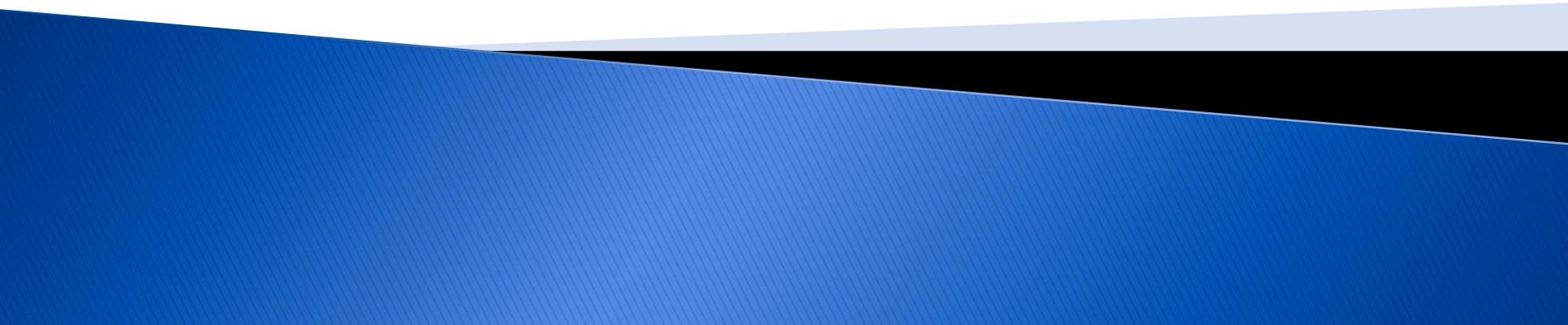


FRACTALES EN FINANZAS

AUTOR:

WILMER ALEXANDER ISIDRO CORREA



INTRODUCCIÓN

- ▶ El cambio y complejidad que a través de los años ha presentado el estudio de las finanzas debido a cambios tecnológicos, la globalización, el boom del internet y demás factores que hacen que financieros y en especial nosotros como ingenieros, investiguemos y diversifiquemos nuestro conocimiento y herramientas que cada vez nos hagan más competitivos y eficientes.

OBJETIVOS

Objetivo General

Explorar las aplicaciones de los fractales en las finanzas para su posible aplicación al mercado Colombiano.

Objetivos Específicos

- ▶ Estudiar y analizar la teoría Fractal enunciando las aplicaciones que ha tenido en diferentes áreas.
- ▶ Analizar e investigar aplicaciones que se hayan hecho de fractales en las finanzas.
- ▶ Plantear una réplica de una aplicación para el mercado Colombiano.

¿Qué es un fractal?

- ▶ Viene del adjetivo latino fractus “romper en pedazos”. Que básicamente significa una figura de superficie irregular. Término inventado por Mandelbrot que indica que es un reflejo de las formas, figuras y en general de la geometría que se encuentra en la naturaleza.
- ▶ De esta manera se puede definir los fractales como formas irregulares donde cada pequeña parte es muy parecida a una imagen reducida del todo.

Características de los fractales

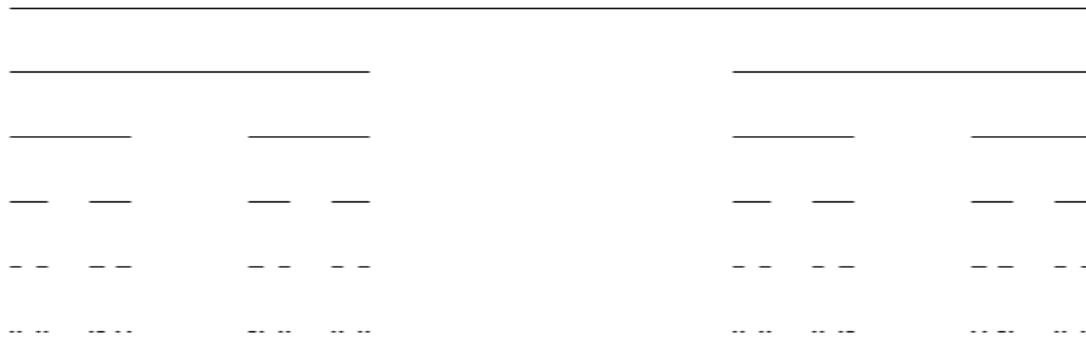
- ▶ **1 Auto-similitud:** Un fractal debe conservar la misma apariencia a diferentes escalas.
- ▶ Las fórmulas, algoritmos o notaciones que los definen son relativamente sencillos y con un conjunto reducido de datos
- ▶ **Iteración**, que significa repetir un proceso varias veces.
- ▶ **Dimensión no entera:** Al contrario de la geometría clásica, en la que las figuras tienen 1, 2 o 3 dimensiones, un fractal puede desarrollarse en una dimensión no entera



REDES

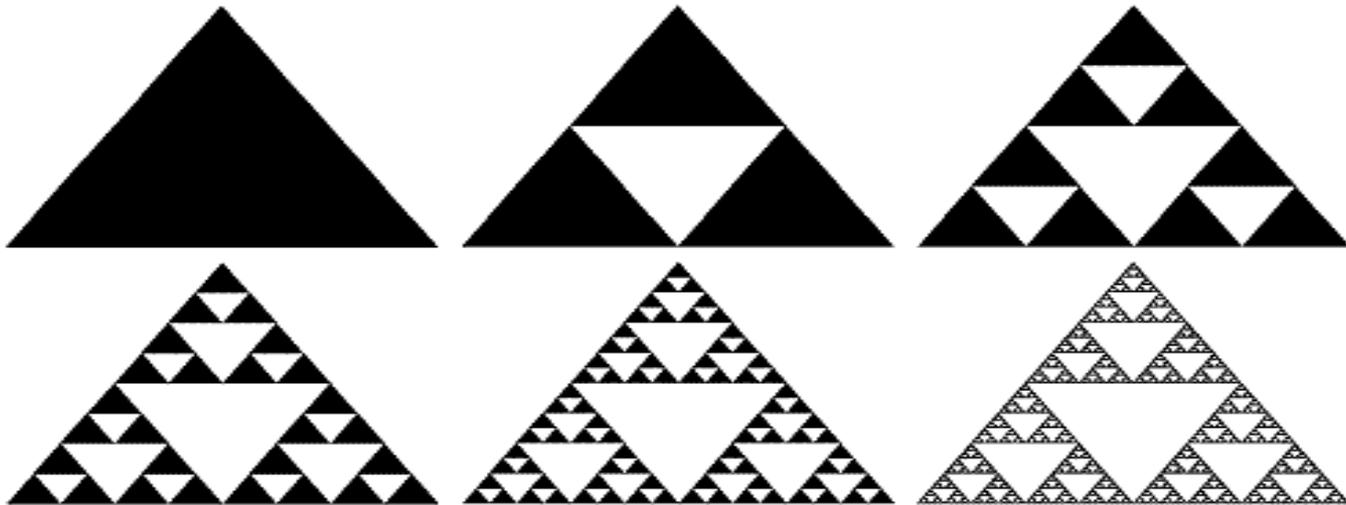
Conjunto de cantor

Consiste en dividir un segmento en tres y eliminar la fracción central y así repetir este proceso con cada fracción resultante como se observa en la figura.



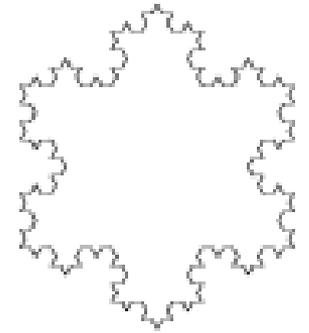
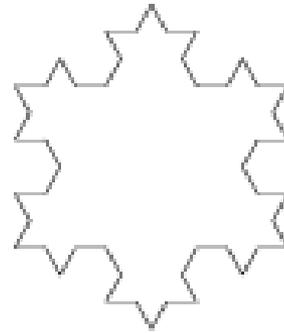
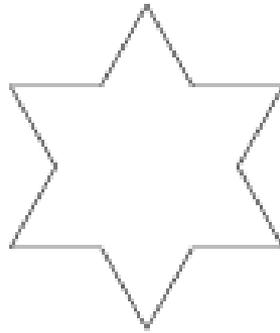
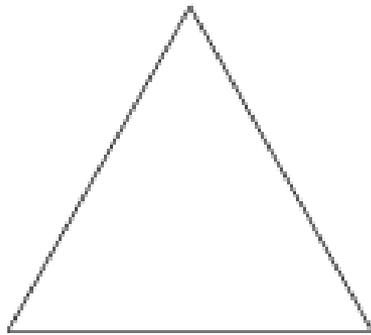
Triángulo de Sierpinski

- ▶ comienza con un triángulo equilátero, después dentro de este se ubica otro triángulo equilátero invertido donde los vértices coinciden con la mitad de los lados del triángulo mayor, como se aprecia en la figura se continua con la iteración hasta el infinito.



Copos de nieve de Koch

- ▶ empieza con un triángulo equilátero donde se obtiene y retira la tercera parte de esta figura, dando como resultado una estrella, para la siguiente figura se obtiene repitiendo esta iteración en las puntas de la estrella que conforman otro triángulo equilátero y así hasta el infinito



La geometría fractal

- ▶ La geometría fractal consiste en identificar patrones repetitivos, analizarlos, cuantificarlos y manipularlos. La construcción de los fractales más simples parte de un objeto geométrico básico: un triángulo, una línea recta, una bola sólida. A esto se le llama iniciador.
- ▶ Los fractales son escalables, esto es, se puede reducir o ampliar su análisis para observar detalles, mientras que las formas básicas se conservan en cada escala.
- ▶ Si se tiene una serie de tiempo con datos anuales y se consideran tramos mensuales y luego diarios de esta serie. Si estas muestras exhiben autosimilitud a diferentes escalas de tiempo, se puede afirmar que la serie tiene un comportamiento fractal.

MODELO DE BACHELIER

- ▶ los principios fundamentales de Bachelier siguen siendo la estructura fundamental del movimiento global del dinero.
- ▶ Como varían los precios, cómo piensan los inversores, cómo administrar el dinero y cómo definir el riesgo, dando origen a lo que hoy se conoce como la teoría económica moderna

Las finanzas como un juego de cara o cruz

- ▶ Los factores que determinan la actividad de la Bolsa son innumerables, son acontecimientos, actuales o esperados, que ha menudo no guardan relación con la variación de los precios, tanto así, que en el mismo instante en que los compradores esperan una subida los vendedores esperan una caída
- ▶ Es posible estudiar matemáticamente el estado del mercado en un instante dado: es decir, establecer las leyes probabilísticas para la variación de precios que dicta el mercado en ese instante.

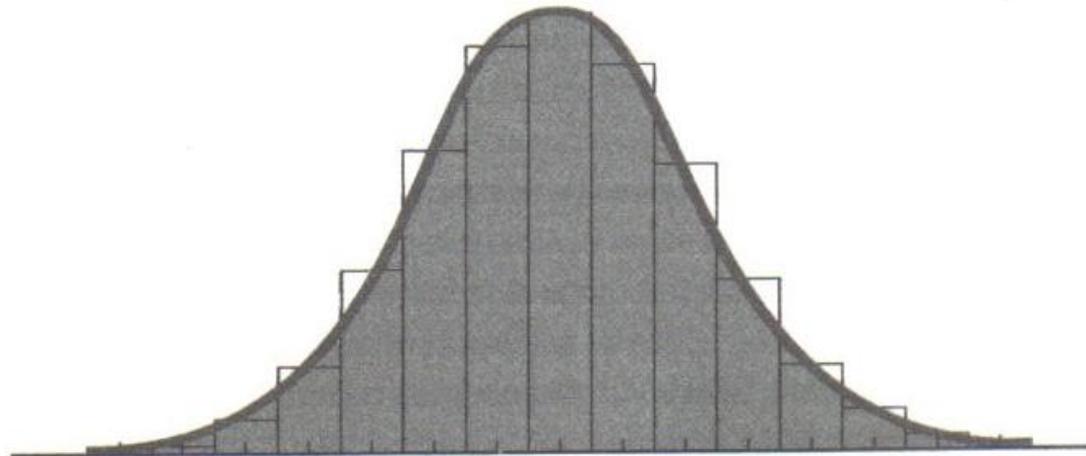
- ▶ los cambios de los precios se relacionan como una acción de causa y efecto, algo pasa y los precios reaccionan. Este concepto es fácil de entender después de que ocurre, pero bastante complicado de prever antes de que suceda.

¿Cuál será el precio de mañana?

- ▶ El precio puede subir o bajar, con saltos grandes o pequeños, pero a falta de información decisiva que pueda indicar hacia donde fluctuará el precio, la mejor predicción es el precio actual, al igual que la moneda éste se mantendrá oscilando hacia el punto de partida.

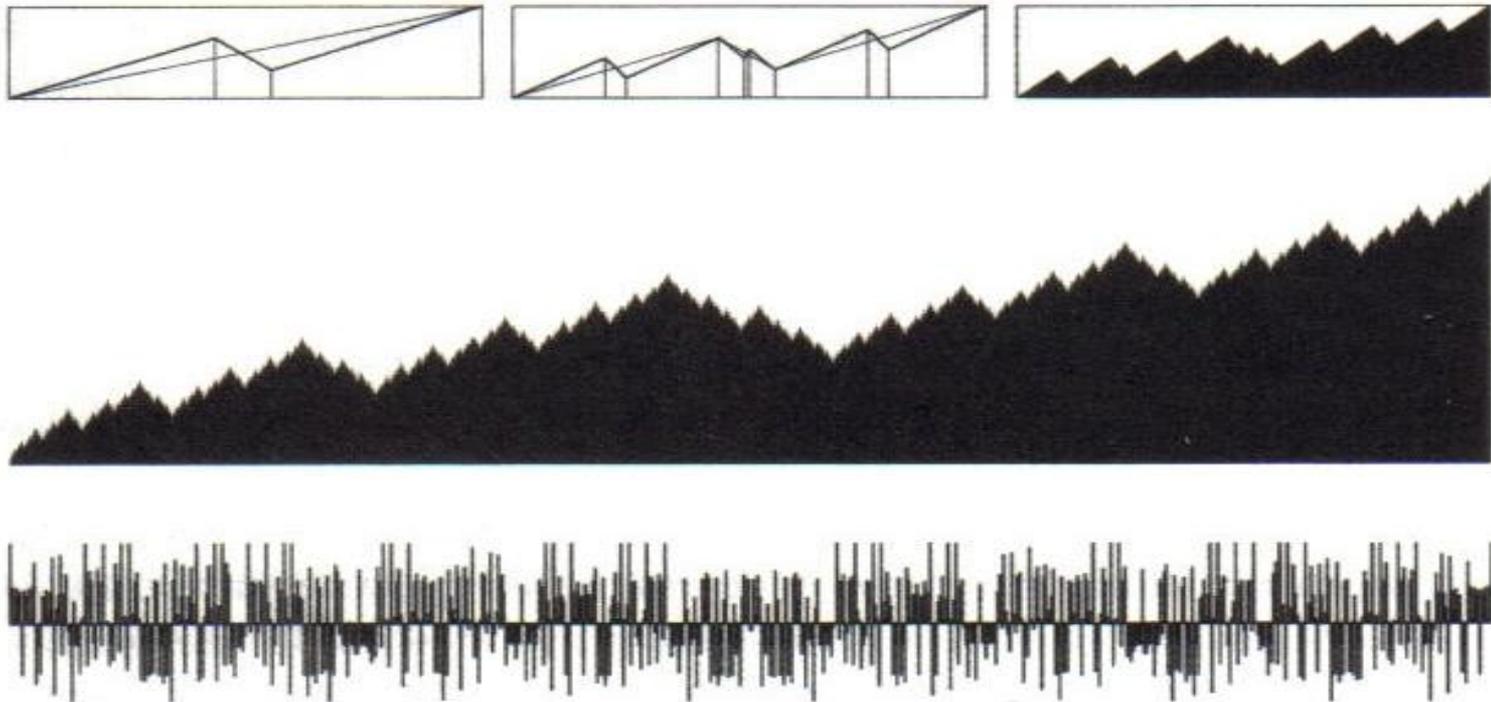
Campana de Gauss

- ▶ Si se representa gráficamente los cambios de precio de un bono a lo largo de determinada serie tiempo se distribuirán sobre el papel formando la campana de Gauss: numerosos cambios pequeños agrupados en el centro de la campana y pocos cambios grandes en las colas

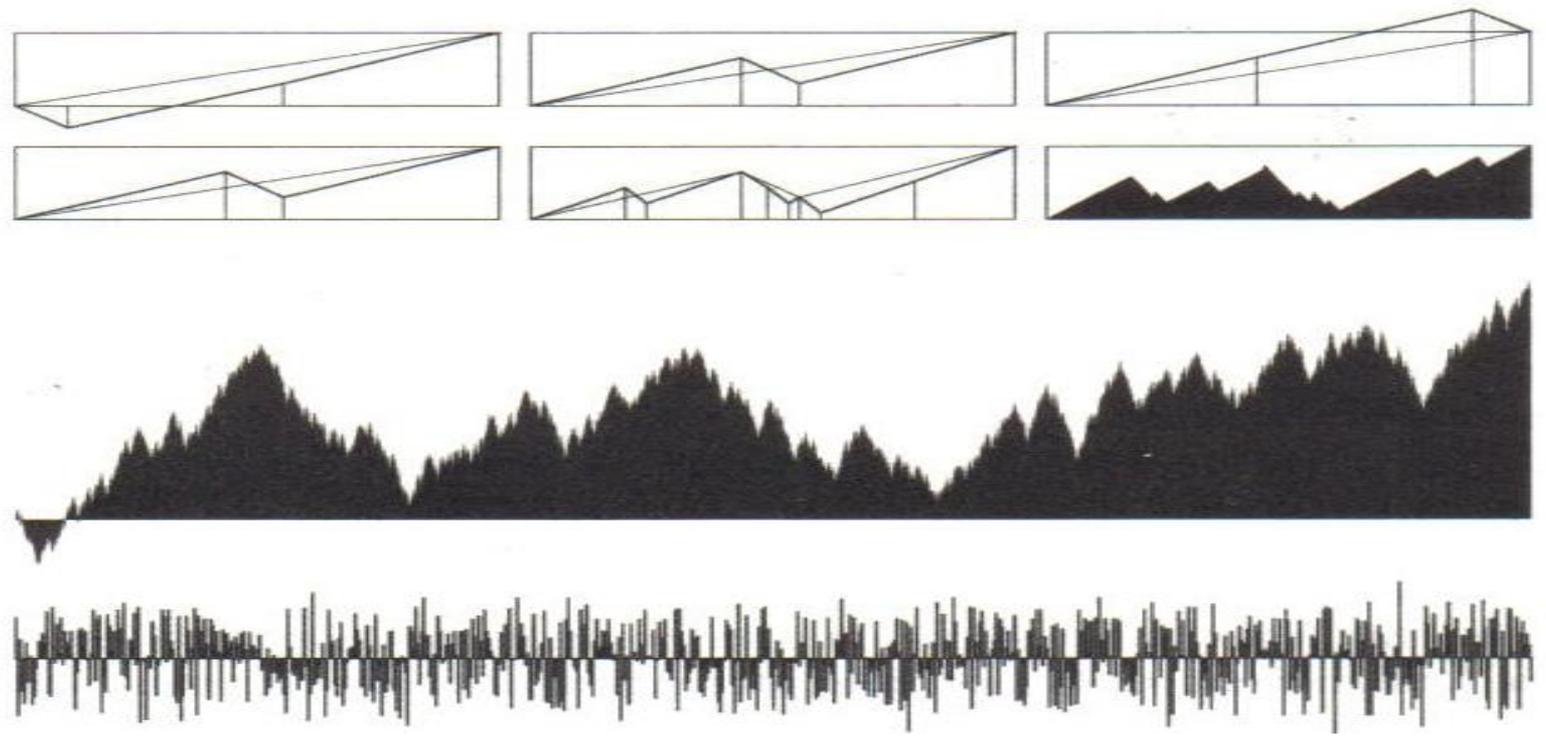


Construcción básica de un fractal financiero

- ▶ Este gráfico muestra cómo construir un bosquejo no aleatorio de una fractal financiero según Bachelier.



- ▶ Ésta figura ilustra como construir un bosquejo aleatorio de un fractal financiero de Bachelier, es similar a la figura anterior pero con piezas del generador repartidas para crear realismo



La Dimensión

- ▶ La dimensión es relativa, varía con el observador y con cada punto de vista, un mismo objeto puede tener más de una dimensión, según como se mida y qué se quiera hacer con él.
 - ▶ La dimensión no tiene por qué ser un número entero, puede ser fraccionario, se debe pensar en la dimensión como un instrumento de medida.
- 

- ▶ Existen varios métodos para calcular la dimensión fractal, tales como el exponente de Hurst y la función de autocorrelación.
 - ▶ la dimensión ayudará en la determinación del contenido o medida de un conjunto, en particular de los conjuntos fractales.
- 

PRECIO DEL ALGODÓN

- ▶ Mandelbrot partió de los estudios realizados por Hendrick S. Houthakker, para tratar de encontrar un comportamiento “razonable” del comportamiento de los precios del algodón.
- ▶ Habían demasiadas subidas y bajadas desmesuradas, donde la volatilidad presentaba un continuo cambio con el tiempo, y no encontraba una herramienta estadística que le ayudara a comprender éste comportamiento.

Líneas de pensamiento utilizadas

- ▶ las leyes potenciales
 - ▶ la distribución de los ingresos personales
 - ▶ la matemática de las distribuciones estables
- 

Ley potencial de Zipf

- ▶ *“las leyes potenciales no están presentes solo en las ciencias físicas, sino que rigen todos los aspectos de la conducta, organización y la anatomía humana (incluso el tamaño de los órganos sexuales)”.*
- ▶ consiste en tomar un texto y contar cuantas veces aparece cada palabra del mismo. Luego se le da un rango a cada palabra.

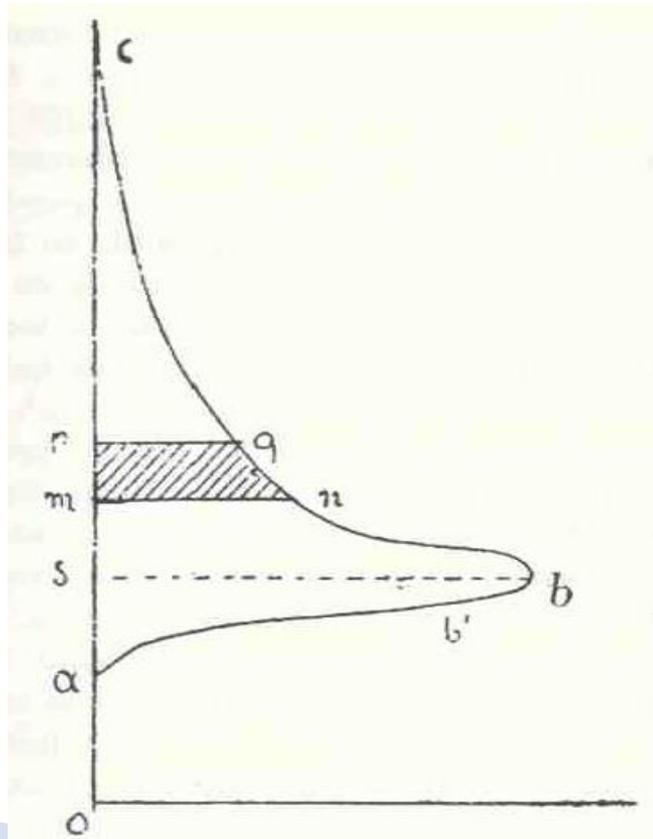
- ▶ *La fórmula que Zipf le asignó a la probabilidad de ocurrencia de cada palabra en un texto fue:*

$$Q(r) = Fr^{-1/\alpha}$$

- ▶ Donde Q es la función de distribución de probabilidad, r es el número de orden de la palabra, F es una constante que Zipf estimó en $1/10$, y $1/\alpha$ es el factor crítico de la ley potencial

Ley de Pareto

- ▶ La brecha entre ricos y pobres siempre ha sido parte de la condición humana, pero Pareto decidió medirlo



- ▶ La fórmula de Pareto en notación algebraica es la siguiente:

$$P(u) = \left[\frac{u}{m} \right]^{-\alpha}$$

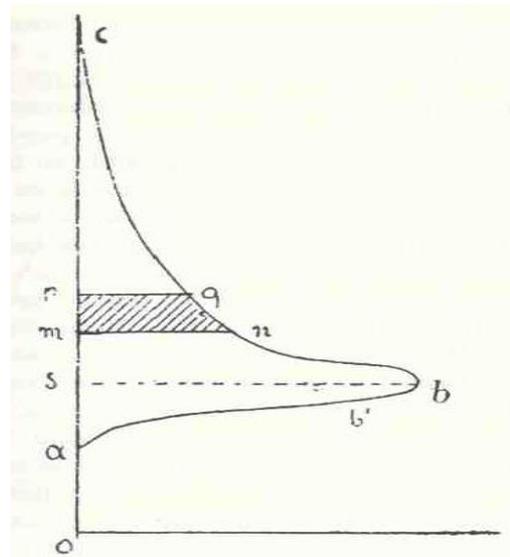
- ▶ Para el caso colombiano:

$$P(10) = \left[\frac{61.800.000}{6.180.000} \right]^{-3/2}$$

$$P(u) = 10^{-\frac{3}{2}}$$

$$P(u) = 0,032 \text{ ó } 3,2\%$$

- ▶ En una sociedad, muy pocos son exageradamente ricos, pocos son muy ricos, y la gran mayoría es de clase media o pobre. El alfa de la fórmula de Pareto es una manera de cuantificar que tan inequitativa es la sociedad.



Ley de Cauchy

- ▶ Cauchy ideó un pensamiento diferente al de Gauss, donde los errores no se distribuyen de manera uniforme, mientras Gauss propone el error como la suma de errores pequeños, Cauchy sugiere que el error mayor será casi tan grande como la suma del resto.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}{2}}$$

Gauss

$$f(x) = \frac{1}{\pi(1+x^2)}$$

Cauchy

- ▶ La diferencia entre los modelos de Gauss y Cauchy equivalen a dos maneras de ver el mundo: una en que los grandes cambios son el resultado de cambios pequeños, y otra en que los acontecimientos de gran dimensión tienen una importancia muy grande.

Ley de Levy

- ▶ Teoría de las distribuciones estables (L-estables)
- ▶ “Solo los parámetro (los detalles, matemáticamente hablando) difieren”.

$$\log f(t) = i\delta t - \gamma |t|^\alpha [1 + i\beta (t/|t|) \tan(\alpha\pi/2)]$$

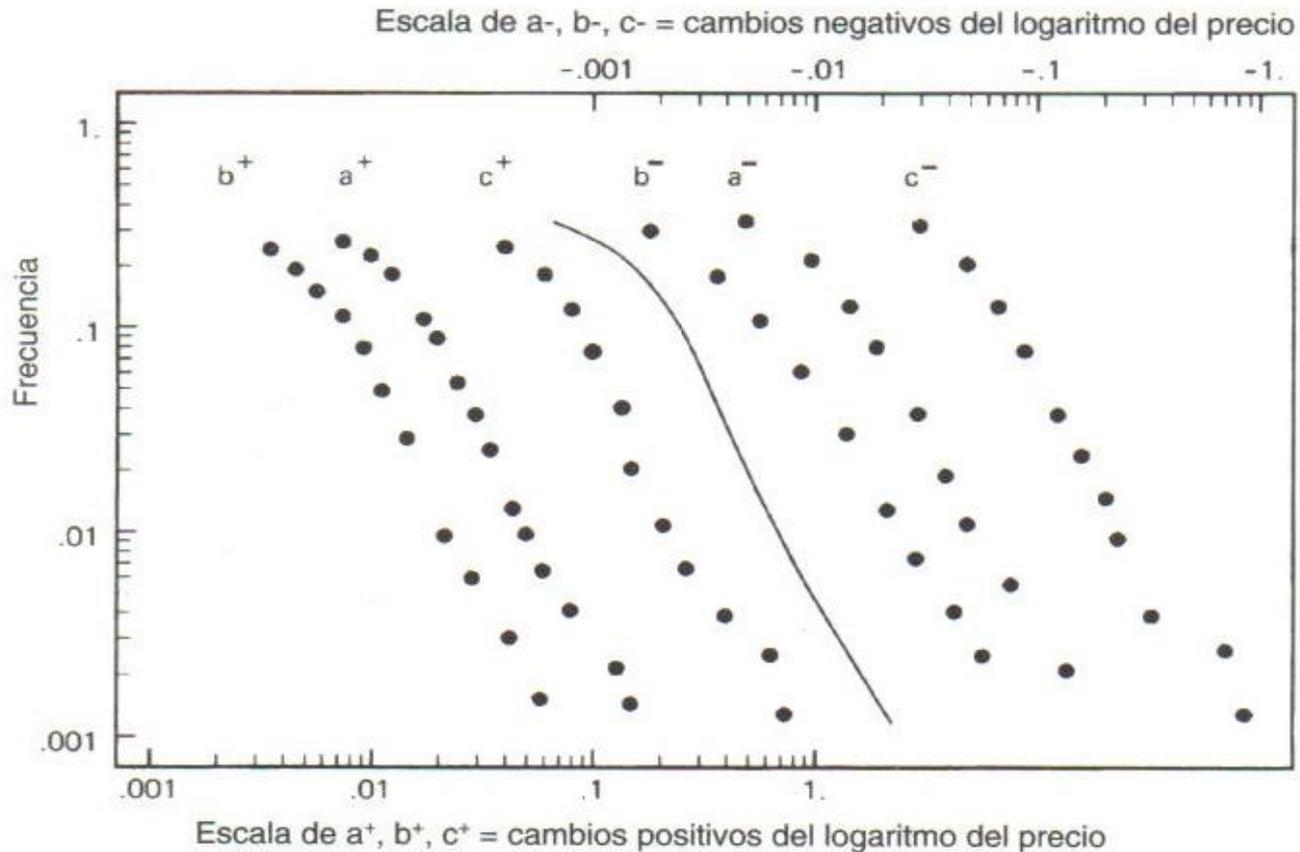
- ▶ El parámetro de <localización> es δ . El parámetro de <escala> es γ . El índice de sesgo es β : si es 0, la curva es simétrica. Y el parámetro más importante es α , que determina el grosor de las colas. Cuando es 2 y β es 0, se obtiene la distribución de Cauchy con su característica principal <colas gruesas>.

El caso del algodón, básicamente cerrado

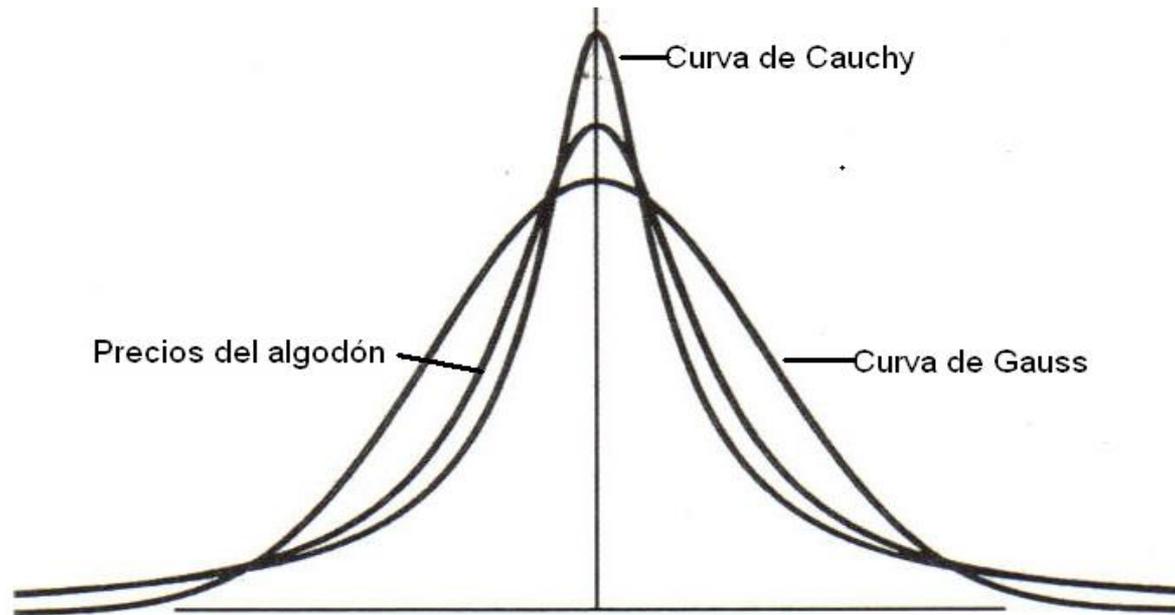
Pistas:

- ▶ Las leyes potenciales
 - ▶ La distribución de ricos y pobres
 - ▶ Las distribuciones de probabilidad L-estables
- 

► Diagrama de precios en papel logarítmico



- pendiente de $-1,7$, por lo que el alfa es de $1,7$.



- ▶ En ésta figura se aprecia tres diagramas. La curva más baja y con colas delgadas corresponde a la campana de Gauss (juego de cara o cruz con alfa de 2). La curva más alta es la de Cauchy la cual tiene colas más elevadas. Y la curva intermedia corresponde a la distribución de los incrementos del precio del algodón representados por Mandelbrot

El significado del algodón

- ▶ Cambios anormalmente grandes, el factor Escalante es el tiempo y no el espacio, ya que algunos lapsos de tiempo son relevantes.
- ▶ los resultados demuestran que los precios pueden variar, y lo hacen de forma violenta e inesperada.
- ▶ El comportamiento de los precios muestra un extraño vínculo de diferentes ramas de la economía, así, como de la economía y la naturaleza. Que los precios del algodón varíen como los ingresos, que sus fórmulas matemáticas se parezcan al uso de las palabras en un texto, es un misterio.

- ▶ el propósito de hacer énfasis en ésta fue la de mostrar a través de los fractales, la extraña relación entre dos casos aparentemente sin relación: la aleatoriedad de un juego de cara o cruz, y la complejidad y el riesgo de un gráfico de los precios del algodón.

Conclusión

- ▶ El precio se comporta de manera muy diferente a un movimiento browniano geométrico, los eventos y cambios extremos son mucho más probables.

METODOLOGIA DE PREDICCIÓN DE PRECIOS DEL PETRÓLEO BASADA EN LA DINAMICA FRACTAL

- ▶ el objetivo principal de este trabajo consistió en construir un modelo de predicción y en generar tres escenarios probabilísticos sobre el comportamiento futuro de los precios del petróleo.

Metodología:

- ▶ Marco conceptual
 - ▶ Caracterización estadística
 - ▶ Metodología de predicción
- 

- ▶ Para comprobar que el conjunto cumpla con una dinámica de escalamiento se verifica con la siguiente fórmula:

$$\sigma(\Delta, t) = t^\beta f[\Delta/\varepsilon^z(t)]$$

- ▶ Donde $\varepsilon(t)$ es la función de correlación de la escala del espacio, $\beta = H/z$, es el exponente de crecimiento, H es el exponente de Hurst, z indica que tan rápido se expanden las correlaciones en un sistema.

Exponente de Hurst

- ▶ El exponente de Hurst indica si un fenómeno o una serie de tiempo presentan un comportamiento fractal al igual que la dependencia de la serie de tiempo en el largo plazo.
- ▶ Cuando $H=0,5$ se dice que el fenómeno analizado es aleatorio.
- ▶ $0,5 < H < 1$, es persistente (un periodo de crecimiento es seguido por otro similar).
- ▶ $0 < H < 0,5$, es antipersistente (un periodo de detrimento es seguido por uno de crecimiento).

Rendimientos logarítmicos

- ▶ el rendimiento logarítmico del precio en un periodo se calcula como el logaritmo del precio final menos el inicial.

$$\delta_t(\tau) = \ln(1 + \Delta_t) = \ln(P_t/P_{t-\tau}) = p_t - p_{t-\tau}$$

Volatilidad

- ▶ La volatilidad es la desviación estándar del precio, para calcular la volatilidad histórica del precio para diferentes periodos de tiempo se hace de la siguiente manera:

$$V_n(\tau) = (n - 1)^{-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P^2(\tau+i) - \langle P^2(\tau) \rangle)}$$

- ▶ Donde $P(T)$ es el tiempo promedio de negociación, y τ es el tiempo para realizar las transacciones, donde se excluyeron fines de semana y festivos del mercado.
- ▶ los autores concluyeron que ésta tenía un comportamiento persistente a largo plazo, es decir, correlaciones positivas a largo plazo; mientras que a corto plazo es antipersistente que obedece a una ley de escalamiento donde varían los exponentes (H y z) continuamente.

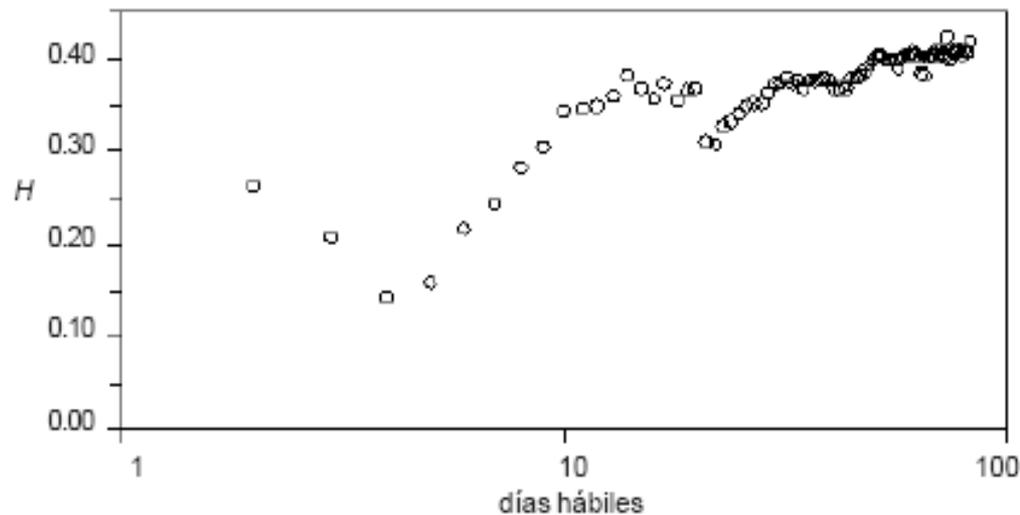
Construcción del modelo de predicción

- ▶ Cálculos en valor absoluto de los rendimientos logarítmicos para diferentes periodos de tiempo ($n=1,2,3, \dots, 100$).

$|\delta(\tau)|$: indica la amplitud de las fluctuaciones de los precios.

- ▶ Cálculo el exponente de Hurst (H) de para cada uno de los 100 periodos de estudio, por cinco métodos de trazado autoafin:
 - ▶ Rango reescalado.
 - ▶ Espectro de potencia.
 - ▶ El variograma.
 - ▶ Ondoletas.
 - ▶ Rugosidad-longitud.
- 

- ▶ Se promedio los valores de las 100 series de tiempo. Y estos promedios se graficaron para identificar a partir de que momento los mostraban un comportamiento constante (estado estacionario).



- ▶ Lo observado en la gráfica indica que aproximadamente a partir del dato 15 los valores de $H_{|\delta(\tau)|}$ alcanzan un estado estacionario

- ▶ Promedio desde el dato 15 hasta el 100 = 0.38, valor que se utilizó para generar escenarios probabilísticos sobre el comportamiento de los precios.
- ▶ Se obtuvo el rango de las fluctuaciones para cada 15 días hábiles, calculando el valor de $|\delta(\tau)|$ para cada 15 días.
- ▶ Determinaron valores máximos y mínimos de todos los datos y se calculó un rango para estos datos (valor máximo menos valor mínimo) dando un valor de 0,48. Valor que también fue utilizado en la generación de escenarios probabilísticos

Generación de escenarios

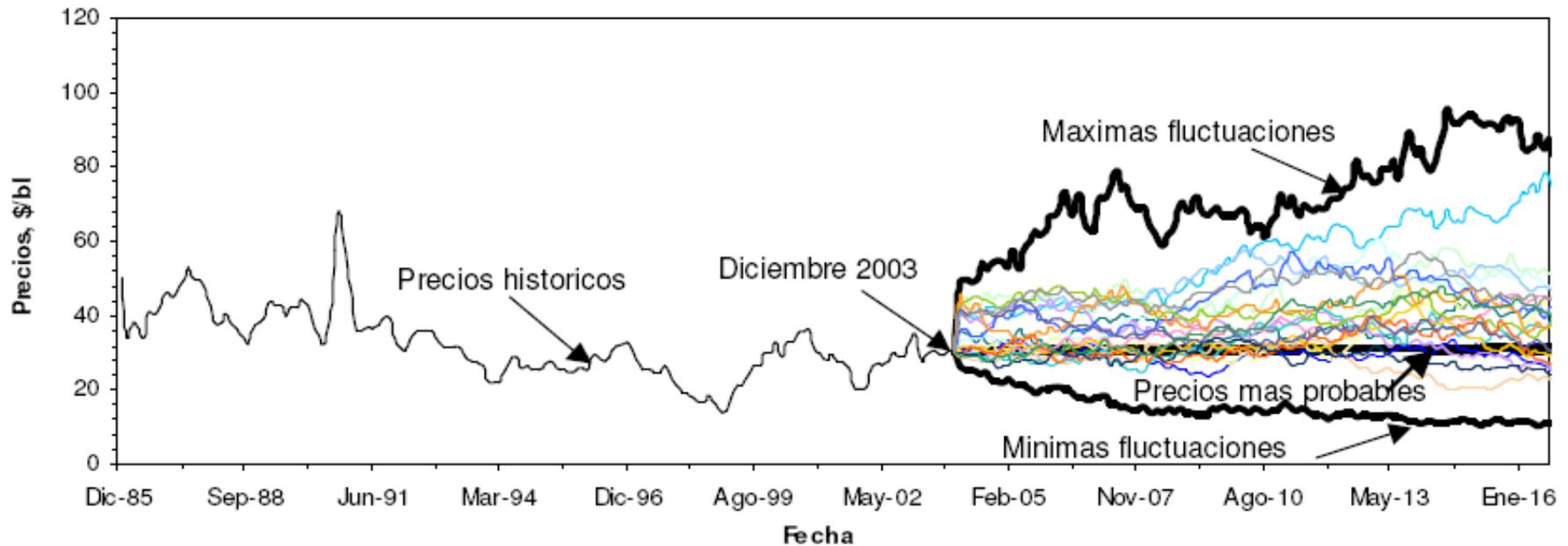
- ▶ Utilizaron (1) el promedio del exponente de Hurts para ($H= 0.38$); y (2) el rango de $|\delta(\tau)|$, para $t=15$ días hábiles, 0.48.
- ▶ Utilizando el software Benoit 1.3, se generaron los escenarios probabilísticos, donde se crearon 300 series de tiempo, de manera aleatoria partiendo de: $H=0.38$, número de puntos de cada traza = 225 y el rango del conjunto = 0.48
- ▶ El horizonte de tiempo de predicción es de enero de 2004 hasta noviembre 2016 (225 datos * 15 días hábiles = 3 375 días hábiles =12.9 años, teniendo en cuenta que un año tiene 260 días hábiles).

- ▶ Se le asignó a cada valor de $\delta(\tau)$ un signo positivo, al siguiente valor signo negativo, al próximo signo positivo; así sucesivamente hasta el último valor de la serie de tiempo dándole el signo contrario al valor inmediatamente anterior; de esta manera al dato 225 se le asignó el signo contrario al del dato 224.
- ▶ Calcularon para cada una de las 300 trazas, los 225 precios promedio del petróleo proyectados para 15 días hábiles partiendo de los 225 datos de $\delta(\tau)$.

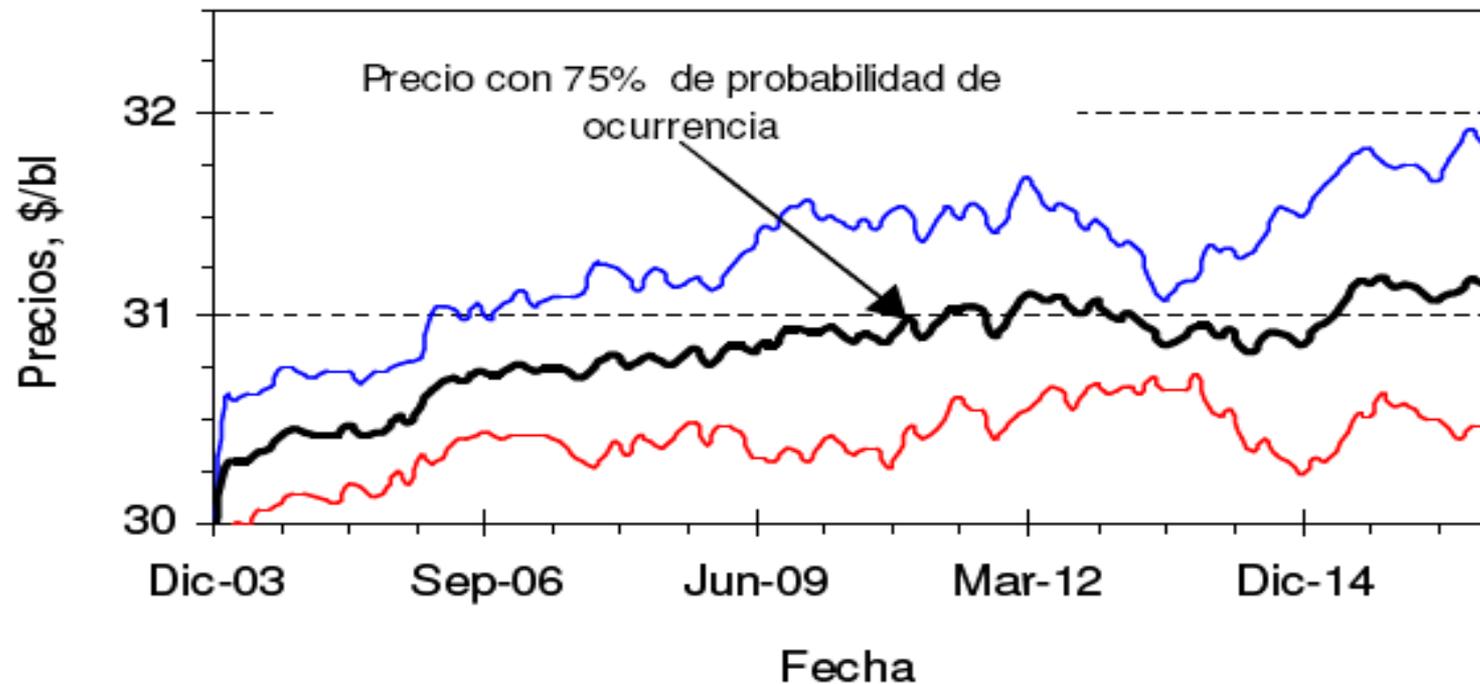
$$P(t) = P(t - \tau) * \exp(\delta(\tau))$$

- ▶ Dividieron cada serie en dos subseries. Una con los datos de signo positivo (113 datos), y la otra con los de signo negativo (112 datos). Así pues, se tenían las 300 series de tiempo con tendencia al alza y a la baja.
- ▶ Calcularon para las 300 trazas con los 225 datos el valor máximo y valor mínimo promedio para cada punto, donde se obtienen 225 valores máximos y 225 mínimos que representan.
- ▶ El promedio del valor máximo y el valor mínimo, en cada punto proyectado, representa el valor más probable de ocurrir.

- ▶ En la siguiente gráfica se observan los precios generados para escenarios de excesiva inestabilidad (máximas y mínimas fluctuaciones con una probabilidad de ocurrir del 25%)



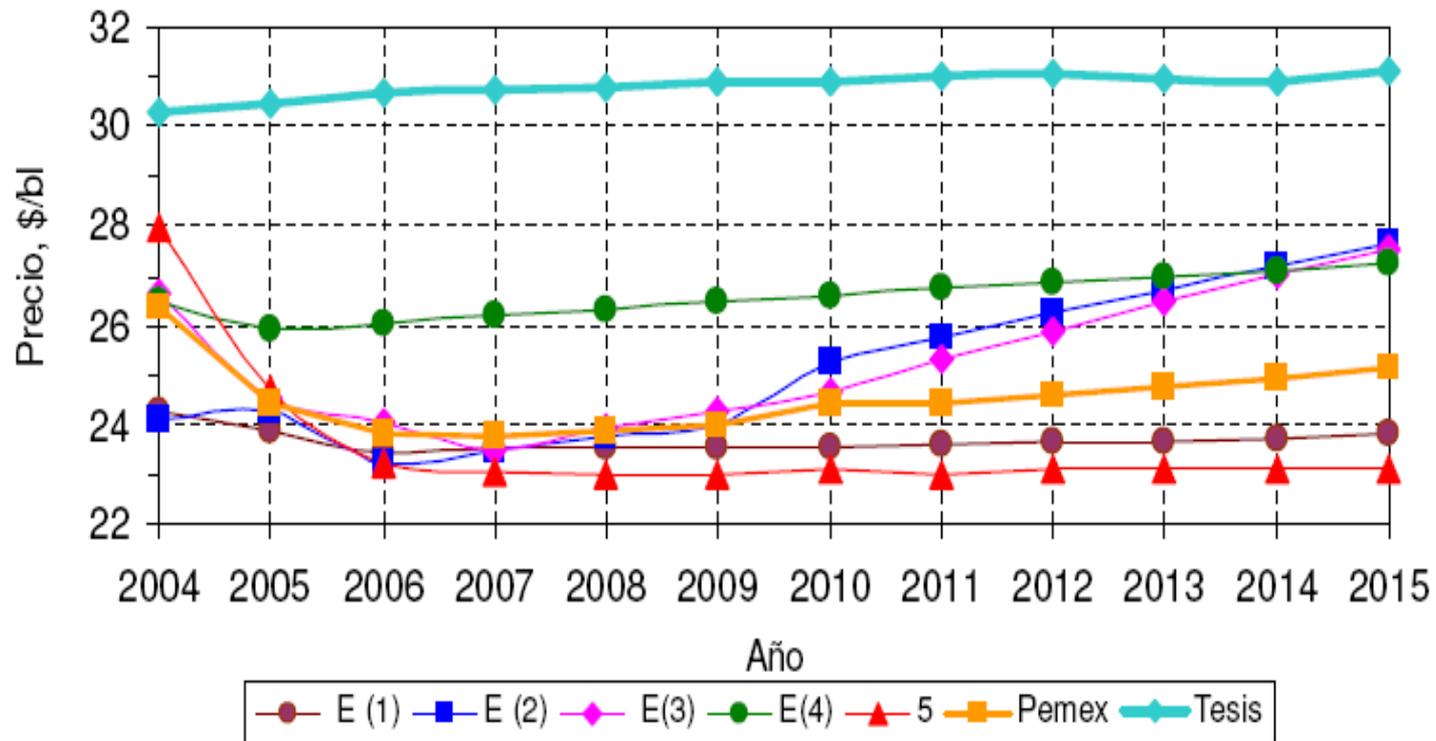
- ▶ Para el escenario de estabilidad, se presentó una probabilidad del 75% de ocurrencia.



- ▶ Los precios obtenidos en la figura anterior fueron la base para compararlos con los precios presentados por cinco firmas especializadas y por Pemex (Petróleos mexicanos), con el objeto de validar la metodología utilizada.

	E (1)	E (2)	E(3)	E(4)	E(5)	Pemex	Tesis
2004	24.24	24.08	26.65	26.50	27.94	26.34	30.31
2005	23.86	24.25	24.54	25.91	24.71	24.45	30.45
2006	23.45	23.23	24.02	26.05	23.23	23.80	30.70
2007	23.54	23.51	23.51	26.19	23.03	23.78	30.75
2008	23.55	23.77	23.92	26.32	23.01	23.89	30.80
2009	23.54	23.98	24.28	26.46	23.01	23.98	30.88
2010	23.57	25.28	24.64	26.58	23.10	24.45	30.92
2011	23.60	25.76	25.31	26.73	22.99	24.41	30.99
2012	23.63	26.23	25.88	26.85	23.08	24.60	31.07
2013	23.68	26.70	26.50	26.99	23.08	24.78	30.94
2014	23.73	27.18	27.01	27.11	23.08	24.95	30.90
2015	23.84	27.65	27.53	27.24	23.08	25.14	31.10

- Proyecciones de cinco empresas internacionales, de PEMEX y del trabajo (Tesis), para los precios anuales del petróleo crudo (2004-2005) en dólares constantes de 2003.



- ▶ Los precios que proyectaron las cinco consultoras y Pemex (Petróleos mexicanos), se mantienen en un rango de 22 - 28 \$/bl, el cual fue establecido por la OPEB, que tenía como objetivo mantener los precios del petróleo dentro de esa banda.
- ▶ Los datos pronosticados en este trabajo, son los más altos para el precio del petróleo, siendo 30.82 \$/bl el promedio en el periodo 2004-2015, de igual manera es, 4.24 \$/bl más alto que el promedio de la Agencia Internacional de Energía (E(4)).

Análisis de los precios proyectados frente a los precios reales que ha tenido el precio del petróleo desde el 2004 hasta lo corrido del 2010.

	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)	E(5)	Pemex	Tesis	Real
2004	24.24	24.08	26.65	26.50	27.94	26.34	30.31	43.33
2005	23.86	24.25	24.54	25.91	24.71	24.45	30.45	60.58
2006	23.45	23.23	24.02	26.05	23.23	23.80	30.70	60.53
2007	23.54	23.51	23.51	26.19	23.03	23.78	30.75	96.00
2008	23.55	23.77	23.92	26.32	23.01	23.89	30.80	39.59
2009	23.54	23.98	24.28	26.46	23.01	23.98	30.88	79.33
2010	23.57	25.28	24.64	26.58	23.10	24.45	30.92	86.66

Conclusiones

- ▶ los precios no se comportaron como se esperaba, y al contrario de la tendencia pronosticada por las consultoras (a la baja), el precio real a tenido tendencia al alza siendo los resultados de la tesis los que más se acercan a estos precios.
- ▶ Los precios reales se comportaron como el escenario de inestabilidad propuesto en el análisis fractal, donde se predijo una probabilidad de ocurrir del 25%.

Posibles aplicaciones para mercado colombiano

PREDICCIÓN DEL PRECIO DEL CAFÉ

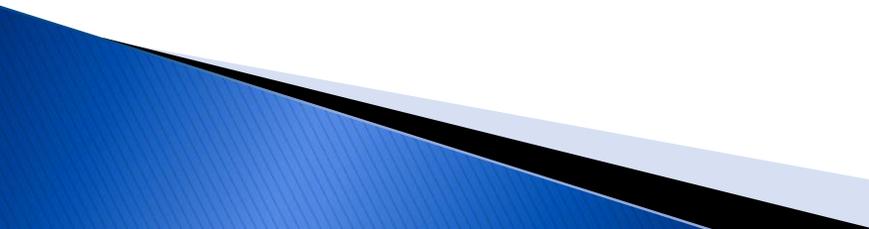
- ▶ **1.** Se deberá considerar una serie de precios históricos, lo suficientemente grande para poder analizar su comportamiento.
- ▶ **2.** Calcular el valor absoluto de los rendimientos logarítmicos de los precios del café para diferentes periodos de tiempo.
- ▶ **3.** Hallar el exponente de Hurst (H) para los diferentes valores calculados de H para cada uno de los periodos de estudio, por medio de los diferentes métodos de trazado con la ayuda del software Benoit 1.3.

- ▶ 4. Promediar los valores de $H_{|\delta(\tau)|}$ de las diferentes series de tiempo tomadas, y graficar estos datos.
- ▶ 5. Con respecto al punto anterior, se calcula el promedio de los $H_{|\delta(\tau)|}$, desde n hasta el último valor de la serie que se haya tomado, valor que servirá de referencia a la hora de generar escenarios de la predicción de precios futuros.
- ▶ 6. Hallar el rango de las fluctuaciones de precios para cada n días hábiles, se calcula el valor de $|\delta(\tau)|$, para el primer punto desde 1 hasta n , el segundo desde 2 hasta $n+1$, el tercero desde 3 hasta $n+2$, y así sucesivamente.

- ▶ 7. Se calculan los valores máximos y mínimos, y se determina un rango (valor máximo menos valor mínimo) éste dato también servirá para la generación de escenarios probabilísticos del comportamiento de precios futuros del café.

Generación de escenarios

- ▶ **i.** Para generar los escenarios se utilizan los valores hallados en los puntos v y vii, el promedio de los $H_{|\delta(\tau)|}$ y el rango $|\delta(\tau)|$ para $\tau = n$, respectivamente.
- ▶ **ii.** Se utiliza el programa Benoit 1.3 que ayudará a generar los escenarios probabilísticos para N series de tiempo de manera aleatoria, tomando como punto de partida $H_{|\delta(\tau)|}$ y el rango de $|\delta(\tau)|$
- ▶ **iii.** Después, se predice la tendencia que tendrán los precios, a la baja, al alza o constantes (el signo de los incrementos), lo cual se hace dándole de manera aleatoria según la teoría de Bachelier signos positivos o negativos a los N datos dados por el programa.

- ▶ iv. El paso a seguir será, separar los precios con tendencia al alza y a la baja (los de signo positivo y negativo) y hallar nuevamente las N trazas con el programa, lo que dará precios máximos y mínimos, que indicaran los precios probables en caso de un comportamiento de inestabilidad en el mercado.
 - ▶ v. Ahora, para hallar el precio más probable al que tenderá en caso de un comportamiento estable del mercado, se deberá sacar el promedio entre los valores máximos y mínimos anteriormente encontrados.
 - ▶ vi. Graficar los escenarios pronosticados y evaluar el comportamiento posible más probable.
- 

DECISIÓN DE COMPRA O VENTA DE UNA ACCIÓN CON BASE EN EL EXPONENTE DE HURTS

- ▶ Propiedades del exponente de Hurts:
- ▶ Varía entre 0 y 1.
- ▶ Si $H = 0,5$ el exponente indica que la serie de tiempo es **TOTALMENTE** aleatoria por lo cual no se puede inferir su en el futuro.
- ▶ Si $0 < H < 0,5$ existe una correlación inversa. Si la tendencia de la serie era decreciente, en intervalos posteriores será creciente, y por el contrario, si su tendencia era creciente, en el futuro será decreciente.
- ▶ Si $0,5 < H < 1$ existe una correlación directa. Si en un intervalo de tiempo la serie es creciente, lo seguirá siendo en el futuro, y viceversa.

Decisión de compra o venta de una acción de acuerdo al exponente de Hurst:

H	TENDENCIA	COMPRO	VENDO	COMPORTAMIENTO FUTURO
$H=0.5$	Aleatoria	No es posible identificar que comportamiento tendrá en el futuro.		
$0 < H < 0,5$	Al alza		X	A la baja
$0 < H < 0,5$	A la baja	X		Al alza
$0,5 < H < 1$	Al alza	X		Al alza
$0,5 < H < 1$	A la baja		X	A la baja

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ▶ De acuerdo a las aplicaciones investigadas y analizadas se intuye, que es posible la aplicación del método fractal al mercado colombiano, sea en el análisis de un indicador, el precio de un commodity o el comportamiento de una acción, siempre y cuando las series de tiempo tomadas se ajusten a las propiedades estadísticas y fractales necesarias.
- ▶ Es necesario para aplicar la metodología fractal que los datos de las series de tiempo analizadas tengan alguna dependencia o correlación a largo plazo, que lleve a un posible pronóstico de su comportamiento.
- ▶ Según el estudio realizado de la geometría fractal, todo sistema que contenga datos históricos de los que se pueda caracterizar su comportamiento, es posible pronosticar la conducta que tendrá en el futuro. El cual puede servir en diferentes áreas, por ejemplo, desastres naturales (erupciones de volcanes, terremotos, inundaciones), en la medicina (fallas cardiacas, ataques epilépticos, epidemias) y mercados financieros (crisis financieras, comportamientos de acciones, análisis de riesgos, etc.).

- ▶ Los fractales relacionan diferentes campos de conocimiento, como: la física, la matemática, la economía, figuras de la naturaleza, etc. para encontrar una correlación que pueda explicar determinado fenómeno.
- ▶ Para las aplicaciones exploradas y analizadas en ésta investigación se aprecia que, todas se rigen por los estudios y metodología hecha por Benoit Mandelbrot en su estudio inicial del “PRECIO DEL ALGODÓN”, ajustando éste procedimiento de acuerdo a las necesidades de cada objeto de estudio.
- ▶ La teoría convencional sugiere que la variación de precios se puede modelar mediante procesos aleatorios, como si cada cambio viniera determinado por el lanzamiento de una moneda. Lo que se aprecia en es ésta investigación y en sí, en los fractales, es que el comportamiento real de los precios se aleja de ese patrón, y el modelo multifractal de la variación de los precios sugiere las bases de una nueva teoría económica.
- ▶ Para desarrollar las aplicaciones propuestas para el mercado colombiano es necesario adquirir el software Benoit 1.3, el cual es indispensable para aplicar el método fractal planteado.

¡GRACIAS!