audio y vídeo, explican el crecimiento de tejidos biológicos, analizan el comportamiento de ondas sísmicas y se los usa para el pixelamiento de imágenes al ampliarlas, para mantener o mejorar la fidelidad. Son ampliamente conocidas las pinturas de fractales e incluso hay música surgida de ellos.

El término fractal es un vocablo derivado del latín, *fractus* (participio pasado de *frangere*), que significa quebrado o fracturado y se lo utiliza para designar a objetos semi-geométricos cuya estructura básica se repite a diferentes escalas. No es sencillo encontrar una definición rigurosa para los fractales, de hecho, no existe aún una definición universalmente aceptada por el mundo académico. El famoso matemático Benoit Mandelbrot³ fue quien propuso el término “fractal” para designar a estos elementos.

En el capítulo 5 de su obra *La Geometría Fractal de la Naturaleza*, Mandelbrot trata un ejemplo sobre la longitud de la costa de Gran Bretaña⁴, en la cual, a través de un relato anecdótico brinda una impresión sencilla para obtener un claro concepto acerca de los fractales. Al respecto de la longitud de la costa, el autor Clifford A. Pickover establece:

Si se intentara medir una costa o límite entre dos naciones, el valor de esta medición dependería de la longitud de la vara de medir utilizada. Conforme la vara de medida disminuyera en longitud, la medida sería más sensible a las curvas cada vez más pequeñas del contorno y, en principio, la longitud de la costa tendería a infinito conforme la longitud de la vara se acercara a cero. El matemático británico Lewis Richardson consideró este fenómeno en su intento de establecer una correlación entre la aparición de guerras y la frontera que separa dos o más naciones (llegó a la conclusión de que el número de guerras de un país era proporcional al número de países con los que limita). A partir del trabajo de Richardson, el matemático franco-estadounidense Benoit Mandelbrot, añadió y sugirió que la

³ Benoit B. Mandelbrot nació en 1924 en Varsovia, Polonia, en el seno de una familia judía y fue educado bajo la tutela de su tío, Szolem Mandelbrot, reconocido profesor de Matemática en el Colegio de Francia, el mismo que le recomendó que leyera la tesis de doctorado que Gaston Julia (1883-1978) había publicado en 1918 sobre iteración de funciones racionales. En 1977, durante su trabajo en el Laboratorio de IBM de Yorktown Heights, New York, Mandelbrot pudo demostrar como el trabajo de Julia constituye la fuente de los fractales más hermosos conocidos hasta el momento. En 1982 publicó su libro *Fractal Geometry of Nature*, en el que explicaba sus investigaciones en este campo. Entre 1985 y 1991 recibió numerosas distinciones, entre las que se destacan el premio "*Barnard Medal for Meritorious Service to Science*", la "*Franklin Medal*", el premio "*Alexander von Humboldt*", la "*Medalla Steindal*" y la "*Medalla Nevada*". En el año 2004 su obra "Fractales y Finanzas" fue elegida como mejor libro de economía del año por la versión alemana del Financial Times. Fue profesor en la Universidad de Harvard, Yale, el Colegio Albert Einstein de Medicina y otros. Falleció en octubre de 2010 en Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos.

⁴ Ideas expuestas originalmente en su trabajo "How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension", *Science* 156 (1967), pp. 636-638.

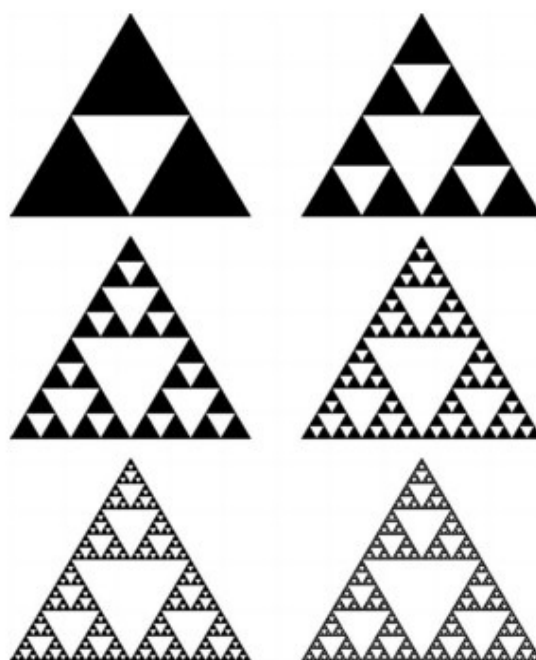


Figura 1: Triángulo de Sierpinski

Fuente: <http://cuentos-cuanticos.com>

relación entre la longitud de la vara de medir y la longitud total aparente de una costa podía expresarse a través del parámetro D , la dimensión fractal⁵.

En el intento de una definición, hay que considerar dos propiedades: la autosimilitud y la dimensión extraña.

El término autosimilitud (que puede ser entendido también como autosemejanza) está relacionado a la propiedad de un objeto de mostrar en sus partes la misma forma o estructura que presenta el todo, aunque pueden encontrarse a diferentes escalas y ligeramente deformadas en algunos casos. Se pueden mencionar tres tipos diferentes de autosimilitud:

- *Autosimilitud exacta*: es el tipo más restrictivo y exige que el fractal parezca idéntico a diferentes escalas (sistemas de funciones iteradas). Ejemplo: conjunto de Cantor, triángulo de Sierpinski, copo de nieve de Von Koch y otros. (Figura 1)
- *Cuasiautosimilitud*: la identidad del fractal a diferentes escalas es aproximada (fractales definidos por relaciones de recurrencia). Matemáticamente, Dennis Sullivan⁶ definió

⁵ Clifford A. Pickover, "La paradoja de la línea de costa", en *El libro de las Matemáticas*, Librero b.v. Holanda, 2011, p. 402.

⁶ Dennis Sullivan: matemático estadounidense nacido en 1941, ganador de varios premios por su desempeño en la materia. Es reconocido por sus trabajos en topología y sistemas dinámicos.

el concepto de conjunto cuasiauto-similar a partir del concepto de cuasi-isometría. Ejemplo: conjunto de Julia, conjunto de Mandelbrot, etc. (Figura 2)

- *Autosimilitud estadística*: es el tipo más débil y exige que el fractal tenga medidas numéricas o estadísticas que se preserven con el cambio de escala (fractales aleatorios). Ejemplo: el vuelo de Levy, paisajes fractales, árboles brownianos y otros. (Figura 3)

Se trata de una noción sencilla e intuitiva, pues seguramente todos la han percibido en diferentes contextos naturales, como ser nubes, olas, vegetales, etc⁷.

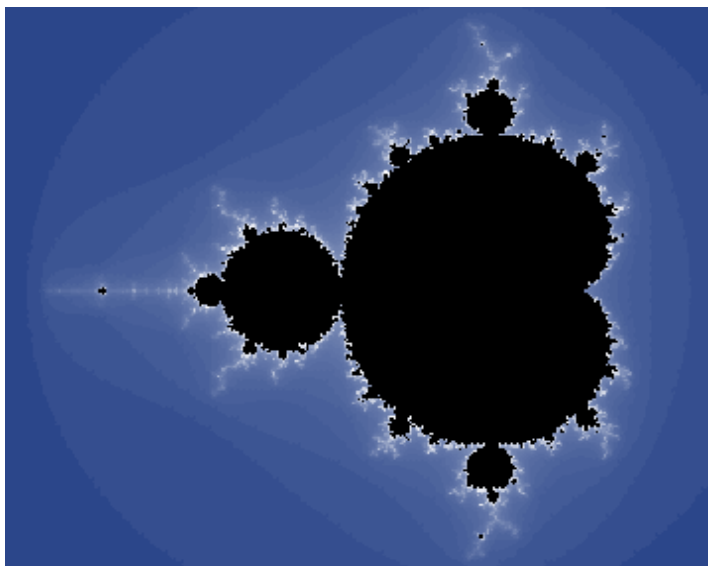


Figura 2: Conjunto de Mandelbrot

Fuente: [http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicional es/trabajos/Imagenyvideo/fractales/juliamandelbrot.htm](http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicional%20es/trabajos/Imagenyvideo/fractales/juliamandelbrot.htm)

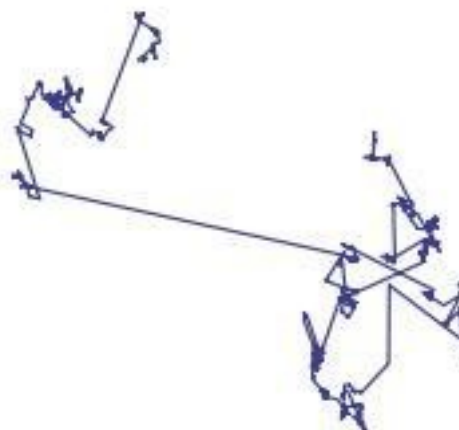


Figura 3: El vuelo de Levy.

Fuente: <http://gredossandiego.net/blogs/alcala/index.php/matematicas>

La matemática establece que un punto tiene dimensión 0, que una línea tiene dimensión 1, que las figuras planas tienen dimensión 2 y que las espaciales tienen dimensión 3⁸. Estas dimensiones, que corresponden a números enteros y son invariantes ante

⁷ Al respecto, Mandelbrot establece: “Un fractal es una clase especial de invariancia o simetría que relaciona un todo con sus partes: el todo puede descomponerse en partes que evocan el todo. Piénsese en una coliflor: cada racimo puede separarse y es, sí mismo, una coliflor en miniatura. Los pintores, entrenados en observar la naturaleza de cerca, ya sabían esto sin esperar a que la ciencia se lo dijera”, De Benoit Mandelbrot – Richard L. Hudson, *Fractales y Finanzas*, Barcelona, TusQuets Editores, 2006, p. 140.

⁸ Algunos autores afirman que el conjunto vacío tiene una dimensión igual a -1.

homeomorfismos⁹, son conocidos con el nombre de dimensión topológica y refiere precisamente al concepto habitual de dimensión que se tiene incorporado, pero la dimensión topológica no es la única que existe. Tomando un cuadrado, el mismo puede ser dividido en cuatro cuadrados congruentes y decir que el factor de ampliación es 2, o de manera similar, si se descompone al inicial en nueve cuadrados, se dice que el factor de ampliación es 3. Generalizando, se puede expresar que el polígono puede descomponerse en n^2 copias de sí mismo. Siguiendo un razonamiento análogo a partir de un cubo, el mismo se puede descomponer en n^3 partes iguales. Así, se puede generalizar la fórmula:

$$n^D = N$$

en la que, aplicando propiedades de logaritmo:

$$D = \frac{\ln N}{\ln n}$$

N: número de copias semejantes a la figura original.

n: factor de ampliación que se debe aplicar para obtener la figura original.

D: dimensión fractal. Surge de una simplificación de la dimensión de Hausdorff¹⁰.

Todos los fractales tienen algo en común, ya que todos son el producto de la iteración de un proceso geométrico elemental que da lugar a una estructura final de una complicación, en apariencia, extraordinaria.

La definición de Mandelbrot: “un fractal es un conjunto cuya dimensión de Hausdorff es estrictamente mayor que su dimensión topológica” es ampliamente aceptada, sin embargo el mismo autor señaló que no resulta una definición lo suficientemente general

⁹ Recuérdese que, si x e y son espacios topológicos y f una función de x a y , entonces f es un homeomorfismo si se cumple que: f es una biyección, f es continua y además la inversa de f es continua.

¹⁰ Felix Hausdorff (1868-1942): matemático de origen judío, profesor en Universidad de Bonn y uno de los responsables de la fundación de la topología moderna, célebre por su trabajo en el análisis funcional y la teoría de los conjuntos. En 1918 introdujo la dimensión de Hausdorff que se utiliza para medir las dimensiones fraccionarias de los conjuntos fractales. En 1942, a punto de ser enviado a un campo de concentración nazi, se suicidó junto a su esposa. El día anterior, Hausdorff escribió a un amigo: “Perdónanos. Te deseamos a ti y a todos nuestros amigos mejores tiempos” Muchos de los enfoques utilizados para calcular la dimensión de Hausdorff en relación con conjuntos complicados, fueron formulados por el matemático ruso Abram Besicovitch (1891-1970), por lo cual a veces se utiliza el término “dimensión de Hausdorff-Besicovitch.”

ya que la misma presenta el inconveniente de excluir conjuntos que claramente debieran ser reconocidos como fractales.

Como generalidad se acuerda en no definir un fractal, aunque es posible enumerar sus propiedades características:

- Los fractales son demasiado irregulares para ser descriptos con la geometría tradicional de Euclides.
- Los fractales tienen una cierta forma de auto semejanza, quizás aproximada o estadística.
- Por lo general, la dimensión fractal es mayor que la dimensión topológica.
- En muchos casos, el fractal se define en forma muy simple, por lo general, recursiva.

Se considera pertinente y esclarecedor, desde el punto de vista del concepto, establecer que la geometría fractal es una “*geometría recursiva basada en la repetición, a diferentes escalas, de elementos geométricos simples*” sin que ello sea una definición precisa.

Introducción

Érase una vez un país llamado la tierra de los 10000 lagos. El primero y más grande de estos lagos era un verdadero mar, de 1600 millas de diámetro. El segundo más grande tenía 919 millas de diámetro, el tercero 614 y así hasta el último y más pequeño, que solamente tenía una milla de diámetro. Un matemático contratado por el gobierno, amante de la inferencia y del valor probable, advirtió que los diámetros disminuían según una impecable ley potencial.

Más allá de este país se situaban las tierras brumosas, un territorio en gran parte deshabitado que se encontraba envuelto en brumas y nieblas a través de las cuales apenas podía verse hasta una milla de distancia. El reino decidió cartografiar la vecindad, así que envió agrimensores y cartógrafos. Pronto se encontraron con un lago, pero la niebla les impedía ver la otra orilla. Antes de embarcarse para medir la distancia hasta el otro extremo del lago ¿deberían llevar provisiones para cuánto tiempo, para un día o para un mes? Decidieron basarse en lo que ya sabían: que la nueva tierra no era diferente de la que ellos habitaban y por tanto el tamaño de los lagos seguía la misma distribución. Así que, al partir a ciegas en sus botes, aventuraron que les esperaba como mínimo una milla de viaje y en promedio cinco millas.

Remaron y remaron pero la otra orilla no se veía. Después de cinco millas decidieron recalcular la distancia que les quedaba por viajar y sus cálculos sugirieron nuevamente cinco millas. Pasadas las cinco millas siguieron sin encontrar la costa. Se desesperaron. ¿Habían emprendido una travesía a través de un océano sin provisiones suficientes? ¿Acaso había espíritus en la niebla que cambiaban la orilla de lugar?¹¹

Con esta historia, Benoit Mandelbrot presenta como es el día a día en un mercado fractal, en la que cada uno de los 10000 lagos representa un título diferente. Las inversiones asociadas a los movimientos bursátiles ¿tienen alguna certeza mayor que la de los cartógrafos de esta historia? Lógicamente que, en algún momento, se llegará a tocar tierra, ¿pero en que condiciones?

Los fractales en las finanzas

Los fractales aplicados a las finanzas, conocidos también como fractales financieros, pueden imitar el método de la naturaleza¹². La construcción de un fractal financiero puede comenzar con el trazado de la diagonal de un rectángulo, que debido a la pendiente positiva, asegura ganancias de manera independiente a la fluctuación de precios (de forma análoga, si se busca modelar una caída de valores se partirá del trazado de una pendiente negativa). El paso siguiente será el trazado del zig-zag generador, a partir del cual se comienza a gestar el indicador (figura 4). Para el resultado final resulta muy importante el punto donde se produce el corte y la frecuencia del mismo.

Es más que lógico hablar de la importancia que representaría para las personas que invierten dinero, poder predecir las tendencias del mercado y más interesante aún, conocer con antelación el precio de cotización de las acciones. En los precios de los productos se pueden ver dos componentes: una de largo alcance: en ese caso los precios se regirían por fuerzas económicas profundas como la apertura de rutas comerciales, inventos que utilizarán el producto, una guerra, alguna innovación tecnológica que modificará el uso del producto, una revolución, etc. Esta tendencia a largo alcance quedaría claramente determinada. La otra componente del precio es de corto alcance: los precios variarían al azar debido a un amplio número de causas, muchas de las cuales no se podrían determi-

¹¹ De Benoit Mandelbrot y Richard Hudson, *Fractales y Finanzas*, Barcelona, TusQuets Editores, 2006, pp. 251-252.

¹² Un fractal es un patrón cuyas partes evocan un todo, propiedad que se puede notar por medio de la observación directa de algunos elementos cuales las curvas de Koch; lo mismo ocurre con los frondes de los helechos (un fronde está compuesto por otros frondes), así es el método de la naturaleza.

nar con precisión. Estas fluctuaciones son transitorias y se ha comprobado que casi no hay relación entre los ritmos de largo y de corto alcance.

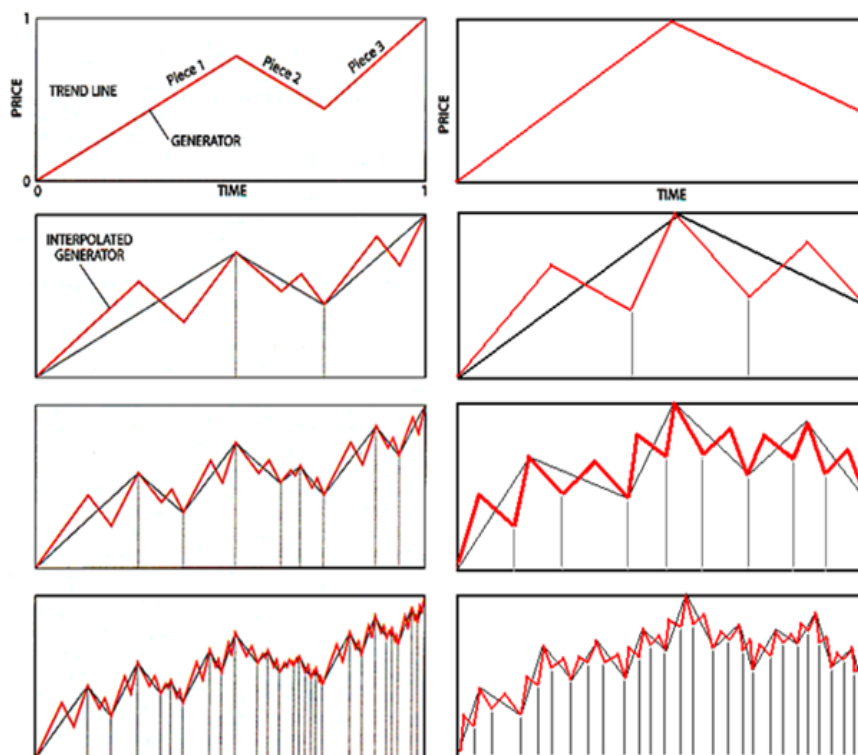


Figura 4: Fractal financiero.

Fuente: <http://liniadetrend.ro/eticheta/triade/>

Dentro de los estudios efectuados por Mandelbrot se encuentra el realizado sobre el precio de cotización del algodón. Debido a que la dinámica de los precios no es lineal, detectó que las curvas del movimiento diario, mensual y anual son similares en sus formas, con lo cual se puede llegar a notar alguna ventaja o facilidad en la predicción de precios a futuro. El estudioso publicó la analogía que la simulación de rachas de vientos tenía con la volatilidad del precio del algodón en la sucesión de los meses y estaciones, observación que resultó clave y lo llevó a subrayar que las técnicas matemáticas elaboradas para el tratamiento de turbulencias eran también aplicables a la economía. Justamente el autor de *El Misterio del Algodón* habla tras su estudio, del extraño vínculo entre las diferentes ramas de la economía y entre la propia economía y la naturaleza.

Se acordó que un fractal es un objeto cuyas partes evocan un todo, solamente que a menor escala. Un multifractal tiene, en cambio, más de una razón de escala en el mismo objeto, lo cual permite establecer que partes del objeto pueden variar de manera rápida y otras partes de manera lenta. Mandelbrot sentenció que un fractal es un objeto que se encuentra definido en blanco y negro: los puntos que pertenecen al conjunto fractal se

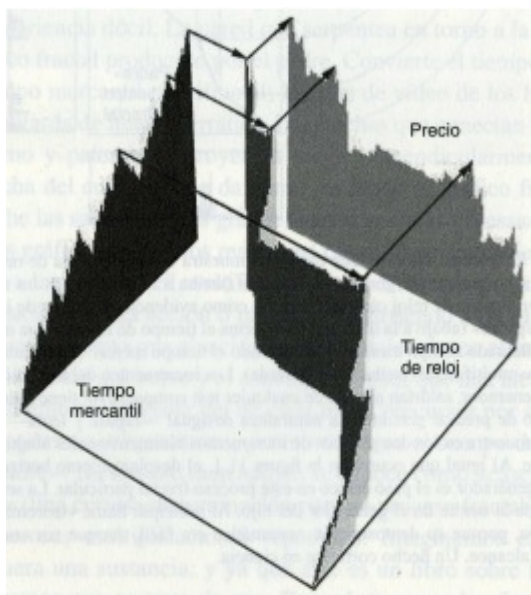


Figura 5: Cubo Fractal Mercantil.

Fuente: Benoit Mandelbrot - Richard Hudson (2006), *Fractales y Finanzas*. Barcelona (España). Editorial Tusquets, pág 224.

muestran en negro, mientras que el resto quedará en blanco. Un multifractal corresponde al siguiente nivel: objetos que incluyen escalas en grises. Como el mundo no es solamente blanco o negro, los multifractales se acercan más al funcionamiento real de la naturaleza en muchos aspectos.

Los estudios de Mandelbrot incluyen la construcción de multifractales. Justamente procede a partir de ellos a la deformación del tiempo reloj para llevarlo a un tiempo mercantil¹³ único y desde allí generar un gráfico de precios. Surgió de esa manera el cubo fractal mercantil (figura 5).

También es posible partir de un gráfico de precios normal y descomponerlo en sus dos primitivos; ello sin duda ayudaría a encontrar un modelo de mercado que permita la evaluación de riesgos,

el análisis de riesgos o la prevención de ruinas.

Otra idea de aplicación de los fractales surgió desde la Universidad de Yale. Utilizando el registro de las fluctuaciones de una acción individual para ejecutar un proceso fractal repetitivo, se logró la “huella dactilar fractal”, por ejemplo, el uso de las variaciones de precio de una acción, a partir de la cual se obtiene una representación gráfica de la cotización variable de cada título. Originalmente se hicieron comparaciones a partir de una acción de valor estable y otra de tinte más arriesgado, confirmando la técnica que las acciones muestran comportamientos diferentes, sin embargo la profundidad y amplitud de los estudios son insuficientes para considerarla como una herramienta de análisis financiero.

Edgard Peters de PanAgora Asset Management, Inc. es autor de dos importantes libros que tratan el tema del análisis fractal en el mercado bursátil. Su obra contribuyó al nuevo impulso de la investigación. A mediados de los 90 reportó un sistema de la varia-

¹³ El tiempo mercantil es una escala temporal que surge como una deformación del tiempo de reloj por medio de un proceso matemático conocido como cascada multiplicativa que es un proceso fractal que conlleva numerosas multiplicaciones repetidas, de allí que se diga que el tiempo mercantil tiene una naturaleza multifractal.

ción H^{14} en función del tipo de activo, según el cual, las acciones de las empresas de alta tecnología tenían altos valores de H , lo cual las convertía en más volátiles, mientras que las empresas de servicio, industria pesada y otras, tenían valores de H más bajo. Peters concluyó que las empresas de altos valores H son más convenientes para los inversores, ya que son más fáciles de predecir en su comportamiento y tendencias, sin embargo los resultados obtenidos comparados con casos reales de acciones de la bolsa son disímiles y no hubo consenso con la afirmación. La gestión de fondos de Panagora no se maneja sin embargo según los estudios fractales, ya que la empresa y su clientela son reconocidos conservadores.

Teoría de las Ondas de Elliott

El Principio de Acción y Reacción, uno de los tres principios de la mecánica de Newton, establece que cuando un cuerpo ejerce una acción sobre otro recibe del primero una reacción que es igual y contraria. Puede sostenerse que algo similar ocurre con los mercados financieros: a un movimiento de suba en los precios debe seguirle uno de baja. Es posible el tratamiento de movimientos de los precios a partir de tendencias y correcciones.

La Teoría de las Ondas de Elliott¹⁵, elaborada a partir de la Teoría de Dow¹⁶, se basa en el principio de los movimientos de los precios del mercado financiero a través de las ondas que lo forman y el estudio de su formación gráfica. Tras la muerte del autor la teoría quedó olvidada, pero se popularizó posteriormente a través del trabajo de A.J. Frost y Robert Prechter, autores del libro “El Principio de la Onda de Elliott”. Siguiendo el patrón de Elliot, algún otro o ninguno preciso, el mercado se comporta como la economía misma y se mueve de manera cíclica.

De manera breve y simplificada, la Teoría de las Ondas de Elliott establece que el mercado de valores se desdobra en dos ciclos: en primer término aparece el ciclo de *im-*

¹⁴ H es un exponente que mide la dependencia entre los cambios de precios pasados y futuros y que fue utilizado oportunamente por Edgard Peters para encontrar a partir del mismo una medida del riesgo.

¹⁵ Ralph Nelson Elliott (1871-1948): economista estadounidense. Se desempeñó como funcionario del gobierno. Estudió las fluctuaciones de los precios en el índice de la Bolsa de Nueva Cork. En el año 1939 escribió el Principio de las Ondas de Elliott, que fue publicada en una serie de doce artículos en el *Financial Word*.

¹⁶ Charles Henry Dow (1851-1902) periodista y economista estadounidense. En la agencia de noticias Kierman conoció a su colega Edward David Jones. En 1882 crearon una agencia de consultores financieros (Dow Jones & Company) y además son los fundadores del célebre periódico financiero The Wall Street Journal. La teoría de Dow se centraba en describir el comportamiento del mercado: siempre trató de localizar tendencias, no de anticiparse a ellas.

pulso, que acompaña a la tendencia y seguidamente el ciclo *correctivo* en contra de la tendencia. La tendencia puede ser hacia la baja o hacia el alza, lo cual depende del momento del mercado. (Figuras 6 y 7). Los ciclos de impulso conforman 5 ondas, mientras que las de corrección son 3.

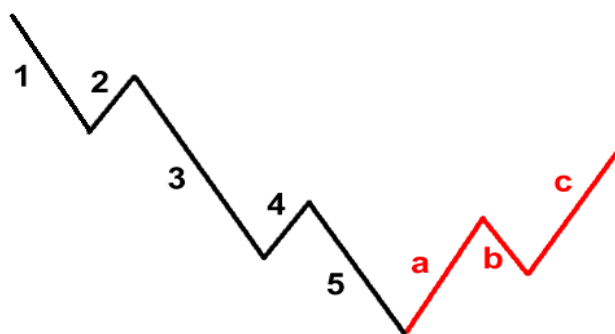


Figura 6: Onda de Elliott, modelo en baja.

Fuente: <http://www.rankia.com/blog/economia-empleo/2042742>

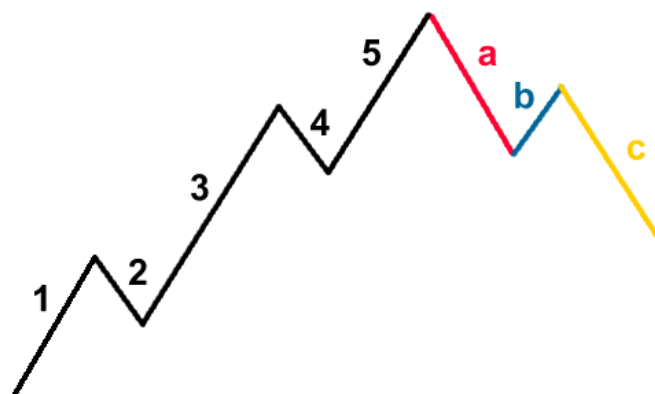


Figura 7: Onda de Elliott, modelo en alza.

Fuente: <http://www.rankia.com/blog/economia-empleo/2042742>

Las ondas 1, 3, 5 y b tienen la una misma dirección (de la tendencia original) y las ondas 2, 4, a y c tienen dirección contraria.

El proceso aludido se conoce con el nombre de *pauta básica* u *ondas simples* y es justamente el esquema base de todo el análisis de la Teoría de las Ondas de Elliott, pero existen también ondas de tipo complementario, que se despliegan de una manera fractal (cada uno de los tramos impulsivos se encuentra constituido por una estructura impulsiva interna y de símil manera también los tramos correctivos – Figura 8) que de manera general es lo que hace compleja la teoría, dificultando la posibilidad de realizar predicciones.

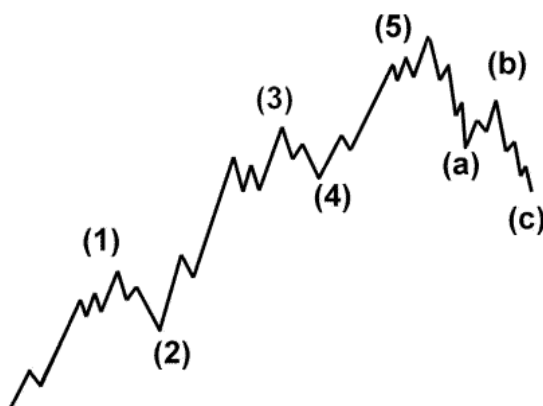


Figura 8: Onda de Elliott, modelo en alza.

Fuente: http://federicoluke.com/blog/ondas_elliott

En la teoría de Elliott se pueden contar cuatro tipos de correcciones: *Zig-Zag* (impulso – corrección - impulso) - *Plana* (corrección – corrección - impulso) - *Triángulo* (5 correcciones seguidas) - *Compleja* (doble ‘tres’ o triple ‘tres’) (corrección – x – corrección)

La figura 7, en la cual se muestra un modelo en alza de la onda de Elliott, permite establecer:

- **Onda 1:** Es el proceso base. El mercado comienza a operar por medio de los movimientos de agentes que se encuentran bien informados, sin embargo, no faltan ocasiones en las que suele ser marcadamente corregida, dada la escasa confianza que el movimiento genera. (No debe omitirse que es la primera onda de impulso luego de la onda “c” última onda correctiva). Raramente se trate la onda 1 como la más extendida.
- **Onda 2:** Una segunda onda nunca corrige plenamente a una primera onda. Por lo general se caracterizan por su alta volatilidad y un pronunciado volumen. (Algunos

estudios consideran valores para el retroceso entre el 38,2% y el 61,8%)¹⁷. La determinación del fin de la onda 2 dará la precisión necesaria para el inicio de la onda 3, la que brinda mayores posibilidades de ganancias.

- **Onda 3:** Por lo general es una onda larga, que siempre deja ver claramente cual es la tendencia. Nunca es la onda más corta en un recuento de cinco ondas.
- **Onda 4:** Es una onda de desarrollo lateral que nunca llegará a corregir hasta el final de la onda primera. En el desarrollo de la onda 4 aún hay optimismo y expectativa de reacción.
- **Onda 5:** Generalmente es una onda de poco dinamismo. En esta fase, si el mercado es alcista, pueden notarse ascensos explosivos de valores de baja capitalización que han estado muy dormidos durante las ondas anteriores. Suele verse expectativa de los interesados que esperan subas explosivas que muchas veces (las más) no ocurren.
- **Onda a:** durante esta, es común que los agentes se encuentren aún del lado de las compras, aunque se manifiestan deterioros en los valores (muchos de ellos pronunciados). En esta instancia el mercado está convencido de que se trata de una corrección transitoria.
- **Onda b:** Generalmente son trampas alcistas y son técnicamente poco fuertes.
- **Onda c:** Es una fase devastadora con un extendido pesimismo. Suele ser de fuerte efecto y comparte características con la onda 3.

La Teoría de la Onda de Elliott tiene una relación directa con la psicología del público inversor, que va del optimismo al pesimismo. El ambiente sociológico que envuelve a cada onda es característico y se repite cíclicamente en las masas, por ello podemos aplicar una serie de normas que a cualquier escala temporal se deberían cumplir. Está muy claro que la determinación de la situación en que se encuentre el mercado en un momento definido es de suma importancia para la aplicación del método, pues ello permitirá determinar el comportamiento (más probable) del mercado en el futuro, teniendo en cuenta el horizonte temporal de la inversión. Justamente la dificultad de establecer el correcto conteo de las ondas es lo que complica la utilización de la misma, ya que cada operador puede llegar a un conteo diferente.

¹⁷ Si el retroceso es superior al 100% es una indicación de que el conteo es incorrecto y en realidad no hay un cambio en la tendencia anterior.

Fractales, organizaciones y administración.

A principios de los años 90 Hans Jüergen Warnecke, presidente de la entidad alemana Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), utilizó el término de "Fábrica Fractal" con el objetivo de desarrollar empresas ideando que las compañías son como organismos vivos con potencial de crecimiento y adaptación. El concepto de Fábrica Fractal tiene su origen en la geometría fractal y uno de sus objetivos primarios es la reducción de la complejidad de la compañía. A partir de la Fábrica Fractal, Wernecke buscó dar una respuesta adecuada a las filosofías de dirección de empresas americanas y japonesas, ajustándose a las necesidades del ambiente europeo.

Se ha establecido que un fractal contiene un elemento esencial, que se repite en la estructura entera, la que presenta la misma apariencia en cualquier sector. Esta misma idea mantiene el funcionamiento eficaz de la compañía y es considerada como modelo de empresa moderna.

La compañía fractal se define como un grupo de entidades autónomas que comparten conocimientos y recursos y colaboran para crear productos y servicios. La mencionada colaboración aumenta al máximo las capacidades y permite, a cada entidad, comprender sus metas específicas, proporcionando las soluciones globales a las necesidades de sus clientes. En la fábrica fractal debe fomentarse la comunicación abierta y la implementación de sistemas feedback¹⁸ y de circuitos para la motivación de la comunicación, en tanto que las estructuras rígidas vectoriales y matriciales se sustituyen por redes flexibles.

La "Fábrica Fractal" mantiene las características de un fractal tal cual se han visto, incluyendo auto-similitud, auto-organización y la auto-optimización.

- **Auto-similitud:** es una característica intrínseca de un fractal (se hizo alusión a la propiedad en la introducción). Cada unidad de la organización puede considerarse un fractal, el cual se sabe, puede considerarse parte de otro fractal superior o puede contener subsistemas con idénticas propiedades o de la misma estructura. Cada fractal puede describirse con el mismo juego de atributos que del conjunto, es decir, los elementos y propiedades, relaciones, metas y logros.
- **Auto-organización:** las empresas u organismos que conforman una red de fractales poseen algún grado de libertad para actuar y tomar decisiones, en busca de

¹⁸ Los sistemas feedback son sistemas de lazo cerrado o con retroalimentación en los cuales las tomas de decisiones no dependen solamente de la entrada sino también de la salida.

cumplir con los parámetros de crecimiento. Ellos pueden ocuparse de los recursos para producir bienes y servicios en procura de lograr las metas y estar de acuerdo con la atención de la demanda. Tienen capacidad de adaptarse rápidamente a su ambiente y al proceso de mercado que fluyen. En una compañía fractal la meta es constantemente cambiante y es cumplida mediante una relación de cooperación.

- **Auto-optimización:** los requerimientos constantes a cambios y modificaciones plantean el absurdo de establecer estructuras fijas. Los equipos, los empleados o empresas que integran la red, entran en un proceso de mejora continua, para alcanzar una decisión óptima, disminuyendo tiempos de operaciones, sujeto a su propia iniciativa y autoridad. Esto puede lograrse ajustando la estructura fractal.

Además de las características anteriores, hay una necesidad de que la fábrica fractal funcione como un todo coherente. Esto es logrado a través de un proceso de participación y coordinación entre fractales. De hecho, los fractales siempre se estructuran construyendo un nivel más alto. Las unidades del nivel más alto asumen sólo las responsabilidades que no puede cumplir el nivel más bajo, utilizando la información de una manera flexible y eficaz.

De una manera análoga a la Fábrica Fractal se desarrollaron nuevos conceptos para la organización estructural de oficinas, surgiendo de esa manera la Oficina Fractal, concepto que trabaja sobre la configuración de la estructura de la oficina, las técnicas de información y comunicación, la organización y el potencial del personal (los puntos más importantes a considerar son la flexibilidad y variabilidad en la configuración de los espacios y puestos de trabajo, la individualización de las situaciones de trabajo, la alta flexibilidad para configurar los tiempos de trabajo, vitalidad y movilidad en las formas de pensamiento)

Actualmente las empresas son consideradas como parte de sus mercados. Desde que se fragmentan los mercados cada vez más y la individualización de los consumidores va en aumento, las compañías necesitan considerarse como una parte integrante de los mercados para conocer los problemas y deseos de sus clientes. Un acercamiento a esta cuestión sería disponer de una apropiada organización de la compañía que responda rápida y coherentemente con la velocidad del cambio ambiental y puede ser útil repetir el mismo procedimiento de iteración que sucede en la naturaleza.

Diferentes autores y analistas han realizado trabajos e investigaciones de los cuales se pueden extraer criterios y puntos del enfoque fractal en cuestiones administrativas:

- Los trabajadores y las divisiones estructurales no son tratados como partes simples cual se hacía en las administraciones convencionales, sino que son considerados de manera integral, de modo que objetivos, políticas y capacidades de las divisiones se refleje en el comportamiento de los trabajadores y la conducta de la compañía. Así, los individuos deciden, realizan sus propios deberes y toman conciencia de objetivos, políticas y capacidades de la compañía. Este criterio puede ser repetido en el proceso de planeamiento, si los cambios redundan en resultados favorables, servirán de prototipos para nuevas reglas, ejemplo que se propagará en todos los niveles provocando un cambio en la compañía hacia una mayor competitividad y rápida adaptación al medio ambiente.
- Como los sistemas vivos, las empresas logran evolucionar en altos niveles de estructuras fractales. Las organizaciones pueden aumentar la creatividad y diversidad que permitan desarrollarse a sistemas complejos más elevados mediante adaptaciones a los cambios en el medio ambiente.
- Los procesos administrativos son sistemas abiertos, dinámicos y evolutivos, basados en iteraciones e interacciones entre sus miembros y entre miembros con el entorno, esto favorece a las estructuras fractales para que reflejen una dinámica de retroalimentación positiva. Pequeñas variaciones provocan mejores niveles de actividad y buenos resultados como antecedente para nuevos cambios: todo esto en un proceso de retroalimentación. Es el llamado círculo virtuoso del desarrollo de empresas. Por consiguiente, la administración puede ser entendida como un proceso en evolución mediante auto-organización y adaptaciones.

Las estructuras fractales emergen por la repetición de prototipos simples de reglas desde el nivel más bajo hasta el más alto. Los prototipos iniciales de las reglas, por ejemplo los objetivos y la política de la compañía, pueden ser proporcionados por los ejecutivos y ser entendidos en los niveles más bajos de la organización. Los cambios acertados sobrevivirán y formarán un nuevo prototipo de reglas. Este nuevo prototipo se propagará desde la base hasta los niveles más elevados y cambiará a toda la compañía, haciéndola más competitiva y adaptable al ambiente que cambia rápidamente.

En años recientes han aparecidos trabajos que se encuentran muy desarrollados sobre modelos fractales que se aplican a la organización empresarial. Algunos autores sostienen que el clásico modelo taylorista presenta una paradoja al pretender dirigir a las personas negándole su condición humana, es decir tratándolo como una máquina en los

tiempos de trabajo, excluyendo las emociones y los sentimientos propios de los humanos, cuestiones que son consideradas como nocivas o contraproducentes, es decir distorsionadores de la realidad objetiva¹⁹

Dentro de las cuestiones económicas abordadas desde el punto de vista de los fractales, cabe la mención de la *moneda fractal*, de la cual se tienen pocas referencias ya que solamente en ocasiones excepcionales se ha recurrido a ella, no siendo de uso corriente ni tampoco adoptada como una política común de trabajo en la economía de los estados. Durante la Guerra Civil Española tuvo lugar la mencionada situación, puesto que cada ayuntamiento emitía moneda de curso legal. Se puede afirmar que, cuando las arcas públicas muestran una debilidad preocupante, aparece la moneda fractal buscando un paliativo a la situación. Es emblemático el caso argentino: en el año 2002, luego de la crisis económica desatada en 2001, existía el peso (moneda de curso legal), las LECOP (bono emitido por el gobierno nacional) y 15 bonos emitidos por gobiernos provinciales y todas ellas eran (con diferentes alcances y grados de aceptación) válidas en la compra-venta diaria. En tal caso las administraciones municipales jamás emitieron bonos similares a los provinciales.

Conclusiones

En esta revisión solamente son contemplados algunos estudios, sin embargo, a partir de ellos se puede establecer que la geometría fractal ha encontrado un amplio desarrollo en temas de organizaciones y administración, proporcionando aplicaciones útiles que muestran aumento en la flexibilidad y la adaptabilidad de empresas. En compañías que cuentan con alta tecnología es favorable y necesaria la rápida respuesta a los cambios de ambiente y en ese tipo de cuestiones repetir los reiterativos procedimientos de la naturaleza resulta útil. El enfoque fractal aplicado a organizaciones ayuda a pensar cómo deben

¹⁹ Michel Henric Coll - socio fundador y director general de FractalTeams®, creador del modelo de Organización Fractal y autor de los libros "Introducción a FractalTeams® - traza una comparación del modelo convencional taylorista con la organización fractal que él propone, donde aparecen diferencias en algunos aspectos y oposición total en otros. Establece comparaciones del modelo fractal con las organizaciones sistémica y holística. El modelo propuesto por M. Henric Coll sostiene como pilares para el desarrollo y la concreción de las metas en el sistema la Autonomía, el Sentido y la Reciprocidad ya que de la mutua colaboración surgen las sinergias. La Autonomía alude a la distribución de la información, la cual no se destina a la alimentación de un poder centralizado, sino a lograr que los diferentes niveles se autorregulen. El Sentido hace referencia a las metas y propósitos que motiva a las personas cuando ellas ven cumplidos sus necesidades básicas, manteniendo la noción del sentido de la vida propia y su importancia. La Reciprocidad que es una carencia del modelo actual, se asocia a los beneficios de la empresa, ya que los modelos imperantes están pensados en base a beneficios exclusivos.

estructurarse y también a analizar el comportamiento de éstas, identificando patrones auto-similares que existen en diferentes escalas o niveles de organización.

La relación que la geometría fractal guarda con el comportamiento del mercado bursátil y que es posible cotejar o visualizar a partir las gráficas surgidas de los movimientos de bolsa, ayudan a dar alguna respuesta a planteos como: los mercados bursátiles en sus operaciones ¿se mueven al azar, o son de alguna manera predecibles? Si es factible hacer predicciones ¿hasta dónde pueden llegar las mismas? ¿Acaso es posible darle cuantificación al riesgo que conlleva una inversión? Por otra parte, existen ciertamente análisis cuantitativos que intentan justificar la aplicación de modelos fractales en los movimientos de mercado y más aún, lo hacen extensivo a otras áreas de la economía.

Se ha notado que la teoría de Elliott, ampliamente estudiada en cada uno de sus tramos, presenta el inconveniente de no poder determinar de manera objetiva el conteo de las ondas.

Aún no es tiempo para obtener resultados determinantes a partir de una teoría financiera fractal o esperar que así fuera, ya que los resultados no son concluyentes. En las últimas décadas la aplicación de la geometría fractal ha pasado por etapas de auge, de desaliento y nuevamente de interés, en busca de ideas novedosas (el mismo Mandelbrot enumera una serie de problemas referidos básicamente a riesgos e inversiones, sobre los cuales habría que trabajar en busca de soluciones). Las investigaciones fueron abordadas por varios estudiosos y todos ellos coinciden en la existencia de la relación y las posibilidades de llegar a resultados positivos, aunque no se han registrado probadas ganancias a partir de las teorías. Es de esperar que en el futuro se avance sobre el tema con resultados más certeros, que contengan mayor sustancia y no solamente investigaciones de moda como ha pasado en épocas anteriores. A favor de esta afirmación, sin duda se puede contar con los actuales equipos informáticos cuyo desarrollo y capacidad permiten analizar números de variables y situaciones que antes eran impensados. Si bien la meta de un hombre de negocios es la ganancia, seguramente la posibilidad de prever los vaivenes de los valores significará más que una ayuda para el mismo, no obstante el factor humano será en todos los casos el que decida los movimientos y por tanto el responsable de los resultados. Buscando señalar el estado actual de un negociador bursátil, se hace alusión a una historia que involucra a un personaje más que conocido: Mc Pato. Tío Rico (el multimillonario personaje de Disney), célebre por su avaricia y su incomparable destreza e intuición en el mundo de las finanzas, viaja a Marruecos y en un mercado

adquiere un espejo mágico que al ser alumbrado con una vela, predecía los valores de acciones de la Bolsa; justamente el espejo venía acompañado de un pequeño trozo de vela. Después de algunos días la vela se agotó y el espejo ya no volvió a hacer vaticinios aún cuando Mc Pato, Donald y sus sobrinos probaron con las más diversas clases de iluminación. Tras intentar todos los recursos, el millonario pato, accidentalmente, descubrió que las predicciones solamente eran posibles con el uso de las velas especiales y la reacción inmediata fue volver a Marruecos para conseguirlas. ¿Es la codicia del personaje la que primó ante todo y lo arrojó a la consecución de nuevas velas o es que acaso, aún sabiéndose un genio financiero, no consideró suficiente su talento para darle certeza cuando debía decidir sobre los papeles a negociar y resolvió que la magia era el método seguro?

Bibliografía

- DIEBOLD, F., *Elementos de Pronósticos*, México, International Thomson Editores S.A. de C.V, 1999.
- FALCONER, K., *Mathematical Foundations and Applications*. EUA, John Wiley & Sons, 2.^a Ed., 2003.
- FROST, A. J., y PRECHTER, R. R., *El Principio de la Onda de Elliott*, Madrid, Gesmosvasa (Gestión Moderna de Valores S.A), 1995.
- HARTE, D., *Multifractals: Theory and Applications*, EUA, Chapman & Hall/CRC, 2001.
- MANDELBROT, B., *La Geometría Fractal de la Naturaleza*, Barcelona (España), Editorial Tusquets, 2003.
- MANDELBROT, B. y HUDSON, R., *Fractales y Finanzas*, Barcelona (España), Editorial Tusquets, 2006.
- Math 190a – Fractal Geometry. <http://science.yalecollege.yale.edu/math-190a-fractal-geometry>. Obtenido el 30 de agosto de 2013.
- PETERS, E. E., *Fractal Market Analysis*, EUA, John Wiley & Sons, 1994.
- SABOGAL, S. y ARENAS, G., *Una Introducción a la Geometría Fractal*, Bucaramanga (Colombia), Universidad Industrial de Santander, 2008.