



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE ECONOMÍA
SECCIÓN DE ESTUDOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**EL USO DE LA ENTROPÍA COMO MÉTODO
DE DETECCIÓN DE BURBUJAS ESPECULATIVAS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS ECONÓMICAS
(ECONOMÍA FINANCIERA)**

PRESENTA:

ANGÉLICA ALONSO RIVERA



MÉXICO D. F.

NOVIEMBRE DE 2012



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D.F., siendo las 10:00 horas del día 31 del mes de octubre del año 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la SEPI ESE-IPN para examinar la tesis titulada:

El uso de la entropía como método de detección de burbujas especulativas.

Presentada por la alumna:

<u>Alonso</u>	<u>Rivera</u>	<u>Angélica</u>							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)							
Con registro:			<u>B</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>6</u>

aspirante de:

Maestría en Ciencias Económicas

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

DR. SALVADOR CRUZ AKÉ

DR. FRANCISCO VENEGAS MARTÍNEZ

DRA. ALICIA BAZARTE MARTÍNEZ

DRA. ANA LILIA VALDERRAMA SANTIBÁNEZ

DR. FRANCISCO LOPEZ HERRERA

S.E.P.
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
E.S.E.
SECCION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACION

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. ADRIÁN HERNÁNDEZ DEL VALLE



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En México D.F., siendo las **10:00** horas el día martes **31** del mes **octubre** del año **2012**, el (la) que suscribe **Angélica Alonso Rivera** alumno (a) del Programa de **Maestría en Ciencias Económicas** con número de registro **B101106**, adscrito a la **SEPI ESE-IPN**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Salvador Cruz Aké** y del **Dr. Francisco Venegas Martínez** y cede los derechos del trabajo intitulado **EL USO DE LA ENTROPÍA COMO MÉTODO DE DETECCIÓN DE BURBUJAS ESJPECULATIVAS**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Oriente 243 # 293, Colonia Agrícola Oriental, Delegación Iztacalco, México D.F., (C.P. 08500)**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

M. EN C. (C) ANGÉLICA RIVERA ALONSO

ÍNDICE

ÍNDICE DE GRÁFICOS, ILUSTRACIONES Y TABLAS.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
INTRODUCCIÓN	VI

CAPÍTULO 1. LAS BURBUJAS ESPECULATIVAS

1.1 Definición y ciclo de vida de las burbujas especulativas	1
1.1.1 Definición de Burbuja especulativa	1
1.1.2 Causas que originan una burbuja especulativa.....	3
1.1.3. Ciclo de vida de una burbuja especulativa.....	6
1.1.3.1 Modelo de Minsky.....	6
1.1.3.2 Modelo de Paul Krugman.....	9
1.2 Breve historia de la burbuja subprime y sus efectos	11
1.2.1 Aspectos coyunturales: el sector internacional y la política económica	11
1.2.2 El mercado inmobiliario estadounidense.....	14
1.2.3. Las hipotecas de alto riesgo o <i>subprime</i>	16
1.2.4 El mercado de derivados.....	17
1.2.5 El pánico financiero.....	19
1.3 Métodos de detección tradicionales y sus limitaciones	22
1.3.1 Prueba de la existencia de un Bubble Premium	22
1.3.2 Prueba de excesos de volatilidad	22
1.3.3 Prueba de no estacionariedad y cointegración	24
1.3.4 Prueba de supervivencia	27

CAPÍTULO 2. ENTROPÍA Y BURBUJAS ESPECULATIVAS

2.1 Antecedentes	31
2.2 Teoría de la información y entropía	34
2.2.1 Entropía mutua	37
2.2.2 Entropía relativa	38
2.3 Entropía aplicada al sistema financiero	39
2.3.1 Portafolio óptimo	42
2.3.2 Portafolio con volatilidad estocástica	44
2.3 Eficiencia en los mercados financieros y entropía	49
2.3.1 Entropía diferencial	51
2.3.2 Entropía relativa	54
2.3.2 Entropía aproximada	56

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN EMPÍRICA

3.1 Resultados empíricos para el mercado inmobiliario estadounidense	59
3.2 Descripción de los datos	61
3.3 Pruebas de estacionariedad y cointegración	68
3.4 Calculo de la entropía para el mercado hipotecario estadounidense	70

CONCLUSIONES	73
---------------------------	----

ANEXO	76
--------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS, ILUSTRACIONES Y TABLAS.

ILUSTRACIONES

Figura 1. Fases de una burbuja especulativa.....	8
Figura 2. Estructura básica del modelo de Shannon	31
Figura 3. Relación entre el valor de la entropía y probabilidad	36
Figura 4. Modelo Sharpe-Markowitz.....	40

GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación anual en el precio de las viviendas en Estados Unidos	15
Gráfico 2. Índice Down Jons Industrial 1995.2012.....	62
Gráfico 3. Rendimiento promedio anual Índice Down Jons 1995-2012.....	63
Gráfico 4. Evolución Índice S&P Shiller 1987-2011.....	64
Gráfico 5. Rendimiento Índice Shiller 1995-2011.....	65
Gráfico 6. CUSUM Test de los rendimientos Índice Shiller.....	67
Gráfico 7. Entropía Índice Shiller 1995-2012.....	70

TABLAS

Tabla 1. Índice Shiller rendimiento promedio anual 1995-2012.....	66
Tabla 2. Índice Shiller rendimiento promedio por periodo 1995-2012	66
Tabla 3. Evolución de los rendimientos del Índice Shiller y valor de la entropía.....	71

RESUMEN

Situaciones como la crisis *subprime* ocurrida en 2008, han demostrado que los mercados financieros suelen vivir periodos en los que un activo se revaloriza continuamente fuera de cualquier lógica económica y durante un tiempo prolongado. En ese lapso, el valor del bien se aleja del valor teórico de mercado y de su propio valor intrínseco, por lo que es de esperar que tarde o temprano el precio tienda a ajustarse nuevamente, este proceso es lo que se denomina burbuja especulativa. Ante la presencia insistente de tales fenómenos y de los altos costos económicos que provocan, diversos estudios empíricos han sido desarrollados con la finalidad de proporcionar metodologías adecuadas y eficaces para la identificación y detección oportuna de este tipo de sucesos.

El presente trabajo parte de reconocer que la hipótesis de la eficiencia en los mercados financieros es difícil que se cumpla en la práctica. En este punto se vincula el cálculo de la entropía como una herramienta capaz de hacer medible la eficacia con la que operan tales mercados, por lo tanto el uso de la entropía se presenta como una herramienta que puede ser utilizada como un indicador oportuno de pérdida de eficiencia en la operación del mercado bursátil y como un sistema de alerta sobre la posible formación de burbujas especulativas.

Se presenta la evidencia empírica para la burbuja hipotecaria gestada en Estados Unidos y que se hiciera evidente en 2008, la investigación lleva a interesantes conclusiones que hacen evidente el potencial de utilización de esta herramienta en el ámbito de la regulación prudencial, en específico como un semáforo de alerta sobre la formación de burbujas especulativas en el mercado de activos.

ABSTRACT

Situations such as subprime crisis occurred in 2008, has shown that financial markets tend to live periods in which an asset is revalued continuously out of any economic rationale for a long time. During that period the value of the theoretical value moves away from the market and its own intrinsic value, so it is expected that sooner or later the price of the store to meet again, this process is what is called speculative bubble . Given the insistent presence of such phenomena and cause high economic costs, empirical studies have been developed in order to provide appropriate and effective methodologies for the identification of speculative bubbles.

This paper begins by recognizing that the hypothesis of efficiency in financial markets is unlikely to be achieved in practice. At this point links the calculation of entropy as a tool to make the efficiency with measurable operating such markets, therefore the use of entropy is presented as a tool that can be used as an indicator of loss opportune efficiency in the operation of the stock market as an early warning system on the possible formation of speculative bubbles.

We present empirical evidence for the housing bubble in the U.S. concocted and it became apparent in 2008, the investigation leads to interesting conclusions that make clear the potential use of this tool in the field of prudential regulation, specifically as a semaphore warning on speculative bubbles in asset markets.

INTRODUCCION

En las últimas dos décadas, el mundo se ha visto impactado por la presencia de burbujas especulativas en el precio de los activos financieros. La evidencia más reciente la podemos encontrar en la crisis financiera internacional, que explotó en 2007, y que tuvo su gestación dentro del sector inmobiliario de los Estados Unidos, este evento habría de convertirse en un corto periodo en un problema que dejó secuelas en casi todo el mundo, convirtiéndose en la mayor crisis financiera después de la Gran Depresión.

Durante las últimas décadas la ocurrencias de burbujas especulativas, ha dejado muy altos costos económicos y sociales, por los que diversos estudios empíricos han sido desarrollados con la finalidad de proporcionar metodologías adecuadas y eficaces para la evaluación y detección oportuna de este fenómeno, sin embargo en uno u otro sentido, los mecanismos propuestos han mostrado ineficiencias o debilidades para alcanzar dicho objetivo.

El presente trabajo propone una metodología alternativa para la detección de burbujas especulativas, la cual está fundamentada en la valoración de la eficiencia con que trabaja un mercado financiero por medio de la obtención de la entropía inmersa en dicho mercado.

La hipótesis plantea que: si en el mercado se presenta un proceso del desplazamiento de la demanda hacia una clase particular de activo (fase inicial de una burbuja especulativa), entonces la entropía del proceso estocástico que genera los rendimientos de dicho activo, comienza a disminuir.

Por lo tanto el objetivo es demostrar si la medición de la entropía puede ser utilizada como una alerta temprana en el proceso de formación de una burbuja especulativa.

En el capítulo 1 de este trabajo se realiza una definición del fenómeno conocido como burbuja especulativa, así como una descripción de las metodologías que se han utilizado tradicionalmente para su estudio. Así mismo se incluye una breve reseña de la evolución de la burbuja hipotecaria en el mercado

estadounidense. El capítulo 2 se enfoca en la descripción de la entropía, su utilidad en el sistema financiero y la aplicación de la entropía como medida de la eficiencia con que se desarrolla el sistema financiero. Se asume que un sistema eficiente tiende a mostrar una entropía máxima, en este esquema la presencia de burbujas especulativas es imposible. Por el contrario un sistema que va perdiendo eficiencia tendera a mostrar valores mínimos de entropía, en este contexto la presencia de una burbuja especulativa se asume como posible. Finalmente el capítulo 3 presenta la aplicación empírica y evaluación de la entropía para el caso hipotecario en Estados Unidos.

CAPÍTULO 1. LAS BURBUJAS ESPECULATIVAS

1.1 Definición y ciclo de vida de las burbujas especulativas.

1.1.1 Definición de Burbuja especulativa.

El análisis del sistema financiero parte del supuesto de Mercados Eficientes. De acuerdo a la definición de Fama (1970), un mercado financiero eficiente, es aquel en el que los precios de los activos financieros siempre reflejan por completo la información disponible. Con base en esta hipótesis, los mercados valoran adecuadamente los activos financieros, por lo que un activo no podría intercambiarse en el mercado por largos períodos de tiempo a precios inferiores o superiores a los determinados por los fundamentales¹ relacionados con el mismo.

Sin embargo la experiencia internacional ha demostrado que los mercados financieros suelen vivir periodos en los que un activo se revaloriza continuamente fuera de cualquier lógica económica durante un tiempo prolongado. Durante ese periodo el valor del bien se aleja del valor teórico de mercado y de su propio valor intrínseco, este fenómeno es resultado primordialmente de la especulación, por lo que es de esperar que tarde o temprano el precio del bien tienda a ajustarse nuevamente. Este proceso es lo que se denomina burbuja especulativa.

La existencia de burbujas especulativas, es un tema complejo y controvertido y, por lo tanto, ha sido ampliamente debatido en la ciencia económica, desde un punto de vista teórico, la discusión se ha centrado en ciertas características de las burbujas, como su racionalidad, o bien en identificar los fenómenos que las originan; mientras que en el campo empírico los esfuerzos se

¹ El valor fundamental de una acción es el valor actual de los dividendos reales futuros esperados descontado, utilizando los tipos de interés reales esperados a un año actual y futuro. En ausencia de burbujas, el precio de las acciones es igual a su valor fundamental.(Roca Ricardo, 2002:6)

han dedicado a detectar la existencia de tales fenómenos, utilizando sofisticadas herramientas econométricas, pero sin obtener resultados concluyentes.

Se dice que una burbuja es “racional” en tanto los agentes económicos están dispuestos a pagar un precio mayor al sugerido por los fundamentales debido a que creen que podrán vender el activo a un precio aún más alto, obteniendo de esa forma ganancias de capital. Por su parte, una burbuja se dice “irracional” cuando se observa un rápido crecimiento del precio con base en expectativas demasiado optimistas sobre los fundamentales futuros del activo, seguido por un colapso o caída fuerte. (Gomez, 2007:105)

La teoría de la eficiencia en los mercados financieros, resulta altamente restrictiva al momento de describir el comportamiento de sistema financiero, en respuesta se han desarrollado marcos teóricos alternativos, como las finanzas conductistas, puestas en escena por Kahneman y Tversky en 1979. Dentro de esta corriente una burbuja especulativa se entiende como: el aumento en la volatilidad de los precios en el mercado, que es provocado el exceso de confianza que experimenta el inversionista. Bajo situaciones de exceso de confianza, el *trader*² reacciona de manera precipitada ante información privada, no valora la información pública, actúa de manera más agresiva en la medida en que obtiene ganancias en el mercado, subestima el riesgo e incrementa la volatilidad de los precios de los activos en el mercado (Chuang y Lee, 2006).

Sin embargo, no siempre que ocurre un cambio en la valoración de un activo se le debe atribuir el grado de burbuja especulativa, al respecto Randall y Griffin (2009), enumeran un conjunto de eventos económicos que al ocurrir de forma coyuntural puede ser confundidos con dicho fenómeno.

- Un rápido incremento de los precios dentro de la economía. Cuando ciertos precios cambian por modificaciones en la política económica

² Para efectos de este texto se define *trader* como un agente económico que compra y vende instrumentos financieros.

(por ejemplo impuestos o por cambio en las estructuras de mercado (por ejemplo un mercado adopte una forma no competitiva),

- Los fundamentales del activo se modifican,
- Las expectativas de los precios futuros tienen fundamentos en el comportamiento del mercado.

Cuando alguno de estos eventos ocurre o bien suceden de forma simultánea, la valoración de los fundamentales del activo puede modificarse, por lo tanto no puede ser considerado como burbuja especulativa.

En resumen cuando se habla de una burbuja especulativa, se debe hacer énfasis al desfase entre valor de mercado y valor intrínseco o fundamental del activo, se debe recordar que es un fenómeno basado en acciones que no siempre corresponden a un comportamiento racional y que las expectativas de los agentes juegan un papel fundamental de la revaloración del activo.

1.1.2 Causas que originan una burbuja especulativa

La experiencia internacional nos dice que el aumento repentino de la demanda hacia cierto tipo de bien o activo puede ser causado por la ocurrencia coyuntural de un gran número de factores o, dicho de otra manera, cualquier cosa puede causarlo: es algo esencialmente imprevisible.

Sin embargo, una pregunta inicial sería, por qué, en un mercado en el que los agentes forman sus expectativas de forma racional, se puede dar lugar a que el precio de un activo crezca sin límite. La respuesta es: basta con que los agentes anticipen que el precio va a seguir creciendo. Naturalmente, la interrogante, en ese caso, es si las expectativas de los agentes merecen el calificativo de racionales, por que contradicen, por lo menos, la teoría fundamental de la

valoración de activos, la cual afirma que la valoración de un activo no debe separarse de su valor intrínseco.

Alfredo Pastor, (1999) señala en su análisis acerca de las crisis, a Minsky (1974), quien da cuenta del desarrollo de una burbuja especulativa admitiendo que el comportamiento de los agentes no es siempre racional; así mismo señala que para Kindleberger (1978), el comportamiento de un especulador en la fase de inicio es el de un jugador, que cree en su suerte y sigue apostando porque cree que no puede perder; éste podrá ser un comportamiento irracional, pero que ocurre con mucha frecuencia. Aun asumiendo el supuesto de agentes racionales, pueden existir fallos de mercado, como el riesgo moral, que pueden propiciar que los agentes económicos asuman riesgos excesivos, y por lo tanto se comporten como si el precio del activos fuera a subir ilimitadamente.

Malkiel (2003) en su texto "*A random walk down Wall Street*", esboza dos teorías básicas que describen cómo se asigna valor a los activos financieros. La primera, llamada la teoría 'basada en la firma', intenta definir el valor intrínseco para una acción a través de un análisis del balance general, las expectativas de dividendos futuros y los prospectos de crecimiento de la firma; la segunda, en ocasiones llamada la teoría del 'castillo en el aire' o del 'tonto más grande', dice que un activo vale lo que otro inversionista quiera pagar por él. (Guzman 2008:70)

En este contexto se han desarrollado diversas teorías que enfatizan el papel de las expectativas y la toma de decisiones de los agentes económicos, como causales en la formación de burbujas especulativas. Una explicación al respecto la proporciona Lux (1995), quien describe el comportamiento de "manada" para argumentar la volatilidad en los precios. En este modelo la formación de expectativas de los agentes menos informados se origina por contagio, es decir observando e imitando las expectativas y comportamientos de los demás. A este comportamiento lo denomina comportamiento de "manada" y

puede ser, de acuerdo a esta teoría, la causa de la existencia de burbujas especulativas.

Guzman y Trujillo (2007), señalan otra explicación respecto a la presencia de burbujas sobre precios de los activos financieros la cual toma como argumento central el exceso de confianza, tesis propuesta por Scheinkman y Xiong (2003), estos autores ven las burbujas y el volumen de intercambios como un resultado de la existencia de agentes con creencias heterogéneas, estas emergen de la presencia de agentes demasiado seguros. Dejando de lado la posibilidad de ventas en corto, el propietario de un activo tiene una opción de venderlo a otro que tiene creencias más optimistas. Los agentes valoran esta opción y, consecuentemente, pagan precios que exceden su propia valoración de los dividendos futuros porque creen que en el futuro encontrarán un comprador dispuesto a pagar aún más de lo que ellos pagaron.

Los mismos autores mencionan además, la existencia de dos efectos que originan las burbujas:

- el efecto optimismo, originado por las creencias heterogéneas iniciales,
- el efecto opción de reventa, puesto que el exceso pagado sobre el valor fundamental del activo en el presente se justifica por la creencia de encontrar un comprador dispuesto a pagar más en el futuro.

No se debe pasar por alto el hecho de que ciertos factores macroeconómicos y microeconómicos pueden estar directamente relacionados con la presencia de burbujas especulativas. Por ejemplo las variaciones en el nivel general de precios, el manejo de la política fiscal y/o monetaria, el incremento en la volatilidad del mercado financiero, las variaciones en el volumen de comercio interno y/o externo, etc; en relación a los aspectos microeconómicos, el principal factor es el relacionado con la formación de expectativas que van definiendo una actitud de mayor o menor racionalidad por parte de los agentes económicos.

1.1.3. Ciclo de vida de una burbuja especulativa.

1.1.3.1 El modelo de Minsky.

Machinea (2007), en un artículo publicado por la Cepal describe el marco analítico que utilizan Minsky (1986) y Kindleberger (2005) para explicar el proceso en el que ocurre la formación de una burbuja especulativa. El estudio comienza asumiendo que una economía se encuentra en una fase expansiva de su ciclo económico, este periodo de bonanza resulta ser financiado en gran medida por una expansión del crédito interno, en este contexto los agentes económico tienen expectativas favorables que les permiten aumentar la confianza en que el auge habrá de continuar y ello incrementa la demanda y la oferta de crédito.

“La euforia y la expansión del financiamiento generan una burbuja en el precio de todos o de algunos activos, lo que crea la sensación de que la compra de esos activos financiada por crédito es una operación muy rentable. De hecho, a medida que avanza el auge, en un número creciente de casos el aumento del precio será la única manera de pagar el crédito.” Machinea (2007:37)

Continuando con el argumento, Machinea (2007), señala que el aumento del crédito, que muchas veces se da en el contexto de una política monetaria acomodaticia, se potencia durante la fase de expansión mediante un mayor apalancamiento del sistema financiero, es decir, por el aumento de la relación entre activos y patrimonio. El mayor apalancamiento va debilitando el sistema financiero, ya que el capital queda cada vez más expuesto a pequeñas pérdidas de los activos. Dado que la variación del apalancamiento es pro cíclica, este alcanza su valor máximo en el momento en que el precio de los activos comienza a reducirse. Por lo tanto, en esta etapa se intensifican los efectos de la caída de precios y, con ello, de la menor capacidad de pago de los deudores; de esa manera, el impacto en la solvencia del sistema es marcadamente acentuado. Los problemas de solvencia se ven potenciados por otra característica del periodo de expansión. Considerando que las tasas de interés a corto plazo son usualmente

inferiores a las de largo plazo, las entidades financieras suelen financiar el optimismo del auge mediante el aumento de sus obligaciones a corto plazo. Un excesivo endeudamiento contribuye a hacerlas muy vulnerables a los cambios del mercado, ya que los inversores tienden a reducir su financiamiento cuando comienzan a observar dificultades relacionadas con la calidad de los activos. La creciente falta de liquidez afecta la solvencia del sistema en la medida en que las entidades deban liquidar activos a “precios de remate” para hacer frente a sus obligaciones. La magnitud del impacto en la solvencia depende de varios factores, entre ellos el tamaño de la burbuja y la existencia de un prestamista de última instancia que resuelva los problemas de liquidez y evite que la caída de precios de los activos sea muy pronunciada.

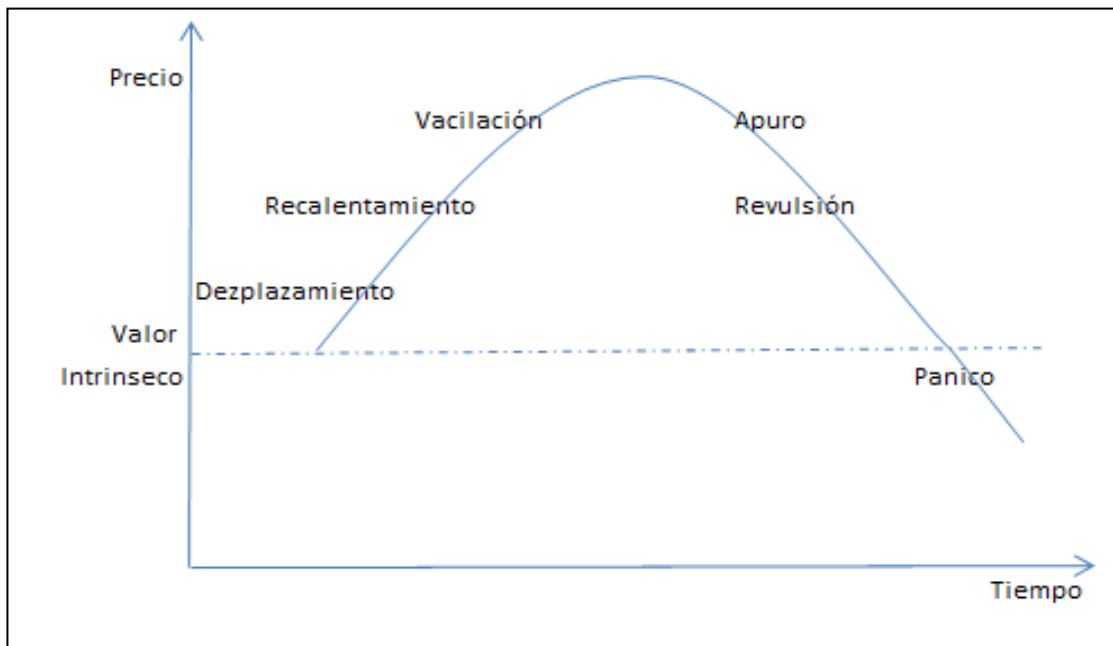
Pastor (1999), ofrece una descripción muy acertada del modelo de Minsky (1974), el cual proporciona la descripción de las fases del proceso de formación de una burbuja especulativa. De acuerdo con este autor la caracterización de una burbuja especulativa comprende las siguientes etapas: desplazamiento, recalentamiento (*overtrading*), vacilación, apuro (*distress*) y revulsión (*torchluss*)

Las burbujas especulativas tienen siempre el mismo origen: la inflación en el precio de algún activo. El proceso se inicia con el desplazamiento de la demanda hacia una clase particular de activo; el aumento de la demanda, que se enfrenta a una oferta inelástica, provoca el recalentamiento del mercado (*overtrading*) y atrae la especulación; a medida que el precio sigue subiendo en un margen muy superior a su valor intrínseco, (por eso se califica la burbuja de especulativa). Durante esta parte de la fase ascendente, el activo no se compra con la intención de disfrutar de una corriente de rendimientos, sino sólo por la expectativa de revenderlo más adelante a un precio superior.

El cambio de tendencia, se origina porque los agentes tienen en la cabeza una idea, más o menos precisa, del precio ‘normal’ del activo; a medida que el precio de mercado se eleva, serán menos los que creen que tiene probabilidades

de seguir subiendo, y más los dispuestos a vender; este cambio de composición del mercado da origen a la fase de *vacilación*, entonces el impulso ascendente del precio aminora, el precio se mueve, a menudo durante semanas, sin una tendencia definida, aunque cada vez más sensible a la aparición de malas noticias. Suele ser una de estas noticias, o una combinación de ellas, la que abre paso al apuro, (*distress*), en ese momento, los tenedores del activo y, en especial, las entidades financieras, advierten que si, por cualquier circunstancia, el precio del activo volviera a bajar hasta niveles más razonables, su balance se encontraría en situación precaria. En ese momento el mercado se vuelve sumamente vulnerable y los tenedores del activo, empiezan a liquidar sus posiciones, lo que aumenta la presión vendedora. Naturalmente, una mala noticia se presenta tarde o temprano, y cambia el sentimiento del mercado: es el momento de la *revulsión* hacia los activos que todos querían comprar pocos meses atrás. La ausencia de contrapartidas para las operaciones de venta –la súbita falta de liquidez del mercado– precipita la caída del precio; la fase final de pánico evoca la imagen de un portón que se cierra (Torschluss) mientras la gente se agolpa en la salida.

Figura 1. Fases de una burbuja especulativa



Fuente: Pastor 1999

1.1.3.2 El modelo de Paul Krugman.

Pastor (1999), refiere el modelo de Paul Krugman (1998), el cual ofrece una explicación a la existencia de burbujas especulativas, aun bajo el supuesto de expectativas racionales en los agentes. El estudio se enfoca al mercado asiático en específico al caso Tailandés, en este observa que en el mercado existe un fallo de información que genera problemas de riesgo moral, el cual parece ser la causa que genera la conducta irracional de los inversores.

“Si se asume que el rendimiento de un activo puede tomar dos valores: uno alto, en circunstancias favorables; otro, bajo, en circunstancias desfavorables. Un inversor racional tendrá en cuenta ambos valores para decidir el precio que está dispuesto a pagar por el activo; pero, si confía en que un tercero cubra sus pérdidas, caso que se produzcan; o si no arriesga su propio dinero, entonces el valor bajo no tiene por qué afectar sus cálculos: el precio del activo ya no será un promedio entre ambos valores, sino que dependerá sólo del valor alto: sus expectativas dependerán sólo de lo que ocurra en el caso más favorable –por eso las llama Krugman expectativas panglossianas³– y éstas expectativas llevarán, naturalmente, a la sobreinversión, es decir, al recalentamiento propuesto por el modelo de Minsky”. (Pastor, 1999:27)

Para explicar el paso del recalentamiento a la revulsión, Krugman ha de recurrir a un elemento externo, lo que denomina un cambio de régimen, en este contexto cualquier anuncio que implique la modificación de la política fiscal, la política monetaria o cualquier otro cambio en el marco regulatorio vigente, sobre todo en regulaciones encaminadas a corregir el problema de riesgo moral que se viven en el mercado, entonces los agentes abandonan las expectativas

³ Panglossianos: Este término surge de Pangloss, personaje de la novela Cándido o el optimismo, de Voltaire, a través del cual realiza una caricatura satírica del filósofo Gottfried Leibniz, quien sostenía que el mundo en el que vivimos “es el mejor de todos los mundos posibles”. Este tipo de inversionistas, entonces, siempre considera que todo está bien y seguirá estándolo, por lo que constantemente recomienda comprar todo tipo de activos. (Marcelo Elbaum, 2011)

panglossianas y empiezan a tener en cuenta la posibilidad de incurrir en pérdidas. Este proceso trae como resultado un súbito y brusco descenso del precio esperado de los activos, con lo cual se llega a la fase que Minsky describe como apuro.

Finalmente, Pastor (1999) presenta interesantes conclusiones al comparar el tratamiento de Minsky con el de Krugman:

- Para Minsky, una burbuja se origina con un choque externo al sistema, que induce el desplazamiento; y por consiguiente, es imposible, en la práctica, prevenirse contra su aparición. Cuando la crisis se ha desatado, la única solución posible es la existencia de un prestamista de última instancia.
- Para Krugman, el origen está en un fallo de mercado, de lo que cabe deducir que subsanar ese fallo –eliminar o reducir el riesgo moral– debería contribuir a prevenir la aparición de burbujas. Con esto el riesgo moral juega el papel de protagonista. En el contexto de este autor el prestamista de última instancia distorsiona el funcionamiento de mercado y agrava el problema de riesgo moral.

Como se puede observar ambos modelos son coincidentes en describir las fases evolutivas de una burbuja especulativa, mas no ocurre así, al comparar sus posibles causas, Minsky supone la ocurrencia de burbujas especulativas, como un evento que ocurre a consecuencia de un choque externo completamente imprevisible e inevitable, por el contrario, Krugman propone que la existencia de burbujas especulativas puede ser evitada si el marco regulatorio y de incentivos para los agentes del sistema financiero está diseñado de manera óptima.

De acuerdo al marco propuesto por Krugman, se enfatiza entonces la importancia en el desarrollo de metodologías adecuadas capaces de dar alerta respecto del grado de eficiencia o ineficiencia con la que trabaja el mercado.

1.2 Breve historia de la burbuja *subprime* y sus efectos.

1.2.1 Aspectos coyunturales: el sector internacional y la política económica.

Villegas et Al (2010), señalan que la crisis iniciada en EUA en el 2008, ocurrió en un contexto de desequilibrios globales expresados en un creciente déficit de la cuenta externa de los Estados Unidos y, su contrapartida, un considerable superávit de la balanza por cuenta corriente de algunas economías asiáticas (en particular China) y, en menor medida, de países del Medio Oriente. Según palabras de Nadal (2008:20)

“La causa inmediata de la crisis hay que buscarla en el verano de 2007 en EEUU. Es entonces cuando se pone de manifiesto que el nivel de fallidos del sector hipotecario subprime estaba muy por encima de las medias de estadísticas históricas. Como consecuencia de ello, un gran número de cédulas hipotecarias titulizadas sobre estos préstamos perdieron su cotización y, de forma repentina, se volvió ilíquido un mercado que hasta entonces procuraba financiación a una parte importante del sector inmobiliario de los Estados Unidos. A partir de ahí, y dado el entramado de productos estructurados alrededor de estos activos titulizados, se genera una creciente desconfianza en el mercado financiero que terminará provocando la mayor intervención coordinada por parte de los gobiernos en la historia económica reciente. Pero las verdaderas causas de la actual crisis financiera hay que buscarlas en una multiplicidad de factores complejos que se refuerzan entre ellos”.

Entre los factores que el autor refiere destaca en primer lugar, el papel de las autoridades financieras quienes cometieron una serie de errores de política macroeconómica y de regulación, que propiciaron comportamientos inadecuados tanto en el sector inmobiliario como en el mercado financiero. La Reserva Federal, durante la década de los noventas, se centró en el control exclusivo de la inflación, y la suavización del ciclo económico dejando pasar de forma casi inadvertida el

desarrollo de otras variables clave como son la expansión del crédito interno o de los agregados monetarios, la evolución de los precios de los activos o el déficit exterior.

En lo que se refiere a la conducción de la política económica interna de los Estados Unidos, se manejó una política fiscal y monetaria expansiva con el objetivo de reactivar la economía después de la recesión del año 2000. Como consecuencia del aumento de liquidez las tasas de interés cayeron substancialmente llegando de 6,5% a 1% entre mayo de 2000 y junio de 2003 y se mantuvo por debajo 2% hasta noviembre de 2004, el menor nivel en treinta años. (Véase, Villegas 2010) El mantenimiento, durante largos periodos, de tipos de interés reales negativos propició todo tipo de comportamientos, induciendo en la mayoría de los casos al sobreendeudamiento y a asumir actitudes de alto riesgo.

A partir del año 2001, la conducción de la política fiscal se volvió más expansiva, motivada por un lado, por el mayor gasto fiscal relacionado con la seguridad nacional y los gastos militares, y por el otro, con el paquete de medidas aprobado en 2001 (incluyendo la mayor reducción de impuestos en 20 años), destinado a dar un impulso a la economía a raíz de la fuerte desaceleración que esta última experimentaba en ese entonces.

Estas condiciones generaron la sensación de mayor riqueza en la población y una actitud de optimismo, ambas condiciones motivaron que los consumidores e inversionistas de la economía estadounidense, comenzaran a endeudarse de forma excesiva.

Entre los años 2000 y 2003 las finanzas del gobierno estadounidense se deterioraron considerablemente: mientras los gastos aumentaban 21% (en buena parte por la guerra de Irak), los ingresos disminuían 12% la deuda gubernamental se haya casi duplicado alcanzando una proporción equivalente a 72.5% del PIB en 2008 cuando era solamente 58% del PIB en 2000. (SELA, 2008)

El segundo error de política económica señalado por Nadal (2008), es de carácter regulatorio y tiene su raíz en la revocación de las barreras existentes entre la banca comercial y la banca de inversiones que, en los años treinta. Esta regulación, procedente de la Gran Depresión, establecía un rígido marco de separación entre la banca comercial, que toma dinero prestado del público en general, y la banca de inversión, que se financia exclusivamente a través del mercado de capitales. Los bancos comerciales estaban fuertemente supervisados por parte de la Reserva Federal quien exigía coeficientes de liquidez y de solvencia, lo que limitaba sus posibilidades de apalancamiento y por tanto de crecimiento del crédito. La banca de inversión, por el contrario, no estaba sometida a este tipo de controles, pero tenía rigurosamente prohibido acudir al público general en busca de financiación y tenía muy limitadas sus operaciones con el sistema de banca comercial. A partir de los años noventa, esta rígida separación se va diluyendo tanto por la revocación de la legislación como por la aparición de los fondos de inversión.

Siguiendo a Nadal (2008), se describe la creación de un mercado hipotecario paralelo al dominado por la banca comercial tradicional, que es el origen de la crisis de las hipotecas *subprime*. De hecho, tanto las Administraciones republicanas como demócratas, hicieron un esfuerzo consciente de relajar las condiciones para el otorgamiento y titulización de las hipotecas en el segmento *subprime*, como medio de incrementar el porcentaje de propietarios. Es decir, no sólo se consintió, sino que se alentó, la creación de este mercado hipotecario paralelo. En un mercado con tipos de interés negativos y los precios de los activos inmobiliarios creciendo a dos dígitos, la tentación de crear instrumentos, que permitieran financiar el crédito inmobiliario para luego colocarlo entre inversores ávidos de rentabilidad, era inmensa.

1.2.2 El mercado inmobiliario estadounidense.

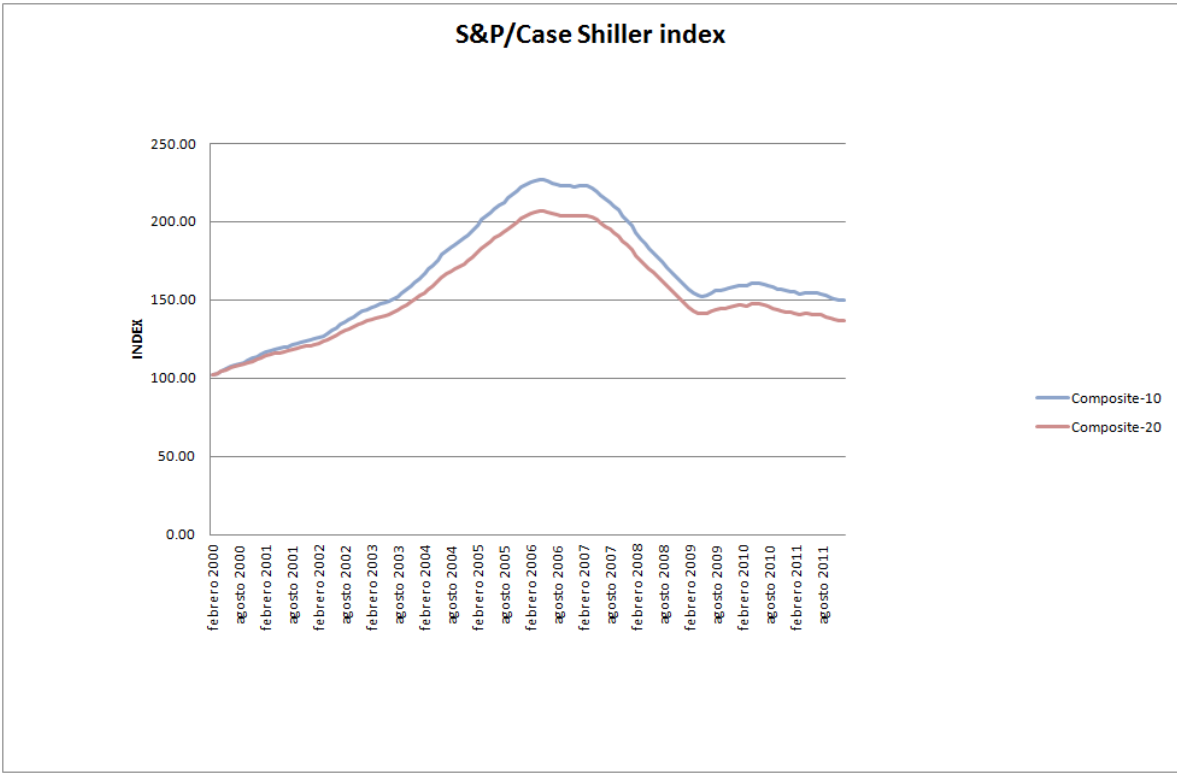
Villegas et Al (2010) describen el mercado inmobiliario estadounidense dividido en dos partes, el mercado primario, en donde se originan las hipotecas y el secundario, donde se compran y venden las hipotecas existentes. Anteriormente, este último mercado era pequeño y sin mucha actividad, pero la política de vivienda y la creación de las empresas *Federal National Mortgage Association* y la *Federal Home Loan Mortgage Corporation*, conocidas popularmente como *Fannie Mae* y *Freddie Mac* respectivamente, que por su apoyo gubernamental las denominan GSE (*Government Sponsored Enterprise* por sus siglas en inglés), dieron un fuerte impulso al mercado secundario.

Estas dos empresas referidas eran privadas, sin embargo, eran conocidas como empresas patrocinadas por el gobierno debido a que éste les otorgaba ciertas facilidades, en particular la exención de impuestos estatales y locales, exceptuando los impuestos a la propiedad, y tenían acceso a una línea de crédito de 2 mil 250 millones de dólares, por parte del tesoro de los Estados Unidos. Asimismo, emitían deuda y utilizaban esos recursos para comprar hipotecas en el mercado secundario. En un entorno de tipos de interés reales y nominales reducidos, se incentivó la expansión de un mercado hipotecario que atrajo a nuevos participantes dispuestos a enfrentar mayores riesgos, tanto por el lado de las personas que buscaban adquirir una propiedad, como de las empresas prestamistas. (Zurita y Rodríguez, 2008).

En la primeras etapas de la expansión del crédito inmobiliario se manejaron tasas de interés fijas, sin embargo posteriormente se procedió a manejar tasas variables con condiciones de descuentos y tasas aparentemente más bajas, al mismo tiempo se relajaron las condiciones estándar que se requerían para adjudicar los préstamos hipotecarios (aumenta el manejo de las hipotecas *supprime*), como resultado de las aparentemente mejores condiciones de crédito y la relajación en la comprobación de los ingresos de los solicitantes atrajeron a un

gran número de compradores y por supuesto como consecuencia lógica el precio de las viviendas comenzó a elevarse considerablemente, alcanzando en el 2004 un incremento cercano al 20%. (véase Calvo, 2008)

Gráfico 1. Variación anual del precio de las viviendas en Estados Unidos



Fuente: Elaboración propia con datos de S&P/Case Shiller Index

A pesar del incremento en los precios de los inmuebles se siguieron solicitando una gran número de préstamos hipotecarios, los cuales en muchos de los casos se utilizaron para refinanciar un crédito anterior o para comprar una segunda propiedad, tratando así de tomar ventaja del aumento en el valor de las casas para revender las propiedades y obtener una ganancia rápida. El mercado inmobiliario fue presa de una alta especulación.

Para sostener el nivel de precios de las viviendas era necesario satisfacer dos condiciones: primero, se requería que el inventario de casas sin vender se

mantuviera relativamente bajo, es decir, que la oferta de casas disponibles no creciera más rápido que su demanda; segundo, que el nivel de ingresos disponibles de las personas creciera a un ritmo suficiente para cubrir los costos de servicio de los préstamos en cuestión. Evidentemente, al cabo de un plazo relativamente corto, estas condiciones ya no se estaban cumpliendo. (Villegas,2010).

1.2.3. Las hipotecas de alto riesgo o *subprime*.

De acuerdo con Calvo (2008:199) las hipotecas de alto riesgo o hipotecas *subprime* se definen como préstamos para viviendas en los que se relajan o no se respetan los criterios de solvencia que se adoptan para las hipotecas *prime* o hipotecas que cumplen todos los requisitos exigidos para la concesión de un préstamo hipotecario. Este tipo de instrumento cobra importancia en la década de los noventas cuando su introducción se vio favorecida por el uso de programas *scoring*⁴. Estos préstamos generalmente se transformaban en valores y se vendían a inversores diversos. En Estados Unidos, aproximadamente el 80% de los créditos otorgados se otorgan bajo la forma de un crédito prime, el 14% en forma de crédito subprime, se suman también los créditos catalogados como cuasi-prime que representan el 6%.

Al principio, la proporción de préstamos en mora era reducida, con lo que la calificación de las agencias de riesgo para los bonos respaldados por hipotecas fue relativamente elevada. Sin embargo, tanto esas agencias como las autoridades económicas no tuvieron en cuenta la tasa de mora porque los precios de los bienes raíces aumentaban fuertemente y posibilitaban, de esa manera, que los propietarios que no alcanzaban a pagar las cuotas pudieran refinanciar sus créditos con facilidad. (Villegas, 2010:55)

⁴ *Scoring* se refiere al uso de conocimiento sobre el desempeño y características de préstamos en el pasado para pronosticar el desempeño de préstamos en el futuro. (Villegas, 2010:55).

Ya para el año 2006, aproximadamente, el 45% de todos los préstamos *subprime* estaba en manos de prestatarios que no tenían ingresos suficientes como para hacer frente a la amortización e intereses de las hipotecas. Este hecho coincide con el freno en la escalada de precios de las viviendas, y con la tendencia creciente en las tasas de interés, la cual se inicia desde el 2004. Estos acontecimientos dejan en una situación altamente vulnerable a todo el conjunto de deudores involucrados en el sector inmobiliario.

1.2.4 El mercado de derivados

Según Ginesta (2008), la Reserva Federal de Estados Unidos, regula la proporción de créditos de alto riesgo que pueden tener los bancos en su cartera. Para evadir estos controles y facilitar las operaciones con los créditos hipotecarios, los bancos recurren a la titulización, que consiste en formar paquetes con créditos prime y subprime, llamados MBS (mortgage backed securities) y venderlos en bloque. Las entidades adquirentes no tienen regulaciones legales que determinen qué proporción de créditos riesgosos pueden tener en su cartera, por lo cual si no hay una adecuada autorregulación, pueden acumular todos los créditos riesgosos que les parezcan. Como éstos créditos tienen un interés que superan entre 1.5 y 7 puntos la tasa de interés normal y comisiones mayores, los adquirentes de esas hipotecas obtienen un gran beneficio.

Para disminuir el grado de riesgo, las instituciones bancarias se ven en la necesidad de atraer a nuevos inversores que les permitan deshacerse rápidamente de los préstamos sin tener que esperar a su vencimiento. De acuerdo con Villegas (2010:57) adicionalmente se utilizaron dos instrumentos para disminuir los riesgos:

- Los CDO (por sus siglas en inglés *Collateralized debt obligations u obligaciones*)

de deuda colateralizada): Los CDO son paquetes de MBS que se dividen en tramos: créditos buenos, regulares y malos. Para hacer frente al impago de estos últimos, se ofrece el compromiso de que todo lo que se recaude por el cobro del paquete irá para pagar el tramo bueno, por lo cual este aparece como un crédito sin riesgo.

- Los CDS (por sus siglas en inglés *credit default swaps* o cobertura sobre riesgos crediticios): Con los CDS se puede tener protección frente al no pago, a la quiebra, la insolvencia, la reestructuración, o cualquier otro evento que signifique riesgo para un crédito. Dependiendo de la percepción de riesgo de cada uno de los activos protegidos, los márgenes fluctúan diariamente y ellos definen el costo para nuevos seguros.

El mercado de CDS creció vertiginosamente y adquirió unas proporciones que nadie sospechaba, por la cadena de compras que se hacían buscando protección. Según Steinberg (2008), el exceso de ahorro de las economías emergentes fue a parar al mercado estadounidense, el cual en 2007 absorbió cerca del 50% del ahorro mundial; el problema consistía en que la mayoría de estos recursos no iban dirigidos a inversión productiva sino que entraban a financiar el mercado hipotecario, con lo cual el modelo finalmente se encontraba fundamentado en la capacidad de pago de los deudores norteamericanos; sin embargo, éstos podrían pagar siempre que la economía siguiera en auge y los precios de la vivienda continuaran creciendo.

“Con esto, y gracias a la fuerte integración financiera internacional, un buen número de entidades, tanto norteamericanas como extranjeras, comenzó a financiar el mercado subprime sin conocer realmente el nivel de riesgo que entrañaban los instrumentos que estaban adquiriendo”. (Villegas 2010:60).

1.2.5 El Pánico Financiero

En junio de 2004 la Reserva Federal comenzó un ciclo de alzas en la tasa de interés que aumentó el costo del crédito desde 1%, su nivel más bajo desde la década de los cincuenta, hasta 5.25%, la tasa se incrementó en 17 ocasiones al tratar de contener la inflación, en junio de 2006 el alza de las tasas confluyó. (Villegas 2010:63)

La menor liquidez que implicaban unas tasas de interés más altas redujo la cantidad otorgada de créditos y, por tanto, afectó el consumo y los proyectos de inversión, aumentó el desempleo, los precios de la vivienda revirtieron su tendencia y cayó la burbuja sobre la que se había formado el mercado subprime. (Villegas 2010:63)

Todos aquellos que se encontraban con adeudos se enfrentaban ahora a dos situaciones: o bien no tenían cómo responder por su crédito, o bien decidían no pagarlo, -pues debido a la caída en los precios del sector hipotecario que se venía registrando desde 2006-, su casa ahora valía ahora menos de lo que los bancos les estaban cobrando. De esta forma los bancos se encontraban ante una reducción tanto en la calidad de su cartera como en el valor del colateral que respaldaba los créditos hipotecarios.

Nadal (2008), señala una serie de acontecimientos que desatan la estampida de pánico en el sistema financiero. En marzo de 2007, la financiera estadounidense *New Century Financial Corporation*, especializada en hipotecas de alto riesgo, se sitúa al borde de la quiebra después de que sus prestamistas, los grandes bancos de inversión, le suspendieran la financiación ante el miedo a los impagos de los suscriptores de hipotecas. Sus títulos perdieron un 90% de valor en unos pocos meses. A mediados del mismo mes, la Asociación de Bancos Hipotecarios de Estados Unidos revela que la morosidad en el sector hipotecario alcanza su punto

más alto en siete años. A finales de marzo, el índice *Case-Shiller*, el índice de precios de la vivienda más utilizado en Estados Unidos, registra su primera

Las calificadoras de riesgo, comenzaron a percibir un empeoramiento de la situación, se inició entonces el proceso de desvalorización de los MBS, CDO y demás productos del mercado *subprime*, creando inicialmente una crisis de confianza, que condujo a la venta masiva de tales instrumentos y creó dificultades a las instituciones financieras para obtener liquidez en los mercados.

En resumen, de acuerdo con Avendaño (2008), conviene insistir en que, más allá de los aspectos coyunturales que dispararon el estallido, son tres los problemas estructurales que subyacen como origen de la crisis norteamericana actual:

Primero, que con el exceso de ahorro del resto del mundo Estados Unidos financiaba su déficit de cuenta corriente, el sector privado financiaba el endeudamiento que alentaba la burbuja inmobiliaria y los hogares la expansión de su consumo.

Segundo, en aras de aprovechar el costo de la mano de obra (especialmente de Asia, de México y Centroamérica) y ganar ventajas globales de competitividad, las empresas de Estados Unidos impulsaron un agudo proceso de desterritorialización de su producción, el deterioro de la calidad de los empleos dentro de la economía estadounidense y la práctica congelación del poder de compra de sus asalariados, asuntos todos que parecen haber alcanzado un límite crítico por el excesivo endeudamiento de los hogares para continuar con el consumo desenfrenado de importaciones baratas.

Y tercero, con la mudanza estructural del sistema financiero hacia una forma de operación nueva, consistente en “originar y distribuir” en lugar de la tradicional de “comprar y mantener”, una forma de operar fuertemente

desregulada y altamente concentrada en un puñado de grupos gigantes con funciones de banca universal (en 2005 el 60% de los activos financieros totales estaba en manos de los 10 grupos más grandes), proliferaron las innovaciones financieras, los instrumentos de derivados y las entidades financieras especializadas en compras apalancadas, pero también se multiplicaron las operaciones fuera de las hojas de balance de los bancos y con ello se amplió en exceso la opacidad del sistema financiero, asunto delicado justo cuando se pierde la confianza.

Es posible advertir que la endémica inestabilidad del sistema financiero, jugó un papel determinante en la ocurrencia de la crisis, se incurrió en riesgos excesivos, tal y como lo afirma Krugman en su modelo que explica la formación de Burbujas especulativas, por lo tanto es necesario que el sistema financiero retome su función como medio de financiamiento de los sectores productivos.

1.3 Principales métodos de detección y sus limitaciones.

Guzman (2008) señala que las técnicas utilizadas en la detección de burbujas especulativas pueden ser agrupadas en cuatro categorías: existencia de un *Bubble Premium*, excesos de volatilidad, no estacionariedad y cointegración y pruebas de supevivencia.

1.3.1 Prueba de la existencia de un *Bubble Premium*

Un *bubble premium*, puede definirse como el exceso de retorno que el inversionista demanda, por encima del retorno fundamental (tasa libre de riesgo y prima de riesgo). En presencia de una burbuja, este excedente se incrementa de forma explosiva y geométrica.

Entre los investigadores que han utilizado esta técnica se encuentran: Hardouvelis, (1988); Rappoport y White, 1993; De Long et al., (1990).

De acuerdo con Brooks y Katsaris (2003) la prueba a base de *bubble premium* afronta serios problemas y dificultades y no es una prueba adecuada para verificar la existencia de burbujas especulativas.

1.3.2 Prueba de excesos de volatilidad.

Consiste en examinar la varianza de la acción en el mercado, puesto que si una burbuja especulativa está presente, la varianza del precio de la acción va a ser mayor que la varianza de su precio fundamental.

Robert Shiller (1981) propone un modelo que consiste en comparar el precio al tiempo t de un activo contra el precio que le correspondería bajo previsión perfecta y con mercados financieros eficientes.

El precio de una acción al tiempo t puede definirse por medio de la siguiente función:

$$\hat{q}_t = \sum_{i=1}^{T-t} \left[\frac{1}{(1+r)} \right]^i d_{t+i} + \left[\frac{1}{(1+r)} \right]^{T-t} q_t$$

Dónde: $q_t = q_T^f + B_T$

B_T = término que representa una burbuja

q_T^f = valor fundamental del activo

Por lo tanto el precio al tiempo t está determinado por factores fundamentales más un componente aleatorio denominado burbuja, es decir el término B_T denota una desviación del valor fundamental del bien. A su vez el valor de la burbuja está afectado por la expectativa del valor futuro descontado de la misma.

$$E_t(B_T) = (1+r)^{T-t} B_T$$

En ausencia de una burbuja se debe cumplir la hipótesis nula: $V(q_t) \leq V(\hat{q}_t)$

El mismo Robert Shiller reconoce que existen varias inconsistencias en el planteamiento del modelo, de las que señala como la principal restricción el fundamento teórico de la existencia de Mercados Eficientes.

En respuesta Kennet West (1987) desarrolla una variante, que puede ser sintetizado en los siguientes pasos:

1. Tomando diferentes series de tiempo llega a la conclusión de que el modelo con previsión perfecta no se confirma con la evidencia empírica.
2. Realiza un modelo autorregresivo de los dividendos, el cual compara con los resultados del modelo de previsión perfecta.
3. Para determinar la existencia de una burbuja hay que observar si existe una diferencia sustantiva entre las dos series calculadas.

Retomando el análisis de West, Campbell y Shiller (1988), formulan un modelo del Vectores Autorregresivos (VAR), tomando como variables: el logaritmo de la razón precios-dividendos, el logaritmo de las ganancias relativas al precio y el logaritmo de los dividendos en primera diferencia.

Al obtener los resultados es posible calcular la razón entre la desviación estándar del VAR y la desviación estándar de los retornos actuales, esta razón es igual a 2.77, pero si se asume que la expectativa es admitir variabilidad en los retornos y esta se iguala a una constante entonces la relación disminuye hasta .478. Al disminuir esta relación se admite una mayor variabilidad en la expectativa de ganancia y por lo tanto puede ser aceptada la presencia de una burbuja especulativa. (Flood, 2007:98)

Entre los investigadores que han utilizado la técnica de excesos de volatilidad se encuentran: Friedman, (1953); Hart y Kreps (1986); Baumol, (1957); Kohn, (1978); Shiller, (1981); Marsall y Merton, (1986); Shiller ,(1997); Kleidon,(1986); LeRoy y Porter, (1981); Dezhbakhsh y Demirguc-Kunt, (1990); West, (1987); Flood y Garber, (1980).

1.3.3 Prueba de no estacionariedad y cointegración

Esta prueba demuestra que si el precio de una acción depende exclusivamente de los dividendos futuros, y si los dividendos son estacionarios en su media,

entonces los precios serán estacionarios, siempre y cuando no existan burbujas especulativas. (Diba y Grossman 1988).

Se dice que una serie es estacionaria si:

$$\begin{aligned} E(x_t) &= c \quad \forall t \\ \text{var}(x_t) &= c \quad \forall t \\ \text{Cov}(x_t, x_{t-k}) &= c \quad \forall t, \forall k \end{aligned}$$

Al asumir que los precios de los activos se comportan de forma estacionaria, se estaría descartando la existencia de una burbuja especulativa dentro del mercado.

Sin embargo aun cuando precios y dividendos no sean estacionarios, pero estén cointegrados, la hipótesis de la no existencia de una burbuja especulativa no puede ser rechazada.

Cointegración significa que existe una relación, a largo plazo, entre las variables. En definitiva, si x_t e y_t están cointegradas significa que, aunque crezcan en el tiempo (t), lo hacen de una forma completamente acompasada, de forma que el error entre ambas no crece. (Véase Montenegro 2007).

Supongamos que dos variables temporales x_t e y_t son estacionarias de orden n , se dice que dichas variables están cointegradas cuando puede practicarse una regresión lineal o no lineal del siguiente tenor:

$$y_t = \alpha + \beta x_t + u_t$$

Pero, donde debe suceder que los residuos, $u_t = y_t - (\alpha + \beta x_t)$ son $I(0)$

Es decir, los requisitos para definir la cointegración son:

- a) Dos variables sean estacionarias del mismo orden.
- b) Los residuales obtenidos de la regresión sean $I(0)$.

Por lo tanto, apegándose a la anterior definición: si los precios del activo en función de los dividendos exhiben un comportamiento cointegrado, se descarta la presencia de burbujas especulativas.

En las investigaciones desarrolladas por Diva y Grossman (1988), aplicaron un estudio de estacionariedad y cointegración, sus resultados dieron negativo a la existencia de burbujas especulativas debido a que precios y dividendos no fueron cointegrados y tenían un grado de integración distinto.

Los investigadores que han utilizado esta técnica son:

Campbell y Shiller ,(1987); Craine, (1993); Fama y French, (1988) y Summers,(1986).

Sin embargo Johansen (1991) demostró que la falta de cointegración entre dividendos y precios puede no ser el resultado de la presencia de una burbuja especulativa, porque en realidad la falta de cointegración puede ser causada por diversos factores.

Adicionalmente, Evans (1991), demuestra que existen burbujas intrínsecas que evolucionan de manera similar a la evolución de los dividendos y que por lo tanto pueden dar como resultado un proceso cointegrados y no detectan de forma efectiva la existencia de burbujas.

En resumen los modelos basados en la estacionariedad y cointegración presentan varias deficiencias que dan como resultado un poder predictivo muy pobre.

De las pruebas mencionadas anteriormente, Brooks y Katsaris (2003), llegan a las siguientes conclusiones interesantes. Aplicando las pruebas de exceso de volatilidad y la prueba de no estacionariedad y cointegración, se obtuvo un resultado efectivo para detectar una burbuja en la Bolsa de Valores de Londres durante la década de los noventas.

Sin embargo, a pesar del aparente éxito obtenido mediante las pruebas de exceso de volatilidad y no estacionariedad, dichas metodologías son nuevamente puestas a prueba por Capelle-Blancard y Raymond (2004), llegando a la conclusión de que no resultan efectivas para detectar burbujas de manera periódica. Por tal motivo, retoman la propuesta de Taylor y Peel (1998) para corregir las pruebas de cointegración tradicionales por la asimetría y exceso de curtosis implícitos en las burbujas. Al aplicar las pruebas confirmaron la desconexión que existe entre los precios de las acciones y los dividendos para países como Francia, Alemania, Japón, Reino Unido y Estados Unidos, sin embargo estos resultados a pesar de que no permiten descartar la hipótesis de existencia de burbujas, tampoco ofrece un resultado contundente.

1.3.4. Prueba de supervivencia.

El modelo propuesto por McQueen and Thorley (1994)⁵, sugiere que la presencia de una burbuja especulativa trae como consecuencia el crecimiento explosivo del precio del activo, conforme el tiempo pasa, la burbuja crece y la probabilidad de que la tendencia en los retornos positivos anormales se invierta, decrece con el tiempo. Conforme la racha de rendimientos positivos anormales crece la probabilidad de que ocurran rendimientos negativos anormales decrece, es decir el periodo en que persisten los rendimientos positivos anormales exhibe una función de supervivencia negativa.

Una función de supervivencia es un modelo de probabilidad o riesgo de ocurrencia de un evento considerando la existencia de un conjunto de variables explicativas e independientes. La tasa de riesgo o de ocurrencia de un evento en el modelo discreto se obtiene para un intervalo o unidad de tiempo, mientras que en el modelo continuo es instantánea. En los casos donde los intervalos de tiempo

⁵ *Dependence Duration Test*, es el nombre que McQueen y Thorley asignan a su prueba de burbujas especulativas.

utilizados en los modelos discretos son muy pequeños, los resultados que se obtienen no son muy diferentes de los que se obtendrían con modelos continuos.

Podemos representar una primera función de riesgo de la siguiente forma:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

Dónde:

f_t : Función de densidad para un periodo de tiempo

$F(t)$: Función correspondiente de distribución

$h(t)$: Función de riesgo

La función de riesgo exhibe supervivencia positiva si $h(t)$ crece con el tiempo. En este caso se rechaza la hipótesis de existencia de una burbuja especulativa.

La función de riesgo exhibe supervivencia negativa si $h(t)$ decrece con el tiempo. En este caso se acepta la hipótesis de existencia de una burbuja especulativa.

Sin embargo, suele ser más popular el uso de la función de riesgo *Weibull*⁶ :

$$h(t) = \alpha (\beta + 1)t^\beta$$

Dónde:

$$\alpha > 0$$

$$\beta > -1$$

$$t > 0$$

β : representa la elasticidad de la función de riesgo

Si β es positivo la función de riesgo exhibe supervivencia positiva.

⁶ La función de probabilidad o riesgo Weibull, modela la distribución de fallos, cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo.

En este caso se rechaza la hipótesis de existencia de una burbuja especulativa.

Si β es negativo la función de riesgo exhibe supervivencia negativa.

En este caso se acepta la hipótesis de existencia de una burbuja especulativa.

McQueen y Thorley (1994) proponen una forma alternativa para valorar una función de riesgo en tiempo discreto:

$$h(k) = \{1 + \exp[-\alpha - \beta \ln(k)]\}^{-1}$$

Si el parámetro β , resulta negativo y significativamente diferente de cero, para el rango de rendimientos positivos, y al mismo tiempo es no significativo para el rango de rendimientos negativo, se dice entonces que existe una burbuja especulativa.

McQueen and Thorley (1994) formulan la hipótesis de que la función de riesgo, decrece con el tiempo, en presencia de rendimientos positivos anormales.

De acuerdo a este marco teórico analizan el New York Stock Exchange en el periodo de 1927 a 1991, obteniendo evidencia de supervivencia negativa, por lo tanto concluyen la existencia de burbujas especulativas.

Entre los resultados obtenidos con la utilización de esta técnica, destacan: Harman y Zuehlke (2001) utilizando el modelo Weibull detectaron una burbuja especulativa en el New York Stock Exchange. Watanapalachaikul y Sardar (2003) realizaron un estudio utilizando ambos modelos, el cual dió como resultado la detección de una burbuja especulativa en el mercado Tailandes antes de crisis financiera asiática de 1997.

A pesar del éxito obtenido en la utilización de esta metodología, presenta problemas técnicos y dificultades al momento de pasar la evaluación de tiempo discreto a tiempo continuo, El pasar de una escala de tiempo más grande a una más pequeña se gana en precisión a la hora de fijar el momento en que tiene lugar

el evento, pero esto complica el análisis. Al contrario, al pasar de un modelo continuo a uno discreto y dentro de éste de una escala más pequeña a una mayor significa simplificar el modelo, facilitar su interpretación pero también una pérdida de información y de precisión. (Rey, 2007:02)

En términos generales el gran reto al análisis y al pronóstico propuesto por la metodología antes descrita, consiste en distinguir predictivamente, la formación de una burbuja especulativa, en fases tempranas, pues el conocimiento acumulado hasta el momento, sólo permite un examen “autópsico” del fenómeno ocurrido, siempre demasiado tarde. Estas posiciones contrarias ponen en evidencia el gran potencial de investigación que ofrece este campo de estudio y el desafío que existe para los investigadores respecto al diseño de las pruebas utilizadas en la detección de burbujas.

CAPITULO 2. ENTROPIA Y BUBUJAS ESPECULATIVAS.

2.1 Antecedentes.

Cada evento económico que tiene lugar, deja sin duda alguna, un sin número de enseñanzas o lecciones las cuales proporcionan un cúmulo de conocimientos acerca de la circunstancia ocurrida. La teoría de la información y la entropía propone el desarrollo de una herramienta capaz de hacer medible la información vertida en la ocurrencia de dichos sucesos.

Bajo este enfoque, cualquier movimiento en el ámbito económico o financiero se representa como una fuente información⁷ que es capaz de emitir señales⁸ o símbolos, las cuales a su vez proporcionan, cada una de ellas, información acerca de la naturaleza o comportamiento de algún fenómeno.

Por supuesto, el campo de aplicación de esta herramienta no se limita a los asuntos de tipo económico, sino que puede abarcar una amplia gama de líneas de conocimiento, los antecedentes puros de la teoría de la Entropía se encuentran en la Física y su vinculación con la información tiene su origen en 1948 con los trabajos desarrollados por Claude Shannon, quien aporta un modelo para analizar sistemas de comunicación.

En la teoría de la comunicación, se describen tres partes: un remitente, un canal de transmisión y un receptor.



FIGURA 2. Estructura básica del modelo de Shannon.

⁷ Una fuente informativa en el contexto de la teoría de la información y la entropía es considerada como cualquier elemento, evento o suceso que emite una señal.

⁸ Una señal es una función de una o más variables que contiene información acerca de un fenómeno.

El emisor o fuente informativa emite n cantidad de símbolos: $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, por supuesto cada uno de estos símbolos son emitidos de forma independiente y con las siguientes probabilidades: $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$

La cantidad de información recibida por el receptor está en función de la relación estadística entre la información enviada menos el grado de equivocación. El canal de transmisión puede generar distorsiones en la transmisión de la información. Adicionalmente si la correlación entre el emisor y el receptor, es igual a cero, no es posible transmitir información. Si la correlación es baja, muy poca información puede ser transmitida. (Chen 2002:11)

En consecuencia, el problema a resolver es encontrar una medida de la información vertida al momento de la ocurrencia de un evento, el cual presenta una cierta probabilidad de ocurrencia p .

La medida de información aportada por un símbolo, queda definida como $I(p)$ y cumple las siguientes propiedades:

1. La cantidad de información obtenida es no negativa:

$$I(p) \geq 0 \quad (2.1)$$

2. Si un evento tiene probabilidad de ocurrencia 1, dicho evento no proporciona información:

$$I(1) = 0 \quad (2.2)$$

3. Si dos eventos independientes ocurren (cuya probabilidad conjunta es el producto de sus probabilidades individuales), entonces la información que se obtiene es igual a la suma de la información de los dos eventos:

$$I(p_1 * p_2) = I(p_1) + I(p_2) \quad (2.3)$$

4. Un símbolo con una menor probabilidad de ocurrencia, vierte una mayor información, cuando se presenta:

$$I(p_1) < I(p_2) \text{ para } p_1 > p_2 \quad (2.4)$$

2.2 Teoría de la información y entropía.

Si se considera un símbolo cuya probabilidad de aparición es muy pequeña, entonces cada vez que este aparezca, aportara una cantidad de información muy grande, pero debido a que su aparición es esporádica, la información que aporta a la fuente en conjunto con todos los símbolos no será tan grande.

En virtud de este hecho surge la interrogante: ¿cómo se puede obtener una medida de la información promedio que es vertida por cada símbolo de una fuente.⁹ La teoría de la información y la entropía afirma tener la respuesta correcta para este cuestionamiento.

Retomando las características referentes a la emisión de información descritas en el apartado anterior, se puede concluir que la información vertida por un símbolo está en función de dos aspectos: la probabilidad de aparición y la frecuencia con la que ocurre. Por lo tanto la información vertida por un símbolo está acotada por las propiedades descritas.

La información que aporta un símbolo en función de su probabilidad de aparición queda definida como:

$$I(s_i) = \log_b \frac{1}{p} = -\log_b(p) \quad (2.5)$$

Donde $b \geq 0$, determina la base del logaritmo utilizado, si se requiere expresar la información en bits, entonces $b = 2$.

Si se considera ahora su frecuencia de aparición:

$$p(s_i)I(s_i) = p(s_i)\log_b \frac{1}{p(s_i)} \quad (2.6)$$

⁹ Cualquier evento o fenómeno, en teoría de la información es referido como la fuente que emite señales.

Definición: la entropía o valor medio de la información entregada por cada símbolo que es emitido por una fuente, se define como:

$$H(S) = E\{I(s_k)\} = \sum_{i=0}^k p_i I(s_i) \quad (2.7)$$

Este parámetro se llama Entropía de la fuente y tiene las siguientes características:

- $0 \leq H(S) \leq \log_b(K)$, es decir, que la entropía de una fuente es no negativa y está acotada superiormente. Esto quiere decir que la fuente no puede suponer una pérdida de información, así como tampoco puede entregar una cantidad de información ilimitada (para un número de símbolos limitado).
- $H(S) = 0 \Leftrightarrow p_i = 1$ para algún i . En este caso el resto de las probabilidades serán nulas. No habrá sorpresa y por tanto la entropía será nula.
- $H(S) = \log_b(K) \Leftrightarrow p_i = 1/K \forall i$. Cuando todos los símbolos sean equiprobables, la incertidumbre sobre lo que va a ocurrir será máxima, y por tanto nos encontraremos en el límite superior de la entropía.

La figura 3 muestra la relación entre entropía y probabilidad.

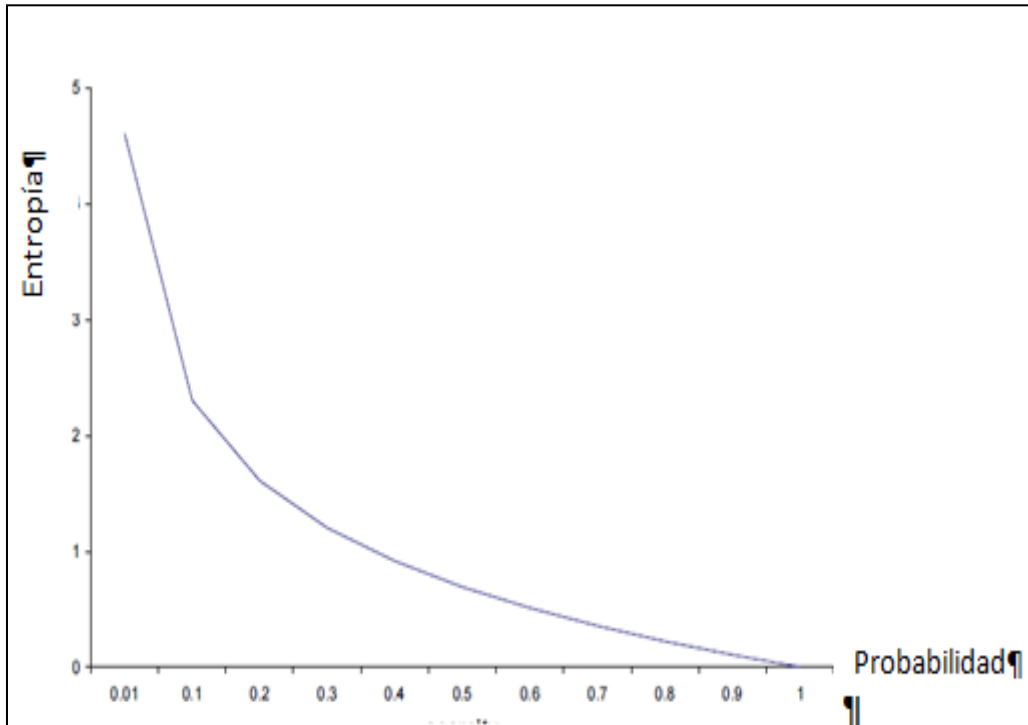


Figura 2. Relación entre el valor entropía y probabilidad (Chen, 2002:25)

Como se puede observar en la figura 2 el valor de la entropía es una función inversa de la probabilidad del evento. Cuando $P = 1$, $-\log P = 0$. El valor de la información que es conocida por todo el mundo es cero. Cuando $P = 0$, $-\log P = \infty$. La información que es conocida por unos pocos tiene un alto valor. (Chen, 2002:11)

Para comparar la entropía de fuentes con diferente número de símbolos podemos definir una entropía normalizada como $\hat{H}(S) = \frac{H(S)}{\log_2(K)}$ de manera que

$0 \leq \hat{H}(S) \leq 1$. Es como si estuviésemos normalizando en número de símbolos a 2 (número mínimos de símbolos).

Definición: Sea X , una variable aleatoria discreta con función de probabilidad $P(x)$, entonces la entropía queda definida por:

$$H(x) = -\sum_x P(x) \log_2 p(x) \quad (2.8)$$

En este contexto la entropía es una medida promedio de la incertidumbre en el comportamiento de la variable aleatoria.

2.2.1 Entropía mutua

Si se asume ahora, que se tienen dos variables aleatorias discretas, cuyo comportamiento se encuentra condicionado de manera recíproca, entonces entre ambas variables existe un sistema de información mutua.

Definición: la entropía mutua $I(X;Y)$ para un par de variables aleatorias discretas con función de densidad de probabilidad $P(x)$, se puede definir como:

$$I(X;Y) = H(X) - H(X|Y) = \sum_{x,y} p(x,y) \log \frac{p(x,y)}{p(x)p(y)} \quad (2.9)$$

La expresión $I(X;Y)$, define una medida de dependencia entre dos variables aleatorias. Es simétrica en X y Y , siempre es no negativa, y es igual a cero solo si X es independiente de Y .

2.2.2 Entropía relativa

El canal de comunicación establecido entre X y Y , es un sistema en el que cada salida de información depende de la probabilidad de cada entrada, este suceso se puede representar como una matriz de transición $p(y|x)$, la cual determina la distribución condicional de las salidas, dada una entrada. La capacidad de transmisión de dicho canal, para una entrada X y una salida Y , queda definida como:

$$C = \max_{p(x)} I(X; Y) \quad (2.10)$$

La capacidad del canal representa la máxima información que puede ser enviada a través de dicho canal con la menor probabilidad de error.

La información mutua puede ser transformada a un caso más general que permite considerar, la distancia entre dos funciones de densidad de probabilidad p y q , la cual es denominada entropía relativa

Definición: La entropía relativa $D(p||q)$ ¹⁰, entre dos funciones de densidad de probabilidad $p(x)$ y $q(x)$, queda definida como:

$$D(p||q) = \sum_x p(x) \log \frac{p(x)}{q(x)} \quad (2.11)$$

Un par de propiedades importantes para la entropía relativa, $D(p||q)$ son: es siempre un valor no negativo y es igual a cero si, $p = q$. Este indicador resulta útil para definir la geometría de una distribución de probabilidad o bien al momento de realizar pruebas de hipótesis entre las distribuciones de p y q .

¹⁰ También se le conoce como distancia *Kullback-Leibler*.

2.3 Entropía aplicada al sistema financiero.

Existen similitudes sorprendentes entre la teoría de la información, propuesta por Shannon, y la teoría de optimización de portafolios. La teoría moderna de la toma de decisiones bajo incertidumbre introduce un marco conceptual genérico para medir el riesgo y el rendimiento de un activo que se mantiene como parte de una cartera y en condiciones de equilibrio de mercado.

Este marco conceptual se denomina modelo de fijación de los precios de los activos de capital o CAPM (del inglés *Capital Asset Pricing Model*). De acuerdo con este, el riesgo de una acción se divide en riesgo diversificable o riesgo específico de una compañía y el riesgo no diversificable o de mercado. Este último, es el más importante para el CAPM y está medido por su coeficiente beta.

Un mercado accionario puede definirse como un vector de acciones $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_m)$, $X_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, m$ donde m es el número de acciones y el precio relativo X_i es la razón del precio de la acción al principio y al final del día.

Definimos $\mathbf{X} \sim \mathbf{F}(\mathbf{x})$, donde $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ es la función de distribución del vector de precios relativos. Un portafolio $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, $b_i \geq 0$, $\sum b_i = 1$ es la riqueza total invertida en el mercado accionario y b_i , es la cuota de riqueza invertida en la acción i .

Si se utiliza el portafolio \mathbf{b} y el vector de inversiones es \mathbf{X} , entonces el monto de inversión relativa¹¹ es: $S = \mathbf{b}^t \mathbf{X} = \sum_{i=1}^m b_i X_i$. Se desea entonces maximizar S ,

¹¹ Se define como la razón de cambio entre la inversión al final y la principio del día)

pero esta es una variable aleatoria que depende del portafolio b , se debe entonces poner énfasis en la mejor distribución para S .

El enfoque tradicionalmente utilizado, consiste en considerar la media y la varianza de S , con el objetivo de maximizar el valor esperado de la variable, sujeto a la restricción de la varianza. Un acercamiento básico a este enfoque de media varianza es el modelo básico Sharpe-Markowitz el cual se ilustra en la siguiente figura:

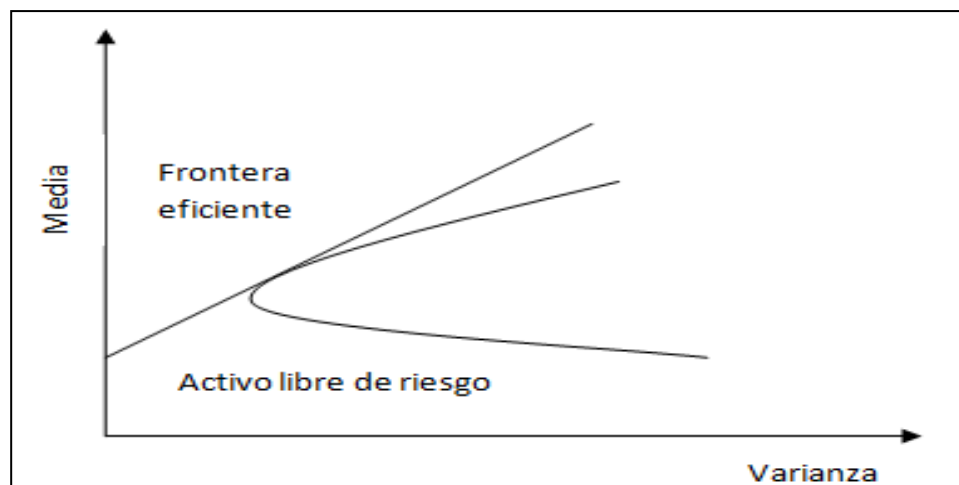


FIGURA 4 Modelo Sharpe-Markowitz¹²

La figura muestra el conjunto de puntos de media-varianza posibles utilizando diferentes portafolios. Dentro de este conjunto existen puntos de valor más alto para la media, dado el valor de la varianza, esta frontera es conocida como Frontera Eficiente.

Para simplificar el modelo se introduce un activo libre de riesgo, el cual corresponde a algún punto sobre el eje de las ordenadas, si se combinan varios

¹² Cover, 2006:614

instrumentos libres de riesgo, entonces se conjugan todos los puntos que corresponden a la tangente que toca la frontera eficiente y el punto libre de riesgo.

Si se asume que existe un precio para el activo que corresponde a la tasa libre de riesgo entonces el modelo anterior se transforma en el conocido *Capital Asset Pricing Model* (CAPM). Este modelo es utilizado para decidir si el precio de mercado de un activo está demasiado alto o demasiado bajo.

Al observar la media de una variable aleatoria se puede obtener información de su comportamiento a largo plazo. Sin embargo en un mercado de activos las ganancias se capitalizan día a día, por lo que el rendimiento o ganancia total al final del periodo es resultado de diversos factores y está determinado no solo por la expectativa del valor del activo sino por la expectativa de la variación de ese valor, es decir por su tasa de rendimiento.

Definición: La razón de crecimiento del rendimiento de un activo que es parte del portafolio b , respecto a su función de distribución $F(x)$, se define como:

$$W(b, F) = \int \log b^t x dF(x) = E(\log b^t X) \quad (2.12)$$

La ecuación anterior representa la razón de crecimiento del rendimiento del portafolio b con respecto a la función de distribución del rendimiento de un activo $F(x)$. Si el logaritmo es base 2 la tasa de crecimiento del rendimiento es denominada *doubling rate*. Para un portafolio con una asignación uniforme de los activos, el *doubling rate* W y la entropía H son constantes.

Definición: La razón de crecimiento óptima $W^*(F)$, puede ser definida como:

$$W^*(F) = \max_b (W(b, F)) \quad (2.13)$$

Donde el máximo respecto a todos los portafolios posibles $b_i \geq 0, \sum_i b_i = 1$

El portafolio b^* , que alcanza el máximo de $W(b, F)$ es denominado como portafolio de crecimiento óptimo o portafolio log- óptimo.

Definición: Un portafolio b^* , que maximiza $W(b, F)$ es llamado log-optimio portafolio

2.3.2 Portafolio óptimo.

Sea: $\beta = \{b \in R^m: b_i \geq 0, \sum_{i=1}^m b_i = 1\}$ el conjunto de portafolios permitidos.

Para determinar b^* que permita alcanzar $W^*(F)$ se resuelve el problema de optimización de una función cóncava dado el conjunto: β . El máximo puede encontrarse en frontera por lo que puede aplicarse las condiciones de Kuhn-Tucker para caracterizar dicho óptimo.

Para derivara las condiciones de KKT, se deben asumir los siguientes principios:

Teorema 2.3.1 El portafolio óptimo b^* para un mercado de activos $X \sim F$ (el portafolio que maximiza la tasa de crecimiento de la riqueza $W(b, F)$) satisface las siguientes condiciones necesarias y suficientes:

$$E \left(\frac{X_i}{b^{*t} X} \right) = 1 \quad \text{si } b_i^* > 0 \quad (2.14)$$

$$E \left(\frac{X_i}{b^{*t} X} \right) \leq 1 \quad \text{si } b_i^* = 0 \quad (2.15)$$

Teorema 2.3.2 Sea $S^* = b^{*t} X$ la riqueza obtenida por la selección del portafolio óptimo b^* . Sea $S = b^t X$ la riqueza obtenida por algún otro portafolio b . Entonces:

$$E \ln \frac{S}{S^*} \leq 0 \quad \text{Para toda } s \Leftrightarrow E \frac{S}{S^*} \leq 1 \quad \text{para toda } S$$

En este contexto se puede entonces resolver el problema de maximización. Se define primero un conjunto de inversiones independientes en el mercado de activos (X_1, X_2, \dots, X_n) . De esta manera la riqueza acumulada después de n días, por un agente que utiliza el portafolio b_i , queda definida como:

$$S_n = \prod_{i=1}^n b_i^t X_i \quad (2.16)$$

De este modo, el máximo crecimiento de la riqueza dado la elección de un portafolio b^* , puede expresarse de la siguiente manera:

$$W^* = \max_b W(b, F) = \max_b E \log b^t X \quad (2.17)$$

Solo es posible la existencia de portafolios alternativos b_i cuando estos dependen casualmente del pasado y son independientes de los valores futuros en el mercado de activos.

Teorema 2.3.3 *La optimización del portafolio sigue una tendencia asintótica. Sea (X_1, X_2, \dots, X_n) , una secuencia de vectores de inversiones independientes acordes a $F(x)$. Y sea $S_n^* = \prod_{i=1}^n b^{*t} X_i$, la riqueza obtenida al elegir b^* , que es el log-óptimo portafolio y sea $S_n = \prod_{i=1}^n b^t X_i$, la riqueza resultante al escoger cualquier otro portafolio de manera casual.*

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sup \frac{1}{n} \log \frac{S_n}{S_n^*} \leq 0 \text{ con probabilidad } 1 \quad (2.18)$$

2.3.3. Entropía y portafolios con volatilidad estocástica

Sea X_1, X_2, \dots, X_n , un conjunto de variables aleatorias que definen un proceso estocástico con $X_i \geq 0$. Se consideran estrategias de inversión que dependen de los valores pasados de la variable en una función casual como $(X_1, X_2, \dots, X_{I-1})$. Entonces:

$$S_n = \prod_{i=1}^n b_i^t(X_1, X_2, \dots, X_{I-1}) X_i \quad (2.19)$$

El objetivo es maximizar $E \log S_n$ para todas las estrategias casuales de portafolio $\{b_i(\cdot)\}$.

Ahora

$$\max_{b_1, b_2, \dots, b_n} E \log S_n = \sum_{i=1}^n \max_{b_i(x_1, x_2, \dots, x_{i-1})} E \log b_i^t X_i \quad (2.20)$$

$$= \sum_{i=1}^n E \log b_i^{*t} X_i \quad (2.21)$$

Donde b_i^* , es el log-óptimo portafolio dada la función de distribución condicional de X_i , de los valores pasados en el mercado de activos; este es $b_i^*(x_1, x_2, \dots, x_{i-1})$, el portafolio que permite alcanzar el máximo condicional, el cual es denotado por:

$$\max_b E [\log b^t X_i | (X_1, X_2, \dots, X_{i-1}) = (x_1, x_2, \dots, x_{i-1})] \quad (2.22)$$

$$= W^*(X_i | (x_1, x_2, \dots, x_{i-1})) \quad (2.23)$$

Se reescribe la expresión respecto del pasado

$$W^*(X_i | (X_1, X_2, \dots, X_{i-1})) = E \max_b E [\log b^t X_i | (X_1, X_2, \dots, X_{i-1})] \quad (2.24)$$

El máximo retorno de esta expresión se alcanza usando el log-óptimo portafolio por lo que:

$$W^*(X_1, X_2, \dots, X_n) = \max_{b_1, b_2, \dots, b_n} E \log S_n \quad (2.25)$$

Se define como el máximo para todas las estrategias casuales de portafolio.

Dado que $\log S_n^* = \sum_{i=1}^n \log b_i^{*t} X_i$, se tiene entonces la siguiente derivada compuesta:

$$W^*(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n (X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1}) \quad (2.26)$$

Esta regla de cadena es la misma para H , en distintas formas W es similar a H .

La similitud en estos resultados se cumple dado que la variable aleatoria sigue una distribución normal, en este contexto ambos modelos permite la maximización del portafolio. Sin embargo cabe mencionar que el objetivo del presente trabajo se enfoca no en la maximización del portafolio si no en hacer mesurable la información vertida por dicho portafolio, aun cuando esta no sea la máxima posible.

Se puede ahora definir la tasa de crecimiento óptimo para la riqueza de un portafolio que observan un proceso estocástico.

Definición: La tasa de crecimiento de W_∞^* se define como:

$$W_\infty^* = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{W^*(X_1, X_2, \dots, X_n)}{n} \quad (2.27)$$

Si el límite existe

Teorema 2.4.1 Para un mercado estacionario la tasa de crecimiento de W_∞^* existe y es igual a:

$$W_\infty^* = \lim_{n \rightarrow \infty} W^*(X_n | X_1, X_2, \dots, X_{n-1}) \quad (2.29)$$

Teorema 2.4.2 Considere un procesos estocástico arbitrario $\{X_i\}, X_i \in \mathbb{R}_+^m$, condicionado al portafolio optimo, $b_i^*(X^{i-1})$ con una riqueza S_n^* . Sea S_n , la riqueza obtenida por cualquiera otra estrategia de inversión elegida $b_i(X^{i-1})$. Entonces $\frac{S_n}{S_n^*}$ es una supermartingala positiva respecto a la secuencia del conjunto de σ generadas por el pasado X_1, X_2, \dots, X_n . Por tanto existe una variable V que satisface:

$$\frac{S_n}{S_n^*} \rightarrow V \text{ con probabilidad 1}$$

$$EV \leq 1$$

$$Pr \left\{ \sup \frac{S_n}{S_n^*} \geq t \right\} \leq \frac{1}{t} \quad (2.30)$$

Teorema 2.4.3 Sea X_1, X_2, \dots, X_n un vector de valores estocásticos y sea S_n^* , el monto de la riqueza al tiempo n dada la elección de una estrategia óptima.

$$S_n^* = \prod_{i=1}^n b_i^{*t}(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}) X_i \quad (2.31)$$

Entonces

$$\frac{1}{n} \log S_n^* \rightarrow W_\infty^* \text{ con probabilidad 1}$$

Finalmente

$$W^* = \log m - H(x) \quad (2.32)$$

$$W_\infty^* = \log m - H(\chi) \quad (2.33)$$

Donde $H(\chi) = \lim \frac{1}{n} H(X_1, X_2, \dots, X_n)$ si el límite existe por el teorema 2.4.3 se afirma que

$$S_n^* = 2^{nW} \quad (2.34)$$

Que es consistente con el *doubling rate* o tasa de crecimiento óptima.

2.4 Eficiencia en los mercados financieros y entropía.

Fama (1970), en su clásico trabajo sobre la Hipótesis de Eficiencia de los Mercados (*EMH*) definió un mercado financiero eficiente como, aquel en el que los precios de los activos financieros siempre reflejan por completo la información disponible. Con base en esta hipótesis, los mercados valoran adecuadamente los activos financieros, por lo que un activo no podría transarse en el mercado por largos períodos de tiempo a precios inferiores o superiores a los determinados por los fundamentales relacionados con el mismo¹³.

Si en un mercado eficiente se produjese una disparidad entre el precio de mercado de un título y su valor intrínseco, ésta sería aprovechada por los especuladores avisados que actuarían en consecuencia para beneficiarse de dicha "ineficiencia temporal". Si, por ejemplo, el título estuviese infravalorado dichos especuladores lo adquirirían, con objeto de obtener una rápida ganancia de capital, lo que crearía una presión de la demanda sobre dicho título que impulsaría su precio hacia arriba hasta situarlo en su valor intrínseco. Si, por el contrario, el título estuviese sobrevalorado esos mismos especuladores lo venderían con lo que el precio del mismo descendería, debido a la presión de la oferta, hasta situarse en su valor teórico. Resumiendo, sólo los más avisados sacarán un beneficio de las *ineficiencias temporales* (cuantos más especuladores de este tipo haya menor será el beneficio), el resto de los participantes creará realmente encontrarse en un mercado eficiente.

Por lo tanto las alteraciones en los precios reflejarán precisamente lo impredecible, ello hace que la serie de cambios en los precios sea de tipo aleatorio, más concretamente se dice que siguen un *recorrido aleatorio*.

¹³ El valor intrínseco o fundamental de un activo se determina por el valor actual de todos los flujos de caja esperados.

Harry Roberts (1967), definió tres niveles de eficiencia de los mercados de valores, donde cada nivel reflejaba la clase de información que era rápidamente manifestada en el precio. (Aragones 1994:05) Estos niveles de eficiencia eran denominados: débil, intermedio y fuerte:

En la *eficiencia débil* se supone que cada título refleja totalmente la información contenida en la serie histórica de precios, es decir, toda la información pasada.

La hipótesis de *eficiencia intermedia* propone que un mercado es eficiente cuando los precios reflejan, no sólo toda la información pasada, sino también toda la información hecha pública acerca de la empresa o de su entorno, que pueda afectar a cada título en particular (informe de resultados, anuncios de dividendos, balances anuales, trimestrales, variación del tipo de interés, etc.).

La *eficiencia fuerte* parte del supuesto de que los precios reflejan absolutamente toda la información ya sea pasada, pública o privada. Esta es una hipótesis extrema que es prácticamente imposible de cumplir en ningún mercado, pues ello implicaría que dicho mercado sería perfecto.

Cualquiera que sea el tipo de eficiencia que se observa en el mercado, fuerte media o débil, las características del cada sistema descrito no dan lugar a la posibilidad de observar largos periodos de rendimientos anormales o, dicho de otra forma, no es factible la ocurrencia de burbujas especulativas.

En este apartado se plantea la utilización de la entropía como una forma alternativa para evaluar la eficiencia de la información en el sistema financiero, usando para ello técnicas que son parte de la Econofísica, partiendo de la hipótesis de la existencia de mercados eficientes. Las distintas metodologías propuestas permitirán afirmar o refutar dicha hipótesis.

2.4.1 Entropía diferencial.

En el contexto de la teoría de la información el grado de incertidumbre de una variable aleatoria es cuantificable por medio de una medida que es conocida como la entropía de una variable aleatoria. Si la variable es aleatoria es continua, en lugar de solamente evaluar un soporte discreto, la incertidumbre de una variable es evaluada por medio de la entropía diferencial. (Ludwing 2005:07)

Los conceptos de la teoría de la información no se restringen a evaluar una variable en particular sino que pueden ser aplicados a un conjunto de variables aleatorias expresadas como vectores.

La entropía diferencial de un vector de variables aleatorias continuas queda definida como:

Definición: Para $n \in \mathbb{N}$ la entropía diferencial $h(x)$ de un vector de variables aleatorias continuas $x^T = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ con función de densidad $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ es definida como:

$$h(x) = - \int_{\chi} f(x_1, x_2, \dots, x_n) \cdot \ln(f(x_1, x_2, \dots, x_n)) dx_1 dx_2 \dots dx_n \quad (2.35)$$

Donde $\chi \in \mathbb{R}^n$ es el soporte del vector aleatorio x ¹⁴.

La entropía diferencial puede ser reexpresada en términos de una variable aleatoria que sigue una distribución normal, por medio del siguiente lema.

¹⁴ Cuando $n=1$ también comprende el caso de una variable aleatoria continua individual.

Lema 1: La entropía diferencial $h(\bar{x})$ de una variable aleatoria que sigue una distribución normal $\bar{x} \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ es

$$h(\bar{x}) = \frac{1}{2} [\ln(2\pi\sigma^2) + 1] \quad (2.36)$$

Como se puede observar la entropía de una variable aleatoria continua con distribución normal es estrictamente creciente en la varianza de la variable aleatoria. En base a esta observación se establece la noción de que la entropía diferencial sirve bastante bien como medida de la incertidumbre de una variable aleatoria. (Ludwing 2005:08)

Un concepto cercano a la entropía relativa es la entropía condicional, la cual permite expresar el grado de incertidumbre de una variable aleatoria que se encuentra condicionada el comportamiento de alguna otra variable aleatoria, esta nueva medida se denomina entropía condicional diferencial.

Definición: Sea \bar{x}, \bar{y} dos variables aleatorias continuas. La entropía diferencial de \bar{x} condicionada a \bar{y} , $h(\bar{x}|\bar{y})$ es definida como

$$h(\bar{x}|\bar{y}) = - \int_x \int_y f(x, y) \cdot \ln f(x|y) dx dy \quad (2.37)$$

Donde $\mathcal{X} \subseteq \mathbb{R}$ y $\mathcal{Y} \subseteq \mathbb{R}$ son los soportes de \bar{x} y \bar{y} , respectivamente.

Definición: Dada una realización \mathcal{Y} de la variable aleatoria \bar{y} , el efecto ex post sobre la incertidumbre de la variable aleatoria \bar{x} , es expresado por la densidad condicional $f(x|y)$.

$$h(\bar{x}|\bar{y}) = - \int_x \ln f(x|y) \cdot \ln f(x|y) dx \quad (2.38)$$

Por otra parte la entropía diferencial condicional *ex ante* de \bar{x} , la cual se da antes de la realización de la variable \bar{y} está dada por el promedio *ex post* de la entropía diferencial condicional $h(\bar{x}|\bar{y})$. Formalmente

$$\int_y f(y) \cdot h(\bar{x}|\bar{y}) dy = - \int_x \int_y f(y) \cdot f(x|y) \cdot \ln f(x|y) dx dy \quad (2.39)$$

Finalmente aplicando el teorema de Bayes

$$f(x, y) = f(x|y) \cdot f(y) \quad (2.40)$$

De esta manera la entropía condicional de una variable cuantifica la incertidumbre que se espera ocurra como respuesta a las potenciales realizaciones de alguna otra variable aleatoria.

Entonces la entropía condicional $h(\bar{x})$ se interpreta como una medida de la incertidumbre previa respecto a la variable aleatoria \bar{x} . Consecuentemente la entropía diferencial condicional $h(\bar{x}|\bar{y})$, representa una medida de la incertidumbre posterior de la incertidumbre de una variable aleatoria \bar{x} , condicionada a la realización de otra variable aleatoria \bar{y} . Por lo tanto es simple tomar la diferencia de ambas entropías.

$$h(\bar{x}) - h(\bar{x}|\bar{y}) \quad (2.41)$$

De esta manera se puede deducir la incertidumbre de la variable \bar{x} , al observar a la variable aleatoria \bar{y} . Alternativamente se interpreta el resultado como la información transmitida acerca de la variable \bar{x} por medio de la observación de la variable aleatoria \bar{y} . (Ludwig, 2005:09)

2.4.2 Entropía relativa.

El cálculo de la entropía relativa, es una medida que representa la eficiencia en el información del mercado accionario, a su vez es útil para observar la madurez con que se desarrolla el mercado , por lo que es una medida útil para mercados tanto de tipo emergente como el mexicano o bien para mercados considerados desarrollados como el estadounidense.

La entropía relativa D esta dada por la siguiente ecuación:

$$D = - \int_{-\infty}^{\infty} P(x) \log \frac{P(x)}{Q(x)} d(x) \quad (2.42)$$

Donde $Q(x)$, representa la distribución de probabilidad de los retornos históricos x , dados por $x_t = \log(\frac{S_t}{S_{t-1}})$, donde S_t representa los precios respectivos del mercado accionario. $P(x)$, significa la distribución de probabilidad de los rendimientos de la acción en particular. Bajo la hipótesis de mercados eficientes (EHM), el comportamiento de los precios deben conservar un proceso de una caminata aleatoria.

Por lo tanto el cálculo de los precios puede ser obtenido por medio de un proceso geométrico Browniano, con volatilidad estocástica con reversión a la media. El modelado de los precios esta dado entonces por:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sqrt{v_t} S_t dW_t \quad (2.43)$$

$$dv_t = -\gamma(v_t - \theta)dt + k\sqrt{v_t}dW_t \quad (2.44)$$

Donde μ es la tendencia, γ es la dispersión de la media en el tiempo, θ es la media de la volatilidad en el largo plazo y k es la varianza. W_t , representa un

proceso de Wiener. Para garantizar que se conserve un comportamiento estacionario en las variables los precios S_t , son transformados por sus retornos logarítmicos r_t por medio de $r_t = \log\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$.

Siguiendo el lema de Itô se obtiene la ecuación estocástica de los rendimientos:

$$dr_t = \left(\mu - \frac{v_t}{2}\right) dt + \sqrt{v_t} dW_t \quad (2.45)$$

Si $x_t = r_t - \mu_t$ entonces la ecuación anterior se transforma en:

$$dx_t = -\frac{v_t}{2} dt + \sqrt{v_t} dW_t \quad (2.46)$$

Resolviendo se llega al siguiente resultado denominado modelo de Heston:

$$dr_t = \left(\mu - \frac{v_t}{2}\right) dt + \sqrt{v_t} dW_t \quad (2.47)$$

$$dv_t = -\gamma(v_t - \theta) dt + k\sqrt{v_t} dW_t \quad (2.48)$$

La distribución de probabilidad correspondiente obtenida por Dragulescu (2002) para el corto plazo es:

$$P(x) = \frac{2^{1-\alpha} e^{\frac{x}{2}}}{\Gamma(\alpha)} \sqrt{\frac{\alpha}{\pi\theta}} y^{\alpha-\frac{1}{2}} K_{\alpha-\frac{1}{2}}(y) \quad (2.49)$$

Para estimar la distribución de probabilidad de Q, referente al mercado eficiente, se utiliza un movimiento geométrico Browniano, pero a diferencia del anterior, en este caso se supone una volatilidad constante σ . Si se aplica el lema de Itô se obtiene el proceso para los retornos:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t \quad (2.50)$$

$$dr_t = \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dW_t \quad (2.51)$$

Si $x_t = r_t - \mu_t$ entonces la ecuación anterior se transforma en:

$$dr_t = -\frac{\sigma^2}{2} dt + \sigma dW_t \quad (2.52)$$

Con una distribución de probabilidad normal:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x/\sigma)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.53)$$

2.4.3 Entropía aproximada

La entropía aproximada (ApEn), propuesta por Pincus, 1999, puede ser utilizada como una medida para calcular el grado de aleatoriedad de una serie de tiempo financiera, al mismo tiempo permite observar el grado de estabilidad en la mencionada serie de tiempo.

La ApEn se define como:

$$ApEn(m, r) = \phi^m(r) - \phi^{m+1}(r) \quad (2.54)$$

En donde m es la dimensión, r la tolerancia en similitud.

$\phi^m(r)$ esta dada por:

$$\phi^m(r) = (N - m + 1) \sum_{i=1}^{m+1} \ln[C_i^m(r)] \quad (2.55)$$

$$C_i^m(r) = \frac{B_i(r)}{(N-m+1)} \quad (2.56)$$

Donde $B_i(r)$ es el numero de pares de datos con una distancia igual a r .

$$B_i = d[x(i), x(j)] \leq r \quad (2.57)$$

La distancia $d[x(i), x(j)]$ entre dos vectores $x(i), x(j)$ en R^m es definida por

$$d[x(i), x(j)] = \max_{k=1,2,\dots,m} (|u(i+k-1) - u(j+k-1)|) \quad (2.58)$$

Donde $u(k)$ es una serie de tiempo.

El valor del ApEn compara la magnitud relativa entre los patrones repetidos en las dimensiones m y $m + 1$. Cuando las series de tiempo estudiadas tienen un alto grado de aleatoriedad la entropía relativa es alta. Por el contrario la ApEn tiende a ser un valor pequeño cuando la variable tiene un bajo grado de aleatoriedad. (G. Oh & S. Kim, 2007:210).

En términos de eficiencia en el mercado financiero el valor de la ApEn tiende a ser menor cuando la evolución de los precios de un activo tiende a perder aleatoriedad, lo cual contradice los supuestos de la Hipótesis de Eficiencia de los Mercados Financieros.

CAPITULO 3. APLICACIÓN EMPÍRICA.

3.1 Resultados empíricos para el mercado inmobiliario estadounidense.

En el capítulo anterior fue definido un mercado financiero eficiente como, aquel en el que los precios de los activos financieros siempre reflejan por completo la información disponible. Con base en esta hipótesis, los mercados valoran adecuadamente los activos financieros, por lo que un activo no podría transarse en el mercado por largos períodos de tiempo a precios inferiores o superiores a los determinados por los fundamentales relacionados con el mismo. Las ineficiencias observadas en el comportamiento de mercado son definidas como temporales ya que cualquier disparidad entre el precio de mercado de un título y su valor intrínseco, sería aprovechada por los especuladores que actuarían en consecuencia con el objetivo de obtener una rápida ganancia de capital, lo que crearía una presión de la demanda o la oferta sobre dicho título, lo que impulsaría su precio hacia arriba o hacia abajo hasta situarlo en su valor intrínseco.

Sin embargo la presencia continua de burbujas especulativas ha puesto en evidencia que los mercados están muy lejos de un comportamiento eficiente, por lo que en la práctica pueden ocurrir periodos prologados en los que un activo puede ser continuamente revalorizado, bajo expectativas irracionales, que terminan por alejar el precio de mercado del activo de su valor fundamental. Es decir los mercados no eficientes permiten la formación de Burbujas especulativas que pasan desapercibidas para los agentes participantes, que carecen de mecanismos efectivos de alerta para detectar estos anormales procesos.

Por lo tanto en este trabajo empírico se asumen las siguientes premisas:

- a) La presencia de burbujas especulativas en un mercado financiero que opera bajo completa eficiencia, se asume como no posible. El cálculo de la

entropía en este contexto tenderá a mostrar altos valores, indicando así que la eficiencia es máxima y la predictibilidad de los precios de los activos no es posible.

- b) Un mercado financiero que ha perdido eficiencia, puede exhibir marcadas tendencias en el comportamiento de los precios de los activos, por los que se asume como posible que dicha tendencia se deba a la existencia de una burbuja especulativa. En estas circunstancias el valor de la entropía tenderá a ser mínimo.

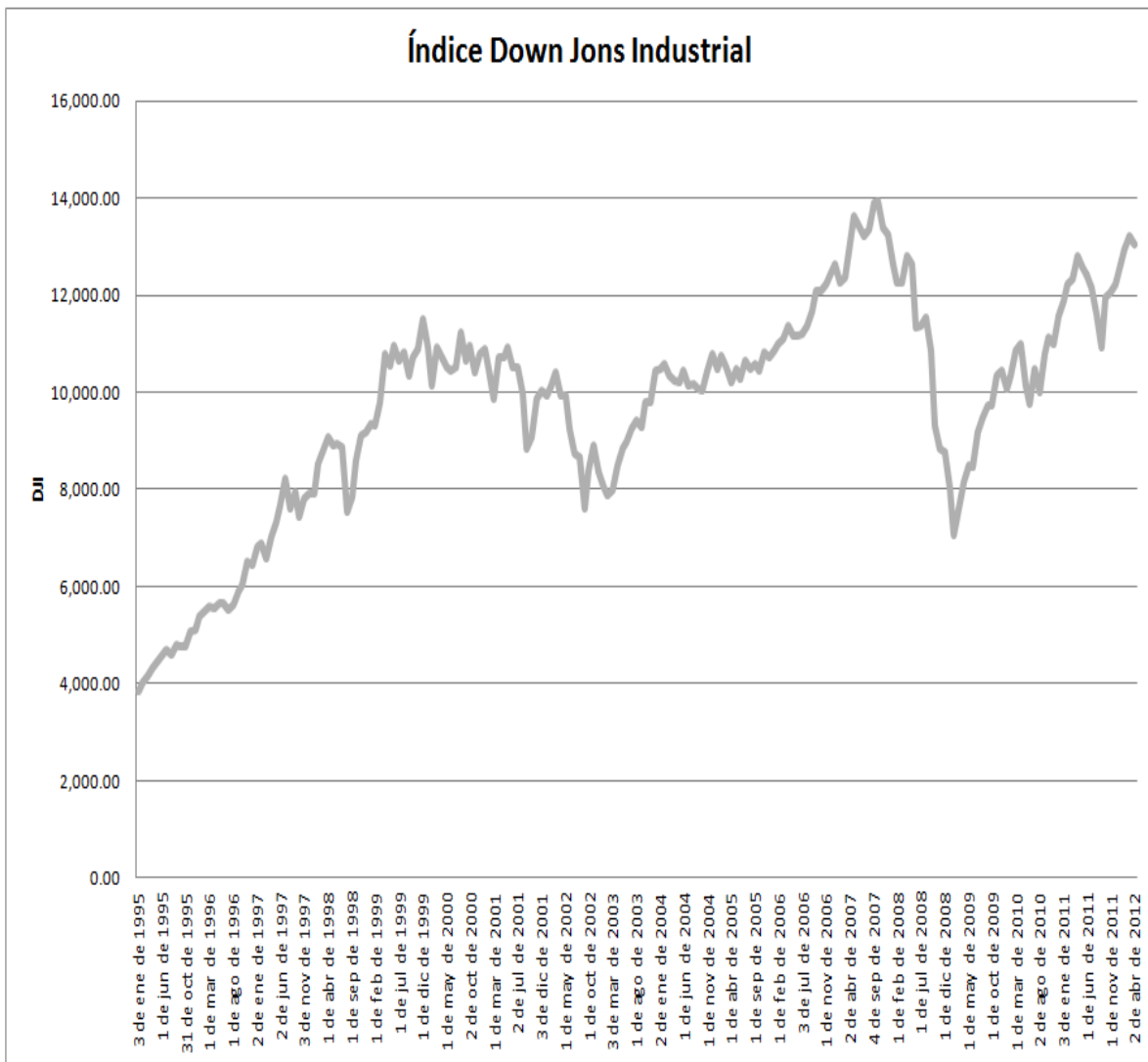
Una vez definida la relación entre burbujas especulativas, eficiencia en los mercados financieros y entropía se puede dar paso a la aplicación empírica.

3.2 Descripción de los datos.

Para evaluar la eficiencia del mercado y la presencia de una burbuja especulativa se procedió a analizar la reciente evolución del mercado hipotecario estadounidense, el cual, como es conocido, observó el comportamiento típico de una burbuja especulativa que terminó por colapsar en 2008. Se toman como indicadores el IDJ y el S&P Index Shiller. El Index S&P/Case-Shiller Home Price es una de las principales medidas para el mercado inmobiliario residencial de EE.UU, este indicador realiza un seguimiento de los cambios en el valor de los bienes raíces residenciales a nivel nacional, así como en las 20 regiones metropolitanas más representativas.

El grafico 1 presenta la evolución del Índice Down Jons Industrial para el periodo 1995-2012. Como podemos observar la evolución del índice muestra periodos de marcada tendencia positiva para los años comprendidos entre 1995 a 1999 y a mediados del 2002 a mediados del 2007.

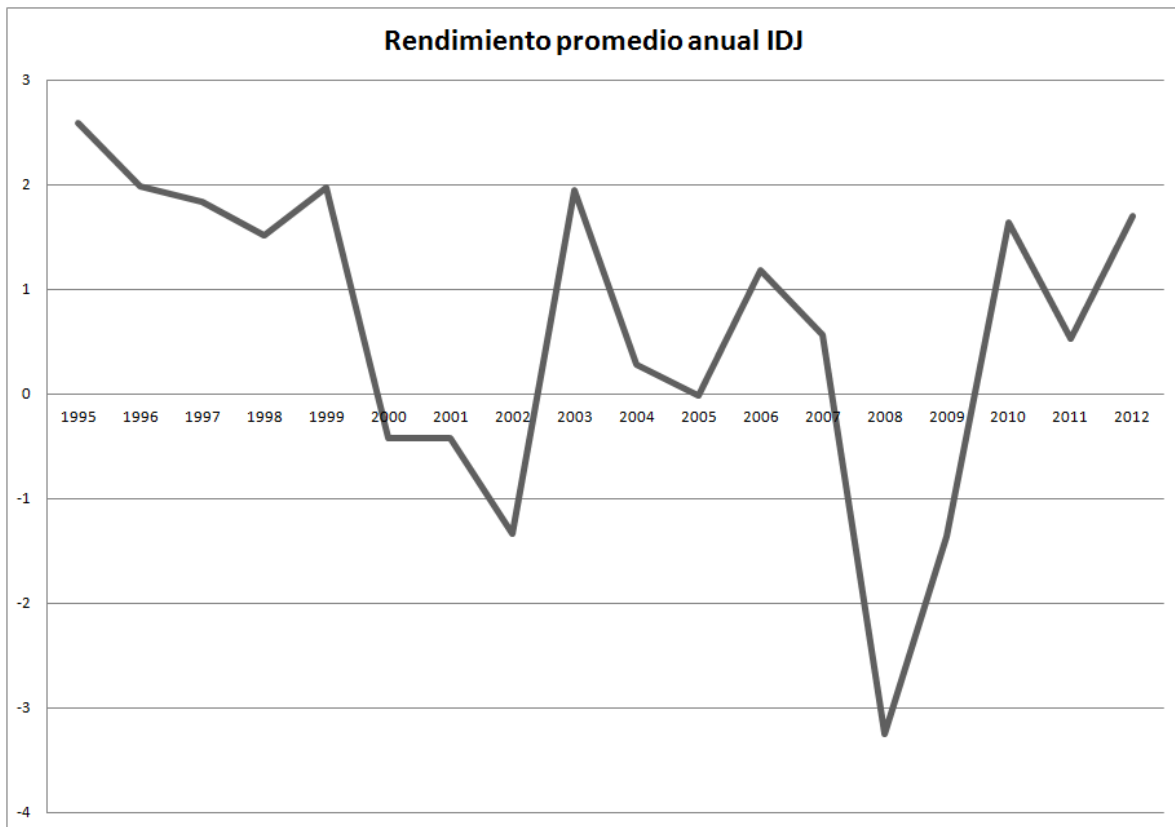
Gráfico 2 Índice Down Jons Industrial 1995-2012.



Fuente: elaboración propia.

Se utiliza el comportamiento de los rendimientos anuales promedio del IDJ para el mismo periodo de estudio, con el objeto de determinar si existen periodos de rendimientos anormales.

Gráfico 3 Rendimiento promedio anual Índice Down Jones 1995-2012

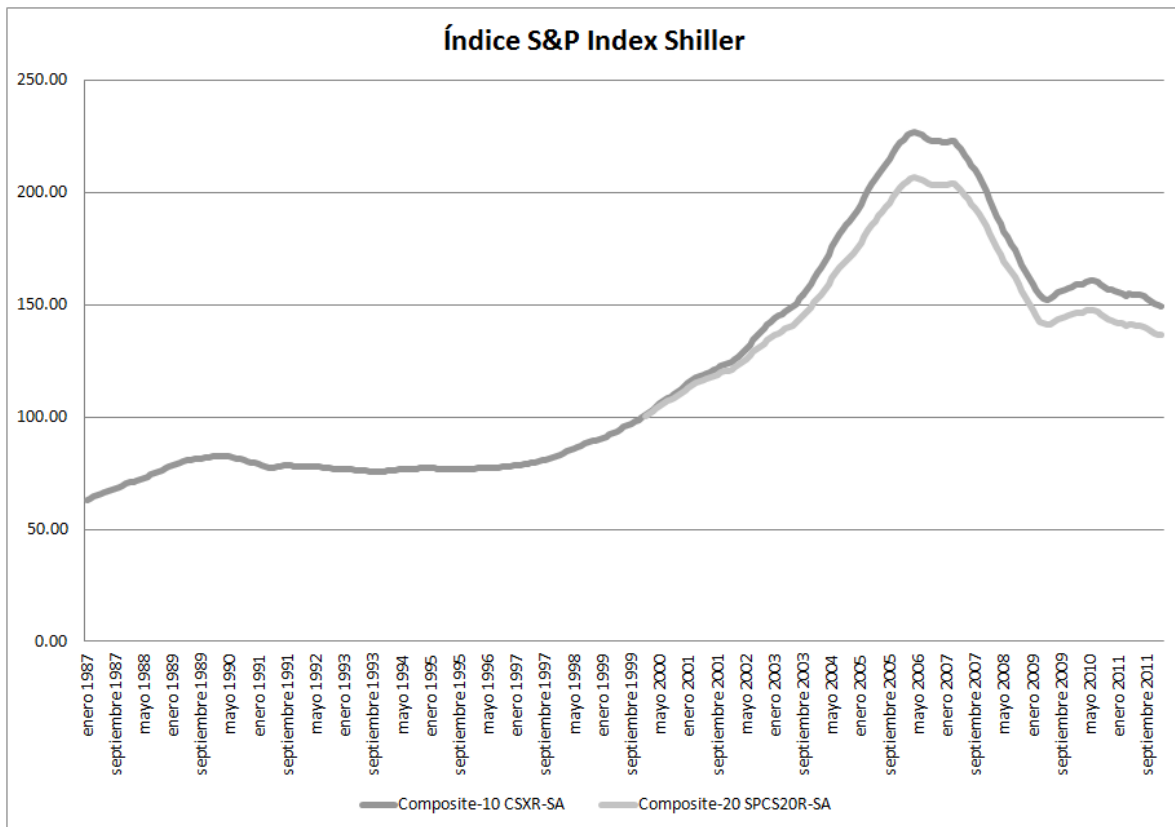


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos no permiten observar tendencias claras ni prolongadas en la evolución de los rendimientos, solo cabe destacar el incremento observado en los rendimientos para el año 2002-2003 coincide, como se demostrara más adelante, con los más altos rendimiento observados por el Índice Shiller. La tendencia en los rendimientos no coincide con el periodo observado en la evolución del DJI debido a que aun cuando el DJI registró altos niveles la evolución de los rendimientos observo una tendencia positiva pero a una tasa decreciente.

Con la finalidad de medir la evolución de los precios reales en el mercado hipotecario de Estados Unidos se utiliza el S&P/C

Gráfico 4. Evolución de el Índice Shiller 1987-2011.

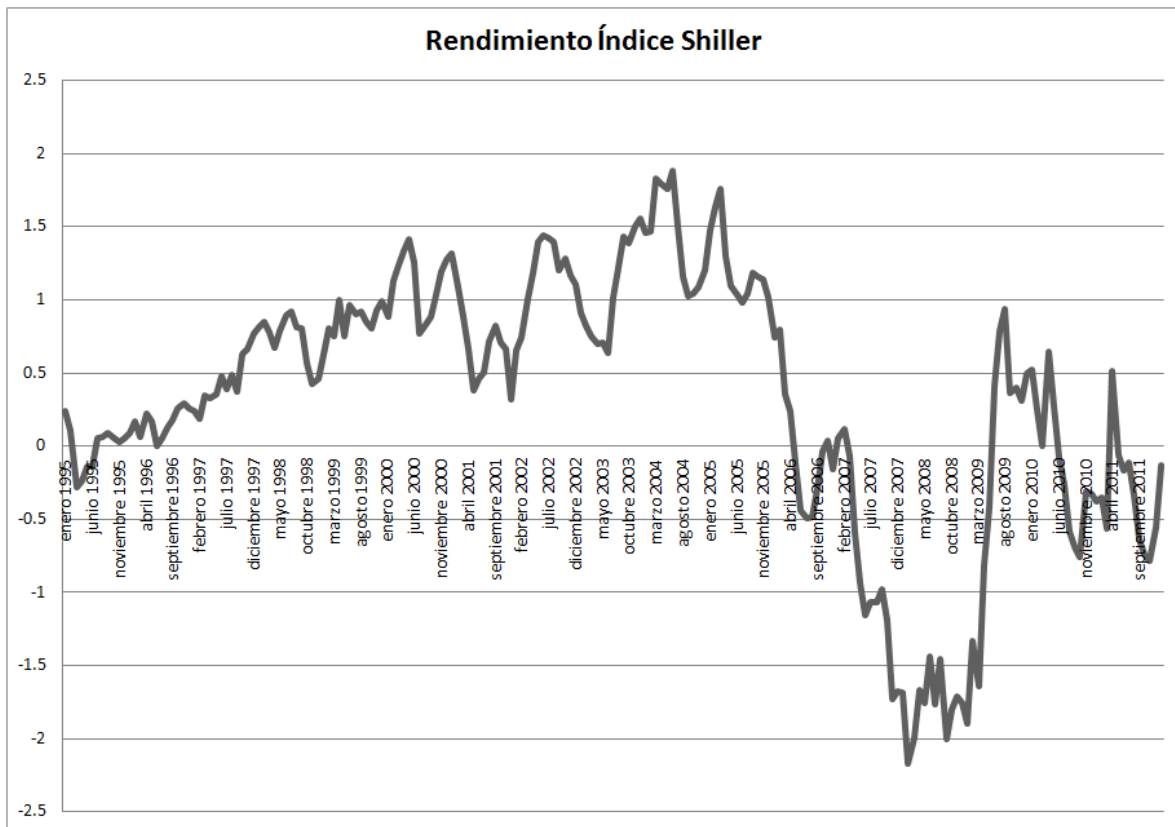


Fuente: Elaboración Propia.

Con base en los datos mostrados en el gráfico se puede observar fácilmente que la evolución del Índice Shiller presenta un comportamiento que coincide con el proceso evolutivo de una burbuja especulativa según Minsky, al cual se hizo referencia en secciones anteriores. Desde el año 2000 la tendencia en los precios del sector hipotecario lleva una tasa de crecimiento acelerado y positivo.

Para poder diferenciar el periodo de inicio de tal proceso, es conveniente analizar la evolución de los rendimientos del mismo indicador.

Gráfico 5. Rendimiento anual Índice Shiller 1995-2011.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con este gráfico 3 se confirma la tendencia creciente en la evolución de los rendimientos del Índice Shiller la cual comprende el periodo de 1996 hasta el año 2000, para el año 2001 la tendencia se interrumpe con una ligera caída en la tasa de crecimiento de los rendimientos, a partir de este periodo se recupera el nivel anormal de los rendimientos, sin embargo cabe destacar que la tasa de crecimiento de estos comienza a ser cada vez menor.

La Tabla 1 muestra más claramente esta evolución.

Tabla 1. Índice Shiller rendimiento promedio anual 1995-2012.

AÑO	RENDIMIENTO PROMEDIO ANUAL
1995	-0.010
1996	0.157
1997	0.437
1998	0.732
1999	0.858
2000	1.104
2001	0.710
2002	1.168
2003	1.053
2004	1.456
2005	1.235
2006	0.014
2007	-0.856
2008	-1.766
2009	1.033
2010	-0.110
2011	-0.346

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos es evidente la existencia de una tendencia creciente en la evolución de los rendimientos la cual inicia en 1996 y continúa hasta 1999, sin embargo se observa un cambio estructural en el año 2000 cuando los rendimientos alcanzan niveles muy superiores al promedio observado durante todo el periodo.

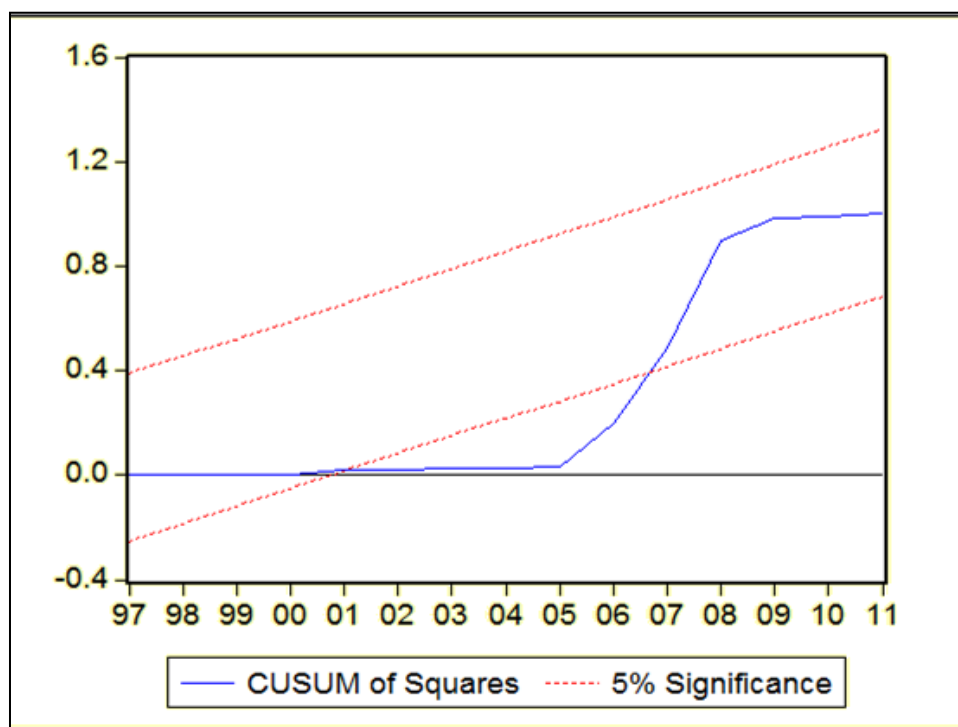
Tabla 2. Índice Shiller rendimiento promedio por periodo 1995-2012.

RENDIMIENTO PROMEDIO POR PERIODO	
1996-1999	0.546
2000-2005	1.121
2006-2011	-0.338

Fuente: Elaboración Propia

Se aplica una prueba más de estabilidad a la evolución de los rendimientos, para ello se corre una regresión tendencial de los rendimientos y se aplica el Cusum of squares, el resultado obtenido indica que existe inestabilidad estructural en la evolución de los rendimientos del periodo de 2000 a 2006.

Gráfico 6. Cusum test de los rendimientos Índice Shiller



Fuente: Elaboración Propia

Las pruebas aplicadas hasta este punto nos permite concluir que la evolución de los precios en el sector hipotecario estadounidense dista mucho de exhibir un comportamiento aleatorio y eficiente, que sea consistente con la EMH, por el contrario se observan marcadas tendencias que rompen con la estructura del periodo y que confirman la presencia de una burbuja especulativa dentro del mercado.

3.3 Prueba de estacionariedad y cointegración.

Una de las metodologías planteadas para evaluar la existencia de burbujas especulativas es la prueba de estacionariedad y cointegración, la cual fue definida en el capítulo 1 de este trabajo.

La conclusión planteada por Diba y Grossman, 1988 plantea: al asumir que los precios de los activos se comportan de forma estacionaria, se estaría descartando la existencia de una burbuja especulativa dentro del mercado. Sin embargo aun cuando precios y dividendos no sean estacionarios, pero estén cointegrados, la hipótesis de la no existencia de una burbuja especulativa no puede ser rechazada.

La aplicación de la prueba de cointegración y estacionariedad servirá de marco para exhibir el comportamiento anormal en la evolución de los precios hipotecarios en relación con los precios del mercado.

Sin embargo aun cuando precios y dividendos no sean estacionarios, pero estén cointegrados, la hipótesis de la no existencia de una burbuja especulativa no puede ser rechazada.

Cointegración significa que existe una relación, a largo plazo, entre las variables. En definitiva, si x_t e y_t están cointegradas significa que, aunque crezcan en el tiempo (t), lo hacen de una forma completamente acompasada, de forma que el error entre ambas no crece. (Véase Montenegro 2007).

Supongamos que dos variables temporales x_t e y_t son estacionarias de orden n , se dice que dichas variables están cointegradas cuando puede practicarse una regresión lineal o no lineal del siguiente tenor:

$$y_t = \alpha + \beta x_t + u_t$$

Pero, donde debe suceder que los residuos, $u_t = y_t - (\alpha + \beta x_t)$ son $I(0)$

Es decir, los requisitos para definir la cointegración son:

- a) Dos variables sean estacionarias del mismo orden.
- b) Los residuales obtenidos de la regresión sean $I(0)$.

Por lo tanto, apegándose a la anterior definición: si los precios del activo en función de los dividendos exhiben un comportamiento cointegrado, se descarta la presencia de burbujas especulativas.

Al aplicar la prueba Dikey Fuller para el IDJ se obtiene que esta variable es integrada de orden cero, mientras que los resultados de la misma prueba arrojan que la variable Índice Shiller es integrada de orden uno¹⁵, por lo tanto no se acepta que las variables sean estacionarias de orden cero ni tampoco que estén cointegradas.

La falta de estacionariedad, en niveles, en el comportamiento de los precios hipotecarios es consistente con la hipótesis de la existencia de una burbuja especulativa, así mismo al ser ambas variable integradas de distinto orden no es posible aceptar la existencia de cointegración entre las mismas por los que la falta de cointegración entre los precios del mercado y los precios del sector hipotecario también es prueba de la existencia de una burbuja especulativa.

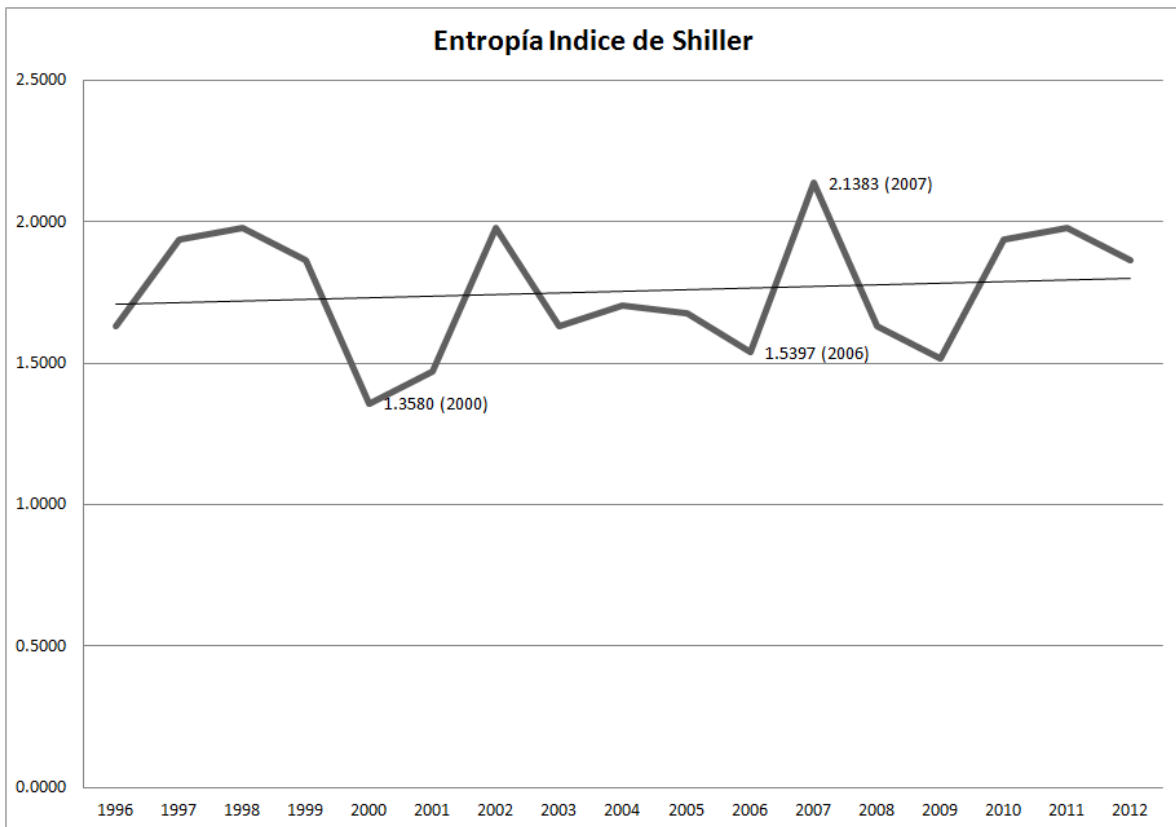
¹⁵ Los resultados se muestran el anexo.

3.4 Cálculo de la entropía.

Como se determinó con anterioridad el IDJ no presenta resultados concluyentes que puedan evidenciar la presencia de la Burbuja especulativa en el sector inmobiliario, por lo tanto en esta sección se considera innecesario el cálculo de la entropía para el IDJ y se procederá únicamente a mostrar los resultados para el Índice Shiller.

El gráfico 7 presenta la entropía calculada para el periodo 1995-2012

El gráfico 7 Entropía Índice Shiller 1995-2012



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico muestra resultados interesantes:

- a) La entropía observa valores menores a la tendencia para el periodo de 2000 a 2006, este lapso, conforme a lo definido en apartados anteriores, coincide con el periodo de rendimientos anormales el cual definió un periodo que abarca de 2000 a 2005.
- b) La entropía mínima alcanza un valor de 1.3580 en el año 2000, nuevamente este valor coincide con el inicio del periodo que marca inestabilidad estructural en la evolución de los rendimientos.
- c) La tendencia decreciente en el valor de la entropía comienza en el año de 1999, un año antes de iniciado el cambio estructural de los rendimientos.
- d) La entropía alcanza un valor máximo de 2.1383 en 2007, un año antes de que estallara la burbuja.

La tabla 3 presenta información que confirma las observaciones anteriores.

Tabla 3. Evolución de los rendimientos de Índice Shiller y valor de la entropía

AÑO	RENDIMIENTO PROMEDIO ANUAL	ENTROPÍA ANUAL
1995	-0.010	
1996	0.157	1.6326
1997	0.437	1.9356
1998	0.732	1.9792
1999	0.858	1.8637
2000	1.104	1.3580
2001	0.710	1.4735
2002	1.168	1.9792
2003	1.053	1.6326
2004	1.456	1.7046
2005	1.235	1.6762
2006	0.014	1.5397
2007	-0.856	2.1383
2008	-1.766	1.6326
2009	1.033	1.5171
2010	-0.110	1.9356
2011	-0.346	1.9792

Es fácil observar que los valores mínimos de la entropía se alcanzan para el periodo que se definió anteriormente como estructuralmente inestable.

Con los estudios realizados se confirma la idea inicialmente planteada: en periodos donde la eficiencia con que los mercados valoran los activos se pierde, los precios comienzan a mostrar un comportamiento menos aleatorio y ello se refleja en valores mínimos de entropía. La pérdida de eficiencia en la evolución del mercado, presupone la etapa incipiente en la formación de una burbuja especulativa; si este proceso continua puede convertirse una burbuja de dimensiones considerables y con desafortunadas consecuencias para el sistema en su conjunto.

En conclusión, en base a los resultados presentados se puede afirmar que la entropía es un indicador efectivo para detectar fuertes ineficiencias en la evolución y desarrollo del mercado de activos. Complementando con las metodologías tradicionalmente es consistente con la hipótesis planteada, es decir: bajos niveles de eficiencia reflejan bajos valores de entropía y la posible presencia de una burbuja especulativa.

Puede entonces afirmarse que la entropía puede ser utilizadas como una señal de alarma que alerte al mercado sobre la pérdida de eficiencia con la que está operando. En este punto se destaca una gran ventaja de la técnica propuesta, pues este indicador se puede calcular desde etapas tempranas, evitando así que el problema llegue realmente a tomar mayores dimensiones. La entropía adquiere entonces una importancia clave como instrumento de regulación prudencial dentro del sistema financiero. Es evidente el gran potencial de investigación que ofrece este campo de estudio y el desafío que existe para los investigadores respecto al diseño de las pruebas utilizadas en la detección de burbujas especulativas.

CONCLUSIONES

Se analizó el comportamiento del Índice Down Jons industrial, tanto en niveles y en rendimientos, los resultados no arrojan elementos suficientes para admitir la presencia de una burbuja especulativa. Este hecho permite afirmar que al analizar el índice global del mercado la burbuja puede no ser advertida pues el movimiento de otros activos disimula el proceso de revaloración de algún activo particular.

El estudio particular de las cotizaciones del mercado inmobiliario observa una clara tendencia en el comportamiento de sus precios, y sus rendimientos, los cuales tiene un crecimiento acelerado de 1996 hasta aproximadamente principios de 2005. Este comportamiento resulta consistente con la definición de burbuja especulativa, es decir se exhibe un periodo prolongado de revalorización de un activo.

Al aplicar la prueba de estabilidad estructural en la evolución de los rendimientos del Índice Shiller, se confirma que estos no mantienen un comportamiento estructuralmente estable, en particular para los años de 2000 a 2007. La presencia de una burbuja especulativa es reafirmada con estos resultados.

Antes de proceder al cálculo de la entropía se aplica una prueba adicional para determinar la presencia de un comportamiento anormal en la valoración de los activos inmobiliarios. La prueba de estacionariedad en niveles es negativa para el comportamiento del Índice Shiller; adicionalmente, se prueba que el Índice Down Jons no muestra un comportamiento cointegrado con el Índice Shiller. En base a estos resultados y de acuerdo a la conclusión planteada por Diva y

Grossman, 1988, no puede rechazarse la hipótesis de la presencia de una burbuja especulativa en el mercado inmobiliario

Una vez realizadas las pruebas tradicionalmente aplicadas en la detección de burbujas especulativas, se procedió al cálculo de la entropía, para el índice Down Jones, los resultados obtenidos no fueron significativos para demostrar la existencia de la burbuja por lo que se presentan solo los resultados obtenidos para la entropía del Índice Shiller.

La entropía obtenida observa valores menores al promedio para el periodo de 2000 a 2006, este lapso, coincide con el periodo de rendimientos anormales el cual abarca de 2000 a 2005.

La entropía alcanza un valor mínimo en el año 2000, nuevamente este valor coincide con el inicio del periodo que marca inestabilidad estructural en la evolución de los rendimientos. La tendencia decreciente en el valor de la entropía comienza en el año de 1999, un año antes de iniciado el cambio estructural de los rendimientos. El valor máximo de la entropía se alcanza en 2007, un año antes de que estallara la burbuja.

Los resultados obtenidos son consistentes con la hipótesis originalmente planteada:

Si en el mercado se presenta un proceso del desplazamiento de la demanda hacia una clase particular de activo (fase inicial de una burbuja especulativa), entonces la entropía del proceso estocástico que genera los rendimientos de dicho activo, comienza a disminuir.

El trabajo de investigación concluye entonces aceptando la medición de la entropía como una metodología adecuada para detectar ineficiencias en el comportamiento de un mercado de activos; ésta falta de eficiencia puede ser detectada en etapas tempranas, lo cual le brinda a esta propuesta una ventaja importante sobre las técnicas tradicionalmente utilizadas en la detección de burbujas especulativas, las cuales a pesar de los resultados exitosos obtenidos tienen como principal limitante el rezago temporal con que detectan la presencia de la burbuja en el mercado.

Finalmente, el lector de este trabajo de investigación podrá observar el potencial de desarrollo de esta temática, dentro del ámbito de la regulación prudencial, de ser perfeccionada la metodología aquí propuesta, se puede dar al mercado un semáforo que indique la posible formación de una burbuja y al tomar las medidas correctivas necesarias podría evitarse los inmensurables costos económicos y sociales que son resultado de la formación, evolución y estallido de las burbujas especulativas.

ANEXO

Pruebas de estacionariedad.

I. Prueba de estacionariedad Dickey Fuller para el Índice Shiller.

Null Hypothesis: D(SHILLER) has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: 1 (Automatic based on SIC, MAXLAG=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-8.423498	0.0000
Test critical values: 1% level	-2.576518	
5% level	-1.942415	
10% level	-1.615649	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(SHILLER,2)

Method: Least Squares

Date: 05/19/12 Time: 21:57

Sample (adjusted): 1995M04 2011M12

Included observations: 201 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SHILLER(-1))	-0.818129	0.097125	-8.423498	0.0000
D(SHILLER(-1),2)	-0.166461	0.069540	-2.393732	0.0176
R-squared	0.506521	Mean dependent var		0.003091
Adjusted R-squared	0.504041	S.D. dependent var		0.329405
S.E. of regression	0.231981	Akaike info criterion		-0.074421
Sum squared resid	10.70924	Schwarz criterion		-0.041552
Log likelihood	9.479287	Durbin-Watson stat		1.968971

Null Hypothesis: IDJ has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=14)

t-Statistic Prob.*

Augmented Dickey-Fuller test statistic		-13.11587	0.0000
Test critical values:	1% level	-2.576403	
	5% level	-1.942399	
	10% level	-1.615659	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

II. Prueba Dickey Fuller Índice Down Jons

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(IDJ)

Method: Least Squares

Date: 05/19/12 Time: 21:55

Sample (adjusted): 1995M02 2011M12

Included observations: 203 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
IDJ(-1)	-0.921985	0.070295	-13.11587	0.0000
R-squared	0.459893	Mean dependent var		-0.051125
Adjusted R-squared	0.459893	S.D. dependent var		6.120113
S.E. of regression	4.497793	Akaike info criterion		5.849965
Sum squared resid	4086.489	Schwarz criterion		5.866286
Log likelihood	-592.7714	Durbin-Watson stat		1.995810

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Avendaño, H. (2009). De la crisis financiera a la crisis económica mundial. Vox Populi No. 8 septiembre de 2009 Universidad de San Martín, Bogotá.

Barlevy Gadi, A Leverage-based Model of Speculative Bubbles, Economic Research Department, Federal Reserve Bank of Chicago August 28, 2009.

Brooks, C. & Katsaris, A. (2003). Rational Speculative Bubbles: An Empirical.

Investigation of the London Stock Exchange. *Bulletin of Economic Research*, 55(4), 319-346.

Calvo, A. (2008). La crisis de las hipotecas *subprime* y el riesgo de *credit crunch*. Revista de Economía Mundial; 18: 195-204. Universidad de Huelva, España.

Chen, Jing. Information, entropy and evolutionary finance. School of business. University of Northern British Columbia

Flood Robert P; Holdrick Robert J. On Testing for Speculative Bubbles *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 4, No. 2. (Spring, 1990), pp. 85-101.

Elbaum Marcelo, Los pronosticadores económicos, El Universo, 04 de abril de 2011. Guayaquil Ecuador.

Engsted Tom y Tanggaard Carsten. Speculative bubbles in stock prices? Tests based on the price-dividend ratio, Working Paper Series No. 173 March 2004.

Diógenes Manoel Leiva Martín, Kazuo Kayo Eduardo, Kimura Herber, Wilson Toshiro Nakamura. Identification of Rational Speculative Bubbles in IBOVESPA (after the Real Plan) using Markov Switching Regimes, *Economía, Selecta*, Brasília(DF), v.5, n.3, p.215–245, Dec. 2004.

G. Oh and S.Kim. Market efficiency in foreign exchange markets. *Physica* 2007.

GINESTA, J. (2008). “La actual crisis económica mundial y algunas de sus consecuencias políticas”. Revista Derecho. Publicación del Universitario de Punta del Este, Uruguay. Tomado de http://www.upe.edu.uy/Revista_Derecho_4_UPE.pdf el 15/12/09.

Gómez Esteban y Rozo Sandra, Precios de activos e indicadores de alerta temprana Septiembre 2007.

Guzmán Plata María de la Paz, Los modelos CAPM y ARCH-M. Obtención de los coeficientes beta para una muestra de 33 acciones que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores. Economía Teoría y practica, nueva época, número 9, 1998.

Guzmán Vásquez Alexander y Trujillo Dávila Andrea, Burbujas en los Precios de los Activos Financieros, Pensamiento y Gestión , julio, 2008 no. 024 pp.63-87 Universidad del Norte, Barranquilla Colombia

Harman Yvette S. y Zuehlke Thomas W, Duration Dependence Testing for Speculative Bubbles,

Ludwig, K. Keiber. Insider Trading rules and price formation in security markets. An entropy analisis of strategic trading. Enero, 2005.

Minsky, H. P. (1982). "The Financial Instability Hypothesis: Capitalistic Processes and the Behavior of the Economy", en Kindleberger y Laffargue (eds.): Financial Crises: Theory, History and Policy, Cambridge U. P.; versión española, "La hipótesis de la inestabilidad financiera", *Cuadernos ICE*, nº 30, 97-107 (1985).

M. Cover, Thomas; Thomas, A. Joy. *Elements of information Theory*. EUA.2006

Montero Granados Roberto, Variables no estacionarias y cointegración, Universidad de Granada marzo, 2007

Pastor Alfredo, Burbujas especulativas y crisis cambiarias previsión prevención y cura. Ponencia presentada en el Centre de Recerca en Economía Internacional, Jornadas sobre Nuevas Fronteras de la Política Económica, 1999.

Pengfei Wang and Yi Wen Speculative Bubbles and Financial Crisis Working Paper 2009-029B June 2009.

Roca Richard, Las expectativas en la macroeconomía, Documento de Investigación: DI 02-002 Documentos de Investigación Instituto de Investigaciones de Economía Facultad de Ciencias Económicas Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima- Perú Octubre 2002

Rey Poveda Alberto Del, curso de probabilidad y econometría avanzadas 2007-2008, Universidad de Salamanca.

Scheinkman Jose and Wei Xiong, Overconfidence and Speculative Bubbles, October 28, 2002.

Sistema Económico Latinoamericano (SELA) (2008). La Crisis Financiera del 2008: Análisis y propuestas del SELA. Reunión Regional sobre los desafíos del adverso entorno económico internacional para América Latina y el Caribe. Caracas, Venezuela 30 de octubre de 2008 SP/RRLDAEEI-ALC/DT No. 3-08.

Semet Y., Schoenauer M., Sebag M. Artificial Agents and Speculative Bubbles Equipe TAO, Université d'Orsay, CNRS, INRIA, 91405 Orsay, France. Noviembre 2005.

Suraya Hanim Mokhtar, Annuar Md.Nassir, Taufiq Hassan, Detecting Rational Speculative Bubbles in the Malaysian Stock Market, *University Putra Malaysia, Serdang, 2006.*

Villegas Esmeralda, Acosta Ana y Cayaffa Régulo, La crisis hipotecaria estadounidense: origen y evolución. Cuadernos latinoamericanos año 21 julio diciembre de 2010.

Vosvrda, Miloslav. Capital market efficiency and Tsallis entropy. Institute of information theory and automation of the AS CR.

S.M Pincus. Aproximate entropy as a mesure of system complexity. Proc Natl Acad Sci 1991.

Wiston, Adrian Risso. The US housing bubble the informational efficiency. Departament of economics university of Siena.