



Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Ciencias Económicas



Escuela de Estudios de Posgrado

Maestría en Administración  
(MBA)

## Tesis

El Mercado de Capitales Argentino durante la  
Crisis Internacional

- La Dinámica del Índice MERVAL durante el período 2008 - 2009 -

Maestrando: Lic. Esteban Otto THOMASZ

Tutor: Dra. María Teresa CASPARRI

Agosto de 2010

## CONTENIDOS

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>II. PRIMERA SECCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1. Cláusula de compromiso .....	6
2. Formulación del problema y la hipótesis .....	6
3. Objetivos.....	7
4. Justificación.....	7
5. Enfoque Metodológico.....	9
6. Estructura de la tesis.....	10
<b>III. SEGUNDA SECCIÓN.....</b>	<b>11</b>
7. Marco Teórico.....	11
7.1. Modelización clásica y sus principales críticas.....	11
7.1.1. La Teoría de Precios Especulativos .....	14
7.1.2. Inconsistencias empíricas del Modelo de Wiener .....	14
7.1.3. Otras Críticas de Mandelbrot al modelo clásico.....	17
7.2. Dinámica Compleja.....	19
7.3. Turbulencia y Caos .....	22
7.4. Algoritmos y testeos .....	25
7.4.1. El Test BDS.....	25
7.4.2. El Coeficiente de Hurst .....	27
7.4.3. El Test NEGM.....	29
<b>IV. TERCERA SECCIÓN.....</b>	<b>31</b>
8. Los mercados de capitales y la economía .....	31
8.1. El Contexto Internacional: La dinámica del mercado de capitales ....	31
8.2. El Contexto Internacional: La incidencia de la crisis económica mundial .....	35
9. La Evolución del mercado de capitales interno .....	38
9.1. El Índice Merval .....	38

9.2. Evolución del Índice Merval.....	40
9.3. Evolución durante la crisis .....	45
9.4. Dinámica Pre - Crisis .....	49
9.5. Testeos: El análisis algorítmico .....	52
9.6. Análisis Empírico y Resultados .....	54
9.7. Síntesis de los Resultados .....	61
<b>V. CUARTA SECCIÓN.....</b>	<b>64</b>
10. Diagnóstico: Paradigma clásico v.s. contexto observado .....	64
11. CONCLUSIONES.....	70
12. SÍNTESIS y CONCLUSIONES.....	77
13. Bibliografía .....	80
14. Anexos.....	83
14.1. ANEXO I: Movimiento Browniano .....	83
14.2. ANEXO II: Resultados de Testeos Estadísticos .....	85
14.3. ANEXO III: <i>Behavioural economics</i> .....	94

## I. INTRODUCCIÓN

La actual crisis económica, el ingreso de nuevos actores en el sistema político internacional, la interacción de nuevos grupos sociales, los cambios en los modos de producción y el cambio climático contribuyen a que la realidad dentro de la cual se desarrollan las acciones humanas sea cada vez más volátil, compleja y, por sobre todo, difícil de predecir.

Por tales motivos, es necesario profundizar el conocimiento de los científicos sociales respecto a las técnicas de evaluación del riesgo y de predicción o control de las actividades económicas y de gestión.

En esta oportunidad, el estudio se centrará en el ámbito del mercado de capitales de países emergentes, más específicamente de Argentina. No obstante el carácter "microeconómico" de las técnicas matemáticas que serán desarrolladas, el marco teórico-epistemológico forma parte del paradigma representado por los modelos complejos y la teoría del caos.

Muchos han advertido acerca de los riesgos inherentes al mercado de capitales, mostrando que los mismos son muchísimo más elevados que lo predicho por los "preconceptos clásicos", tales como las hipótesis de los mercados eficientes, el modelo CAPM y, sobre todo, el supuesto de normalidad. La teoría de los valores extremos, los planteos de Mandelbrot y su modelo fractal, los métodos de simulación y el conceptual "cisne negro" de Taleb son algunos de los aportes que han enriquecido el análisis del mercado de capitales y otros fenómenos económicos.

En este trabajo, se tratarán de articular algunos de los planteos antes mencionados, pero se profundizará conceptualmente en la significancia de la teoría de la complejidad en el análisis económico y financiero. En este sentido, la dinámica compleja puede proveer un marco conceptual para analizar fenómenos altamente volátiles donde las técnicas paramétricas no proveen señales de alerta en contextos "turbulentos". La dinámica no lineal, los estados fuera del equilibrio, las trayectorias aperiódicas, la alta sensibilidad, etc., son algunas de las características que son entendidas como normales (y no excepcionales) en el marco de los modelos complejos y la teoría del caos. En este sentido, *las crisis no pueden explicarse mediante modelos de riesgo que suponen que el mundo es estacionario: en los períodos de crisis, los parámetros que definen los procesos estocásticos no son estables y, por ende, los modelos basados en*

*tales procesos no sirven para calcular los riesgos* (Fanelli, 2008 y Heymann, 2007). Por ello, el objetivo general de esta línea de investigación es proveer un marco conceptual para la toma de decisiones en sistemas económicos con una alta volatilidad endógena (como ser las economías emergentes en períodos de crisis) donde los shocks exógenos se propagan al interior del mismo generando dinámicas no estacionarias en la evolución del sistema.

En tanto, un objetivo particular de este trabajo es presentar una técnica de análisis de series temporales que permitan testear la presencia de estructuras no lineales y, en segunda instancia, sensibilidad a las condiciones iniciales (indicio de “caos”). Para ello se propondrá una metodología no tradicional, la cual combina la aplicación de filtros lineales, testeos de estructura (test BDS) y testeos no paramétricos aplicando redes neuronales (test NEGM) para el caso de la estimación de existencia de sensibilidad a las condiciones iniciales. Se destaca que de verificarse no linealidad y sensibilidad a las condiciones iniciales, se genera evidencia a favor de la existencia de “dinámicas caóticas”, lo cual trae aparejadas grandes implicancias en relación a la viabilidad de aplicación de la estadística lineal y paramétrica y en relación a las posibilidades de realizar predicciones mediante tales herramientas.

Por último, de acuerdo a la evidencia empírica y a los resultados obtenidos, se intentará integrar un modelo heurístico o, dicho de otro modo, ciertos lineamientos básicos para la toma de decisiones en contextos de alta volatilidad o “turbulencia”, tomando como marco conceptual lo desarrollado por la dinámica compleja, los sistemas complejos, y teniendo en cuenta las particularidades de los mercados emergentes presentando el caso específico de Argentina.

## II. PRIMERA SECCIÓN

### 1. Cláusula de compromiso

"Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifiquen explícitamente las contribuciones de otros), y que no he presentado este material en forma parcial o total, como una tesis, en ésta u otra institución".

### 2. Formulación del problema y la hipótesis

El problema principal radica en que el uso de las herramientas matemáticas y estadísticas tradicionales, como los modelos ARIMA, el CAPM y el modelo de *Value at Risk*, no generan buenas estimaciones de evoluciones futuras y del riesgo en contextos turbulentos, recurrentes en mercados emergentes, desestimando la ocurrencia de eventos extremos, evoluciones aperiódicas y alta volatilidad. Tal es así que buena parte de los profesionales que manejan portafolios de inversión y estrategias financieras de las organizaciones apelan al uso de modelos heurísticos, en detrimento de los formales. Dentro de tal situación, se propone formalizar un modelo híbrido, que combine el uso de la heurística conjuntamente con algoritmos que contemplen más fielmente la evolución de los precios en mercados emergentes.

En síntesis, el presente trabajo de tesis abordará la siguiente problemática

1. ¿Cuáles son las particularidades de los mercados de capitales de países emergentes?
2. ¿Cuál es la forma de modelización de la evolución de activos bursátiles más confiable en períodos de alta volatilidad?
3. ¿Qué métodos novedosos existen para cuantificar el riesgo de los activos en tales contextos?
4. ¿Cuánto influye la incidencia de la conducta humana en el precio de los activos?
5. ¿Qué tipo de modelos son los más útiles para guiar la toma de decisiones de los profesionales en finanzas en períodos turbulentos?

### 3. Objetivos

El objetivo general de la tesis es diseñar herramientas para analizar fenómenos de la ciencia económica desde el enfoque de la denominada "Teoría de la Complejidad", desarrollando nuevas técnicas de análisis de fenómenos financieros desde un nuevo enfoque conceptual y metodológico, el cual es útil de ser aplicado a una realidad cada vez más compleja y volátil.

En tanto, son objetivos específicos de la presente tesis, los que se mencionan a continuación:

- Estudiar la modelización en la evolución de sistemas dinámicos no lineales, en el área financiera
- Encontrar el sistema dinámico subyacente, dadas las trayectorias reconstituidas a partir de series temporales;
- Desarrollar e implementar algoritmos y técnicas de estimación del riesgo de un activo, distintos al análisis de medias y varianzas
- Sintetizar modelos heurísticos útiles para la toma de decisiones en contextos de alta volatilidad
- Medir la calidad de las predicciones de corto plazo de los modelos identificados, en relación a los resultados de los modelos lineales y/o probabilísticos tradicionales.
- Demostrar la incumbencia del profesional de la Maestría en Administración, por sus conocimientos, habilidades y destrezas, para el tratamiento del tema que estudia la presente tesis para optar a la graduación como Magíster de la Universidad de Buenos Aires, en Administración.

### 4. Justificación

La actual crisis económica, el ingreso de nuevos actores en el sistema político internacional, la interacción de nuevos grupos sociales, los cambios en los modos de producción y el cambio climático contribuyen a que la realidad dentro de la cual se desarrollan las acciones humanas sea cada vez más volátil, compleja y, por sobre todo, difícil de predecir.

En este sentido, las particularidades del contexto actual llevan a que tanto los modelos mecanicistas como también los probabilistas sean insuficientes para analizar una realidad continuamente cambiante y con innumerables variables intervinientes.

En síntesis, como fue planteado en el problema a tratar, el mayor desafío es superar la fuerte tradición del paradigma estadístico en el análisis de fenómenos financieros, como asimismo la preponderancia del uso de modelos lineales en los modelos explicativos y predictivos. Por ello, la motivación de la tesis se justifica en el intento de demostrar en qué contextos los modelos complejos pueden brindar mejores resultados que los modelos lineales y / o probabilísticos tradicionales, considerando los cambios estructurales que se han generado en el sistema económico internacional.

En tanto, la originalidad y relevancia del trabajo radica en la formalización de un modelo híbrido que contemple la aplicación de algoritmos devenidos de la dinámica no lineal como así también las reglas heurísticas aplicadas por parte de los administradores de carteras de inversión, tomando en cuenta tanto las particularidades de los mercados emergentes en contextos de crisis como también la incidencia de los procesos cognitivos en la toma de decisiones.

En síntesis, las herramientas tradicionales de la industria financiera se encuentran actualmente muy criticadas, principalmente por su subestimación del riesgo en el período previo a la crisis. En tanto, los modelos complejos se encuentran en incipiente desarrollo, no habiendo sido sistematizados en forma totalmente consistente. En tal sentido, el marco provisto por la teoría de la complejidad no es sólo una modelización alternativa, sino una nueva forma de pensar, un nuevo marco filosófico para explicar y comprender fenómenos actuales, pero que al mismo tiempo brinda herramientas importantes a los fines de diseñar reglas de decisión en el ámbito de las finanzas.

Respecto al aporte de la formación de posgrado para afrontar la problemática planteada, es menester mencionar que los estudios realizados en la Maestría de Administración de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires, son absolutamente compatibles con la naturaleza de la temática abordada, que permite aplicar los conocimientos profesionales de la maestría a este tema, propio de la administración de carteras de inversión y de gestión financiera, a cuyo fin se elaborará la presente tesis, con el propósito académico de optar a la graduación como magíster de la Universidad de Buenos Aires, en Administración.

En la presente tesis se utilizarán temáticas tratadas en los cursos de globalización y posmodernidad, políticas y estrategias de empresa, análisis financiero, finanzas corporativas, instrumentos financieros y administración de carteras, que son de aplicación directa sobre la propuesta de tesis que en conjunto con las otras materias del MBA y el taller de tesis, servirán de base de apoyo y marco para un trabajo con la profundidad y profesionalidad requerida.

## 5. Enfoque Metodológico

A continuación se presenta la metodología que se aplicará para desarrollar la tesis.

En primer lugar, el núcleo del estudio será de tipo **explicativo**, analizando factores determinantes del fenómeno estudiado y su sensibilidad.

Respecto al tipo de diseño metodológico, el mismo será de tipo **cuasi-experimental** dado que, si bien se analizará una serie de tiempo en forma experimental, se incorporarán en el análisis elementos heurísticos no cuantificables.

En relación a la dimensión temporal, el **diseño será de tipo longitudinal**, es decir, se estudiará un sistema dinámico analizando su evolución a través de un período de tiempo.

El trabajo asociado a la elaboración de la tesis se iniciará con un relevamiento y análisis de informes sobre la aplicación de esta teoría a nivel institucional (en el ámbito nacional e internacional), y de las técnicas utilizadas en nuestro país para la evaluación y manejo del riesgo en los distintos campos estudiados. Para ello se realizará un **análisis de tipo exploratorio**, consultando primeramente **fuentes primarias**, haciendo foco en los autores clave del análisis financiero y en reportes actualizados de operadores del mercado. Otro **instrumento de recolección** utilizado será la **observación** directa de la evolución del mercado. En segunda instancia se consultarán **fuentes secundarias**, a fin de comparar la lectura del relevamiento realizado con material procesado por otros especialistas.

La segunda parte del proceso metodológico se centrará en la detección de problemas en la evaluación y manejo del riesgo de los casos previamente analizados y, acto seguido, en la elaboración de aplicaciones para un conjunto, dentro de los casos antes

mencionados, en donde se ha detectado la conveniencia de la aplicación de la teoría marco.

Por último, se iniciará el proceso de contrastación y comparación de resultados de la aplicación de la nueva metodología respecto de la tradicional sobre series de tiempo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se formalizará un modelo híbrido, que contemple no sólo el uso de algoritmos que mejor se ajusten a las series estudiadas, sino principalmente su modalidad de aplicación y lectura por parte de los administradores de fondos y carteras de inversión. En este sentido, se enunciarán pautas, lineamientos generales y recomendaciones para las empresas, a los fines de aportar una guía para la toma de decisiones en contextos de crisis.

## 6. Estructura de la tesis

Los puntos hasta ahora desarrollados, que conforman la primera sección de este trabajo, han resumido los principales aspectos formales y metodológicos del mismo. En tanto, el núcleo de la tesis, que se desarrolla a continuación, se estructura del siguiente modo:

- Sección II: Se desarrolla el marco teórico desde el cual se analiza el fenómeno estudiado.
- Sección III: Se procede a realizar el análisis empírico, compuesto por la descripción de hechos estilizados por un lado y por la aplicación de testeos econométricos por otro, resumiendo finalmente los resultados obtenidos.
- Sección IV: Se procederá a la lectura y/o contrastación de los resultados obtenidos en la sección II con el marco teórico planteado a lo largo de la sección I. En virtud de ello, se intentará responder a los interrogantes y objetivos específicos planteados, finalizando con una síntesis que integre las partes del trabajo y sirva de base para la redacción de recomendaciones y el planteo de nuevos interrogantes.

### III. SEGUNDA SECCIÓN

## 7. Marco Teórico

A continuación se presenta el marco teórico de la tesis, el cual está vinculado con los conceptos de no-normalidad, incertidumbre, ocurrencia de eventos extremos, sistemas complejos y los flujos turbulentos. Estos elementos se encuentran vinculados de una forma u otra y han sido la base para proponer modelos alternativos para analizar la economía en general y el mercado de capitales en particular.

### 7.1. Modelización clásica y sus principales críticas

Las hipótesis clásicas que se han utilizado para modelar el mercado de capitales son básicamente dos:

- **Hipótesis de Mercado Eficiente:** establece que los precios de las acciones reflejan la información tanto en aquellos hechos que han ocurrido en el pasado como sobre aquellos que el mercado espera que ocurran en el futuro.
- **Hipótesis del *Random Walk*:** los rendimientos sucesivos son independientes y están idénticamente distribuidos a largo del tiempo. En síntesis, son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, asumiéndose por lo general que siguen una distribución normal. La contraparte en tiempo continuo estaría dado por el proceso de Wiener.

La hipótesis de mercados eficientes establece que los precios reflejan toda la información pública, fundamental<sup>1</sup> e histórica, la cual es compartida por todos los jugadores o participantes del mercado. Luego, los precios presentan variaciones cuando se recibe nueva información. En teoría, no sería posible "sacar ventaja" en un mercado eficiente, por dos motivos: por un lado, los precios reflejan toda la información disponible, por otro, el número de participantes es tan grande que asegura la convergencia a un precio "justo". En este sentido, los inversores son considerados racionales: pueden diferenciar, en forma colectiva, la información

---

<sup>1</sup> El término fundamental se refiere a las variables estructurales de la economía y las empresas, como ser el crecimiento económico, la generación de beneficios, etc.

relevante de la no relevante. Finalmente, se deriva de los preceptos anteriores, que dada la interpretación de la información relevante y compartida por todos, y luego de evaluar los riesgos implícitos en las operaciones, el mercado, o los precios de los activos que conforman el mercado, convergen a un precio de equilibrio.

La hipótesis del *Random Walk* (o trayectoria aleatoria), establece que la información histórica no es relevante y, por lo tanto, los rendimientos presentes no se encuentran relacionados con los pasados; en otras palabras, los rendimientos son estadísticamente independientes. Ello, a su vez, implica que son variables aleatorias. En tanto, siguiendo el teorema central del límite, si las variables aleatorias son estadísticamente independientes y el número de observaciones es "lo suficientemente grande" (tiende a infinito), su distribución de probabilidad converge a la distribución normal. Este último supuesto acerca de la normalidad de la distribución de los rendimientos posibilitó el uso de un amplio espectro de herramientas estadísticas y de modelización, generando soluciones óptimas (existencia de máximos y mínimos en las funciones estudiadas) para la toma de decisiones.

Es necesario aclarar que la hipótesis de mercados eficientes no implica que los rendimientos de los activos se comporten como un *random walk*; no obstante, la hipótesis de *random walk* sí implica la existencia de mercados eficientes.

En síntesis, en las mencionadas hipótesis clásicas pueden identificarse, entre otros, los siguientes supuestos:

- Información perfecta y simétrica: perfecta en el sentido de que la información irrelevante no es tomada en cuenta (no hay información "engañosa") y simétrica en el sentido de que es compartida por todos (no existencia de asimetrías).
- Inversores racionales: toman sus decisiones en base a la lógica del costo-beneficio en función al set de información antes mencionado.
- Variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas
- Distribución normal

En base a los anteriores supuestos se han desarrollado innumerables modelos que intentan explicar al mercado de capitales, tales como el modelo de Valuación de Activos de Capital (CAPM), los desarrollos de Black and Scholes e incluso algunos preceptos del Modelo de Markovitz, entre otros que son comúnmente utilizados para la toma de decisiones estratégicas. Incluso, muchos de los modelos antes citados tienen supuestos adicionales, como ser la ausencia de costos de transacción,

condiciones de arbitraje e igualdad de tasas pasiva y activa; si bien también son supuestos simplificadores, pueden ser soslayados mediante algunas modificaciones que, en principio, no alterarían las conclusiones fundamentales. No obstante, ello no se verifica en relación a los cuatro supuestos antes sintetizados.

En relación a los modelos estrictamente estadísticos, los supuestos de independencia y normalidad posibilitaron el uso de todo el bagaje del paradigma estadístico aplicándolo al estudio de series de tiempo. Las representaciones econométricas pueden sintetizarse en los siguientes:

- Movimiento Browniano: independencia y normalidad de la distribución
- Modelos de regresión: corresponden al plano (paradigma) explicativo de la ciencia económica
- Modelos autorregresivos: corresponden al plano (paradigma) predictivo de la ciencia económica (ensayo sobre el realismo de los supuestos - *Freedman*)
- Modelos ARIMA: Varianza homocedástica
- Modelos GARCH: Varianza heterocedástica

Las características fundamentales de los anteriores es que son modelos estocásticos, en general lineales, y que asumen como supuesto el comportamiento normal de la función de distribución de probabilidad. Esto último no es menor, dado que todos los test de hipótesis para evaluar la significatividad de los coeficientes estimados son diseñados en base a dicha distribución.

En tanto, en la mayoría de las representaciones anteriores, se asumía que la varianza era constante en todos los momentos, característica que limitaba la explicación o predicción de cambios en la volatilidad. No obstante, ello fue superado por los desarrollos de Engle (1982) al desarrollar representaciones de varianza heteroscedástica condicionada, que permitió modelizar series de precios que exhibían cambios pronunciados de volatilidad a lo largo del tiempo (convivencia de períodos de alta variación seguidos de períodos "calmos"). Cabe destacar que tal característica constituyó un avance fundamental en lo que hace a la predicción en los mercados de capitales. No obstante, continúan siendo testeos paramétricos que asumen la normalidad de la distribución.

### 7.1.1. La Teoría de Precios Especulativos

El primer "modelo" que intentó explicar la variación de precios, fue el expuesto por Luis Bachelier en 1900 y asume, como fue dicho, que los cambios sucesivos de un precio  $Z(t)$  son variables estocásticas gaussianas independientes (hipótesis del *random walk*). En realidad, Bachelier desarrolló la contraparte del *random walk* en tiempo continuo, modelo que hoy es denominado "Movimiento Browniano" o "Proceso de Wiener" o "Movimiento Browniano de Wiener<sup>2</sup>".

Las propiedades del proceso propuesto por Bachelier o Movimiento Browniano pueden resumirse de la siguiente forma:

- Independencia del incremento de precios: conocer el pasado no brinda conocimiento acerca del futuro
- Continuidad de las variaciones de los precios: la evolución se da en un espacio continuo.
- Ruido blanco: las variaciones de los precios son secuencias de variables Gaussianas independientes.
- Ausencia de agrupamientos en momentos determinados de variaciones pronunciadas en los precios
- Ausencia de comportamientos cíclicos.

Como fue dicho, las anteriores propiedades permiten el desarrollo de modelos estadísticos, dado que cumple con las principales propiedades para la aplicación de tales herramientas. No obstante sus virtudes teóricas, tal modelo fue puesto en discusión dadas sus inconsistencias con el comportamiento empírico de series de precios de activos financieros.

### 7.1.2. Inconsistencias empíricas del Modelo de Wiener

Benoit Mandelbrot, cuyos aportes a la modelización del mercado de capitales serán abordados en este trabajo, sintetizó las siguientes inconsistencias empíricas del Modelo de Wiener o Movimiento Browniano:

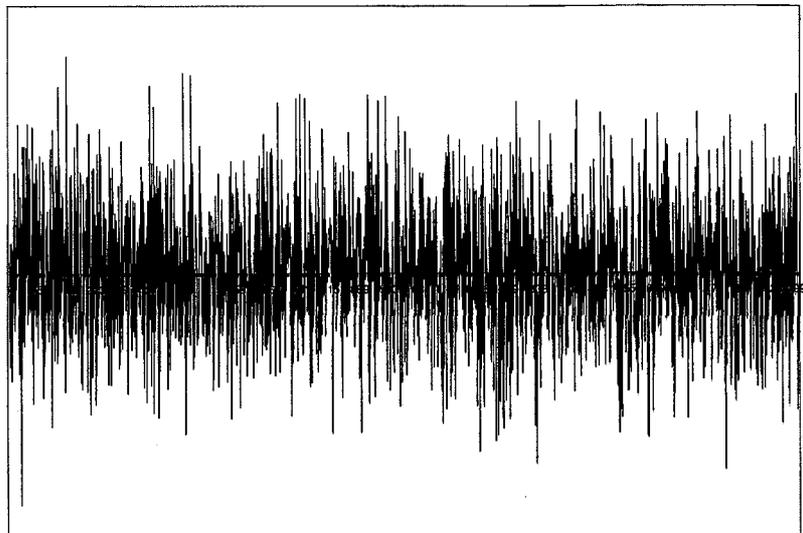
---

<sup>2</sup> Cabe aclarar que la aplicación del Movimiento Browniano en la especulación financiera fue anterior a su descubrimiento por Brown en pequeñas partículas suspendidas en fluidos, y anterior a la teoría matemática posteriormente propuesta por Wiener (la cual formalizó lo observado por Brown). Los planteos de Brown y Wiener se han resumido en el Anexo I.

- Cambios pronunciados en los precios son mucho más frecuentes que los predichos por el modelo de Gauss, reflejando el carácter leptocúrtico de los precios relativos.
- Cambios pronunciados instantáneos ocurren con frecuencia, al contrario de las predicciones, y habría evidencia de que los mismos podrían ser explicados por factores causales más que por modelos estocásticos.
- Cambios sucesivos en los precios no "lucen" independientes, más bien exhiben un gran número de patrones reconocibles, los cuales son, por supuesto, base del análisis técnico.
- Los registros de precios no lucen estacionarios. Además, indicadores estadísticos tales como la varianza muestral toman valores muy diferentes en diferentes momentos del tiempo. Cabe destacar que la no-estacionariedad impide la aplicación de un modelo estadístico que arroje resultados convenientes, al menos en lo que respecta a la precisión de los mismos.

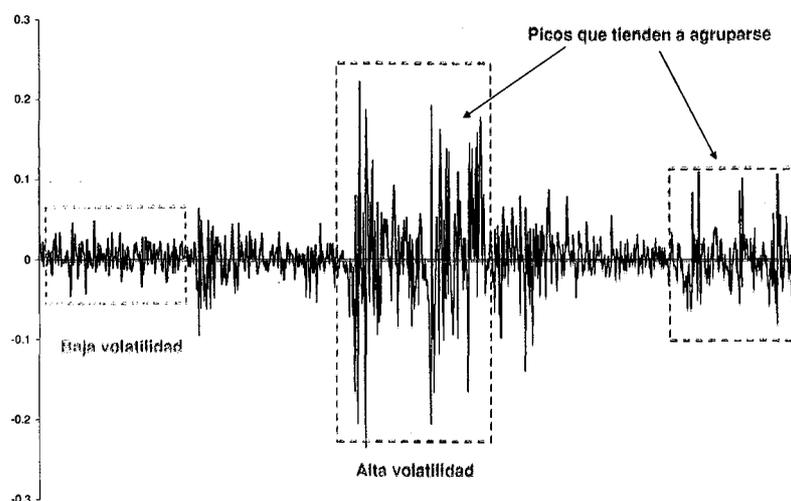
Incluso, Mandelbrot (1997) afirma que el modelo de Wiener no se condice con los hechos aún si se aplica una transformación logarítmica a las serie de precios estimada (es decir, si  $Z(t)$  es reemplazado por  $\log Z(t)$ ).

**-Gráfico N° 2.1.-**  
RUIDO BLANCO



*Fuente: Elaboración propia*

**-Gráfico N° 2.2.-**  
ACINDAR  
(tasa continua de variación del precio)



Fuente: Elaboración propia

En síntesis, la representación gráfica de un proceso de Wiener debería parecerse a la serie graficada en la figura 1, mientras que la evolución empírica de las variaciones de precios se asemejan a la serie de la figura 2 (en este caso, las variaciones corresponde a la especia Acindar para el período 1998-2006).

En síntesis, Mandelbrot *et. all.* (2004) advirtió sobre la no estacionariedad en las series de precios, que en sus variaciones coexisten períodos de baja con períodos de alta volatilidad (en el movimiento browniano la evolución es más uniforme). Además, señaló que se observan repetidas instancias de cambios discontinuos, representados por "picos" que se elevan por sobre la evolución de la serie; adicionalmente, tales picos tienden a concentrarse más que aparecer aislados e independientes a lo largo del rango temporal. Por último, como fue dicho, observó la existencia de ciclos conspicuos, distribución leptocúrtica y dependencia de largo plazo.

Cabe destacar que el propio Bachelier (1900) planteó la existencia empírica de distribuciones no gaussianas y dependencia estadística, pero no planteó modelos alternativos. También Osborne (1962) planteó que el intercambio tiende a realizarse en forma explosiva (más que en formas estables) y Alexander (1964) también planteó que las variaciones de precios son no estacionarias.

La consecuencia de todo lo anterior es que los precios de los activos financieros no se podrían modelar de acuerdo al proceso de Wiener tal y como señala la Hipótesis del Mercado Eficiente.

### 7.1.3. Otras Críticas de Mandelbrot al modelo clásico

Resumiendo, Mandelbrot *et al.* (2004) enuncia las siguientes críticas al “paradigma clásico”:

**Supuesto: Los agentes son racionales y su único objetivo es obtener beneficios**

- **Teoría:** Si a un agente se le presenta toda la información relevante acerca de un activo, puede determinar la mejor decisión que lo hará “rico y feliz”
- **Hechos:** Los agentes no piensan solamente en términos de un modelo de utilidad mensurable en unidades monetarias, ni tampoco actúan siempre de manera racional y puramente egoísta. La “economía del comportamiento” estudia cómo los agentes malinterpretan la información, cómo sus emociones distorsionan sus decisiones y cómo cometen errores al calcular probabilidades.

**Supuesto: Los inversores son homogéneos**

- **Teoría:** Los inversores tienen los mismos objetivos y los mismos horizontes de inversión, dada la misma información toman las mismas decisiones. Tienen expectativas homogéneas y son tomadores de precios, no son formadores de precio. Son como moléculas en el estado perfectamente idealizado de un gas en la física: idénticos e individualmente insignificantes. Una ecuación que describe a uno de tales inversores puede ser reciclada para describirlos a todos.
- **Hechos:** los agentes no son homogéneos. Presentan diferente nivel de riqueza y diferentes perfiles de inversión. Unos compran y mantienen sus acciones por 20 años para un fondo de pensión mientras que otros las intercambian diariamente especulando a través de Internet. Algunos se fijan en el valor del activo buscando acciones de compañías que transitoriamente están fuera de “moda”, mientras que otros buscan la dinámica de crecimiento del activo tratando de incorporarse a una tendencia creciente.

Matemáticamente sólo hace falta una sola heterogeneidad para generar un cambio drástico en la evolución de un mercado. Realizando un modelo de simulación donde interactúan *chartistas* y *fundamentalistas*, burbujas y caídas drásticas surgen del modelo en forma espontánea (endógena). El mercado pasa de ser lineal y “bien comportado” a otro que muestra una dinámica no lineal

totalmente impredecible, caótica. Y esto se genera introduciendo solamente dos tipos distintos de inversores.

**Supuesto: Los precios varían en forma continua.**

- **Teoría:** en diferentes momentos de tiempos los activos y las tasas de cambio no saltan hacia cualquier punto, se mueven suavemente desde un valor hasta el siguiente. En términos de la teoría económica (*natura non facit saltum*, Marshall (1895)) se asume el "continuo", dando la posibilidad de tener a disposición un vasto herramental matemático de funciones continuas y ecuaciones diferenciales. Para citar sólo un ejemplo, el modelo de Markowitz asume que los precios cambian en forma continua.
- **Hechos:** claramente los precios saltan tanto en forma trivial como en forma significativa. Forma trivial: los brokers habitualmente transan los precios en números redondos omitiendo valores intermedios. Forma significativa: casi todos los días en la Bolsa de Nueva York se generan "*order invalancies*" en una u otra acción. La discontinuidad es un ingrediente esencial de los mercados financieros, que separa a las finanzas del resto de las ciencias naturales.

**Supuesto: Las variaciones de los precios siguen un proceso browniano.**

- **Teoría:** el movimiento browniano es un término físico que describe el movimiento de una molécula en un medio de temperatura uniforme. Todo un conjunto de supuestos están asociados a esta idea:
  - Independencia: cada cambio en el precio ya sea una suba de cinco centavos o un colapso de veintiséis dólares es independiente del anterior y las variaciones de los precios de la semana pasada o del año pasado no influyen las de hoy. Esto implica que no se puede utilizar información pasada para predecir el futuro y por lo tanto que no tiene ningún sentido evaluar información histórica.
  - Estacionariedad estadística en la variación de los precios: esto implica que el proceso que genera la variación de los precios, cualquiera que sea, se mantiene constante a lo largo del tiempo.
  - Distribución normal: las variaciones de los precios siguen las proporciones de la curva acampanada - la mayoría de los cambios son pequeños y las variaciones grandes son extremadamente pocas. Además, la probabilidad de estas últimas disminuye exponencialmente.
  - pocos son grandes, los cuales disminuyen exponencialmente.
- **Hechos:** la evolución de los activos es mucho más compleja, como mínimo el último supuesto es claramente contradicho por los hechos.

A continuación se presentarán algunos conceptos vinculados a la dinámica compleja y a los sistemas complejos, entendiendo que muchas de las críticas de Mandelbrot *et all.* (2004) pueden fundamentarse en la visión de la economía en general y de los mercados de capitales en particular, como sistemas dinámicos complejos, compuestos por agentes heterogéneos que interactúan en forma no-lineal y en continua adaptación.

## 7.2. Dinámica Compleja

Según la definición seleccionada por Rosser (2004), la cual según el autor engloba la dinámica de catástrofes y la dinámica caótica, la dinámica compleja es aquella dinámica no-lineal que, sin la intervención de elementos estocásticos, no converge ni a un punto fijo, ni a un ciclo límite ni tampoco diverge. Esto implica, según el autor, que el sistema necesariamente debe ser no-lineal, aunque no todo sistema no-lineal es complejo, como por ejemplo la función exponencial; también implica que la dinámica está acotada y es generada en forma endógena. Luego, como características fundamentales pueden mencionarse: no linealidad, sistema acotado, no convergencia a soluciones estables pero tampoco divergencia, no-existencia de componentes estocásticos, dinámica endógena.

Por su parte, en lo que respecta a los sistemas complejos, de acuerdo a Schuschny (2001), *"un Sistema Complejo puede ser definido como compuesto por una gran cantidad de elementos interactuantes, capaces de intercambiar información entre ellos y el entorno, y de adaptar sus estructuras internas como consecuencia de tales interacciones. Una característica propia de sistemas de este tipo es la existencia de interacciones no lineales entre sus componentes, que son las responsables de producir comportamientos emergentes en los que el todo es más que la simple suma de las partes. Vistos en forma agregada, estos comportamientos no pueden ser atribuibles a la acción aislada de cada elemento por separado sino que son el resultado de su acción colectiva"*. En síntesis, como características fundamentales pueden mencionarse: Gran cantidad de elementos interactuantes, interacciones no lineales, comportamientos emergentes, el todo es más que la suma de las partes, evolución por acción colectiva.

En tanto, Darlauf y Lane (1999), resumiendo el denominado "Enfoque Santa Fe", enumeran seis características asociadas a la teoría de la complejidad, que según los autores presentan alternativas a las herramientas matemáticas "tradicionales"

(*mainstream*) usadas en la ciencia económica. Según los autores tales características son las siguientes:

- **Interacción dispersa:** Lo que sucede en la economía esta determinado por la interacción de muchos agentes que se encuentran dispersos, generalmente heterogéneos, y que actúan en forma paralela. La acción de un agente dado depende de las acciones de anticipación de un conjunto reducido de otros agentes y del estado agregado que tales agentes co-crean.
- **No existe controlador global (planificador central):** Ninguna entidad global controla las interacciones. En su lugar, la regulación es provista por mecanismos de competencia y coordinación entre agentes. Las actividades económicas son mediadas por instituciones legales, asignación de roles y "*shifting associations*". Tampoco existe un competidor universal, es decir, un solo agente que pueda aprovechar todas las oportunidades de la economía.
- **Organización jerárquica transversal:** La economía tiene muchos niveles de organización e interacción. Comportamientos, acciones, estrategias de unidades de un cierto nivel sirven de basamento para la construcción de unidades en un próximo nivel más elevado. La organización como un todo es más que jerárquica, con muchas formas de interacción (asociaciones, canales de comunicación) entre niveles.
- **Adaptación continua:** Comportamientos, acciones, estrategias y productos son revisados en forma continua a medida que los agentes individuales acumulan experiencia - el sistema se adapta en forma continua.
- **Innovación continua:** Nuevos mercados, nuevas tecnologías y nuevas instituciones crean nuevos nichos en forma continua.
- **Dinámica fuera del equilibrio:** Dado que nuevos nichos, nuevas potencialidades y nuevas oportunidades surgen en forma continua, la economía opera lejos de puntos óptimos o equilibrios globales. Las mejoras son posibles y de hecho ocurren en forma regular.

Para sintetizar las definiciones se presenta el cuadro siguiente:

- Cuadro N° 2.1-  
- CARACTERÍSTICAS DE LA DINÁMICA Y LOS SISTEMAS COMPLEJOS -

Rosser (2004)	Schuschny (2001)	Darlauf et all(1999)
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ No linealidad</li><li>▪ Sistema acotado</li><li>▪ No convergencia a soluciones estables pero tampoco divergencia</li><li>▪ Sin componentes estocásticos</li><li>▪ Dinámica endógena</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Gran cantidad de elementos interactuantes</li><li>▪ Interacciones no lineales</li><li>▪ Comportamientos emergentes</li><li>▪ El todo es más que la suma de las partes</li><li>▪ Evolución por acción colectiva</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Interacción dispersa</li><li>▪ Organización jerárquica transversal</li><li>▪ Adaptación continua</li><li>▪ Novedad continua</li><li>▪ Dinámica fuera del equilibrio</li></ul>

Fuente: Elaboración propia

Nótese que las características seleccionadas por Rosser refieren a propiedades matemáticas de un sistema dinámico; Schuschny introduce algunos conceptos de sistemas complejos en general, no teniendo que ser una formulación estrictamente matemática; por último, Darlauf *et. all.* (1999) hacen referencia a sistemas complejos en general pero a los económicos en particular, seleccionando elementos clave que definen a los sistemas económicos como complejos. En síntesis, las definiciones presentadas no son ni taxativas ni excluyentes. En general, los fundamentos enunciados por Schuschny y Darlauf *et all*, son los que, traducidos a un modelo matemático (dinámico) terminarán exhibiendo dinámicas complejas en el sentido de Rosser.

Respecto a la aplicación del enfoque de Darlauf *et all* a los sistemas económicos; en el cuadro siguiente se resumen sus principales diferencias respecto al enfoque del *mainstream* económico (principalmente conformado por los modelos de ciclo real de agente representativo).

**- Cuadro N° 2.2-  
 - CARACTERÍSTICAS DE LA DINÁMICA Y LOS SISTEMAS COMPLEJOS -**

ENFOQUE CLÁSICO	ENFOQUE COMPLEJO
Agentes Optimizadores – Racionales Conocimiento común	Racionalidad Acotada – Métodos Heurísticos – pluralismo cognitivo
Agente representativo	Agentes heterogéneos
Resultado (dinámica global) por agregación simple	Resultado (dinámica global) por interacción
Soluciones consistentes: equilibrio general, parcial, de Nash	Desequilibrios, Equilibrios transitorios Emergencia
Sendero óptimo de Pareto	Sendero Sub-Óptimo – posibilidad de mejora
Interacción extrema: uno con todos (mercado) o todos con todos (juegos)	Estructura de red – Interacción en diversos niveles jerárquicos
Algoritmos simples	Algoritmos más sofisticados
Resolución algebraica	Resolución por simulación numérica
Supuestos	Supuestos

*Fuente: Elaboración propia*

Como fue dicho, el enfoque complejo brinda los fundamentos mediante los cuales es posible generar dinámica compleja en los modelos matemáticos especificados. Un caso especial de este tipo de dinámica es la denominada “caótica”, cuya aplicación en economía y finanzas ha sido profundamente discutida en los últimos años. En este sentido, y finalizando el marco teórico de este trabajo, a continuación se presentan los conceptos básicos de turbulencia y dinámica caótica.

### **7.3. Turbulencia y Caos**

Según Mantenga y Stanley (2000), los flujos turbulentos y los mercados de capitales (las variaciones de los precios de los activos) son cualitativamente similares. Esto es, los cambios abruptos, la velocidad de las fluctuaciones, la coexistencia no periódica de

momentos de alta volatilidad con otros de baja volatilidad y la influencia de la información como elemento perturbador (“forzamiento térmico”) son algunos de los hechos estilizados que explican la semejanza. No obstante, los mismos autores expresan que tal correspondencia no se verifica estrictamente en términos cuantitativos, amén de algunas similitudes: la intermitencia, la distribución no gaussiana y la existencia de dinámica atractora (típica de los sistemas dinámicos disipativos). Cabe destacar que Mandelbrot *et all.* (2004) en muchos casos cita la metáfora de la turbulencia para explicar las fluctuaciones del mercado de capitales, no obstante no plantea comparaciones empíricas como es el caso de los autores antes citados. En este sentido, el aporte es mayormente cualitativo. Es decir, el último autor asocia la idea de turbulencia a los cambios abruptos, la heteroscedasticidad y la concentración de bajas en los precios de los activos en períodos muy cortos de tiempo. Esta definición es la que será aplicada en este trabajo.

Otra corriente de análisis corresponde a la aplicación de la teoría del caos propiamente dicha, la cual surgió en sus inicios del estudio del comportamiento de flujos hidrodinámicos turbulentos. Más específicamente, aquellos flujos turbulentos que exhibían trayectorias aperiódicas incluso en el largo plazo. En tal sentido, *la carencia de periodicidad es una característica común en sistemas naturales, y es uno de los elementos que distinguen a los flujos turbulentos* (Lorenz, 1963). Resumidamente, la dinámica caótica hace referencia a sistemas deterministas dinámicos no lineales con soluciones aperiódicas y acotadas que presentan (*hiper*)sensibilidad a las condiciones iniciales. Las principales características y/o implicancias de la dinámica caótica son las siguientes:

- Comportamientos irregulares (“aparentemente aleatorios”) que son generados mediante ecuaciones deterministas.
- La irregularidad responde a la dinámica endógena del sistema y no a perturbaciones exógenas aleatorias
- La sensibilidad a las condiciones iniciales hace que cualquier shock exógeno, por pequeño que sea, tienda a propagarse y amplificarse a medida que el sistema evoluciona, generando efectos permanentes en el largo plazo
- Esto genera que, dada la existencia insoslayable de errores de medición, la predicción de estos sistemas, o bien sea imposible, o esté acotada al corto plazo.

La teoría del caos ha sido ampliamente discutida en el marco del análisis financiero, sobre todo por similitudes cualitativas tales como sobre-reacciones a shocks

exógenos, la persistencia y amplificación de tales perturbaciones, las interacciones no lineales, la dificultad de predicción y la evidencia de fractalidad. Por un lado, para aplicar en forma fehaciente la teoría del caos es necesario asumir que el modelo es determinista, opción que parecería ser inviable dada la complejidad del mercado internacional de capitales. No obstante, en este trabajo se seguirá la propuesta de Ellner, Nychka y Gallart (1997), quienes aplican el concepto de caos a sistemas estocásticos.

Es decir, para el estudio de fenómenos económicos en general, y financieros en particular, no sería recomendable asumir que los modelos en estudio siguen una dinámica estrictamente determinista. Por ello, Ellner, Nychka y Gallart (1997) proponen utilizar un enfoque híbrido, compuesto por un componente no lineal que describe la dinámica endógena del sistema y un término estocástico que de cuenta de las perturbaciones exógenas.

La interpretación de dinámica caótica dentro de ese enfoque híbrido, según sus autores, es la siguiente:

- Un sistema caótico es un amplificador de ruido: los efectos de las perturbaciones son exponenciales y no pueden ser ignoradas al predecir el estado futuro del sistema.
- Un sistema no caótico es un amortiguador de ruido: los efectos de las perturbaciones son transitorios y no tienen efectos asintóticos en la dinámica de largo plazo del sistema.

La “caoticidad” de un sistema habitualmente se mide a través del coeficiente de Lyapunov, el cual representa la tasa de crecimiento exponencial de la distancia entre dos órbitas separadas inicialmente por un infinitésimo. No obstante, lo importante no es el valor del exponente sino el signo del mismo: *el signo de los exponentes de Lyapunov proporcionan información cualitativa sobre la dinámica del sistema. En general, un sistema  $n$  dimensional está caracterizado por  $n$  exponentes de forma que si todos son negativos se trata de un punto fijo, si uno es cero y todos los demás son negativos estamos ante un ciclo límite, si  $m$  son ceros y el resto son negativos se trata de un toro  $T^m$  y, por último, si al menos uno de ellos es positivo el sistema es caótico* (Fernández Díaz, 2002).

La interpretación anterior resulta sumamente útil al momento de analizar series de tiempo de variables económicas y, especialmente, de precios de activos bursátiles. Si

bien dicho exponente no puede ser entendido como una medida de volatilidad, sí puede entenderse como un indicador de "perturbabilidad" o sensibilidad y dar cuenta acerca de la factibilidad de aplicar herramientas tradicionales al estudio de dicha serie. Es decir, encontrar activos financieros con exponentes de Lyapunov positivos, significa dificultades de predicción y estar frente a un activo hipersensible a shocks exógenos. Esto puede tomarse como un indicador alternativo que de cuenta acerca del riesgo del mismo. Esto es, puede estarse frente a un activo que se comporta relativamente estable pero que endógenamente presente sensibilidad, con lo cual puede darse una sobrereacción ante un shock exógeno, generando grandes ganancias o pérdidas de capital en un lapso muy corto de tiempo y donde la evolución posterior es parcial o totalmente imprevisible.

#### **7.4. Algoritmos y testeos**

Para evaluar la presencia de dinámica compleja y caos desde la óptica estocástica en el fenómeno estudiado se aplicarán los siguientes testeos y algoritmos:

- Test BSD: es una herramienta para la detección de estructura. Es decir, permite distinguir series totalmente aleatorias de procesos con algún tipo de patrón (lineal o no lineal).
- Coeficiente de Hurst: da una medida del nivel de persistencia o antipersistencia de una serie, vinculado a la existencia de correlaciones de largo plazo y a la dimensión fractal.
- Test NEGM: estima el coeficiente de Lyapunov en sistemas estocásticos.

A continuación se describen cada uno de los testeos y algoritmos mencionados.

##### **7.4.1. El Test BDS**

El test BDS contrasta la hipótesis de independencia e idéntica distribución. Solamente rechaza la hipótesis nula de ruido blanco, o de errores no correlacionados, con lo cual solamente detecta la presencia o no de estructura, ya sea lineal o no lineal.

Por ello, el testeo de presencia de estructuras no lineales se realiza en forma indirecta: primero se aplica "el mejor modelo lineal (ARMA)" que se ajuste a la serie de datos. Luego, se aplica el test sobre los residuos del modelo estimado. De rechazarse la hipótesis de ruido blanco, se deduce que la estructura remanente es no lineal, bajo el supuesto de que toda la estructura lineal fue previamente removida.

### Estructura del Test

Se define a  $X_t$  como una serie univariada, independiente e idénticamente distribuida para alguna distribución. Se define a

$$P_A = P(|X_t - X_s| < \varepsilon)$$

como la probabilidad de que dos puntos estén separados por la distancia  $\varepsilon$ . En tanto, se define a

$$P_B = P(|X_t - X_s| < \varepsilon, |X_{t-1} - X_{s-1}| < \varepsilon)$$

como la probabilidad de que la historia de dos observaciones esté dentro del rango  $\varepsilon$ .

Bajo el supuesto de independencia de  $X_t$ , los dos eventos contenidos dentro del evento  $B$  son independientes y, por lo tanto,  $P_B = P_A^2$ . Pueden estimarse  $P_A$  y  $P_B$ , y también  $P_B - P_A^2$ , que tiene un valor esperado de cero bajo la hipótesis nula. Para estimar la probabilidad de que dos vectores de longitud  $m$  estén dentro de la distancia  $\varepsilon$ , se define

$$c_{m,n}(\varepsilon) = \frac{2}{(n-m+1)(n-m)} \sum_{s=m}^n \sum_{t=s+1}^n \prod_{j=0}^{m-1} I_\varepsilon(X_{s-j}, X_{t-j})$$

donde,

$$I_\varepsilon(X_{s-j}, X_{t-j}) = \begin{cases} 1 & \text{si } |X_{s-j} - X_{t-j}| < \varepsilon \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Siendo  $n$  el tamaño de la muestra y  $m$  la dimensión de inserción. Bajo la hipótesis nula de independencia y idéntica distribución,

$$E(C_{m,n}(\varepsilon)) = (E(C_{1,n}(\varepsilon)))^n$$

Luego, el estadístico BDS es

$$w_{m,n}(\varepsilon) = \sqrt{n-m+1} \frac{c_{m,n}(\varepsilon) - c_{1,n-m+1}^m(\varepsilon)}{\sigma_{m,n}(\varepsilon)}$$

que tiene distribución asintóticamente normal  $N(0,1)$ .

### Aplicación del Test

Para realizar el test se deben determinar los valores de dos parámetros: el valor de  $\varepsilon$  y de la dimensión de inserción. En este trabajo, se utilizarán los valores establecidos por *default* en el software E-Views:  $\varepsilon = 0,7$  y  $m = 6$ .

En tanto, como la muestra es relativamente pequeña, el testeo se corre aplicando un *bootstrapping* de 20.000 repeticiones, a modo de evitar trabajar bajo el supuesto de normalidad<sup>3</sup>.

### 7.4.2. El Coeficiente de Hurst

En 1951, Hurst introdujo una metodología estadística ("análisis re-escalado") que permite distinguir sistemas estocásticos de no estocásticos, y la persistencia o antipersistencia de tendencias.

Dada una serie de tiempo "t" con "u" observaciones:

$$X_{t,N} = \sum_{u=1}^t (e_u - M_N)$$

Donde:

- $X_{t,N}$  = Desviaciones acumuladas en  $N$  períodos
- $e_u$  = influjo del período  $u$
- $M_N$  = promedio de  $e_u$  durante  $N$  períodos

Se determina el rango "R", que surge de la diferencia entre los niveles máximos y mínimos observados en la ecuación anterior:

---

<sup>3</sup> Como se verá más adelante, es necesario aplicar tal procedimiento dado que las series analizadas resultan leptocúrticas.

$$R = \text{Max}(X_{t,N}) - \text{Min}(X_{t,N})$$

Donde:

- $\text{Max}(X_{t,N})$  = máximo valor de  $X$
- $\text{Min}(X_{t,N})$  = mínimo valor de  $X$

A los efectos de comparar diferentes tipos de series, Hurst dividió al rango "R" por el desvío estándar de las observaciones originales. Ese "rango re-escalado" debería ser creciente con el tiempo, por lo que Hurst formuló la siguiente relación:

$$R/S = (aN)^H$$

Donde:

- $R/S$ : Rango re-escalado o rango con cambio de escala
- $N$ : Número de observaciones
- $a$ : Constante
- $H$ : Exponente de Hurst

La incógnita de la ecuación anterior es el exponente  $H$ , el cual se puede despejar fácilmente aplicando una transformación logarítmica. El valor de dicho coeficiente brinda información acerca del nivel de persistencia de la serie estudiada:

- Si  $H=0$  la serie es un *random walk* y por lo tanto podría afirmarse que se comporta en forma estocástica.
- Si  $0 < H < 0,5$  la serie presenta estructura, siendo la misma del tipo "antipersistente". Esto es, es un proceso de reversión a la media: si el valor observado representa un incremento (decremento), la próxima observación debería ser un decremento (incremento). En síntesis, la serie rompe en forma sistemática su tendencia (que en realidad no existe).
- Si  $0,5 < H < 1$ , la serie también presenta estructura, siendo la misma del tipo "persistente". En este caso, el proceso mantiene o reafirma su tendencia: un incremento (decremento) debería ser seguido por otro incremento (decremento), y así sucesivamente. Este tipo de tendencia da cuenta de la existencia de "memoria" en el proceso, la cual puede estar generada por relaciones no lineales; incluso, da la posibilidad de que la memoria que genera la persistencia de tendencias sea de largo plazo.

En síntesis, el análisis  $R/S$ :

- Es altamente robusto

- Da vista a la existencia de tendencias no lineales
- Contempla los valores extremos
- No asume distribuciones de probabilidad subyacentes
  - Un proceso con  $H = 0,5$  no implica un *random walk* gaussiano
  - Cualquier proceso i.i.d.d. (gaussiano o no) arroja un coeficiente  $H = 0,5$

### Aplicación del Test

A los fines de este trabajo, se calculará el coeficiente de Hurst como indicador complementario al análisis efectuado mediante la metodología Box y Jenkins y la aplicación del test BDS. Se esperaría lo siguiente:

- Cuando no puede ajustarse ningún modelo lineal y el test BDS no rechaza la hipótesis nula, el coeficiente de Hurst debería estar muy cercano a 0,5 (serie estocástica).
- Cuando es posible ajustar un modelo (lineal o no lineal), se esperaría que el coeficiente se ubique por encima de 0,5.

### 7.4.3. El Test NEGM

Para estimar el coeficiente de Lyapunov se aplicará el test NEGM, mediante el software LENNS (desarrollado por Nychka, Ellner y Gallart, 1997). El mismo es de distribución gratuita y su código puede obtenerse en [www-nctl.postech.ac.kr/en/sotwares](http://www-nctl.postech.ac.kr/en/sotwares).

Se asume que la serie temporal es generada por una función de la forma:

$$x_t = f(x_{t-1}, x_{t-2}, x_{t-3}, x_{t-4}, x_{t-5}) + \sigma e_t$$

Donde  $x_t \in \mathfrak{R}^1$  y  $e_t$  es una serie de variables independiente e idénticamente distribuídas (*i.i.d.*) con media cero y varianza unitaria.

LENNS estima  $f$  mediante una regresión no lineal, y usa el mapa de la función estimada y la serie  $x_t$  para estimar el exponente de Lyapunov dominante. Por ello, un posible uso de LENNS es detectar Caos en series generadas por sistemas con ruido.

Esta formulación presenta tres elementos a favor respecto a otros métodos:

1. El método permite analizar series que presentan ruido dinámico, y la estimación del exponente se refiere a dicho sistema, y no a uno en el cual el ruido fue filtrado. El método es válido incluso ante presencia de altos niveles de

- ruido dinámico. No obstante, se asume que los errores de medición son relativamente pequeños comparados con las fluctuaciones de la información.
2. El mapa de la función es aproximado mediante una red neuronal, con una sola hilera de neuronas análogas ("*hidden units*"). El número de tales unidades determina la complejidad del sistema. La salida del programa permite al usuario elegir el número de unidades en base a distintos criterios de selección, como por ejemplo "*cross validation*".
  3. La serie puede ser ajustada en un modelo que presente comportamientos periódicos conocidos.

Por último, cabe destacar que los parámetros son estimados mediante mínimos cuadrados no lineales. Las conveniencias de aplicar este método se resumen a continuación.

### **Estimación del exponente de Lyapunov mediante regresiones no lineales**

Los métodos de estimación del exponente de Lyapunov se dividen en directos y de regresión. Los métodos directos buscan pares similares de vectores de estado al interior de la serie y estiman cómo divergen las trayectorias subsecuentes. Este tipo de procedimiento es sensible al ruido dinámico, dado que las trayectorias comparadas no tendrán la misma secuencia de shocks estocásticos y divergirán por efecto del componente aleatorio aún si el exponente fuese negativo, por lo cual se obtienen sobreestimaciones del mismo.

Los métodos de regresión generan la estimación del coeficiente a través del paso intermedio de estimar  $f$  y sus derivadas. El estimador obtenido es consistente. En series cortas provenientes de "sistemas ruidosos", se han obtenido resultados más confiables utilizando métodos regresivos globales no lineales basados en redes neuronales, método que se aplicará en este trabajo. Los casos típicos de caos de baja dimensión (Henon, Rossler) son bien estimados mediante redes neuronales.

## IV. TERCERA SECCIÓN

En esta sección se presenta el análisis de situación del fenómeno analizado, de acuerdo al siguiente orden de desarrollo:

- En primer lugar se presenta una breve descripción de la dinámica del movimiento internacional de capitales (punto 8.1), mencionando algunas singularidades del contexto previo al estallido de la crisis económica internacional. Seguidamente, se sintetiza el contexto económico mundial e interno ya avanzada la mencionada crisis (punto 8.2), a los fines de contextualizar el estudio que se desarrolla en el punto siguiente.
- En segunda instancia (punto 9) se realiza el análisis específico del fenómeno estudiado: la evolución del índice Merval, desde mayo 2003 hasta la actualidad, y luego especialmente en el contexto de la crisis internacional (2008-2009). Para ello se comenzará con una descripción de las características del mercado (punto 9.1), continuando con un análisis empírico del período 2003-2010 (punto 9.2) y particular para el período de crisis (punto 9.3). Luego nos retrotraeremos al período pre-crisis<sup>4</sup> (punto 9.5) para observar la calidad predicativa de los algoritmos, finalizando con una síntesis de los resultados (punto 9.7).

### 8. Los mercados de capitales y la economía

#### 8.1.El Contexto Internacional: La dinámica del mercado de capitales

Hace no mucho más de 30 años atrás, el movimiento internacional de capitales estaba determinado por las acciones de los organismos multilaterales (BM, FMI, BID, etc.) y de los estados soberanos. La volatilidad de los mercados era baja, con tipos de cambio estables en el marco del patrón oro y donde las tasas de interés no sufrían grandes cambios (por ejemplo, la tasa de interés de Inglaterra se mantuvo relativamente

---

<sup>4</sup> Cabe destacar que, a los fines específicos de este trabajo, se denominará período "pre-crisis" al año previo de la profundización de la caída de los índices bursátiles, esto es, el año previo a agosto de 2008 (agosto 2007-agosto 2008).

constante a lo largo de un período de 100 años). Dentro de tal contexto, los instrumentos financieros eran, al menos comparados con los actuales, bastante simples.

Actualmente, el movimiento internacional de capitales está básicamente determinado *por las acciones de los fondos comunes de inversión*. Contrariamente al contexto antes descrito, los tipos de cambio son generalmente flotantes, presentando variaciones continuas, las tasas de interés cambian a menudo y en muchas ocasiones en forma casi estrepitosa, por lo cual, la principal característica de los mercados financieros contemporáneos es la **volatilidad**.

En tanto, la variedad de objetivos y cantidad de jugadores entre los fondos comunes de inversión hace que, en el marco de la globalización, la demanda de capitales sea una variable difícil de proyectar. Dicho de otro modo, los flujos de capitales se comportan con dinámicas difíciles de predecir. Como mínimo, para dar un primer paso en la comprensión de tales dinámicas, debe saberse "quién" está detrás de cada fondo, esto es, cuáles son los objetivos declarados por cada fondo y cuáles son las estrategias que aplican sus administradores. A modo de ejemplo, y para poner dos casos polares:

- **Inversores institucionales** que desarrollan estrategias conservadoras y con horizontes de largo plazo.
- **Hedge Funds (HF)** que en general desarrollan estrategias propensas al riesgo y con horizonte de corto plazo.

Otro elemento que resulta importante diferenciar para comprender más profundamente las dinámicas endógenas del mercado de capitales es la frecuencia de revisión de las posiciones de cada perfil de inversor. Los *Hedge Funds* revisan en forma casi continua sus colocaciones, incluso rearmándolas dentro de un mismo día, con el objetivo de perseguir ganancias de capital. Contrariamente, compañías de seguros de vida implementan estrategias de mediano-largo plazo, revisando las posiciones cada 6 meses o un año. Asimismo, los fondos de pensiones de beneficio definido tradicionalmente revisan sus colocaciones cada año o cada tres años. En el caso de los fondos de contribución definida, las estrategias de inversión y revisión pueden ser muy diversas, dependiendo de las necesidades de la inversión y de la "cultura" del inversor individual (por ejemplo *benchmarking vs. Absolute return focus*).

En tanto, los bancos centrales suelen focalizarse privilegiando la liquidez y aplicando políticas conservadoras (generalmente adquiriendo activos *investment-grade*).

### ¿Cambios de comportamiento?

No obstante, según el FMI (2008), en los últimos años y hasta el estallido de la crisis *subprime*, se han observado importantes cambios de tendencias: inversores institucionales han invertido en *Hedge Funds* como medio para obtener mayor rentabilidad, incluso exponiéndose a volatilidades externas (como por ejemplo, el riesgo cambiario). El período de bajos rendimientos (generado por las bajas tasas de interés en EEUU) indujo un cambio de comportamiento en este tipo de inversores, quienes comenzaron a buscar rendimientos extraordinarios ("alfa"). Esto generó que inversiones de riesgo e instrumentos alternativos entren gradualmente a portafolios antes "conservadores", permitiendo el acceso de los mismos a estrategias tales como el uso del **apalancamiento** (incluso a través de **derivados**), ventas "**a corto**", la exposición a nuevos activos (como por ejemplo **commodities**) y la inversión en activos menos líquidos (**deuda privada y mercado inmobiliario**) con el objetivo de optimizar la posición riesgo-retorno de tales portafolios.

Otro factor que genera cambios de dinámica "natural" o conocida del movimiento internacional de capitales es la "entrada" de nuevos jugadores (como por ejemplo gobiernos de mercados emergentes y fondos de riqueza soberana) producto del crecimiento de las reservas internacionales de muchos países en los últimos años. De esta forma, muchos gobiernos se han convertido en grandes inversores de instrumentos financieros, principalmente bonos y *equity*. Se estima que este tipo de fondos administran carteras que superarían los \$1,4 trillones de dólares, en su mayoría provenientes de países petroleros.

En el caso de los Bancos Centrales, se ha observado que las estrategias de inversión se han desviado del denominado "hábitat preferido". La combinación del incremento en los niveles de reservas con proyecciones de reducción de déficits fiscales ha generado que la colocación de reservas se oriente hacia activos con compensaciones de riesgo-retorno y que se diversifiquen los portafolios mediante la inclusión de nuevos activos, dejando atrás bonos del tesoro americano e incorporando *securities* garantizadas en hipotecas americanas, "US agency debt"<sup>5</sup> y otros activos nominados en dólares tales

---

<sup>5</sup> Deuda emitida por instituciones privadas bajo la tutela del gobierno de EE.UU., pero sin garantías de este último. Para brindar un ejemplo reciente, los *securities* emitidos por *Fannie Mae* y *Freddie Mac* son considerados *US agency debt*.

como bonos corporativos (con alta calificación) y deuda soberana *investment grade* de países emergentes.

En síntesis, previo al estallido de la crisis *subprime*, la combinación de todo un conjunto de factores llevó a que se funda el perfil o estrategias clásicas de los *principales* actores que marcan la evolución y las tendencias en el flujo internacional de capitales. La profundidad de los sistemas financieros desarrollados y la sofisticación de los instrumentos financieros, llevó a que los portafolios de inversión, aun de los inversores tradicionalmente “conservadores”, incluyan altos riesgos específicos, devenidos de la búsqueda de rentabilidad en el marco de un período de bajas tasas de interés.

#### **Mercado primario y mercado secundario**

En tanto, cabe introducir otra dimensión muy importante en la estructura y dinámica de mercado internacional de capitales. Básicamente, existen dos circuitos:

- El **circuito primario**, dado por los mercados desarrollados, con una gran profundidad financiera, niveles moderados de volatilidad y menores posibilidades de arbitraje
- El **circuito secundario**, dado por los mercados emergentes, con limitada profundidad, altos niveles de volatilidad y grandes oportunidades de arbitraje (posibilidad de usufructuar cuasi rentas por períodos más largos).

Cabe destacar que, a excepción de lo acaecido recientemente ante el estallido de la crisis *subprime* en el mercado americano, el circuito primario tiende a ser más estable y predecible. En cambio, el circuito secundario está expuesto a un mix de períodos de estabilidad combinados con “clusters” de altísima volatilidad, producto tanto de shocks exógenos (crisis en el mercado mundial) como también de dinámicas endógenas. Para citar un ejemplo doméstico, la caída en el precio de los bonos soberanos argentinos en agosto de 2008, fue una crisis estrictamente interna (no se observó tal depreciación en los soberanos “vecinos”) provocada tanto por un shock exógeno (venta de los bonos por parte de los bancos venezolanos, con el fin de aprovechar la ganancia contable generada por la existencia de tipos de cambio paralelos en dicho país) como por señales estrictamente internas (endógenas), siendo una de ellas la intervención del “INDEC”.

## 8.2.El Contexto Internacional: La incidencia de la crisis económica mundial

A continuación se presenta una síntesis del panorama internacional que se observaba con relación a la incidencia de la crisis financiera global en la economía de distintos países. Según el Banco Mundial<sup>6</sup>, lo que inicialmente fue una crisis financiera se convirtió en una crisis económica mundial, con las siguientes características:

- Se registraron caídas en las exportaciones y cuantiosos retiros de capital en los países en desarrollo.
- Se registró una disminución del comercio mundial en 2009 por primera vez desde 1982.
- Se redujo la inversión extranjera y el crédito a corto plazo.

De acuerdo a las últimas estimaciones del Banco Mundial, aproximadamente un 40% de un total de 107 países en desarrollo está muy expuesto a los efectos de pobreza que ocasiona la crisis, mientras que el resto está relativamente expuesto y menos del 10% se enfrenta a un riesgo leve.

Es por ello que la crisis está siendo atendida por todos los países y bloques regionales, principalmente mediante la implementación de planes de incentivos y reactivación ("salvatajes"). Según Ter-Minassian<sup>7</sup>, en general, la política monetaria ha sido la primera línea de defensa contra la crisis:

- La respuesta de los bancos centrales ha sido proveer liquidez al sistema financiero.
- Durante cierto período de tiempo el foco fue puesto en la baja de los tipos de interés de referencia, dado que las tasas de mercado continúan elevadas, reflejando posibles riesgos de pago y temor a futuras restricciones de liquidez.
- Los bancos centrales aplicaron intervenciones directas a los mercados de créditos. Por ejemplo, el balance de la Reserva Federal de EE.UU. creció u\$s 1.300 billones (9% del PIB) en 6 meses.

---

<sup>6</sup> Sitio web oficial del Banco Mundial - Información actualizada al 26/03/2009 - <http://www.bancomundial.org/temas/crisisfinanciera/>

<sup>7</sup> Fuente: Ter-Minassian, Teresa - Exposición al Banco Fator, San Pablo, Brasil, 10 de marzo de 2009.

No obstante las acciones de las Autoridades Monetarias, los gobiernos han apoyado al sector financiero con recursos del tesoro, con su consecuente costo fiscal. Las principales políticas aplicadas fueron las siguientes:

- Inyecciones de capital
- Compra de activos
- Empréstitos directos

En este sentido, muchos países han aplicado planes de reactivación económica vía estímulos fiscales, pero vinculados a la actividad real (obra pública, subsidios, etc.).

### ***América Latina***

En el caso de los países de América Latina, la crisis financiera internacional se ha propagado a través del sector real. Paradójicamente, y a diferencia del pasado, los mercados emergentes han permanecido relativamente estables, principalmente por el hecho de presentar una macroeconomía más consistente, “fundamentals” más sólidos que en el pasado, sostenidos niveles de crecimiento real y una mayor solvencia financiera. Por ello, ante el estallido de la crisis *sub-prime*, los emergentes no sufrieron el habitual impacto financiero (como por ejemplo el sufrido durante el tequila, crisis rusa, coreana, etc.). Por el contrario, el impacto fue dado por los efectos reales de la desaceleración del crecimiento mundial, lo cual generó una caída en la demanda de productos por parte de los mercados mundiales. Consecuentemente, ello puso en peligro no solamente las cuentas externas sino que además generó incertidumbre respecto a la consistencia macro-fiscal.

En síntesis, si bien en un principio se observó una cuasi dinámica de “desacoplamiento” de los países emergentes con respecto a los efectos de la crisis internacional, la misma no se ha cumplido, impactando a través de los siguientes canales de transmisión:

- La caída de la demanda interna de los países centrales impacta directamente sobre las exportaciones de los emergentes
- El colapso de los precios de los commodities afecta a los países exportadores
- Restricción de acceso al crédito y aumento del costo del financiamiento

Por su parte, el Banco Mundial<sup>8</sup>, resume las siguientes tendencias para los países en desarrollo:

- El crecimiento del PIB en 2009 bajo aproximadamente un 4,5%

---

<sup>8</sup> Sitio web oficial del Banco Mundial - <http://www.bancomundial.org/temas/crisisfinanciera/>

- Los flujos de capital privado se redujeron de US\$1 billón en 2007 a aproximadamente US\$530.000 millones en 2009.
- Se registró una disminución de las remesas que envían los trabajadores migrantes a sus países de origen.

- Cuadro N° 3.1 -  
- Síntesis del contexto económico-

Economía mundial	Argentina
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Turbulencia en mercados financieros</li><li>▪ Recesión en EE.UU y países desarrollados</li><li>▪ Desaceleración del crecimiento mundial</li><li>▪ Estabilización de la escalada de precios de commodities.</li><li>▪ Re-Apreciación del dólar</li><li>▪ Proceso de "Flight to quality"</li><li>▪ ¿Regulaciones más estrictas?</li><li>▪ Inflación mundial</li><li>▪ Emergentes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Inflación galopante</li><li>▪ Desaceleración del crecimiento</li><li>▪ Anclas nominales<ul style="list-style-type: none"><li>○ Superávit Fiscal</li><li>○ Superávit Comercial</li><li>○ Dólar estable en bandas de flotación</li></ul></li><li>▪ Vencimientos en 2009</li><li>▪ Percepciones de <i>default</i></li><li>▪ Mayor turbulencia política (post-campo)</li><li>▪ Problemática INDEC</li></ul>

Fuente: Elaboración propia

A continuación el estudio se centrará en el estudio del mercado de capitales de argentina durante la crisis económica internacional, focalizando el análisis en el mercado bursátil (Bolsa de Valores de Buenos Aires), observando el desempeño y dinámicas del índice Merval y de las principales acciones que lo componen.

## 9. La Evolución del mercado de capitales interno

### 9.1.El Índice Merval

El Índice Merval se compone de las especies que representaron el 80% del volumen en dinero operado, o transado, en los últimos 6 meses. La participación de cada especie en el Índice es proporcional al volumen operado: el papel que más haya sido operado, más peso relativo tendrá en la composición del índice.

La composición del Índice Merval es revisada trimestralmente, pero considerando siempre los montos operados durante los últimos 6 meses.

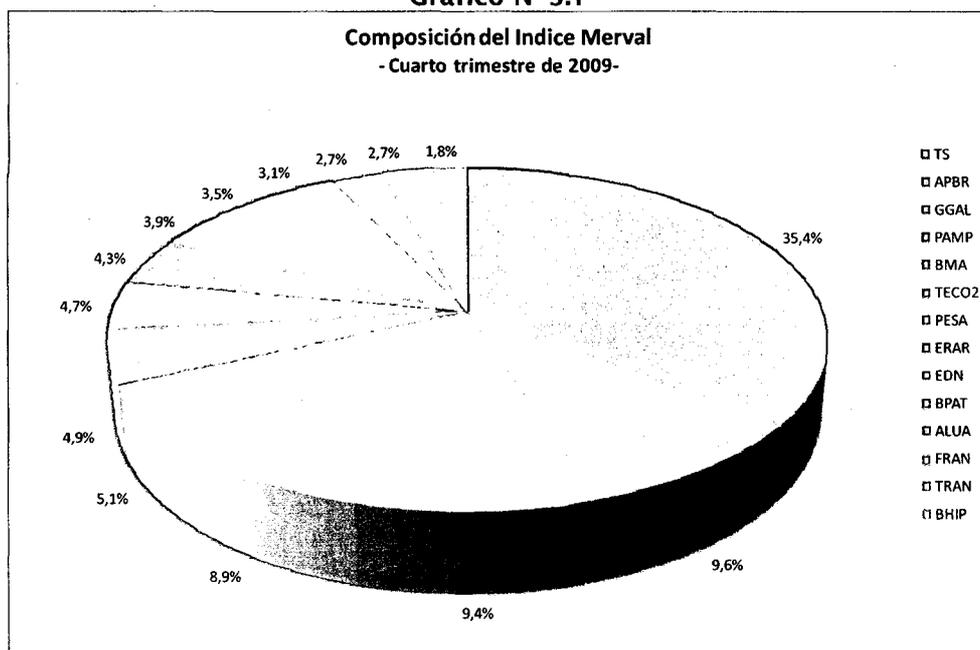
Por este motivo es que cada 3 meses ingresan o salen especies del Índice Merval, mientras otras modifican su participación.

Durante 2009, el índice estuvo compuesto por 14 especies:

1. Tenaris (TS)
2. Petrobrás Brasil (APBR)
3. Pampa Energía (PAMP)
4. Grupo Galicia (GGAL)
5. Pescarmona (PESA)
6. Telecom (TECO 2)
7. Banco Macro (BMA)
8. Edenor (EDN)
9. Siderúrgica Siderar (ERAR)
10. Aluar (ALUA)
11. Banco Patagonia (BPAT)
12. Transener (TRAN)
13. Banco Francés (FRAN)
14. Banco Hipotecario (BHIP)

Como se observa en la figura siguiente, solamente una especie representó el 35,4% del Índice Merval durante el cuarto trimestre de 2009. En tanto, las primeras cinco especies de mayor participación, concentraron casi el 70% del índice durante el período considerado.

- Gráfico N° 3.1 -



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Bolsar.

Si bien, como fue dicho, la composición del índice es variable, no se han observado cambios estructurales durante 2009 y el primer trimestre de 2010.

#### Algunas características del mercado

En relación a las características del mercado representado por el Índice Merval, puede sintetizarse lo siguiente:

- En primer lugar es un mercado poco "profundo", en el sentido de que existen pocos instrumentos de ingeniería financiera complementarios de las acciones originarias. Los instrumentos son escasos y acotados, y los niveles de integración financiera entre los distintos sectores que componen la economía son bajos.
- En segundo lugar, se trata de un mercado pequeño. Los montos intervinientes en el mercado, en términos de emisiones de capital, niveles negociados, volumen operado, etc., son escasos en términos relativos. Esto es, la cantidad de "dinero" que está puesta en el mercado de capitales interno es proporcionalmente pequeña respecto a los niveles de transacciones e inversiones de la actividad económica.

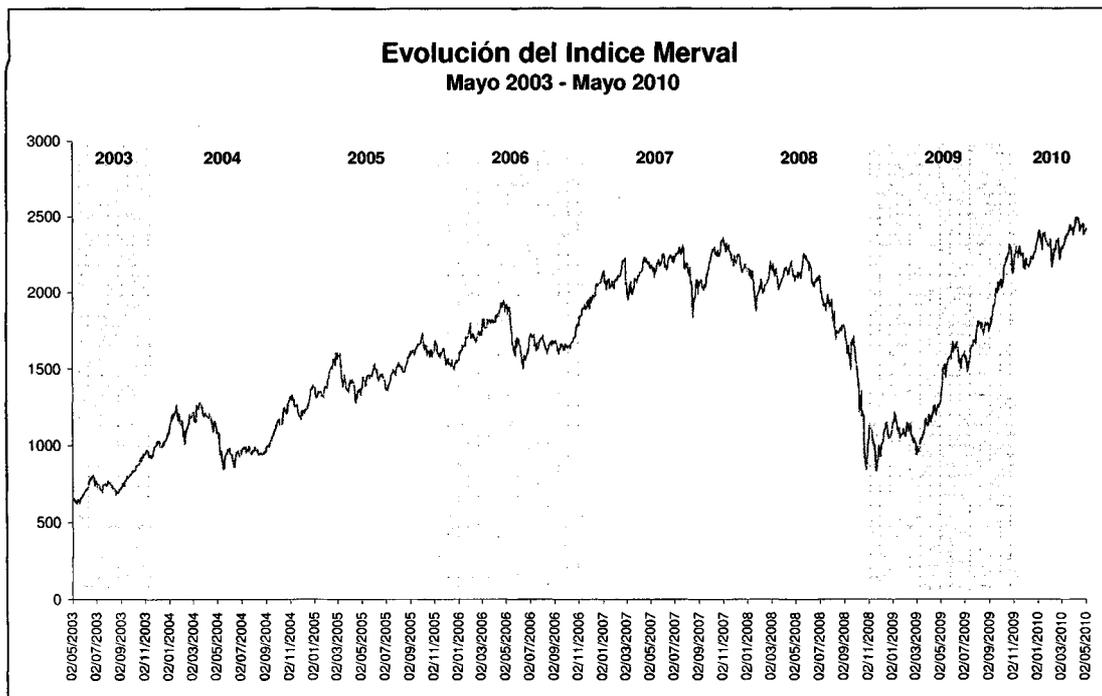
- Vinculado a lo anterior, la relevancia del mercado de capitales como vehículo de financiamiento de las actividades productivas es reducida.
- Los actores involucrados son asimismo reducidos. Un puñado de empresas, sociedades de bolsa y algunos inversores institucionales generan los movimientos en el mercado. En este sentido, los hogares, pequeñas y medianas empresas, y el conjunto de entes públicos difícilmente orienten sus ahorros y/o excedentes de liquidez hacia el mercado bursátil.
- Por último, vale destacar que, lejos de desarrollarse, el mercado ha sufrido un cambio estructural hacia octubre de 2008, dada la desaparición de las Administradoras de Fondos de Jubilaciones y Pensiones (AFJP). Estos entes eran un jugador importante en el mercado bursátil, dado que una parte de los fondos administrados eran invertidos en acciones de sociedades anónimas. A octubre de 2009, el 8,67% de la cartera global de las AFJP estaba compuesta por acciones, representando un monto invertido de \$6.763 millones (Superintendencia de AFJP).

En suma, como se verá más adelante, el conjunto de particularidades mencionadas, genera que para el análisis de la evolución de los precios y la estimación del riesgo las técnicas "tradicionales" (desarrolladas en base a la dinámica de mercados desarrollados) no sean totalmente aplicables y conlleven a cometer errores en las estrategias de inversión aplicadas.

## 9.2. Evolución del Índice Merval

En este apartado se analiza la evolución del Índice Merval, tanto en términos cualitativos como así también mediante el estudio de sus propiedades estadísticas. En primera instancia se observará la evolución desde mayo 2003 hasta la actualidad (mayo 2010) y luego se replicará el análisis para el período de crisis. En el gráfico siguiente se presenta el índice para el primer período mencionado.

- Gráfico N° 3.2 -



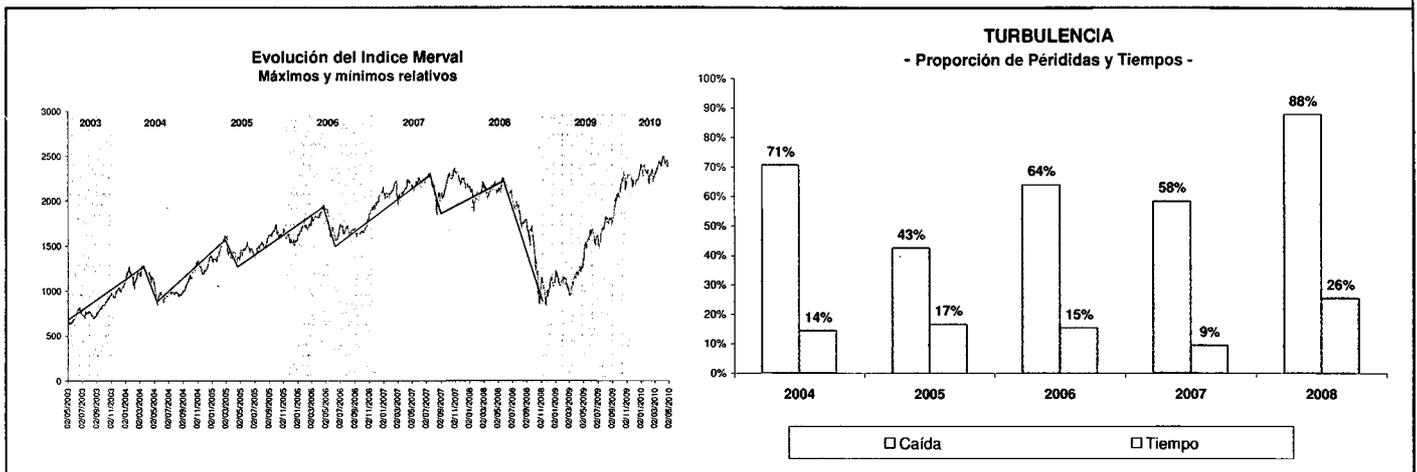
Fuente: Elaboración propia en base a datos de Bolsar.

Como se observa, prácticamente en todos los años del período se registran fases ascendentes seguidas de correcciones abruptas. Si bien existe una clara tendencia al alza desde inicios de 2003 hasta el preludio de la crisis internacional (luego de mediados de 2008), la evolución, lejos de ser parsimoniosa, resulta bastante escarpada. Esto es, en 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008 pueden identificarse dinámicas que se asocian al concepto cualitativo de turbulencia. En este sentido, la evolución al alza no resulta equivalente ni menos proporcional a lo largo de todo el período, sino que se encuentra interrumpida por caídas abruptas que, por su magnitud, no parecerían representar las clásicas correcciones de mercado generadas por toma de ganancias. El concepto de turbulencia está asociado al hecho de que las bajas tienden a estar concentradas en períodos muy cortos de tiempo (en forma altamente correlacionada), lejos de distribuirse de manera aleatoria e independiente a lo largo del recorrido de la variable.

Para dar una medida de este fenómeno, se ha ensayado un método totalmente "ad-hocrático", no obstante, grafica en forma clara y simple el concepto mencionado. El mismo se basa en identificar un punto de inicio y un máximo relativo previo a una

caída abrupta posterior. Se cuantifica entonces la ganancia acumulada en la fase alcista y el tiempo (cantidad de días o ruedas) en el cual se generó la misma; esto se lo compara con la magnitud de la baja (licuación de la ganancia anterior) y el tiempo transcurrido.

- Gráfico N° 3.3 -



Fuente: Elaboración propia

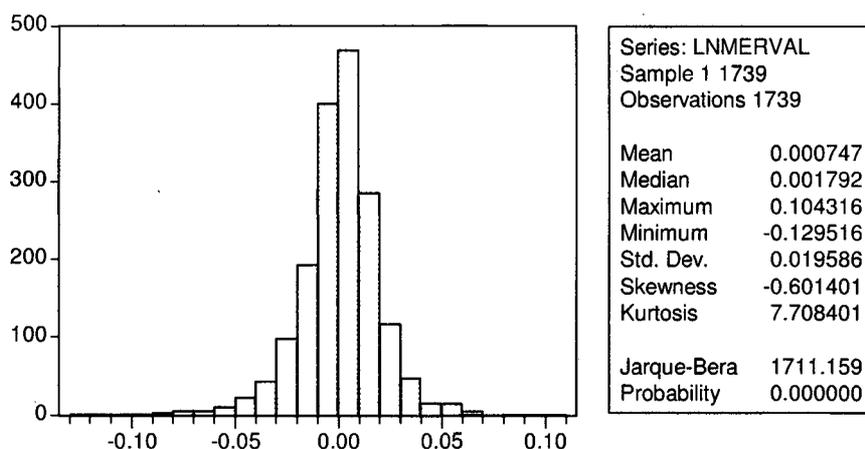
Como se observa, en el primer período seleccionado el 71% de la licuación de la ganancia se concentró en el 14% del tiempo. En tanto, en el segundo período el 43% de la baja del índice se generó en el 17% de los días transcurridos. La discrepancia vuelve a repetirse e incluso incrementarse en el resto de los períodos seleccionados:

- En 2006 el 64% de la baja se concentró en el 15% del tiempo
- En 2007 el 58% de la baja se concentró en el 9% del tiempo
- En 2008 el 88% de la baja se concentró en el 26% del tiempo

En síntesis, en todos los años se han identificado bajas abruptas, las cuales tienden a estar concentradas en períodos muy cortos en relación al tiempo que llevó la previa acumulación de ganancias. En este sentido, las tasas de decrecimiento resultan mucho mayores a las tasas de crecimiento.

Por otro lado, analizando la distribución de la serie en tasa de variación logarítmica, se observa una marcadísima tendencia a la leptocurtosis. El apuntalamiento es muy pronunciado, arrojando un coeficiente de curtosis de 7,7. Esto, sumado a la existencia de colas pesadas, hace que se refute el supuesto de normalidad. En este sentido, la hipótesis nula de normalidad es rechazada por el test jarque-bera.

- Gráfico N° 3.4 -  
- Histograma e indicadores descriptivos de la variación logarítmica del Índice Merval -



Fuente: Elaboración propia

Nótese que la escala del gráfico contiene una leve superficie más allá de 5 desvíos estándar, dando evidencia de existencia real de eventos extremos (con asimetría hacia la cola negativa). En efecto, el valor mínimo de la serie (-0,129) se encuentra a más de 6 desvíos estándar del valor medio de la distribución, constituyendo un caso extremo (probabilidad de ocurrencia nula en el marco del modelo normal).

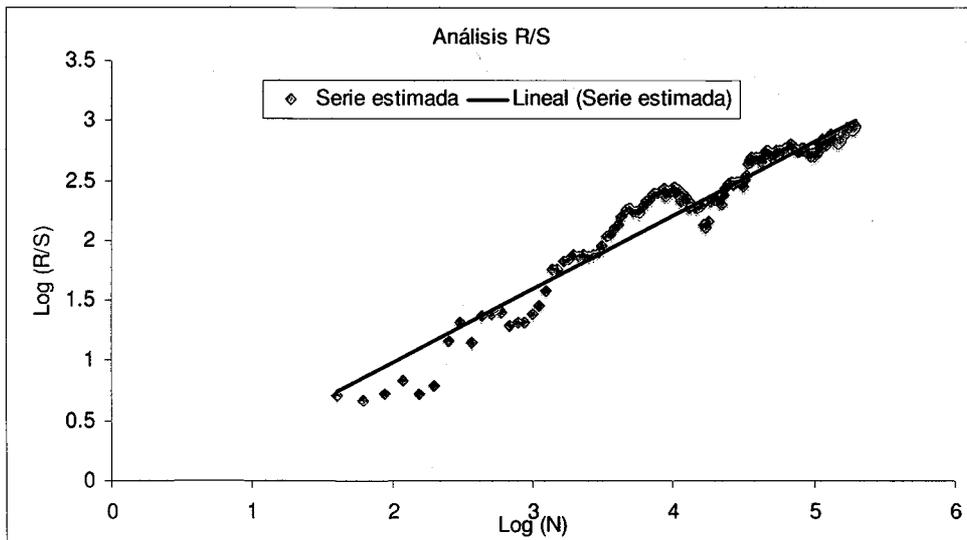
En tanto, la estimación del coeficiente de Hurst arroja un valor promedio de 0,62. De acuerdo a este valor, pueden sacarse dos conclusiones preliminares:

- En primera instancia, el fenómeno no se comporta en forma "totalmente aleatoria". Es decir, presenta cierto tipo de estructura. Esto confirma la descripción cuasi-cualitativa de subas y bajas pronunciadas antes descriptas, en el sentido de que existe un patrón que se replica en el tiempo.
- Por otro lado, el valor de coeficiente da evidencia de la existencia de persistencia en la serie temporal. Esto significa dos cosas, estrechamente vinculadas:
  - o La persistencia indica que las tendencias tienden a potenciarse en el tiempo, en lugar de ser "quebradas" en forma sistemática o ser aleatorias.
  - o Existe cierta magnitud de "memoria de largo plazo", lo cual también puede considerarse evidencia a favor de la réplica de patrones (fractalidad en sentido estadístico).

Cabe destacar que los dos puntos anteriores contribuyen a confirmar la hipótesis de turbulencia.

- Gráfico N° 3.5 -  
- Análisis Re-Escalado -

**Análisis Re-Escalado:** Estimación del coeficiente de Hurst a través de la relación lineal entre el logaritmo del rango escalado y el número de observaciones de cada sub-muestra. El ajuste de la regresión representa el mencionado coeficiente, el cual asciende a 0,62-



Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, al margen de que las subas y bajas pronunciadas y los eventos extremos se han observado aún en un período normal (contexto de crecimiento mundial y doméstico), los guarismos sin lugar a dudas están sesgados por la ocurrencia de un suceso "súper extremo", es decir, la reciente crisis financiera global. Por ello, se dedica el apartado siguiente a replicar el análisis del índice específicamente durante ese período.

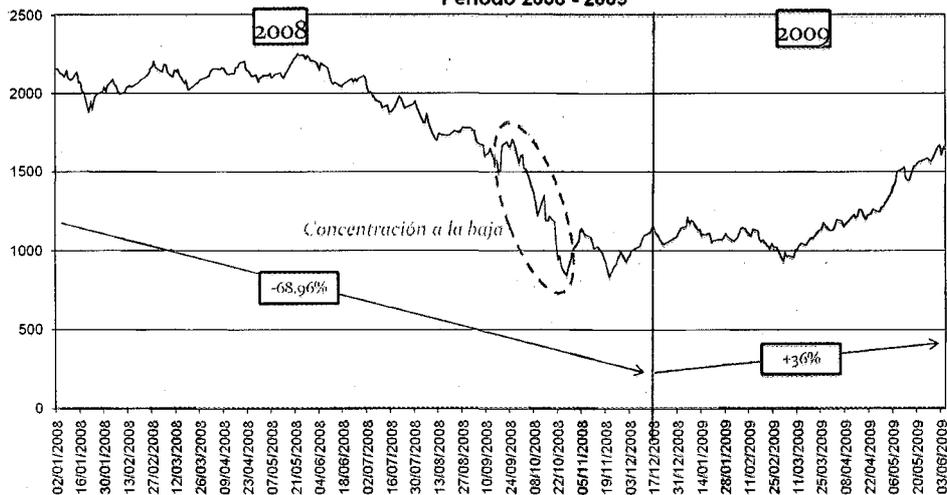
### 9.3. Evolución durante la crisis

A continuación se presenta el análisis de las características de la evolución del Índice Merval durante 2008 e inicios de 2009.

- Gráfico N° 3.6 -

#### EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE MERVAL

Período 2008 - 2009



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el gráfico y en la tabla subsiguiente, durante el 2008 el Índice Merval acumuló una baja del 68,96% medida en términos logarítmicos. El rendimiento intradiario promedio se ubicó en -0,28%, con un mínimo del -12,95% (más de cuatro desvíos estándar) y un máximo del 10,43% (3,8 desvíos estándar), los cuales representan casos de ocurrencia de eventos extremos.

- Tabla N° 3.1 -

#### - Indicadores descriptivos del Índice Merval -

CONCEPTO	VARIACIONES			DIAS
	NIVEL	PORCENTUALES	LOGARITMICA	
(1) Variación p a p	-1072.08	-49.82%	-69%	246
(2) Máximo	154.45	11.00%	10.43%	1
(3) Mínimo	-163.96	-12.15%	-12.95%	1
(4) Promedio	-4.36	-0.24%	-0.28%	
(5) Desvío	40.20	2.84%	2.87%	
(6) CV	-9.22	-11.88	-10.24	
(7) Baja acumulada	-868.21	-50.8%	-69.0%	22
(8) = (7) / (1)	80.98%		8.94%	
(9) = (3) / (1)	15.29%		0.41%	

Clustering

Fuente: Elaboración propia

En tanto, si se analiza la baja acumulada en el índice, puede apreciarse que el 80,98% de la baja total registrada durante el año estuvo concentrada en el 8,94% del tiempo (es decir, en solamente 22 días).

En este marco, se destaca lo planeado por Mandelbrot *et all* (2004), en relación al *comportamiento* del mercado de capitales y la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos:

*...el 4 de agosto de 1998 el Dow Jones Industrial Average cayó un 3,5%. Tres semanas más tarde (...), las acciones cayeron nuevamente, en un 4,4%. Y nuevamente, el 31 de agosto, en un 6,8%.*

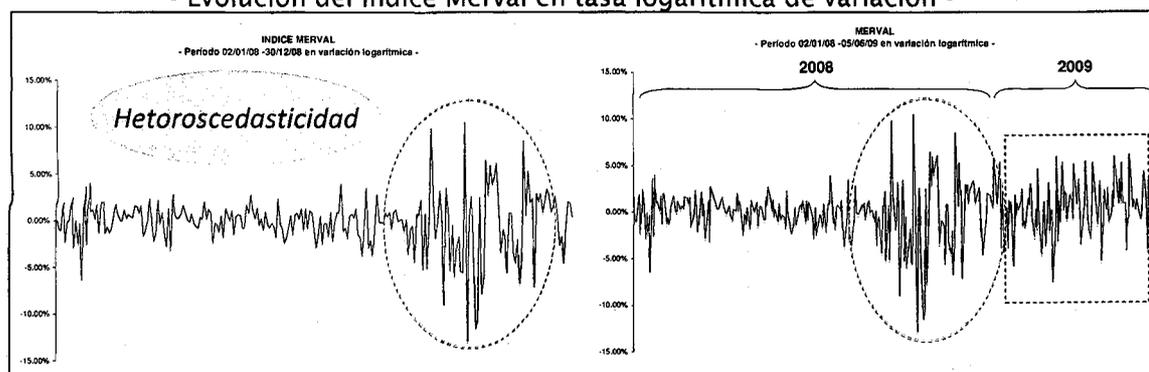
*(...)*

*Para la "sabiduría" tradicional, agosto de 1998 simplemente nunca debió haber pasado; fue, de acuerdo a los modelos estándar de la industria financiera, una secuencia de eventos tan improbable como imposible. Las teorías estándar, enseñadas en las escuelas de negocios alrededor del mundo, hubiesen estimado que la probabilidad del colapso del mencionado 31 de agosto es una en 20 millones. Las probabilidades de haber tenido tres caídas en el mismo mes eran todavía más impactantes: una en 500 billones. Seguramente, agosto había sido mala suerte, un accidente, un "acto de Dios" que nadie podía predecir. En lenguaje estadístico, era un "outlier" lejano, muy lejano de las expectativas normales del mercado.*

*Pero, aparentemente, lo improbable ocurre constantemente en los mercados financieros. Un año antes, el Dow había caído un 7,7% en un día (Probabilidad: una en 50 billones). En julio 2002, el índice registró tres caídas escalonadas en 7 días (Probabilidad: una en 4 trillones). Y, el 19 de octubre de 1987, el peor día de intercambio en por los menos un siglo, el índice cayó un 29,2%. La probabilidad de ocurrencia de tal evento, basada en las teorías tradicionales, era de menos de una en  $10^{50}$ .*

Por otro lado, la gráfica correspondiente a las variaciones logarítmicas intra-diarias muestra evidencia de heteroscedasticidad en la serie temporal, observándose un primer período de baja volatilidad y un incremento de la misma hacia el final de la serie.

- Gráfico N° 3.7-  
- Evolución del Índice Merval en tasa logarítmica de variación -



Fuente: Elaboración propia

En tanto, de acuerdo a la gráfica del histograma y al test jarque-bera, no puede inferirse que la distribución subyacente se ajuste a la normal. En síntesis, respecto al análisis del Índice Merval durante el período de crisis:

- Existe evidencia de heteroscedasticidad.
- Las bajas están concentradas en períodos muy cortos de tiempo, aún más cortos que los identificados durante el período "normal".
- Evidencia de no ajuste a la distribución normal.
- Se registra la ocurrencia de eventos extremos (variaciones mayores a tres desvíos estándar).

Como comentario preliminar, puede afirmarse que un tipo de riesgo no está dado por la volatilidad tradicional sino por la ocurrencia de eventos extremos, es decir, la evidencia empírica muestra que las caídas, lejos de ser progresivas, se concentran tanto en tiempo (pocos días, un día o incluso algunas horas) como en magnitud (caídas muy pronunciadas).

Ahora bien, las características identificadas hasta el momento también habían sido registradas durante los años previos a la crisis, si bien en forma más moderada. No obstante, a través de un testeo adicional, se ha encontrado una particularidad no observada en el período anterior: el "nivel" de turbulencia es más elevado, evidenciando la posibilidad de presencia de "caos" en la serie analizada<sup>9</sup>, de acuerdo a la estimación del exponente de Lyapunov<sup>10</sup>. Esto básicamente significa que durante el período de crisis el sistema se ha vuelto "hipersensible" a la presencia de ruido, en el

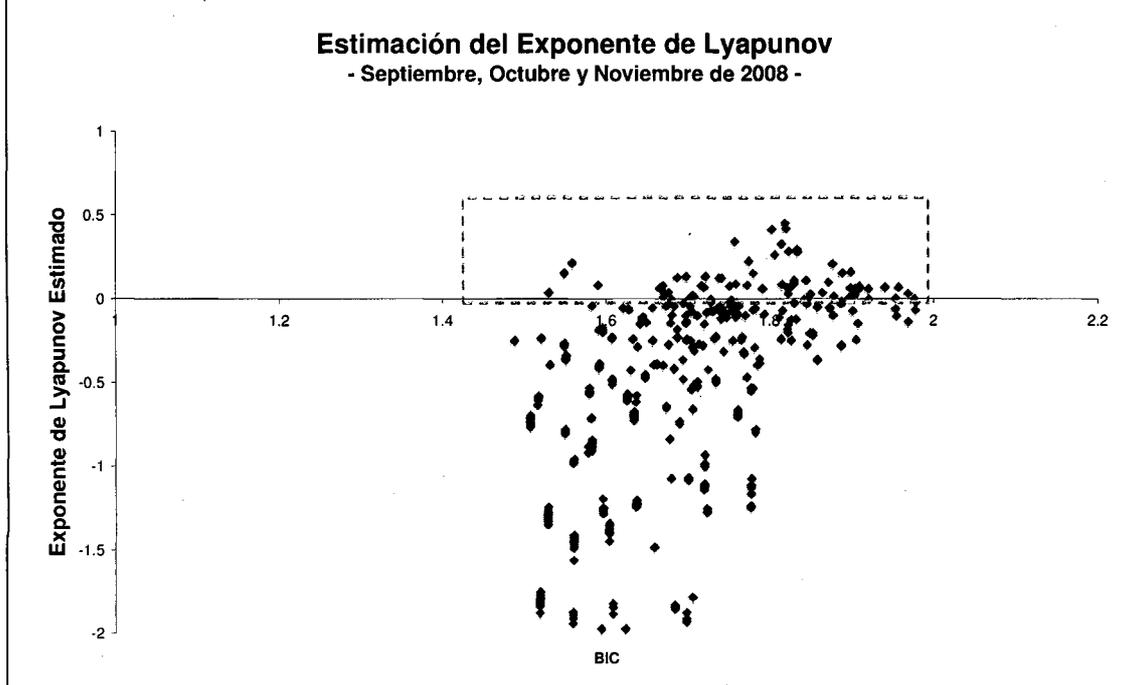
<sup>9</sup> Vale destacar que en este caso se está utilizando la definición de caos en sistemas estocásticos, tal como fue explicado en el marco teórico.

<sup>10</sup> Para la estimación del coeficiente de Lyapunov dominante del sistema se ha aplicado el test NEGM para el período agosto 2009 - noviembre 2008. Se ha analizado la tasa de variación logarítmica.

sentido de que las perturbaciones exógenas tienden a amplificarse a medida que el sistema evoluciona, generando comportamientos no periódicos con fluctuaciones pronunciadas y concentradas en períodos cortos de tiempo.

- Gráfico N° 3.8 -  
- Estimación del coeficiente de Lyapunov -

**Estimación del coeficiente de Lyapunov:** El gráfico representa las estimaciones del exponente para distintas dimensiones y rezagos del sistema. El área marcada mediante la línea de puntos evidencia la existencia de exponentes positivos, lo cual pone en evidencia la presencia de dinámica de amplificación de ruido.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a esto cabe mencionar:

- En primer lugar, el testeado realizado debe entenderse como un “ensayo”, es decir, una prueba adicional que vuelve a confirmar la hipótesis de turbulencia. No obstante, no debe entenderse como un resultado absoluto, sobre todo teniendo en cuenta que existen diversos métodos para testear la presencia de caos en series temporales, y no todos ellos arrojan los mismos resultados<sup>11</sup>. No obstante, el test aplicado es robusto ante la presencia de ruido y los resultados han sido convergentes.

<sup>11</sup> De hecho, Espinosa Méndez *et al* (2005) han confirmado la presencia de dinámica caótica en el Índice Merval con datos hasta abril de 2005, aplicando otras técnicas y algoritmos.

- En segundo lugar, de aceptarse la hipótesis de caos (al menos en el período de crisis), se genera un conflicto crucial al momento de realizar análisis de riesgo. Si durante los períodos de crisis los mercados se vuelven caóticos, las estrategias de estabilización difícilmente podrán generarse desde el propio mercado, siendo necesarias intervenciones drásticas que impacten sobre las instituciones y expectativas de los agentes (cambios creíbles en las reglas de juego). Por otro lado, hace que los modelos clásicos de estimación del riesgo sean totalmente inaplicables dada la subestimación del riesgo.

Estos resultados y sus implicancias serán analizados en la cuarta sección de la tesis. Antes de ello, a continuación se procederá a completar el estudio econométrico en algunas acciones que cotizan en el mercado argentino (también en el Índice Merval) en el período previo a la profundización de la crisis (agosto 2007 - agosto 2008). Es decir, se intentará visualizar la dinámica previa al estallido de la crisis, a los fines de evaluar la calidad de las predicciones de los modelos "clásicos" por un lado y la evidencia a favor de dinámica compleja por otro.

#### 9.4. Dinámica Pre - Crisis

En el apartado anterior se ha dado una mirada preliminar a la evolución del Índice Merval, el cual refleja la evolución promedio ponderada del conjunto de especies o acciones que lo componen. En este apartado, se analizará el comportamiento y las características de algunas acciones en particular.

En primer lugar, al calcular las "betas" en el marco del modelo CAPM para acciones pertenecientes al Índice Merval (período agosto 2007 - agosto 2008), se verifican los siguientes resultados:

- En todos los casos las betas resultan estadísticamente significativas (cuadro 1)
- No obstante, en casi la totalidad de los casos, la distribución de probabilidad de los residuos del modelo no se ajusta a la distribución normal, tendiendo a ser de tipo leptocúrtica (tabla N° 3.3 y gráfico N° 3.9). Nótese que solamente la especie Banco Francés se ajustaría a la distribución normal.

**- Tabla N° 3.2 -**  
**- Estimación de las betas de cada especie analizada -**

<b>ESPECIE</b>	<b>BETA</b>	<b>P Value</b>
ALPA	0,62254	0
ALUAR	0,760539	0
APBR	1,39527	0
COME	0,821753	0
EDN	0,878664	0
FRANCES	1,212726	0
INDU	0,744439	0
LEDE	0,952084	0
PATAGONIA	0,954405	0
TELECOM	1,156634	0

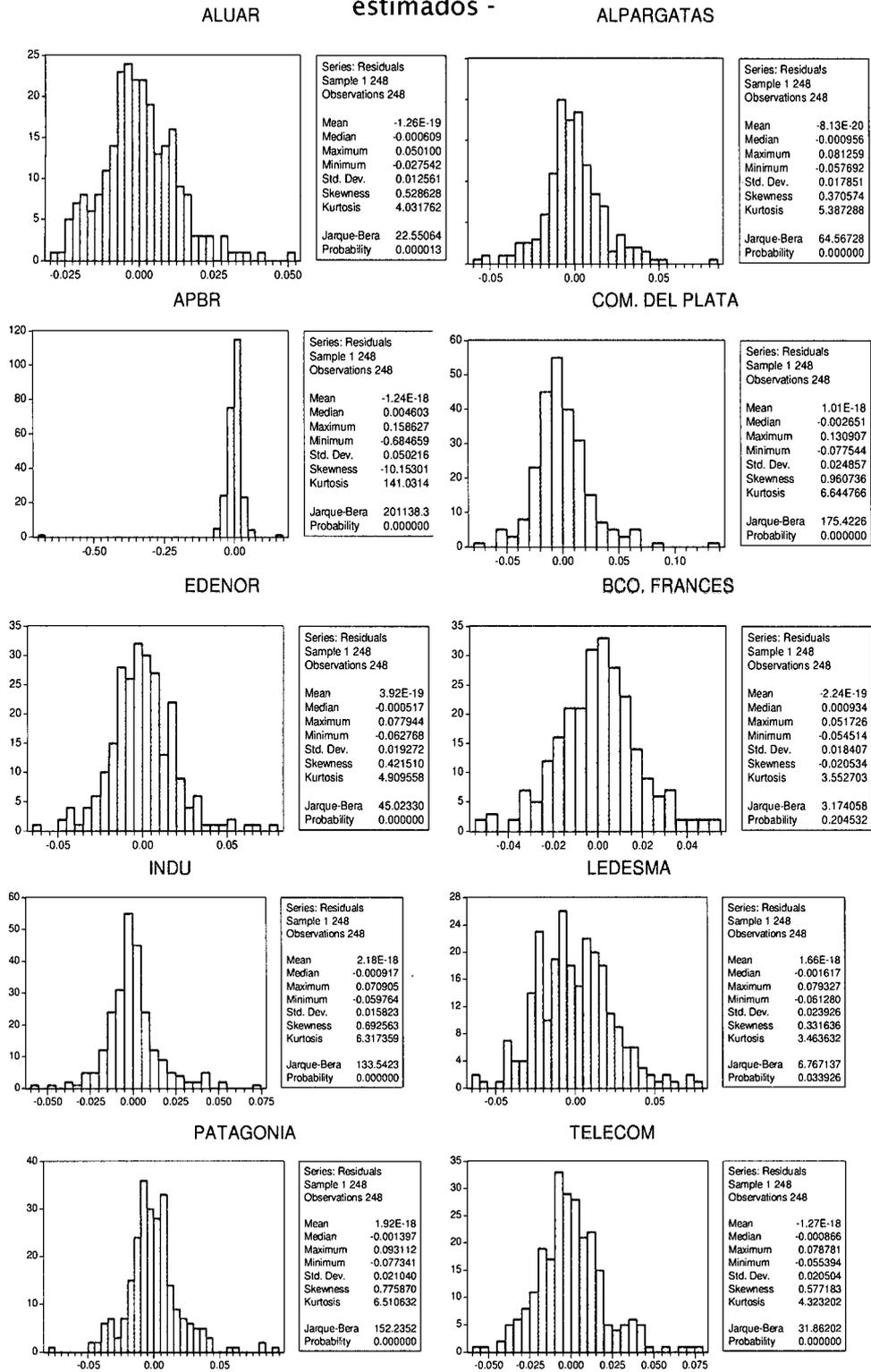
*Fuente: Elaboración propia*

**- Tabla N° 3.3 -**  
**- Test de normalidad de los residuos del modelo estimado -**

<b>ESPECIE</b>	<b>Jarque Bera</b>	<b>P Value</b>	<b>Curtosis</b>
ALPA	64	0	5,38
ALUAR	22,5	0	4
APBR	201138	0	141
COME	175,4	0	6,64
EDN	45	0	4,9
FRANCES	3,17	0,2	3,55
INDU	133,5	0	6,3
LEDE	6,76	0,03	3,4
PATAGONIA	152,2	0	6,5
TELECOM	31,8	0	4,3

*Fuente: Elaboración propia*

- Gráfico N° 3.9 -  
 - Histograma e indicadores descriptivos de los residuos de los modelos  
 estimados -



Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que al analizar las series originales<sup>12</sup>, es decir, las variaciones de los precios (en términos logarítmicos), las distribuciones tampoco se ajustan al supuesto de normalidad, tendiendo a ser también leptocúrticas.

Ahora bien, para testear más fehacientemente la existencia de dinámica compleja, a continuación se profundizará el estudio de las series analizadas. Para ello, se ensayará un método de análisis econométrico, que a través de un conjunto de algoritmos, intentará demostrar la existencia de no-linealidad, turbulencia y ruido dinámico en las series estudiadas.

## 9.5. Testeos: El análisis algorítmico

En esta sección se llevarán a cabo un conjunto de testeos para probar en forma más consistente si la dinámica de los precios de los activos e índice bajo estudio presentan propiedades de la dinámica compleja. Caso afirmativo, ello implica que las hipótesis clásicas de los mercados financieros no son aplicables, y que por lo tanto los modelos de estimación del riesgo y de predicción tradicionales pierden representatividad. Si bien esto ya fue demostrado para el Índice Merval en los apartados anteriores, aquí se intentará recolectar mayor evidencia analizando algunas acciones en particular y el propio índice pero en otro período de tiempo. Además, se ha seleccionado una muestra de un año, siguiendo la lógica que habitualmente se aplica para calcular las "betas" de un mercado.

A través de un conjunto de test econométricos se analizará lo siguiente:

- Existencia de estructura no lineal
- Nivel de persistencia de las tendencias
- Existencia de sensibilidad dinámica a perturbaciones

Para evaluar los puntos anteriores se aplicarán los siguientes tests:

- La existencia de estructura no lineal será analizada mediante el test BDS, aplicando el mismo sobre los residuos de un modelo lineal estimado, como se verá mas adelante.
- En nivel de persistencia, anti-persistencia o aleatoriedad de la serie será evaluado mediante el exponente de Hurst.

---

<sup>12</sup> Los resultados expuestos antes correspondían a los residuos del modelo de regresión lineal simple estimado para calcular las "betas".

- La sensibilidad dinámica a perturbaciones (amplificación del ruido o “caos” en sistemas estocásticos) será analizada mediante la estimación del exponente de Lyapunov, aplicando el test NEGM (sistemas estocásticos).

**La secuencia metodológica aplicada es la siguiente:**

1. En primer lugar se analizarán las series según la metodología *Box y Jenkins*. Ello se hace para detectar la presencia o no de estructuras lineales en la serie (o no linealidades leves si se ajusta un modelo de varianza heteroscedástica).
2. En segundo lugar, se aplica el test BDS sobre los residuos del modelo estimado en el punto 1. Si el test rechaza la hipótesis nula de estructura, se aceptará que la serie presenta estructura no lineal. El supuesto fundamental subyacente a este principio es que la metodología Box y Jenkins aplicada es un proceso eficiente para filtrar toda la estructura lineal que presente la serie analizada.
3. En tercer lugar, se estimará el denominado “coeficiente de Hurst”, a los fines de contrastar los resultados de los puntos 1 y 2 a partir de una técnica no paramétrica y que contempla la presencia de “memoria de largo plazo”.
4. Por último, se aplicará el test NEGM sobre la serie original (sin transformación ni logarítmica ni porcentual). Ello responde a que dicho test no paramétrico soporta la no estacionariedad y, según algunos autores, transformaciones leves que pueden romper o filtrar las dinámicas complejas que se intenta detectar.

En este caso, se analizaron el Índice Merval y las siguientes especies: Petrobrás, Banco Francés, Aluar y Alpargatas.

Las series temporales analizadas tienen las siguientes características:

1. Cotización diaria de acciones transadas en la Bolsa de Valores de Buenos Aires, al precio de cierre.
2. Muestra: anual, desde el 1 de agosto de 2007 al 1 de agosto de 2008 (252 ruedas u observaciones).
3. Todos los testeos “tradicionales” (modelos ARMA, GARCH, test BDS y coeficiente de Hurst) se aplicarán sobre la variación en términos logarítmicos.
4. El test NEGM se aplicará sobre la serie en nivel.

## 9.6. Análisis Empírico y Resultados<sup>13</sup>

### **INDICE Merval**

La serie resulta leptocúrtica (coeficiente de curtosis de 4,8) y rechaza el test de normalidad. En tanto, resulta estacionaria.

Respecto a la estructura, el mejor ajuste se logró mediante un modelo de varianza condicionada heteroscedástica. El modelo ajustado es un ARMA (1,1) GARCH (1).

Al aplicar el test BDS a los residuos del modelo estimado, se rechaza la hipótesis nula de independencia. Asumiendo que el modelo estimado “filtró” la estructura lineal de la serie, se deduce que remanece algún tipo de estructura no-lineal.

Al calcular el coeficiente de Hurst sobre la serie original, el mismo asciende a 0,66. Ello implica que existe evidencia a favor de persistencia. En tanto, el cálculo de dicho coeficiente en los residuos del modelo estimado, arroja un valor de 0,67. La similitud en el valor del mencionado algoritmo en ambas series estaría evidenciando la presencia de “memoria de largo plazo”, producto de algún tipo de mecanismo no lineal que no sucumbió ante la aplicación del filtro lineal (modelo ARIMA). En síntesis, los residuos heredaron el mismo nivel de persistencia que la presente en la serie original.

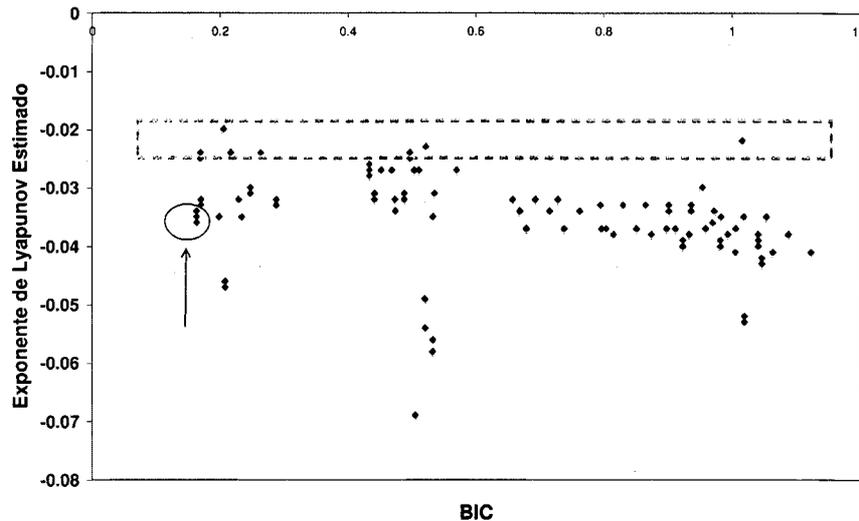
### **Test NEGM**

Al correr el test NEGM se han obtenido estimadores negativos, en todos los casos. No obstante, la mayoría de los mismos son muy cercanos a cero (oscilan entre -0,07 y -0,02). El valor óptimo según el criterio bayesiano de decisión asciende a -0,038.

---

<sup>13</sup> Los resultados de los ajustes estadísticos y algoritmos testeados son presentados en el anexo II.

- Gráfico N° 3.10-  
- Test NEGM: Serie en nivel -



En este caso, para el período analizado, no existiría evidencia a favor de sensibilidad a las condiciones iniciales.

### **ESPECIE: APBR (PETROBRÁS)**

En primera instancia, cabe destacar que la serie es estacionaria y marcadamente leptocúrtica (rechaza el test de normalidad). En tanto, resulta estacionaria según el test de Dickey-Fuller.

Respecto a la estructura de los datos, no se ha podido ajustar ningún modelo ARIMA ni GARCH, resultado coeficientes marcadamente no significativos.

De acuerdo a lo anterior, se sospecha que la serie analizada sería ruido blanco. En efecto, al aplicar el test BDS (sin y con bootstrap, dado que la serie no supero el test de normalidad), no se rechaza la hipótesis nula de independencia.

Asimismo, para contrastar lo anterior, se estimó el coeficiente de Hurst, arribando a un valor de 0,51, reafirmando el resultado antes alcanzado.

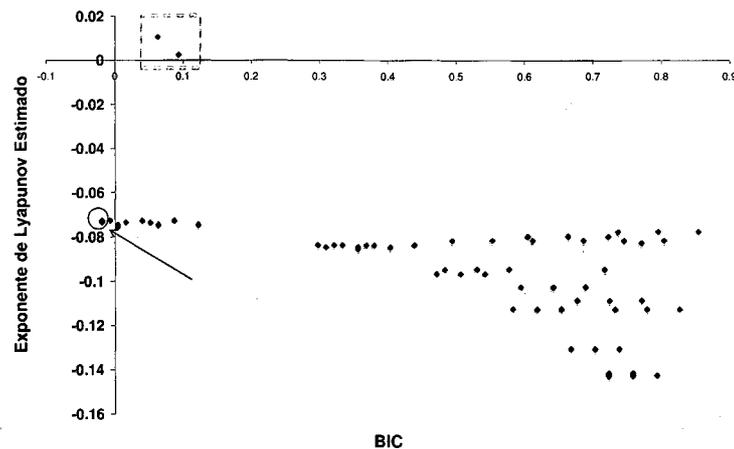
En este caso, hay fuerte evidencia de que la especie se comporte en forma totalmente estocástica, dando la posibilidad de aplicar los métodos tradicionales, no obstante

hecha la salvedad acerca de la fuerte leptocurtosis de la serie (el coeficiente de curtosis es de 97).

### Test NEGM

Al aplicar el test NEGM sobre la serie original, se han obtenido dos estimaciones con valor positivo. No obstante, el valor óptimo según el criterio bayesiano resulta negativo, pero muy cercano a cero (-0,075).

- Gráfico N° 3.11 -  
- Test NEGM: Serie en nivel -



En este caso, si bien la evidencia no es concluyente, se destaca que tampoco es totalmente negativa, dada la existencia de valores positivos y donde los negativos son cercanos a cero.

### ESPECIE: FRANCÉS (BANCO FRANCÉS)

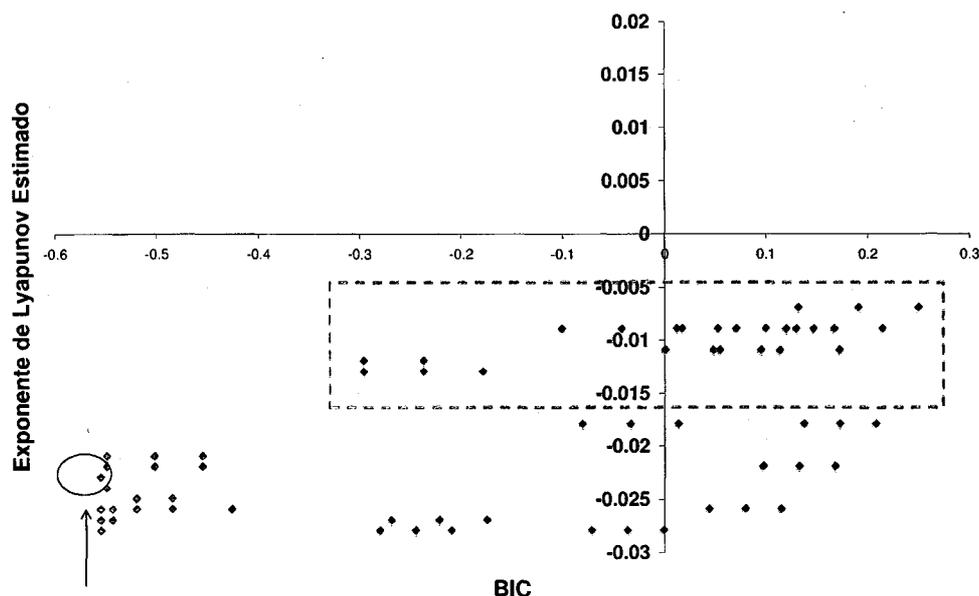
La serie es estacionaria y, en este caso, puede considerarse que la distribución de probabilidad sigue un proceso normal.

Al igual que lo ocurrido con la especie analizada en el apartado anterior, no se ha podido ajustar ningún modelo ARIMA ni GARCH. En efecto, el test BDS no rechaza la hipótesis nula de independencia y el coeficiente de Hurst arroja un valor de 0,53, por lo cual consideramos que existe fuerte evidencia a favor de que el proceso es totalmente estocástico.

### Test NEGM

En este caso, el test NEGM ha estimado todos valores negativos, aunque también muy próximos a cero (el mayor asciende aproximadamente -0,006).

- Gráfico N° 3.12 -  
- Test NEGM: Serie en nivel -



Luego, no se encontraría evidencia a favor de presencia de sensibilidad a condiciones iniciales.

### ESPECIE: ALUAR

La serie es leptocúrtica y estacionaria. Se ajusta un modelo ARMA (1,1). El componente promedio móvil se ubica cercano a la zona de no rechazo, no obstante se ha decidido mantenerlo porque de lo contrario pierde significatividad la componente autorregresiva.

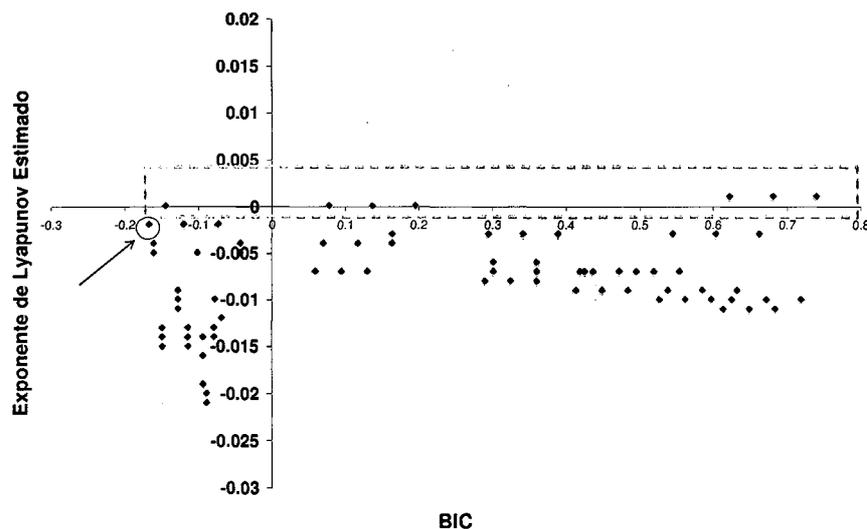
Los residuos del modelo lineal presentan estructura, esto es, se rechaza la hipótesis nula de independencia del test BDS. Esto indicaría la presencia de algún tipo de estructura no lineal remanente.

Esto se condice al aplicar el análisis re-escalado, él arroja evidencia de persistencia (aunque leve), hallándose un coeficiente de Hurst de 0,58.

### Test NEGM

El test NEGM ha estimado todo un conjunto de estimadores positivos, de bajo valor (entre 0,001 y 0,002). No obstante, cabe destacar que el solo hecho de que el estimador sea positivo implica evidencia a favor de presencia de sensibilidad a las condiciones iniciales.

- Gráfico N° 3.13 -  
- Test NEGM: Serie en nivel -



En síntesis, del análisis de este caso se desprende la posibilidad de existencia de sensibilidad a las condiciones iniciales.

Ello puede verse reforzado por el hecho de que los testeos antes efectuados arrojaron evidencia a favor de presencia de estructura, que si bien leve, puede estar siendo captada por el test NEGM. Esto es, la existencia de coeficientes positivos estaría indicando la presencia de estructuras no lineales muy complejas, con lo cual la serie tiene tendencias muy leves (como lo evidencia la poca robustez del modelo ARMA estimado el valor del coeficiente de Hurst levemente por encima de 0,5) pero tampoco llega a ser totalmente estocástica.

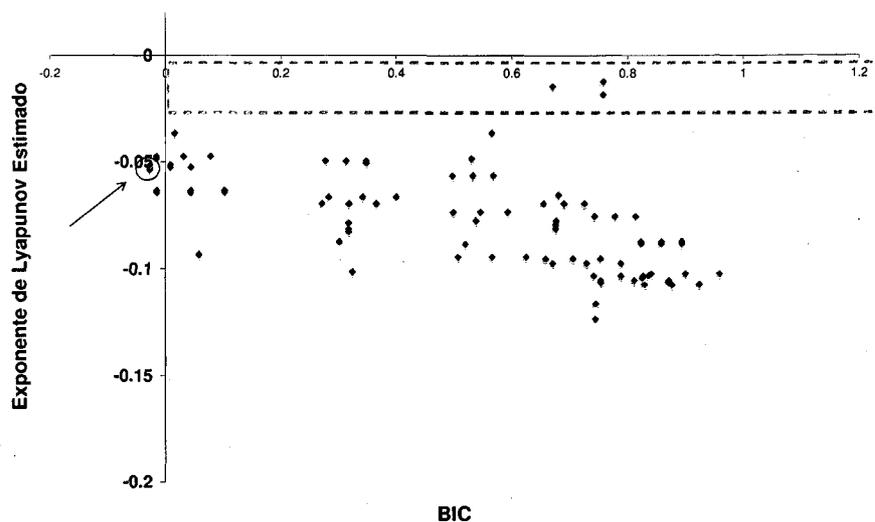
#### **ESPECIE: ALPA**

La serie es leptocúrtica y estacionaria y no fue posible el ajuste de ningún modelo lineal. Por ello, se aplicó el test BDS a la serie original, no rechazándose la hipótesis nula de independencia en la distribución. Consecuentemente, la serie se comportaría en forma totalmente estocástica. Este resultado es reforzado por el valor de la estimación del coeficiente de Hurst, cuyo valor asciende a 0,54.

### Test NEGM

En tanto, al aplicar el test NEGM no se ha hallado evidencia de sensibilidad a las condiciones iniciales.

- Gráfico N° 3.14 -  
 - Test NEGM: Serie en nivel -



### RESUMEN

En la muestra analizada se han obtenido resultados heterogéneos, los cuales se resumen en el cuadro siguiente.

- Tabla N° 3.4 -  
 - Resumen de los resultados -

	DISTRIBUCION	MODELO AJUSTADO		TEST BDS	HURST	NEGM
<b>MERVAL</b>	Leptocurtica	ARMA (1,1)	GARCH (1)	Rechaza ruido blanco	0,66	Valores negativos
<b>APBR</b>	Leptocurtica	Ninguno		No rechaza ruido blanco	0,51	Valores positivos
<b>FRANCES</b>	Normal	Ninguno		No rechaza ruido blanco	0,53	Valores negativos
<b>ALUAR</b>	Leptocurtica	ARMA (1,1)		Rechaza ruido blanco	0,58	Valores positivos
<b>ALPA</b>	Leptocurtica	Ninguno		No rechaza ruido blanco	0,54	Valores negativos

En primer lugar, se han encontrado series totalmente estocásticas (FRANCÉS y ALPA), series con estructura no lineal (MERVAL y ALUAR) y un caso "difuso" (APBR).

Por otro lado, respecto al testeo de sensibilidad a las condiciones iniciales, se han encontrado dos estimaciones del exponente de Lyapunov con exponente positivo. En tanto, en el resto de los casos analizados, los exponentes estimados están muy próximos a ser nulos; esto es, si bien son negativos se encuentran concentrados muy cerca de cero. En síntesis, si bien la evidencia no es concluyente, como mínimo las series analizadas se encuentran "al borde del caos". Cabe destacar que esto se genera en el período previo al estallido de la crisis, es decir, no se está contemplando la turbulencia de octubre y noviembre de 2008.

Respecto al caso "difuso" mencionado (APBR), en principio la evidencia parece ser totalmente concluyente a favor de que la serie es puramente estocástica. No obstante, al aplicar el test NEGM se han encontrado algunos valores positivos. Esto podría interpretarse como la existencia de relaciones lineales muy profundas al interior de la serie, que hace que para los testeos tradicionales la serie aparenta ser totalmente estocástica; pero esa evolución totalmente aperiódica podría ser fruto de la propia dinámica no lineal. Esto conllevaría a la posibilidad de encontrar un algoritmo que describa tal comportamiento. No obstante, en ese caso particular analizado, de existir tal dinámica sería de tan alta dimensión que resultaría inoperante a los fines prácticos, pero sí teniendo fuertes implicancias en términos teóricos.

Por otro lado, se ha observado un alto nivel de consistencia entre los resultados de los testeos y ajustes aplicados según tres métodos de análisis, que si bien son complementarios, utilizan técnicas independientes. Esto es, nótese que cuando no fue posible ajustar un modelo lineal, el test BDS no rechazó la hipótesis de "blancura". Además, el valor del coeficiente de Hurst en esos casos ha resultado muy cercano a 0,5, dando más sustento a la hipótesis mencionada.

En síntesis, se ha propuesto una metodología de análisis combinada para explorar la existencia de no linealidad y sensibilidad a las condiciones iniciales, siempre con el objetivo de avanzar un poco más allá de la aplicación de los modelos de ajuste tradicionales (ARIMA, GARCH, etc). Esto es, comenzar a explorar toda la información presente en las series de tiempo, incluso aquella que corresponde a dimensiones profundas, porque justamente la presencia de no linealidad estricta puede ser la que provea la información más valiosa en el ámbito del mercado de capitales.

En este sentido, si bien la información obtenida a partir de los testeos utilizados no transmite un resultado contundente en cuanto a la predicción de la baja abrupta que se estaría por generar, sí puso en evidencia la existencia de dinámica compleja y, en

algunos casos, dio señales de alerta en relación a la posibilidad de existencia de hipersensibilidad que estaban ostentando las series analizadas.

### 9.7. Síntesis de los Resultados

En esta sección del trabajo se ha desarrollado todo un conjunto de tests econométricos para profundizar el análisis de las series de tiempo de activos bursátiles más allá de la metodología Box y Jenkins tradicional.

En suma, se han analizado los siguientes períodos de tiempo y variables:

1. Serie histórica del Índice Merval, desde mayo 2003 hasta mayo 2010.
2. Período "pre-crisis": Se analizó el comportamiento del Índice Merval y 4 acciones en el año previo al estallido de la crisis económica internacional (período previo a la caída más pronunciada del índice).
3. Índice Merval durante el período de crisis

En el cuadro siguiente se resumen los resultados alcanzados en los tres casos antes mencionados.

- Tabla N° 3.5 -  
 - Síntesis de Resultados -

Serie	Aleatoriedad linealidad	Leptocurtosis Eventos extr.	Estructura Persistencia	Varianza	Turbulencia y Caos
Índice Merval - 2003-2010	NO	SI Muchos casos de eventos extremos	SI H = 0,62	Hetero	SI turbulencia NO caos
Merval y otras, pre-crisis	Un caso sobre cinco	Leptocurtosis en 4 de 5 casos.	Marcada en Merval	Hetero en Merval	Indicios de caos
Índice Merval, período de crisis	NO	SI	SI H = 0,71	Hetero	SI turbulencia SI caos

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los resultados expuestos puede mencionarse lo siguiente:

- En ningún caso se ha verificado el cumplimiento de los supuestos del paradigma normal. Solamente una acción (Banco Francés) evidencia

comportamiento estrictamente aleatorio bajo distribución normal. El resto de las series, o bien no son puramente aleatorias, o bien el modelo ajustado presenta evidencia de no-linealidad.

- En todos los segmentos analizados se evidencia la forma leptocúrtica de la distribución, con tendencia a presentar colas pesadas, dada la existencia de repetidos casos de "eventos extremos".
- Respecto al Índice Merval, en todos los segmentos analizados se ha corroborado la existencia de estructura en la serie temporal, siendo de tipo persistente de acuerdo al valor estimado del coeficiente de Hurst. Asimismo, hay una fuerte evidencia a favor de heteroscedasticidad y turbulencia (entendiendo a esta última como concentraciones de bajas en períodos muy cortos de tiempo).
- Por último, respecto a la evidencia de caos en sentido estocástico, puede resumirse lo siguiente:
  - o La serie histórica del Índice Merval no presenta dinámica caótica
  - o Durante el período "pre-crisis" hay una leve evidencia a favor de la existencia de dinámica caótica.
  - o Durante el período de crisis, el Índice Merval arroja fuerte evidencia a favor de comportamiento caótico, de acuerdo a los resultados del testeado aplicado.

Como comentario preliminar de estos resultados, vale destacar que la tendencia a la leptocurtosis no configura una particularidad de las especies que conforman el Índice Merval, sino que ha sido probada repetidamente en distintos mercados financieros. En general, como fue dicho, una de las mayores implicancias de la leptocurtosis está vinculada al incremento de la probabilidad de las "colas" de la distribución. Básicamente, esto implica que **la medida del riesgo estimada por el modelo CAPM está subestimada**. En otras palabras, el supuesto de normalidad es violado por encontrar que las variaciones muy alejadas del promedio no tienden a cero, sino que, por el contrario, suceden a menudo.

Si bien este fenómeno es conocido, dado el sinnúmero de estudios sobre las variaciones de los precios de los activos que han sido realizados sobre prácticamente todos los índices del mercado global, parecería que no ha sido totalmente contemplado en las estimaciones de los riesgos implícitos de los activos y carteras de inversión.

No obstante, los riesgos no son menores. Justamente, como fue detallado para el caso del Índice Merval, la ocurrencia de un solo evento extremo es lo que puede licuar la ganancia acumulada durante un año o varios años enteros. Esta dinámica se agudiza en tiempos de crisis, donde el incremento de volatilidad parecería tener comportamientos endógenos, esto es, volatilidad generada por la propia volatilidad, de acuerdo a la evidencia a favor de dinámica caótica.

*En síntesis, hasta el momento se ha encontrado evidencia de lo siguiente:*

- La evolución del Índice Merval evidencia las principales características del comportamiento de los mercados resumidos por Mandelbrot, a saber:
  - Turbulencia
  - No normalidad
  - Colas pesadas
  - Potenciación de tendencias
  - El riesgo de las acciones es mayor al estimado por el modelo CAPM

En síntesis, la evidencia muestra que las variables estudiadas arrojan características que en el marco teórico fueron sintetizadas dentro de la denominación “modelos complejos”. En este sentido, en la sección siguiente se interpretarán los resultados antes descriptos de acuerdo al marco teórico desarrollado, con el fin de brindar una síntesis constructiva para entender con mayor profundidad el funcionamiento de los mercados de capitales.

## V. CUARTA SECCIÓN

En esta sección se presentará una relectura de los resultados obtenidos en función del marco teórico desarrollado.

### 10. Diagnóstico: Paradigma clásico v.s. contexto observado

En la sección anterior se han desarrollado los testeos que dieron como resultado la existencia de estructuras no lineales, patrones temporales, turbulencia y, en algunos casos, caos, en las series de tiempo analizadas.

En este sentido, los resultados obtenidos mediante el análisis "algorítmico" se condicen con la descripción cualitativa de la estructura del mercado. Esto es, las características generales del mercado internacional de capitales, sumadas a las particularidades del mercado argentino, dan sustento fehaciente a la existencia verificada de dinámicas complejas<sup>14</sup>.

Por ello, a continuación se presenta el diagnóstico alcanzado acerca del conjunto de particularidades observadas en el mercado de capitales que lo encuadran casi totalmente dentro de lo que fue definido como modelos complejos<sup>15</sup> en el marco teórico de este trabajo. Con fines comparativos, se contrapone este paradigma con las características de los modelos "clásicos", que configuran las condiciones iniciales y/o supuestos que sustentan la aplicación de las hipótesis de los mercados eficientes.

---

<sup>14</sup> En el sentido de Rosser (2000).

<sup>15</sup> Desde la óptica del enfoque Santa Fe.

- Cuadro N° 4.1 -

- PARADIGMA CLÁSICO Y PARADIGMA COMPLEJO -

ENFOQUE CLÁSICO	ENFOQUE COMPLEJO
Agentes Optimizadores - Racionales Conocimiento común	Racionalidad Acotada - pluralismo cognitivo
Elevado número de participantes - Imposibilidad de identificación	Número reducido de participantes - posibilidad de identificar los mismos
Inversores homogéneos	Agentes heterogéneos - diferencias de poder
Interacción extrema: uno contra el mercado (interacción dispersa)	Estructura de red - Interacción en diversos niveles jerárquicos: Inversores institucionales, Bancos, sociedades de bolsa, inversores personales,
Imposibilidad de arbitraje	Posibilidades de arbitraje
Normalidad	Colas pesadas
Volatilidad exógena	Componentes endógenas de volatilidad
Paradigma estocástico	Patrones transitorios
Riesgo normal	Riesgos extremos
Memoria corta	Memoria de largo plazo
Soluciones consistentes: equilibrio general, parcial, de Nash	Desequilibrios, Equilibrios transitorios Emergencia
Dinámica estable	Dinámica compleja (Rosser)

Fuente: *Elaboración propia*

A continuación se comentan las características listadas en el cuadro:

**Agentes**

El paradigma clásico asume que los agentes que interactúan en el mercado son racionales y poseen conocimiento común acerca de la información disponible en ese momento. En este marco las reglas de decisión que siguen los mismos son de tipo optimizador, en el sentido de perseguir la maximización del beneficio en base a la información disponible en el mercado y a los procesos consensuados de toma de decisiones.

Por el contrario, una característica inherente a los modelos complejos es "dejar caer" el supuesto de racionalidad, es decir, se acepta que los agentes toman sus decisiones en forma plural. Esto es, aplican parcialmente las reglas consensuadas de decisión, estando sus modelos mentales afectados por creencias, miedos y lecturas "cargadas de valores".

Esta temática ha sido y es intensamente estudiada tanto en la economía en general como en los mercados de capitales en particular, en el marco de las teorías de racionalidad acotada (*Simon*) y el pluralismo cognitivo.

Esta temática es profunda y constituye una línea de investigación en si misma bajo el nombre de *Behavioural economics*. Si bien este análisis no forma parte de los objetivos de este trabajo, aceptamos la importancia crucial de la incidencia en la conducta humana (no necesariamente racional) en el devenir de las variables económicas. Por ello, la descripción de las implicancias de esta temática es presentada en el anexo III.

### **Participantes, perfil de inversores e interacción**

En el paradigma clásico los agentes son generalmente numerosos, se encuentran dispersos, sus perfiles son semejantes e interactúan en forma independiente. Esto es, cada agente (homogéneo) se desenvuelve frente al mercado. Metafóricamente, podría visualizarse al sistema como un conjunto de elementos individuales idénticos ("*son como moléculas en el estado perfectamente idealizado de un gas en la física: idénticos e individualmente insignificantes, Mandelbrot et al (2004)*") que siguen las mismas reglas de decisión y por lo tanto reaccionan en forma semejante. Un presupuesto de estas condiciones es que el mercado no puede ser afectado por la acción de un solo agente o incluso de un conjunto de ellos, sino que el mercado se ve afectado cuando la población de agentes coacciona en forma completa. Este conjunto de supuestos y condiciones iniciales permite que el modelado del fenómeno (en términos matemáticos) pueda realizarse mediante relaciones lineales apelando al uso del axioma del agente representativo. Por ello, el comportamiento del todo puede entenderse o está determinado por la acción parcial de un agente o conjunto de agentes.

Por el contrario, de acuerdo a la teoría desarrollada en el marco teórico y a lo observado en el análisis de situación, los agentes que interactúan en el mercado financiero son heterogéneos. Esta heterogeneidad se da en diversas dimensiones, como por ejemplo en el perfil del inversor (conservador, riesgoso, cortoplacista, revisor, etcétera), en el peso que el agente puede tener en el mercado (cantidad de volumen que puede negociar, disponibilidad de liquidez, etcétera). Esto hace que la evolución del mercado se vea afectada por las características de los agentes heterogéneos que están interactuando en ese momento. Por otro lado, la interacción no es dispersa ni tampoco es en la dirección agente-mercado, sino que la misma es paralela intra-agente y frente al mercado. Dicho de otra forma, reviste una estructura de red. Además de que la interacción se da en forma no lineal, los agentes revisten diferentes jerarquías en el sentido que existen agentes y meta-agentes. Por ejemplo,

en el mercado financiero puede estar operando un inversor particular interactuando en forma personal frente al mercado, pero ese mismo agente puede poseer parte de sus activos invertidos en un fondo común de inversión que también está operando en el mercado y en ese mismo momento. Asimismo, ese fondo común de inversión a su vez puede formar parte de la cartera de una institución más elevada (por ejemplo un inversor institucional). La cuestión central es que estos tres niveles de red están estrechamente vinculados, unos forman parte de otros, pero al mismo tiempo tienen una existencia en si misma, es decir, siguen pautas y reglas de inversión totalmente distintas las unas de las otras. En este sentido, la interacción es de tipo compleja y la mejor representación, como fue dicho, es el concepto red, más específicamente, una red no lineal adaptativa.

Por otro lado, en lo que respecta particularmente al mercado argentino, no existe la dispersión de agentes que puede tener un mercado más profundo sino que incluso "los jugadores" del mercado pueden llegar a ser identificados.

### **Arbitraje**

En el modelo clásico el supuesto de racionalidad, el conocimiento común y la interacción instantánea y lineal hace que las posibilidades de arbitraje sean nulas. Es decir, cuando existe una posibilidad de arbitraje el mercado la "acecha" en forma instantánea y su permanencia en el tiempo tiende a cero.

En cambio, en un modelo complejo y fundado en las distintas estrategias de inversión, perfiles y poderes de los jugadores de mercado, nuevos nichos, nuevas posibilidades se generan en forma continua. Además en el marco del no cumplimiento del supuesto del conocimiento común, las posibilidades de arbitraje de hecho existen y son comúnmente explotadas.

### **Normalidad, volatilidad exógena, paradigma estocástico y memoria corta**

En primera instancia "dada la inmensidad de variables intervinientes" el paradigma clásico ha analizado al mercado de capitales como un sistema estocástico. En general la distribución de probabilidad subyacente sobre la cual se construyen los algoritmos es la distribución normal. En este sentido los riesgos son entendidos como la desviación de los sucesos respecto del valor medio<sup>16</sup>, los cuales son acotados en el sentido que la mayoría de las variaciones no se desvían mucho más allá de dicho valor medio. Además la volatilidad es exógena, es decir, se generan dados cambios o perturbaciones que vienen por fuera del modelo (nueva información, nuevas

---

<sup>16</sup> Uno de los supuestos del modelo CAPM establece: "para tomar decisiones se mira sólo la tasa libre de riesgo y su desviación estándar".

tecnologías, cambios en precios relativos, etcétera). Adicionalmente, como el modelo es puramente estocástico, se asume que es de memoria corta en el sentido que el pasado remoto no afecta demasiado al presente. Por ello, comúnmente se acepta que la mejor estimación del precio futuro es el precio presente (recuérdese hipótesis del *random walk*).

De acuerdo a los resultados brindados por el análisis descriptivo y los testeos econométricos aplicados en la sección anterior, puede sintetizarse lo siguiente en consonancia con las particularidades de los modelos complejos:

- Las distribuciones de las variaciones del precio de los activos no ajustan a la distribución normal, siendo por lo general leptocúrticas, dando por lo tanto mayor probabilidad de ocurrencia a los eventos extremos.
- La memoria registrada en los modelos no es de corto plazo, sino que se ha verificado existencia de memoria de mediano e incluso largo plazo, a través de la estimación del coeficiente de Hurst. Además, los valores de dicho coeficiente también dan cuenta de la existencia de patrones, o mejor dicho de tendencias transitorias (persistencia o antipersistencia). Luego el fenómeno no es totalmente aleatorio.
- A través del testeo realizado para la estimación del coeficiente de Lyapunov en sistemas estocásticos se ha visualizado que existen componentes endógenos de la volatilidad. Es decir, que frente a la incidencia de un shock exógeno el sistema se ve perturbado, pero tal perturbación tiende a tener efectos permanentes en el devenir de la serie e incluso a amplificar los efectos iniciales del shock ("caos").

Todos los puntos anteriores tienen impactos sobre el entendimiento y la estimación del riesgo implícito en los mercados de capitales. Sintéticamente, la volatilidad es dinámica y tiene una mayor probabilidad de ocurrencia y una mayor intensidad de daño que lo establecido por el modelo normal y el paradigma clásico.

### **Dinámica y soluciones**

Todas las características que fueron listadas acerca del modelo clásico son lo que fundamenta el hecho que la dinámica propuesta para el mercado sea estable, convergente, esto es, tendiente a un equilibrio. En este sentido, de no haber cambios en el entorno, el sistema no tiene ninguna motivación a salir de dicho equilibrio; de haber cambios (perturbaciones exógenas) el sistema reaccionará de manera tal de volver a un equilibrio (*steady state* y/o ciclo límite estable).

Por el contrario, la situación diagnosticada en el mercado de capitales mundial y especialmente en el argentino fundamenta la existencia de dinámica compleja, es

decir, la evolución aperiódica y acotada del sistema, pero sistemáticamente inestable, la que da cuenta de existencia de equilibrios múltiples, dinámicas emergentes y patrones transitorios que no vuelven a converger al sendero inicial. En esta visión la evolución del mercado es vista como una secuencia de inestabilidades intrínsecas.

### **Implicancias**

El hecho de que un sistema estudiado caiga dentro de una u otra clasificación (características clásicas o complejas) puede cambiar drásticamente los algoritmos y estrategias a aplicar en la gestión financiera. Por ello una primera propuesta o recomendación de este trabajo de tesis es la importancia del diagnóstico del fenómeno estudiado al momento de seleccionar los algoritmos que se utilizarán para estimar el riesgo, los indicadores para determinar los momentos de compra y venta (o entrada y salida) o la estrategia general de la gestión financiera. Esto es, resulta fundamental el hecho de determinar si en el momento inicial el mercado financiero reviste más o menos matices de uno u otro paradigma. En otros términos, el diagnóstico mencionado consiste en determinar cuáles son las "condiciones iniciales" del modelo.

A modo de ejemplo si en algún momento el mercado analizado presenta características "normales" no habría objeción en el uso de las herramientas tradicionales (CAPM, Markowitz, Teoría de la cartera). Por el contrario si en algún momento se comienza a diagnosticar elementos "complejos" sería necesario rever en forma estructural la estrategia de inversión (cambio de los indicadores que conforman el cuadro de mando o tablero de control).

Aceptando que la complejidad y la volatilidad de las relaciones humanas en general y las económicas en particular se han ido incrementando y se incrementarán en el futuro, creemos que el paradigma "normal" o "clásico" será poco a poco de menor aplicación. Por ello, y con la misión de dar respuesta a los interrogantes y objetivos específicos planteados en este trabajo, se intentará sintetizar de acuerdo al diagnóstico realizado, un modelo híbrido que permita dar lineamientos mínimos y generales a la gestión financiera en contextos de incertidumbre. El desarrollo de este tema se comienza en el punto siguiente.

## 11. CONCLUSIONES

### Hacia una configuración híbrida de los modelos financieros

De acuerdo a lo desarrollado a lo largo de este trabajo, se fundamenta que el mercado de capitales puede entenderse como un sistema dinámico complejo, con dimensiones espaciales y temporales, con un inmanejable número de grados de libertad que hace que las herramientas de análisis "clásicas" (modelos deterministas reduccionistas y/o modelos estadísticos "tradicionales") sean de poca utilidad para definir estrategias de inversión en un contexto de cambio continuo.

Por ello, uno de los métodos heurísticos aplicado por la mayoría de los *practitioners* en administración de carteras de inversión, es el denominado "planteo de escenarios", el cual se basa en definir escenarios de tendencias: es decir, proyectar un conjunto de movimientos que el analista cree que van a explicar los movimientos futuros en los precios de los activos. Dentro de tales escenarios, se define el *set* de variables que se van a utilizar como indicadores de las tendencias o como luces de alerta para desarmar o rearmar posiciones (cristalizadas en un tablero de comando). En el marco de la complejidad de los mercados (sinergias entre inmensidad de variables intervinientes interrelacionadas en formas no lineales), la definición de los indicadores a incluir en el tablero de comando constituye una etapa crítica. Es decir, en el marco de los modelos complejos, una variable no incluida en el modelo (o bien porque en otro escenario pasado no influyó o influyó poco, o bien por desconocimiento del analista) puede ser justamente la que cambie la evolución del fenómeno subyacente. A modo de ejemplo, la entrada de un *hedge fund* a un mercado puede ser lo que defina una rueda (entrada que no la tenía contemplada en el modelo de información que se estaba aplicando). Dicho de otro modo, una variable que en algún momento fue descartada por no agregar capacidad explicativa o predictiva, puede pasar a ser determinante en otra situación justamente porque el contexto, entorno o escenario cambió.

Dentro de tal marco, uno de los métodos aplicados es el ajuste continuo de escenario, lo cual significa no solamente revisar las tendencias sino también revisar las variables (parámetros o variables estáticas) seleccionadas para construir el modelo.

En este sentido, el análisis de escenario tiene como objetivo la anticipación: vislumbrar la tendencia y operar anticipándose a la misma. Respecto a esto, cabe destacar que la realización de una tendencia está estrechamente relacionada con la cuestión de las expectativas, más específicamente, con el consenso que el mercado tenga de la

misma. Esto es un punto fundamental; difícilmente una tendencia no consensuada terminará realizándose. Yendo aún más allá, puede afirmarse que los efectos manada parten de un consenso sobre una determinada evolución esperada del mercado.

Respecto a la idea de expectativas y consenso, cabe mencionar que, en muchos casos, los precios de los activos tienden a ser fijados en los mercados de mayor liquidez, los cuales habitualmente son los mercados de futuros o especulativos. De acuerdo a esta lectura, los precios de los activos y *commodities* no se definen “*spot*” (cuando se hace la transacción), sino en el mercado de futuros. Según Masters<sup>17</sup>, los precios futuros de los *commodities* son el *benchmark* de los precios *spot* de los bienes físicos. De este modo, la especulación empuja los precios futuros al alza, afectando los precios *spot* y la economía real. El especialista sostiene que, en el caso de los *commodities*, existe un vínculo directo entre los precios futuros y los precios de los activos físicos transados en los mercados *spot*.

Siguiendo la idea anterior, el precio de un activo estaría definido por las expectativas que los agentes tienen sobre el futuro. Dicho de otra forma, el precio presente se define por lo que los agentes creen que va a ser en el futuro. Aceptando el marco anterior, para anticipar las tendencias del mercado (anticipar la cristalización de los precios *spot*) debe conocerse cuál es la creencia del conjunto del mercado acerca de cuál debería ser el precio del activo dentro de un plazo determinado.

Luego, al momento de analizar fenómenos financieros, pueden sintetizarse tres grandes marcos (no estrictamente taxativos):

1. El pasado predice el estado futuro: análisis estadístico o econométrico (modelos con memoria)
2. El pasado no influye sobre el futuro y la mejor estimación del precio del activo en  $t+1$  en su precio en  $t$ : hipótesis del “*random walk*”: análisis estocástico.
3. El futuro determina el presente: Son las expectativas sobre el futuro las que determinan el precio presente o del futuro inmediato. Teoría del comportamiento.

La habilidad del analista estará relacionada con la identificación de cuál de los tres marcos anteriores será el más apropiado para evaluar el activo bajo análisis o el contexto bajo análisis. En función del marco seleccionado se aplicarán los modelos matemáticos correspondientes.

---

<sup>17</sup> Managing Member/Portfolio Manager – Masters Capital Management, LLC.

La propuesta descripta implica adoptar un método puramente heurístico para abordar el análisis del mercado de capitales, haciendo uso de modelos híbridos, mediante la combinación del conocimiento empírico y la aplicación de herramientas matemáticas que hagan loable la replicabilidad del marco analítico.

No obstante la aceptación de la existencia de todo un abanico de modelos, pueden definirse tres grupos de variables estructurales que no deben ser excluidas en ningún análisis acerca de los movimientos en el flujo internacional de capitales:

- a. Rendimiento de los activos intrínsecos
- b. Expectativas sobre los tipos de cambio
- c. Tasas de interés

Respecto al primer grupo, es necesario tener siempre presente los activos subyacentes que conforman una cartera de inversión. Esto es, la sofisticación y profundización financiera ha generado que, en muchos casos, se pierda la percepción acerca de cuáles son los factores fundamentales que terminarán influyendo sobre la valuación de la misma, esto es, cuáles son los activos que finalmente son propiedad de la cartera, que en muchos casos son estructurados en forma de *securities*, derivados y otros productos menos tradicionales (índices de materias primas, *swaps*, estrategias de *carry trade*, etc.).

La cuestión de las expectativas sobre los tipos de cambio está relacionada con el hecho de que, al adquirir un activo nominado en una moneda determinada, interactúan dos fenómenos en la determinación del rendimiento del mismo:

- Rendimiento o evolución del tipo de cambio (riesgo cambiario)
- Rendimiento del activo subyacente (riesgo propio del activo)

Por ello, en cualquier estrategia de inversión, resulta importante la determinación de cuál es la moneda en la cual se valorará la riqueza, es decir, en qué moneda se medirán los rendimientos, para en función de ello diseñar la estrategia de inversión.

Con respecto al punto c cabe una mención especial, dado que antes no era tan influyente, es decir, la tasa de interés no tenía un impacto tan fuerte en el mercado de capitales. La diferencia es que, actualmente, muchos fondos de inversión aplican estrategias de apalancamiento, endeudándose para invertir en activos financieros. Por ello, se genera una relación inversa entre la tasa de interés y la demanda de activos financieros: ante bajas en la tasa aumenta el flujo de capitales que se aplica en activos de mayor riesgo. Esto genera un riesgo adicional, dado que posibles incrementos en la

tasa (aumento del costo del financiamiento) pueden generar que no se pueda repagar la deuda previamente contraída. Vinculado a esto resulta oportuno citar a Soros (2008): “ (...) *para que se desarrollen procesos de auge y crisis debe haber alguna forma de crédito o de apalancamiento (...)*”.

En síntesis, la dinámica que fue observada en el contexto previo a la crisis es que bajas en la tasas de interés generan aumentos de demanda de fondos para aplicaciones financieras, pero como la oferta no ajusta en forma automática, se generan presiones al alza en los precios de los activos. Bajo esta secuencia, los procesos de revalorización financiera tienen que ver con la liquidez, asociada a bajas en los niveles de tasas de interés o expectativas a la baja de la misma.

Por otro lado, respecto al estudio del riesgo de los activos, se ha mostrado que la medición de la volatilidad a través de los modelos “clásicos” no genera estimaciones confiables ni en tiempos normales y menos aún en tiempos de crisis. En este sentido, vale recordar nuevamente uno de los supuestos habituales del modelo CAPM: “para tomar decisiones se mira sólo la tasa libre de riesgo y su desviación estándar”. En este sentido, parecería que la varianza constituye el indicador *per se* del riesgo. No obstante, el concepto mismo de varianza está estrechamente vinculado a la existencia de un valor medio, lo cual, en un sistema dinámico, necesita de la hipótesis de estacionariedad para darle sentido. Pero si se acepta la hipótesis de turbulencia, la cual ha sido verificada en el estudio realizado en este trabajo, los procesos pasan a ser dinámicamente inestables, dejando de tener sentido el concepto de valor medio (o “*steady state*”). Lejos de ser un tema menor, la modelización de la volatilidad constituye uno de los principales desafíos de la valuación. Por ello, de acuerdo a lo expuesto en el análisis empírico, puede resumirse:

- Los indicadores tradicionales, tales como la varianza y los coeficientes de sensibilidad calculados mediante regresiones lineales simples (“betas” de los modelos CAPM, APT, etc.) dan estimaciones confiables en períodos “normales”. Por ello, debería desestimarse su aplicación en el circuito secundario, en períodos de inestabilidad o en mercados que presentan una gran heterogeneidad de participantes.
- Indicadores alternativos de volatilidad: Los indicadores de volatilidad alternativos al uso de la varianza aplicados en este trabajo son los coeficientes de Hurst y Lyapunov. Entre sus ventajas, se destacan las siguientes: indican eventos extremos, cambios de tendencias y estados de sobreración a perturbaciones exógenas.

Contras: solamente dan indicio de eventos turbulentos, sólo dan indicación de salida del activo (no permite cuantificar en términos comparativos).

- Si  $0 < H < 0,5$  la serie es antipersistente: indica la existencia de una estructura de volatilidad. Regla de decisión: valores en este rango son un indicador de salida del activo. Cuanto más cercano a cero, peor.
- Si el exponente de Lyapunov es mayor a cero, da indicios de hipersensibilidad del proceso ante perturbaciones exógenas, aún cuando las mismas sean muy pequeñas (infinitesimalmente pequeñas). Regla de decisión: salida del activo.

En síntesis, en virtud de la complejización del mundo económico en general y el financiero en particular, debe apelarse al uso de modelos híbridos, es decir, aquellos que mezclan el análisis conceptual y fenomenológico (estrategia como proceso cognitivo) con la aplicación de algoritmos formales. En esta línea, en el cuadro siguiente se puntualizan las dimensiones fundamentales que deben ser tenidas en cuenta al momento de diagnosticar y construir un modelo o estrategia de inversión financiera.

**- Cuadro N° 4.2 -  
 - DIMENSIONES PARA CONFIGURAR UN MODELO FINANCIERO -**

<b>MODELOS FINANCIEROS</b>	
<b>Profundidad del mercado</b>	<b>Jugadores</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Alta</li> <li>○ Baja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Homogéneos</li> <li>○ Heterogéneos</li> </ul>
<b>Variables Macro</b>	<b>Visiones Analíticas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rendimiento activos intrínsecos</li> <li>○ Expectativas sobre los tipos de cambio</li> <li>○ Tasas de interés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Modelos con memoria</li> <li>○ Random Walk</li> <li>○ Expectativas</li> </ul>
<b>Algoritmos</b>	<b>Circuito</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Varianza (períodos "normales")</li> <li>○ Test de normalidad</li> <li>○ Coeficiente de Hurst</li> <li>○ Exponente de Lyapunov</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primario</li> <li>○ Secundario</li> </ul>
<b>Comportamiento</b>	<b>Estructura</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Racionalidad - optimización</li> <li>○ Racionalidad acotada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Independiente</li> <li>○ Red</li> </ul>

*- Fuente: Elaboración propia -*

En este sentido, es radical analizar las variables listadas para realizar un diagnóstico. A modo de ejemplo, se presenta el diagnóstico del entorno del paradigma clásico:

- **Profundidad del mercado:** Alta
- **Jugadores:** Homogéneos
- **VARIABLES Macro:** Rendimiento activos intrínsecos - tasa libre de riesgo
- **Visiones Analíticas:** *Random walk*
- **Algoritmos:** varianza
- **Circuito:** Primario
- **Comportamiento:** Racionalidad - optimización
- **Estructura:** Independiente ("agentes moleculares")

La situación diagnosticada, que no es más que el establecimiento de los supuestos o "condiciones iniciales" de modelo, es lo que da la posibilidad de aplicar algoritmos simples y utilizarlos como regla de decisión. En el paradigma de los modelos estables, un cambio no drástico en los supuestos no debería afectar drásticamente los resultados del modelo (y por ende la regla de decisión). Esto es, la "reconfiguración" del modelo se genera solamente cuando el cambio en el supuesto genera la no aplicabilidad del mismo. Sin embargo, en general, el eje de la modelización está basado en la constancia de tales estructuras, las cuales se consideran invariantes durante el período estudiado, analizando principalmente la evolución de la variable.

No obstante, en el marco del paradigma complejo, la influencia del entorno es determinante. Se acepta que no existen parámetros en el sentido clásico, sino variables estáticas que deben ser revisadas en forma continua. En el marco de un sistema dinámico complejo, cambios no drásticos en los supuestos pueden generar reacciones muy grandes en la variable analizada. Por ello, el método aplicado es la revisión continua de escenarios y factores intervinientes. La situación puede ser calma en períodos normales (léase de estabilidad macroeconómica) pero se hipersensibiliza en períodos de crisis.

En el marco del análisis clásico, la regla de decisión dada por el resultado del modelo (a través de la aplicación de algoritmos) se encuentra supeditada a la constancia de los parámetros del mismo (suponiendo el cumplimiento de la propiedad de robustez). Existe una cadena de causalidad.

En un modelo híbrido no se mira solamente la variable, se mira el entorno. Los resultados son interpretaciones basadas en lecturas parciales del resultado de algoritmos, sujetos a la idea de sensibilidad a los cambios en el entorno. Se rompe la cadena de causalidad. Este paradigma, dado la pérdida de precisión en los resultados,

es loable de aplicación en aquellos contextos que son diagnosticados como complejos, o bien en períodos de crisis o incertidumbre.

En síntesis, el modelo híbrido significa no decidir de acuerdo al resultado del algoritmo, sino interpretarlo en el marco de la evaluación del contexto observado. Teniendo en cuenta que en contextos de crisis:

- **"Nada es constante"**
- **Los patrones cambian en forma estrepitosa (turbulencia)**
- **Los agentes son "hipersensibles"**
- **En emergentes, el colapso macroeconómico fagocita las mediciones del riesgo microeconómico**

De acuerdo a lo anterior, una de las recomendaciones más importantes que emana del análisis realizado a lo largo de este trabajo, es que tal vez la estrategia no esté en mirar solamente el rendimiento esperado (y su desvío estándar): **evitar los riesgos extremos es lo que más defiende la valorización de la cartera en el largo plazo.**

Es decir, **el mayor riesgo está dado por una situación inesperada, que lejos de tener efectos moderadamente nocivos, tiene efectos colosales sobre la valuación.** En palabras metafóricas de Taleb, respecto a tales situaciones: *"Primero, es una rareza, pues habita fuera del reino de las expectativas normales, porque nada del pasado puede apuntar de forma convincente a su posibilidad. Segundo, produce un impacto tremendo. Tercero, pese a su condición de rareza, la naturaleza humana hace que inventemos explicaciones de su existencia después del hecho, con lo que se hace explicable y predecible".*

Ahora bien, tales eventos difícilmente puedan ser predichos en forma implícita por el propio compartimiento de la serie, al menos con un nivel mínimo de anticipación. Es decir, como fue mencionado, es casi imposible que un algoritmo pueda dar señales de la ocurrencia de eventos hiper-extremos<sup>18</sup>. Por ello, se ha hecho especial referencia al **análisis contextual, dando una importancia crucial al entorno en la modelización financiera.** Esto implica reconocer la **limitación de los modelos matemáticos por un lado y asumir que difícilmente la estrategia seleccionada trabajará en un óptimo, dándose casos de equilibrios múltiples, oportunidades de arbitraje y dinámica fuera del equilibrio.**

---

<sup>18</sup> Nótese que en la sección 3 de este trabajo, el testeo de comportamiento caótico dio resultados favorables consistentes solamente **durante** el período de crisis, pero no antes.

## 12. SÍNTESIS y CONCLUSIONES

*"Es mejor ser aproximadamente correcto que estar certeramente equivocado"*  
*Benoit Mandelbrot*

Se ha intentado resumir en forma sintética la problemática asociada a la aplicación de las herramientas estadísticas tradicionales y de los modelos reduccionistas para el análisis de un sistema complejo como es el mercado internacional de capitales o las finanzas en sí mismas.

Se ha hecho mención a la tendencia a la complejización de los productos financieros, combinada con los cada vez más heterogéneos perfiles de inversión y los cambios de hábitat de inversores conservadores.

Respecto a la evolución empírica de las variables analizadas (el Índice Merval y las variaciones de los precios de un conjunto de acciones) se ha mostrado la existencia de heteroscedasticidad, ocurrencia de eventos extremos y turbulencia. En tanto, mediante un conjunto de testeos econométricos, se ha encontrado evidencia a favor de existencia de estructuras no lineales e incluso caos en las series analizadas.

De acuerdo a lo anterior, se han corroborado las críticas esbozadas a la teoría financiera clásica en el caso del mercado argentino. Asimismo, en correspondencia con lo presentado en el marco teórico, se ha caracterizado al mercado financiero como un sistema complejo de acuerdo a los parámetros establecidos por el enfoque "Santa Fe".

En este sentido, se ha comentado la pérdida de aplicabilidad de las herramientas clásicas, acotadas a condiciones iniciales muy específicas, advirtiendo la tendencia a observar dinámicas complejas en forma cada vez más recurrente. Una de las principales consecuencias de ello, es el cambio de concepto al momento de modelar la volatilidad, para lo cual se han propuesto algoritmos alternativos a la varianza.

Asimismo, aceptando que en última instancia es la conducta humana la que define la evolución de las variables económicas en general y financieras en particular, y coincidiendo que la toma de decisiones no sigue una pauta totalmente racional, se ha destacado la limitación del uso de modelos formales (conformados básicamente por algoritmos) para la toma de decisiones.

Frente a tal contexto, se ha propuesto la aplicación de un modelo híbrido, que se basa en realizar un diagnóstico de ciertas condiciones iniciales básicas y fundamentales y proceder a proyectar escenarios de tendencias con ajustes permanentes de las tendencias observadas. Como lineamiento fundamental, se propuso la visión de la inestabilidad sistemática, donde el paradigma "normal" debe ser entendido como un caso específico y no una tendencia estructural.

Dentro de tales modelos, como mínimo, es necesario tener en cuenta los elementos fundamentales:

- Las variables rendimientos de los activos, expectativas sobre los tipos de cambio y tasas de interés.
- Las características o perfiles de los principales "jugadores" del mercado.
- La visión analítica mediante la cual se analizarán los fenómenos micro.
- El circuito en el cual se aplicará el modelo, aceptando la existencia de diferencias bien marcadas en las dinámicas de los mercados emergentes y los desarrollados.
- La estructura del mercado, en el sentido de independencia o interacción en forma de red
- Los algoritmos utilizados para modelar la volatilidad, teniendo en cuenta sus potenciales y flaquezas.

Integrar los elementos mencionados constituye un importante desafío, pero implica realizar un avance sustancial en la construcción de modelos financieros, avanzando en la comprensión de los denominados "sistemas complejos". Por ello, es necesario profundizar el estudio y la aplicación de nuevas áreas de conocimiento, que si bien han sido desarrolladas, aún no se encuentran totalmente establecidas ni dentro de la comunidad científica<sup>19</sup> ni dentro de la actividad profesional. A modo de ejemplo, a continuación se enuncias algunas áreas:

- Dentro del campo estadístico:
  - la teoría de los valores extremos
  - la aplicación de distribuciones de "colas anchas"
  - la aplicación de los "vuelos de Levy"
  - la metodología de cópulas
  - el análisis de fractalidad

---

<sup>19</sup> Uno de los principales motivos es que aún no se ha propuesto una teoría general de los sistemas complejos.

- la aplicación del movimiento browniano fraccional
- Dentro del campo de la modelización dinámica:
  - La aplicación de la dinámica no lineal con sensibilidad a las condiciones iniciales (teoría del caos)
- Dentro del campo de la teoría del comportamiento:
  - "Behavioral economics" (racionalidad acotada, modelos mentales y neuroeconomía)

Independientemente del instrumento seleccionado, se entiende que el denominador común entre los campos listados está dado por un cambio en la visión, un cambio en el entendimiento del mundo y sus fenómenos, aceptando las limitaciones de los modelos formales y forjando la construcción de una academia menos mecanicista. Para finalizar, creemos oportuno citar a Ilya Prigogine (1979), precursor indiscutible de esta línea de pensamiento:

Estamos avanzando hacia nuevas síntesis, hacia un nuevo naturalismo, que combinaría la tradición occidental, con su énfasis en las formulaciones experimental y cuantitativa, con la tradición china dirigida hacia una imagen del mundo auto-organizándose espontáneamente. Cada uno de los grandes períodos de la ciencia ha llevado a algún modelo de naturaleza. Para la ciencia clásica fue el reloj; para la ciencia del siglo XIX, el período de la Revolución Industrial, era una máquina térmica que tarde o temprano se agotaría. ¿Cuál puede ser el símbolo para nosotros? Quizá estemos más cerca de las imágenes utilizadas por Platón cuando comparaba la naturaleza a una obra de arte. En lugar de definir la ciencia a través de la oposición entre el hombre y la naturaleza, vemos más la ciencia como una comunicación con la naturaleza.

### 13. Bibliografía

- Alexander, S. (1964) - *Price movements in speculative markets: Trends or random walks, number 2* - Industrial Management Review 5 (2): 25-46.
- Bachelier, L. (1900) - *Theorie de la Speculation* - Tesis Doctoral - Anales Científicos de la Ecole Normales Superrieure (iii) 17, 21-86. Traducción: Cootner, 1964.
- Battran, Arthur - *Navegar la Complejidad* - Ed. Granica - 2001
- Brealey & Myers - *Fundamentos de Financiación Empresarial* - Ed. Mc Graw Hill - 4ta edición - 1998.
- Casparri, María Teresa - "*La Teoría de los Valores Extremos. Sus implicancias en épocas de crisis*". - Anales de las XI Jornadas Actuariales - FCE - UBA - 2004
- Elton & Gruber - *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis* - Ed. J. Wiley - 5ta edición - 1995
- Espinosa Méndez, C. - Evidence of Chaotic Behavior in American Stock Markets - MPRA Paper N° 2794 - Octubre 2005
- Damodaran Aswath - "*Corporate finance*" - Ed. John Wilwy & Sons - 2da edición - 2001.
- Espen, Gaarder Haug - *Option Pricing Formulas* - Ed. McGraw-Hill - 2006
- Etkin, Jorge - *Gestión de la complejidad en las organizaciones* - Ed. Granica - 2005.
- Fernández Díaz, Andrés, *Dinámica Caótica en Economía*. Universidad Complutense de Madrid. Mc Graw Hill - 2002
- George Soros - *The New Paradigm for Financial Markets: The Credit Crisis of 2008 and What It Means* - Santillana Ediciones Generales, S. L. - 2008
- Hull, J. - *Options, Futures and other derivaties* - Ed. Prentice Hall - 3ra Edición - 1996
- J. Barkley Rosser, *From Catastrophe to Chaos: A General Theory of Economic Discontinuities: Mathematics, Microeconomics, Macroeconomics, and Finance*. Kluwer Academic Publishers, (2000).
- Lamothe, P. - *Opciones financieras: un enfoque fundamental* - Ed. Mc Graw Hill - 1993
- Lorenz, E. - *Journal of the Atmospheric Science*. V20, (1963).

- Mandelbrot, B.; Hudson, R. - *The (Mis) Behavior of Markets: A Fractal View of Risk, Ruin and Reward*. - Basic Books, N.Y. - 2004
- Mandelbrot, B. - *Fractals and Scaling in Finance* - Springer (1997)
- Michael W. Masters - "Testimony before the Committee on Homeland Security and Governmental Affairs" - United States Senate Report (2008)
- Morin, Edgar - *Introducción al Pensamiento Complejo* - Gedisa - (1997)
- Peters, Edgar - *Chaos and Order in Capital Markets* - Wiley Finance Edition (1996)
- Pliska, Stanley. *Introduction to Mathematical Finance: Discrete time models* - Wiley (1994)
- Prigogine, Ilya; Stengers, Isabelle - *La Nueva Alianza: Metamorfosis de la Ciencia* - Alianza (1979).
- Samentband, Moisés José, *Entre el orden y el caos: la complejidad*. Fondo de Cultura Económica - 1994
- Sapetnitzky C., Alonso J.C., Carbajal C., López Dumrauf G., Vulovic P. y colaboradores: - "Administración Financiera de las Organizaciones" - Ed. Macchi - 2ª edición - 2003.
- Serra, Roberto - *El Nuevo Juego de los Negocios* - Ed. Norma - 2002
- Schuschny, Andrés, *Auto-organización en Sistemas Económicos*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Económicas, UBA - 2001
- Taleb, Nassim - *The Black Swan: Over the impact of the highly improbable*" - Random House, N.Y. (2007)
- Ulrich Beck - *Que es la Globalización?* - Ed. Paidós - 2004
- Vengas Martínez, Francisco. *Riesgos Financieros y Económicos* - Ed. Thompson - 2007
- Ellner, S., Nychka, D., Gallant, R. "Lenms, a program to estimate the dominant Lyapunov exponent of noisy nonlinear systems from time series data." Institute of Statistics Mimeo Series # 2235 (BMA Series # 39), Statistic Department, North Carolina State University, Raleigh NC 27695-8203- (1992)
- Ellner, S., Nychka, D., Gallant, R., McCaffrey, "Finding Chaos in Noisy Systems", Journal of the Royal Statistic Society, Ser B54, No. 2, pp. 399-426 -(1992)
- P. Anderson, K. Arrow, D. Pines and EDITOR "The Economy as an Evolving Complex System (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity Proceedings), Westview Press (2003).
- FMI (2008) - *Global Financial Stability Report* - [www.imf.org](http://www.imf.org) - Abril 2008
- FMI (2010) - *Global Financial Stability Report* - [www.imf.org](http://www.imf.org) - Abril 2010

- Marshall, A. (1890) - Principles of Economics - London - Macmillan, 8<sup>th</sup> Edition, 1920.
- Osborne, M. (1962) - *Periodic structure en the Brownian motion of stock prices* - Operations Research: 10, 345-379. Reprinted in Cootner 1964: 262-296.

## 14. Anexos

### 14.1 ANEXO I: Movimiento Browniano

El movimiento browniano es uno de los pilares de la teoría cinética y es característico de los sistemas coloidales, los cuales son un estadio posterior a las denominadas soluciones verdaderas<sup>20</sup>. En la solución coloidal las partículas no están disueltas a nivel molecular: hay racimos, llamados micelas (ej: granos de polen).

En todos los sistemas, siempre las moléculas del solvente chocan con las del soluto. En una solución verdadera el movimiento es totalmente desordenado e imposible de visualizar porque es a nivel molecular. Pero si la disolución es distinta, generando racimos (micelas) es posible realizar observaciones.

El experimento realizado por Brown consistió en observar en forma frontal granos de polen en agua con luz (iluminación) transversal: observó que la solución estaba en reposo pero las moléculas se movían.

Hasta ese momento no se habían hecho observaciones que pudieran demostrar el movimiento continuo de las moléculas. La primera prueba experimental de la realidad de los átomos fue la prueba de la teoría atómica proporcionada por los estudios cuantitativos del movimiento browniano.

Básicamente, se observó que el polen suspendido en agua presenta un **movimiento irregular continuo**. En tanto, este movimiento solo se da en moléculas de determinado tamaño (como fue dicho, no en todas las soluciones, como por ejemplo en soluciones verdaderas).

#### **Einstein: Teoría del movimiento browniano**

En un gas, las moléculas están en movimiento todo el tiempo: si hay micelas en el medio también van a recibir choques generados por dichas moléculas; que se muevan va a depender de su tamaño.

Respecto a ello, Einstein planteó la siguiente hipótesis: *las partículas que están suspendidas en un líquido o un gas comparten los movimientos térmicos del medio y, en promedio, la energía cinética de cada partícula es  $3/2KT$ , de acuerdo con el principio de equipartición de la energía.*

La teoría cinética predice cual es la energía cinética media de las partículas en el fluido. Las partículas suspendidas reciben la misma energía cinética media que las moléculas del fluido.

---

<sup>20</sup> Las soluciones verdaderas son soluciones donde el soluto está disuelto a nivel molecular. Por ejemplo, solución de azúcar o sal en agua.

Las partículas suspendidas generalmente son más grandes que las partículas del fluido, siendo continuamente bombardeadas por las moléculas de este último. Cuando las partículas son más pequeñas (micelas más chicas), o si el fluido es poco concentrado, los choques son muy azarosos. Es decir, si las moléculas son muy grandes o la concentración es alta, el movimiento no es tan azaroso. Esto implica que el movimiento browniano se da en un estadio intermedio:

- ◊ Ni cuando las moléculas son chicas o el fluido es poco concentrado. En este caso el movimiento es muy grande y por lo tanto demasiado azaroso.
- ◊ Ni cuando la concentración del fluido tiende a infinito. En este caso las micelas no se mueven, dado que chocan la misma cantidad de moléculas un lado que del otro.

Finalmente se pueden derivar ecuaciones exactas para esa variación de densidad. Fue Norbert Wiener en 1923 quien dio la primera definición matemática rigurosa del movimiento. Él y Paul Lévy elaboraron el modelo que supone una partícula que en cada instante se desplaza de manera independiente de su pasado: es como si la partícula «olvidara» de dónde viene y decidiese continuamente, y mediante un procedimiento al azar, hacia dónde ir. O sea que este movimiento, a pesar de ser continuo, cambia en todo punto de dirección y de velocidad. Tiene trayectoria continua, pero no tiene tangente en ningún punto. Las dos propiedades básicas que Wiener supuso son:

- Todas las trayectorias deben ser continuas.
- Una vez que fue observada la posición de la partícula en el instante  $t=0$  (posición por tanto conocida), su posición (aleatoria) en un instante posterior  $t'$  debe estar regido por la ley de Gauss, cuyos parámetros dependen del tiempo  $t$  transcurrido.

No obstante, cabe destacar que fue Luis Bachelier quien descubrió el movimiento browniano en el mercado financiero, pero años antes que fuera descubierto en el movimiento de las partículas y décadas antes que de la teoría matemática propuesta por Wiener.

Caben algunos comentarios conclusivos:

- El movimiento browniano determinó, en primera instancia, la existencia de movimiento.
- En segunda instancia, se cualificó el movimiento: irregular continuo
- En tercera instancia, se modelizó y cuantificó el movimiento. Es decir, se derivaron ecuaciones.
- En tanto, el fenómeno se da en un conjunto acotado (nivel de densidad).

## 14.2. ANEXO II: Resultados de Testeos Estadísticos

### 14.2.1. Resultados de los testeos

#### INDICE Merval

Figura A. 1.1: Distribución

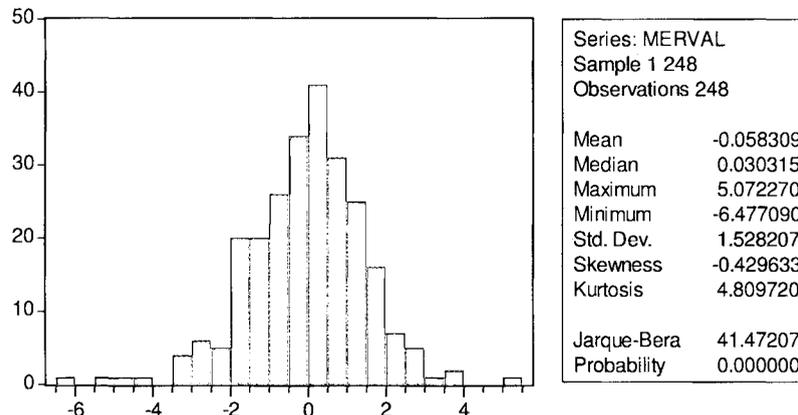


Figura A.1.2: Estacionariedad

Null Hypothesis: Merval has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=15)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-16.66532	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.995645	
5% level	-3.428123	
10% level	-3.137440	

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

Figura A.1.3: Modelo

Dependent Variable: Merval  
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution  
 Date: 09/07/08 Time: 12:50  
 Sample (adjusted): 2 248  
 Included observations: 247 after adjustments  
 Convergence achieved after 185 iterations  
 MA backcast: 0, Variance backcast: ON  
 GARCH = C(4) + C(5)\*GARCH(-1)

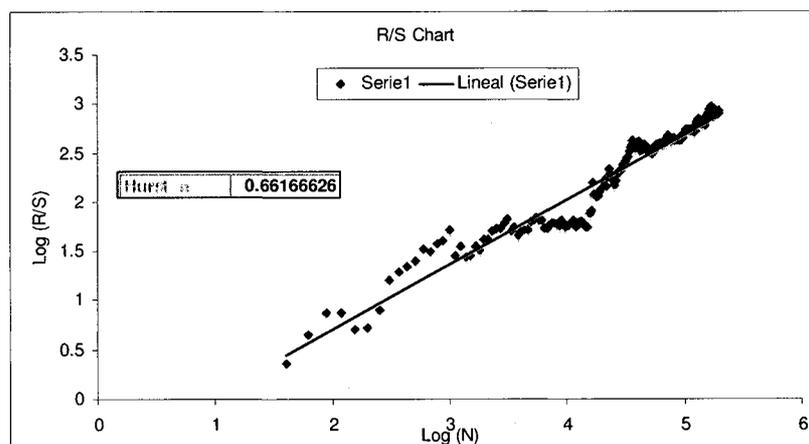
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.028873	0.087814	-0.328799	0.7423
AR(1)	-0.790598	0.146205	-5.407470	0.0000
MA(1)	0.682305	0.177185	3.850803	0.0001
Variance Equation				
C	0.082953	0.051631	1.606642	0.1081
GARCH(-1)	0.955424	0.025880	36.91737	0.0000

Figura A.1.4: Testeo de Estructura (BDS)

BDS Test for RESID  
 Date: 09/07/08 Time: 12:55  
 Sample: 1 248  
 Included observations: 248

Dimension	BDS Statistic	Std. Error	z-Statistic	Normal Prob.	Bootstrap Prob.
2	0.016823	0.004591	3.664189	0.0002	0.0020
3	0.031427	0.007304	4.302595	0.0000	0.0003
4	0.039893	0.008706	4.582442	0.0000	0.0001
5	0.044961	0.009081	4.951072	0.0000	0.0000
6	0.044791	0.008764	5.110795	0.0000	0.0001

Figura A.1.5: Análisis Re-Escalado



**ESPECIE: APBR**

Figura A.2.1: Distribución

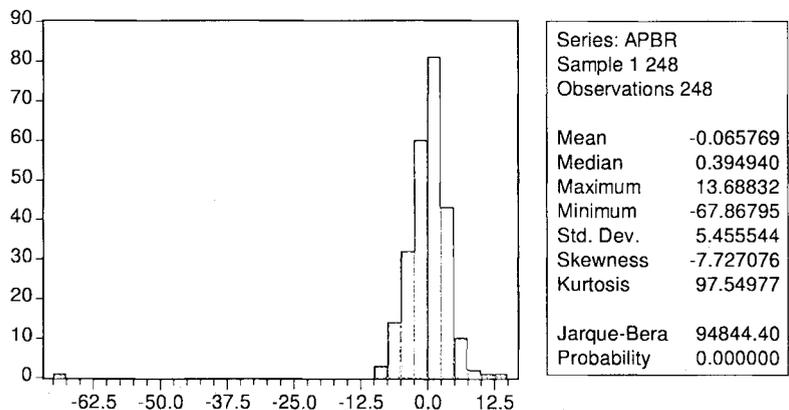


Figura A.2.2: Estacionariedad

Null Hypothesis: APBR has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=15)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-15.54714	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.995645	
5% level	-3.428123	
10% level	-3.137440	

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

Figura A.2.3: Modelo

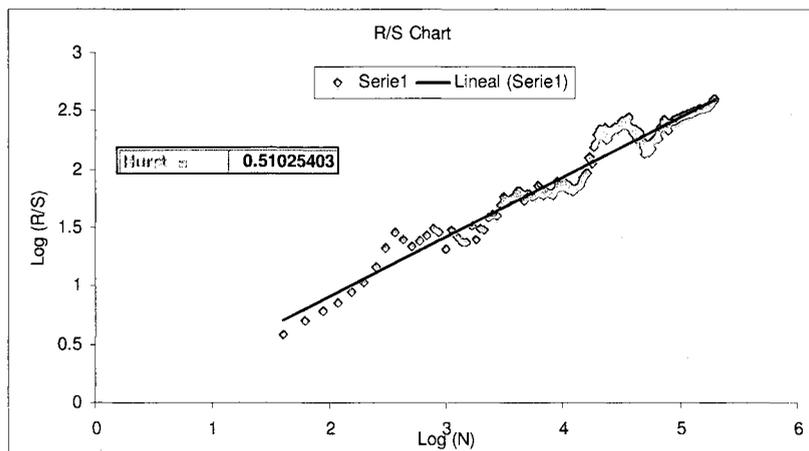
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.080627	0.353143	-0.228314	0.8196
AR(1)	-0.200780	1.127801	-0.178028	0.8588
MA(1)	0.215273	1.125830	0.191213	0.8485

Figura A.2.4: Testeo de Estructura (BDS)

BDS Test for APBR  
 Date: 09/07/08 Time: 11:52  
 Sample: 1 248  
 Included observations: 248

<u>Dimension</u>	<u>BDS Statistic</u>	<u>Std. Error</u>	<u>z-Statistic</u>	<u>Normal Prob.</u>	<u>Bootstrap Prob.</u>
2	-3.26E-05	0.000503	-0.064927	0.9482	0.9149
3	-9.82E-05	0.001118	-0.087832	0.9300	0.9109
4	-0.000197	0.001861	-0.105843	0.9157	0.9055
5	-0.000329	0.002709	-0.121493	0.9033	0.8992
6	-0.000495	0.003647	-0.135688	0.8921	0.8905

Figura A.2.5: Análisis Re-Escalado



ESPECIE: FRANCÉS

Figura A.3.1: Distribución

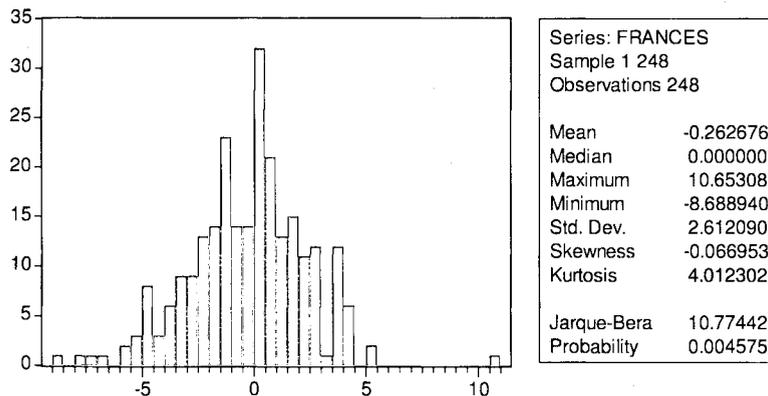


Figura A.3.2: Estacionariedad

Null Hypothesis: FRANCES has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=15)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-17.57531	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.995645	
5% level	-3.428123	
10% level	-3.137440	

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

Figura A.3.3: Modelo

Dependent Variable: FRANCES  
 Method: Least Squares  
 Date: 09/07/08 Time: 14:57  
 Sample (adjusted): 2 248  
 Included observations: 247 after adjustments  
 Convergence achieved after 13 iterations  
 Backcast: 0

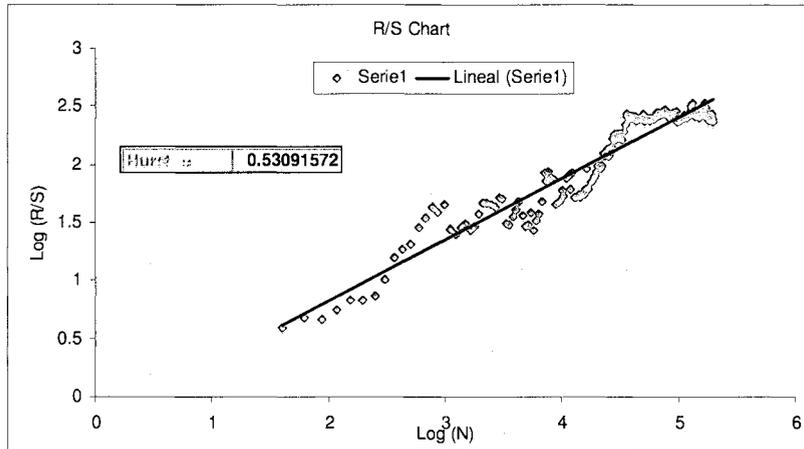
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.265376	0.153217	-1.732031	0.0845
AR(1)	-0.557030	0.314481	-1.771268	0.0778
MA(1)	0.443732	0.339538	1.306869	0.1925

Figura A.3.4: Testeo de Estructura (BDS)

BDS Test for FRANCES  
 Date: 09/07/08 Time: 15:48  
 Sample: 1 248  
 Included observations: 248

Dimension	BDS Statistic	Std. Error	z-Statistic	Normal Prob.	Bootstrap Prob.
2	0.000397	0.004408	0.090016	0.9283	0.8597
3	-0.000717	0.006996	-0.102423	0.9184	0.9896
4	0.003084	0.008316	0.370819	0.7108	0.6397
5	0.009081	0.008652	1.049501	0.2939	0.2821
6	0.011962	0.008328	1.436314	0.1509	0.1648

Figura A.3.5: Análisis Re-Escalado



**ESPECIE: ALUAR**

Figura A.4.1: Distribución

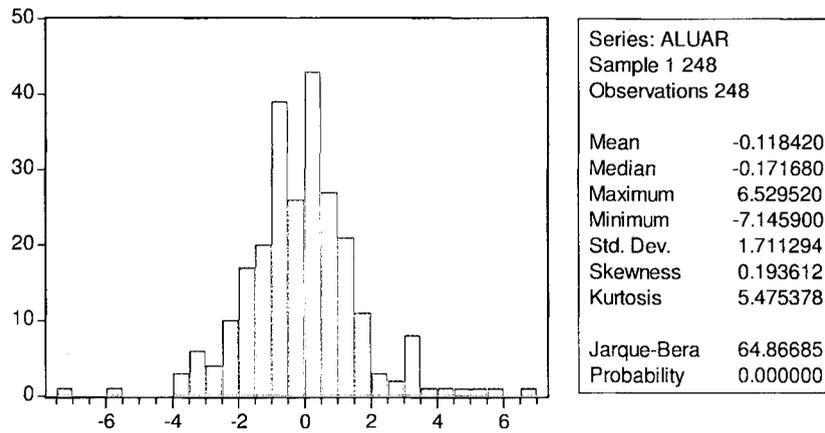


Figura A.4.2: Estacionariedad

Null Hypothesis: ALUAR has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=15)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-18.16375	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.995645	
5% level	-3.428123	
10% level	-3.137440	

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

Figura A.4.3: Modelo

Dependent Variable: ALUAR  
 Method: Least Squares  
 Date: 09/07/08 Time: 16:05  
 Sample (adjusted): 2 248  
 Included observations: 247 after adjustments  
 Convergence achieved after 12 iterations  
 Backcast: 0

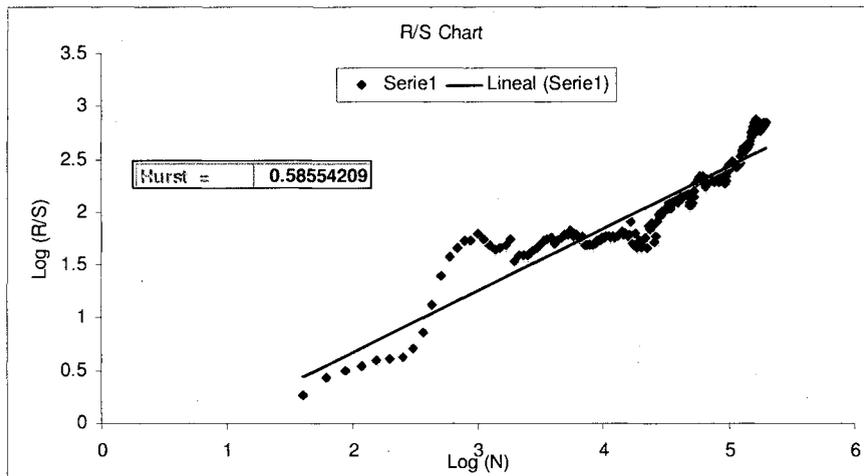
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.118994	0.099553	-1.195282	0.2331
AR(1)	-0.736592	0.186648	-3.946424	0.0001
MA(1)	0.608290	0.218896	2.778904	0.0059

Figura A.4.4: Testeo de Estructura (BDS)

BDS Test for RESID  
 Date: 09/07/08 Time: 16:06  
 Sample: 1 248  
 Included observations: 248

Dimension	BDS Statistic	Std. Error	z-Statistic	Normal Prob.	Bootstrap Prob.
2	0.022291	0.005798	3.844444	0.0001	0.0006
3	0.038368	0.009243	4.150842	0.0000	0.0003
4	0.047710	0.011042	4.320608	0.0000	0.0002
5	0.055405	0.011547	4.798304	0.0000	0.0000
6	0.056584	0.011172	5.064795	0.0000	0.0000

Figura A.4.5: Análisis Re-Escalado



**ESPECIE: ALPA**

Figura A.5.1: Distribución

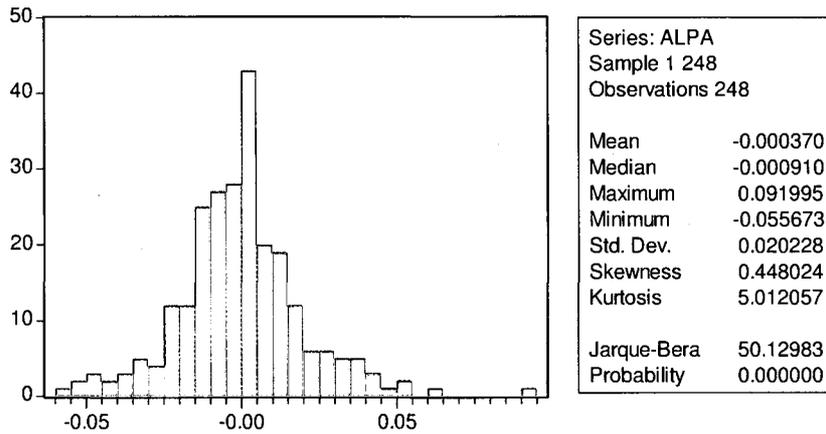


Figura A.5.2: Estacionariedad

Null Hypothesis: ALPA has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=15)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-17.07855	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.995645	
5% level	-3.428123	
10% level	-3.137440	

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

Figura A.5.3: Modelo

Dependent Variable: ALPA  
 Method: Least Squares  
 Date: 09/09/08 Time: 16:57  
 Sample (adjusted): 2 248  
 Included observations: 247 after adjustments  
 Convergence achieved after 17 iterations  
 Backcast: 0

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.000387	0.001195	-0.323676	0.7465
AR(1)	-0.206177	0.667296	-0.308973	0.7576
MA(1)	0.118187	0.677002	0.174574	0.8616

Figura A.5.4: Testeo de Estructura (BDS)

BDS Test for ALPA

Date: 09/09/08 Time: 16:59

Sample: 1 248

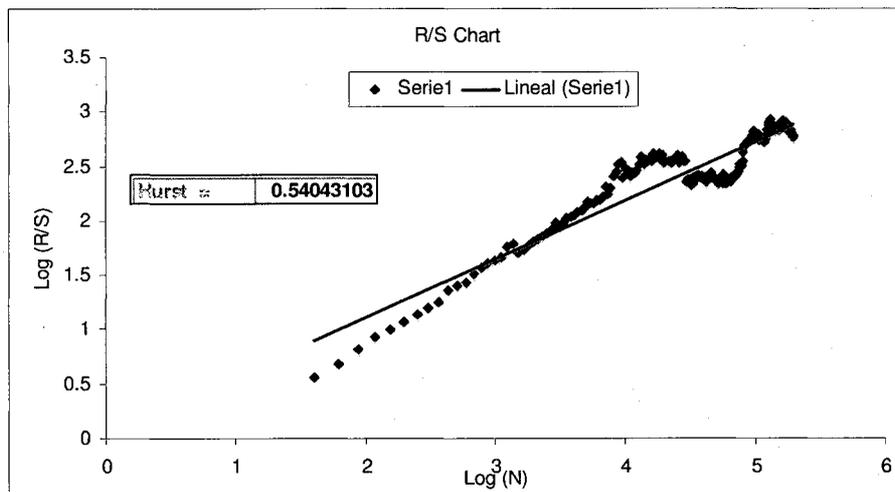
Included observations: 248

---

---

<u>Dimension</u>	<u>BDS Statistic</u>	<u>Std. Error</u>	<u>z-Statistic</u>	<u>Normal Prob.</u>	<u>Bootstrap Prob.</u>
2	0.008024	0.005835	1.375101	0.1691	0.1792
3	0.011854	0.009287	1.276407	0.2018	0.2023
4	0.015758	0.011076	1.422736	0.1548	0.1590
5	0.020739	0.011563	1.793550	0.0729	0.0858
6	0.026167	0.011170	2.342680	0.0191	0.0321

Figura A.5.5: Análisis Re-Escalado



### 14.3. ANEXO III. *Behavioural economics*

**¿Es posible predecir en economía mediante modelos matemáticos... en variables que pueden tener estrecha vinculación con el comportamiento humano?**

En relación al interrogante planteado, ya han surgido teorías alternativas contrapuestas a las defensoras de la racionalidad, como ser las teorías del comportamiento, que sostienen que los inversores y los operadores se mueven según el contexto y el sesgo propio que cada uno tiene, lo cual significa que el analista basa las recomendaciones de inversión según sus prejuicios, creencias, estados de ánimo y otras cuestiones. En este sentido, *“el juego psicológico y emocional está presente todo el tiempo a la hora de decidir dónde invertir”*.

En este sentido, una de las mayores particularidades del análisis de los fenómenos económicos en general y financieros en particular, es que el propio agente que decide y construye expectativas forma parte del sistema. En palabras de Schuschny: *“No debemos olvidar además que los sistemas económicos poseen una diferencia fundamental con otros sistemas naturales y que consiste en su carácter autorreferencial: los mismos agentes que intentan predecir la evolución del sistema forman parte del propio sistema”*.

A los fines de especificar la discusión acerca de los fundamentos del comportamiento humano, a continuación se transcribe el planteo del “enfoque Santa Fe” acerca del tema, donde se comparan los principios de la teoría neoclásica con los correspondientes a los sistemas complejos, en lo que hace a los fundamentos cognitivos del comportamiento humano:

La Teoría Neoclásica tiene un único fundamento cognitivo: los agentes económicos son optimizadores racionales. Esto significa que los mismos evalúan la incertidumbre en forma probabilística, revén tales evaluaciones a la luz de nueva información a través de mecanismos bayesianos de actualización, y elijen el curso de acción que maximiza su utilidad esperada. Se desprende de este fundamento unívoco el supuesto que los agentes poseen conocimiento común entre ellos y expectativas racionales sobre el mundo del cual forman parte (y co-crean). Por su parte, el enfoque Santa Fe es pluralista. De acuerdo a la teoría cognitiva moderna, no se establece un único y dominante modo de procesamiento cognitivo. Mayormente, se ve a los agentes como teniendo que estructurar en forma cognitiva los problemas a los cuales se enfrentan –como intentando

“buscarle el sentido” a sus problemas- tanto como solucionarlos. Y deben hacerlo con recursos cognitivos que son limitados. Para “buscarle el sentido”, para aprender y para adaptarse, los agentes utilizan toda una variedad de procesos cognitivos. Las categorías que los utilizan para convertir la información del mundo en el cual habitan en acciones concretas emergen de la experiencia, y tales categorías no necesariamente deben “encajar” en forma coherente para generar acciones efectivas. Ergo, los agentes habitan un mundo que deben interpretar en forma cognitiva - una realidad que está complejizada por la presencia de las acciones de otros agentes que está en permanente cambio. En este sentido, los agentes no optimizan en el sentido clásico, no porque estén restringidos por poseer una memoria finita o capacidad de procesamiento, sino porque el propio concepto de un curso de acción óptimo muchas veces no puede ser definido. Ello implica que la racionalidad deductiva de los agentes económicos neoclásicos ocupa como mucho una posición marginal al guiar las acciones efectivas en el mundo. Asimismo, cualquier “conocimiento común” que los agentes puedan tener los unos de los otros debe ser generado a partir de procesos cognitivos concretos y específicos, operando sobre experiencias obtenidas a través de interacciones concretas. El conocimiento común no puede ser simplemente asumido.

En tanto, tal vez sea oportuno parafrasear a George Soros en “El nuevo paradigma de los mercados financieros” (2009), quien, a través de otros conceptos, parecería expresar una idea análoga a la idea (función cognitiva) de “buscarle el sentido” a una situación:

Me di cuenta de que los participantes en el mercado no pueden basar sus decisiones exclusivamente en su conocimiento, y de que sus percepciones sesgadas influyen no sólo en los precios de mercado, sino también en los fundamentos que esos precios supuestamente reflejan. Llegué a la conclusión de que el pensamiento de los participantes tiene una función dual. Por un lado, los participantes intentan entender su situación. Podríamos llamar a esto función cognitiva. Por otro, los participantes intentan cambiar su situación. Podríamos llamar a esto la función participativa o manipulativa. Ambas funciones actúan en direcciones opuestas y, bajo ciertas circunstancias, pueden interferir una con otra. Llamo a esto reflexibilidad de la interferencia.