

ABRIENDO ESPACIOS PARA REVELAR VARIABLES DE MERCADOS A PARTIR DE LA ECONOFÍSICA

OPENING SPACES TO DISCLOSE MARKET VARIABLES COMING FROM THE ECONOPHYSICS

Jaime Astete¹, Eugenio Vogel², Jorge Díaz³, Fredy Riadi⁴,

Gonzalo Saravia⁵ y Gastón Vergara⁶

RESUMEN

En este trabajo inicialmente se presenta la evolución que ha habido entre la física y la economía, la que se inicia formalmente a partir del año 1995 con el aporte del término econofísica por parte de Eugene Stanley. Posteriormente se realiza una aplicación, vinculada a la utilización de un nuevo compresor, que permite integrar al análisis, el grado de agitación de datos de alta frecuencia a través de microdatos expresados en secuencias de minutos. La utilización de éstos, con el apoyo de este nuevo compresor wzip, permite analizar los datos considerando todos los cambios en los precios que se producen en cada minuto, análisis que de otra forma sería difícil realizar. La compresión de los datos permitió desarrollar un índice de diversidad (índice de mutabilidad) que refleja la proporción medida en bytes entre datos comprimidos y datos sin comprimir, y que nos muestra que altas compresiones representan una baja agitación de la variable estudiada, y lo contrario para el caso de una baja compresión. Además, se ha definido un coeficiente de mutabilidad, que indica la agitación de los datos con respecto al mercado, que a su vez, facilita estimar la sensibilidad de esta relación a través del tiempo. Finalmente se aplicaron estas herramientas a datos de los precios del IPSA para el año 2010, donde se concluye que la agitación de las primeras horas de cada día manifiesta un comportamiento decreciente hasta la quinta hora, mostrando un leve crecimiento de esta agitación a partir de este momento.

Palabras Clave: Agitación, Econofísica, Coeficiente de Mutabilidad, compresor de datos, Índice de mutabilidad, teoría de la información, wzip.

ABSTRACT

At the beginning of this work, the evolution that occurred between Physics and Economics is introduced, evolution that started during the year 1995 with the contribution of the word econophysics given by Eugene Stanley. Next, an application is realized, linked to the use of a new compressor, that allow to integrate into the analysis, the degree of agitation of high frequency data through microdata

1 Instituto de Administración, Universidad Austral de Chile. Área Finanzas. E-mail: jastete1@uach.cl.

2 Departamento de Ciencias Físicas, Universidad de la Frontera. Área Física Teórica y Econofísica. E-mail: eugenio.vogel@ufrontera.cl

3 Instituto de Administración, Universidad Austral de Chile. Área Contabilidad Teórica y Control de Gestión. E-mail: jdiaz@uach.cl

4 Instituto de Administración, Universidad Austral de Chile. Área Finanzas Corporativas. E-mail: friadi@uach.cl

5 Departamento de Ciencias Físicas, Universidad de la Frontera. Área Econofísica. E-mail: gonzalo.saravia@gmail.com

6 Instituto de Estadística, Universidad Austral de Chile. Área Estadística Aplicada. E-mail: gastonvergara@uach.cl

expressed in a sequence of minutes. The use of these, with the aid of the new compressor named wzip, allow to analyze data considering all price changes for each minute, analysis that other way it would be difficult to realize. The data compression allowed to develop an diversity index (mutability index) that reflect the proportion measured in bytes, between compressed and without compression data, and show that high compressions represent a low agitation of the variable studies, and the contrary for the case of a low compression. Besides, a mutability coefficient has been defined that indicate the agitation of the data with respect to the market, that also, facilitate the estimation of the sensitivity of this relationship through time. Finally, these tools were applied to data of the IPSA index for the year 2010, concluding that the agitation for the first hours of each day, show a behavior that is decreasing until the fifth hour, showing a slight grow of this agitation from this moment on.

Keywords: Agitation, data compressor, Econophysics, information theory, Mutability Index, Mutability Coefficient, wzip.

Recepción: 22/03/2014. Aprobación: 23/05/2015.

I. INTRODUCCIÓN

La conexión de campos disciplinares diferentes en la búsqueda de respuestas que las teorías, modelos o patrones conductuales de una determinada disciplina no son capaces de satisfacer, no es un tema nuevo. Sin embargo, lo interesante y novedoso a su vez, es que de la intersección de dos disciplinas, surja un área de estudio que se oponga a las bases clásicas de una de ellas. Tal es el caso de la denominada econofísica, la que se define como contrapuesta a la lógica de la economía clásica, al asumir que la economía se basa en fundamentos teóricos que se derivan de una termodinámica del equilibrio inaplicable a la realidad.

El presente trabajo busca satisfacer los siguientes objetivos:

Describir hitos relevantes que asocian conexiones entre variables de la realidad económica con explicaciones y desarrollos derivados de la física.

- Aplicar una herramienta de la teoría de la información de compresión de datos (wzip), a una serie de datos económicos.
- Diseñar un modelo descriptivo preliminar para analizar los datos comprimidos.
- Analizar comportamientos preliminares de los datos, que por medios tradicionales resultan difíciles de visualizar.
- A partir del desarrollo del tema, se intentará

dar respuesta a los cuatro objetivos ya enunciados.

II. BUSCANDO EXPLICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MERCADOS A TRAVÉS DE LA FÍSICA

Desde los primeros trabajos vinculados al Instituto Santa Fe, en Nuevo México, el tema se organiza en torno a lo que Brian Arthur denomina inicialmente economía adaptativa (Arthur, Durlauf, & Lane, 1997). Esta línea de trabajo ha seguido desarrollándose, tal es así, que en 2005, Doyne Farmer y Eric Smith, del Instituto Santa Fe, junto a Martin Shubik de la universidad de Yale, publican en Physics Today, el referenciado artículo: Is Economics the Next Physical Science? (Farmer, Shubik, & Smith, 2005). En este trabajo, los autores plantean que la física será cada vez más contribuyente hacia la economía en muchos campos, particularmente en la elaboración de índices económicos, como los índices de precios al consumidor, o los mercados bursátiles.

De acuerdo a lo planteado por Murray Gell-Mann, posiblemente uno de nuestros temas fundamentales se encuentre en la determinación de los límites del problema, lo que resulta fundamental para formularlo de modo adecuado (Gell-Mann, 1994). Podemos deducir entonces que los límites se imponen en la medida que el rango de intervención intelectual se reduzca a un determinado paradigma explicativo de la realidad. La apertura de la economía entendida como un sistema complejo adaptativo, abre un

espacio que tradicionalmente la economía teórica de las últimas décadas no ha abordado. De un modo similar, Max-Neef en su lúcido artículo sobre fundamentos de la trasdisciplinariedad, abre espacios a estos límites a través del planteamiento de este enfoque, basado en niveles de la realidad, principio del tercio incluido, y la complejidad (Max-Neef, 2005).

Las hipótesis planteadas en los modelos financieros tienden a ser contrastadas desde la física, buscando similitudes conceptuales. Desde un punto de vista financiero los denominados *crashes* se producen cuando lentamente se incrementan las correlaciones de largo alcance que llevan al mercado a un colapso en un punto crítico. Desde un punto de vista físico, un *punto crítico* está representado por la explosión a infinito de una variable de comportamiento normal. (Mariani, 2006). Esta idea permite derivar que un mercado, observado a nivel microscópico es semejante a sistemas complejos, tradicionalmente tratados a través de la física estadística.

Como lo explica Mariani, (2006) la lógica de predicción, utilizando un modelo físico paradigmático de la mecánica estadística, denominado modelo de Ising, propuesto para estudiar el comportamiento de materiales ferromagnéticos, considera la configuración de n puntos fijos o nodos, los que conforman una red periódica de dimensión n . Allí, asociada a cada nodo o punto fijo se encuentra una variable de spin, que corresponde a una propiedad física de partículas subatómicas, la que asume sólo dos valores: $+1$ ó -1 . El modelo es capaz de predecir la magnetización espontánea la que se correlaciona con la ocurrencia entre nodos vecinos, a una temperatura crítica, denominada temperatura de Curie, o punto de Curie⁷. Así, en un mercado financiero, los agentes de bolsa asumen un papel semejante a los puntos fijos de una red, con variables asociadas inicialmente en tres estados posibles: Vender, cuando la variable de spin está en $+1$, comprar cuando se encuentra en -1 , o esperar cuando se encuentra en 0 . Dado que el estado 0 no aporta información relevante, se trabaja sólo con un sistema de dos estados.

Siguiendo a Mariani, (2006) los nodos, en este caso agentes de bolsa, no necesitan conocer sus comportamientos. Se produce el crash cuan-

do estos agentes se organizan en una misma dirección; a la venta. Es en este momento cuando se produce una transición de fase. Sin embargo el crash no es un momento de desorden; sino de máximo orden, dado que todos venden al mismo tiempo. Por otra parte, los aspectos vinculados con los comportamientos gregarios o de manada han sido estudiados de varias formas como lo documenta y aplica Martínez en análisis de simulación con un modelo estocástico de autómatas celulares para agentes que imitan interacciones entre los participantes del mercado (Martínez, 2011).

Por otra parte, si bien la física a través de los años siempre ha marcado improntas en el pensamiento de occidente, especialmente la teoría cuántica está influyendo hoy en la visión del mundo de la mayoría de las áreas del conocimiento, y tal como lo señala Paul Feyerabend, de algún modo también a la filosofía (Feyerabend, 2003) Siendo así, la economía y sus áreas afines, no podrían permanecer ajenas a esta realidad.

Distintos enfoques alternativos han buscado de una u otra forma, mejorar la capacidad de interpretación de los datos económicos. En contabilidad, desde los años setenta, se han intentado aproximaciones conceptuales desde los planteamientos de Richard Mattessich sobre la necesidad de una axiomática contable, tratamiento de flujos en teoría de redes, teoría de grafos y álgebra de matrices, (Mattessich, 1977). Desde otra perspectiva, se intenta también poner el foco de atención en la forma de representación de la realidad económica, desde una mirada de flujos discretos, a la posibilidad de intentar una mirada en base a flujos continuos. (Díaz & Riadi, Aproximaciones hacia una Contabilidad Continua, 2012).

La búsqueda de relaciones entre la economía y la física tiene una larga data. Posiblemente uno de los precursores de la vinculación entre la economía y la física, haya sido a comienzos del siglo XX Louis Bachelier, quien posterior a su célebre Tesis de 1900 sobre la Teoría de la Especulación (Bachelier, 1900) y de acuerdo con Courtault, Kabanov, Bru, Crepel, Lebon y Le Marchand, entre el año 1909 a 1914, ofreció un especial curso en la Sorbonne con el título "Cálculo de probabilidades con aplicaciones a las operaciones finan-

3 La denominada temperatura de Curie o punto de Curie, es aquella en la cual, por sobre ella un cuerpo ferromagnético pierde su magnetismo, de modo que de allí en adelante se comporta como un material paramagnético.

cieras y analogías con ciertas preguntas desde la física” (Courtault, y otros, 2000)

A inicios de los años cuarenta en una publicación póstuma, Ettore Majorana describe lo que él considera una fuerte relación entre la física estadística y las ciencias sociales (Majorana, 1942). Los eventos de predicción compleja que afectan a las economías de modo importante, como el caso de las burbujas y las crisis financieras, desde hace algunos años (Blanchard, 1979) han sido estudiados desde la perspectiva de las expectativas de comportamientos racionales, con explicaciones económicas poco concluyentes. El término econofísica sin embargo, es utilizado por primera vez en 1995 por Eugene Stanley en Calcuta, India en una conferencia sobre física estadística. Posteriormente publicado en 1996, marca el inicio de un área que se expandiría de modo creciente en los años siguientes (Stanley, y otros, 1996).

La ruptura con la teoría clásica de probabilidades, se aprecia en un suceso muy referenciado, correspondiente al llamado lunes negro del 19 de octubre de 1987. Ese día el índice Dow Jones mostró una impresionante caída de un 22,6%. En el año 2000, (Johansen, Sornette, & Ledoit, 2000) determinaron que al utilizar la lógica convencional, incluyendo la hipótesis de mercados eficientes, la probabilidad de que se diera una caída de esa envergadura sería de 10^{35} . Del mismo modo, indicaban que una pérdida para un día, en el mismo índice del orden del 5%, debería tener una frecuencia de uno en miles de años. Este Tema se ha popularizado en los últimos tiempos, no solo por la ocurrencia de fenómenos “estadísticamente improbables”, sino además, entre varios otros, por los planteamientos masivamente difundidos de las obras de Taleb (2009a) (2009b).

Sin embargo, buscando lógicas alternativas, particularmente la física, nunca ha abandonado la idea de encontrar regularidades especialmente en los sistemas complejos, alteraciones notables en magnetismo, u otras variables propias del estudio de la física, han permitido encontrar algunas regularidades que, extrapoladas a variables económicas, mercados u otros elementos asociados a la economía, pueden permitir suponer algunas predicciones importantes. En 2011, Harmon, De Aguiar, Chinellato, Braha, Epstein, y Bar-Yam exploraron datos bursátiles desde 1995, con matemáticas de probabilidad, regresiones y teoría de redes, generando un indicador

que denominaron co-movimiento, el que permite identificar la probabilidad de que los valores de los activos oscilen de modo conjunto, tanto al alza como a la baja. Para (Harmon, y otros, 2011) el mercado es “sano” cuando el co-movimiento es bajo, en cambio antes de un evento bursátil de caída importante, el indicador tiende a crecer. Así, los valores muestran una tendencia a influirse entre ellos. La prueba del co-movimiento antes del crash de 2008 mostró una alteración total. El intento de predicción de crisis, se asocia en este estudio a las transiciones físicas de fase, o a la identificación de medios excitables, de manera que puedan visualizarse allí, los comportamientos colectivos de tipo gregario. Estos aspectos siempre implican una ruptura al comportamiento lineal.

En 2012, en Chile, el equipo del Profesor Vogel (Vogel, Saravia, & Cortez, 2012) desarrolla el compresor de datos wzip, optimizado para el reconocimiento de información no digital, inicialmente desarrollado a partir de mediciones ferromagnéticas. El compresor wzip permite reconocer regímenes tanto estables como inestables para evolución de variables de distinto tipo, tales como la polución, presión atmosférica, aplicaciones a la medicina en presión arterial, o en la econofísica, con datos derivados de mercados u otras variables económicas o financieras.

Las aplicaciones del compresor wzip a datos económicos permiten distinguir o discriminar de manera importante, elementos que resultan difíciles de interpretar a través de las formas convencionales de análisis de datos económicos. Una muestra de las posibilidades que ofrece wzip a la interpretación de datos, puede apreciarse en el trabajo presentado en el Congreso Anual 2013 de la American Physical Society (Vogel E., y otros, 2013). Allí se muestra la aplicación de wzip al mercado accionario chileno, y se interpretan las tasas de compresión para variaciones por minutos del IPSA. Se observa que en días de alta agitación de precios de acciones, el indicador de compresión definido como diversidad, muestra bajas tasas de compresión, mientras que en días de calma se produce una alta compresión de datos. Este comportamiento se relacionó con el valor de los cinco fondos de pensiones de las AFP, asociando la covarianza entre la rentabilidad de los fondos y la compresibilidad del IPSA para los distintos tipos de fondos. A partir de esa oportunidad, en el congreso referido, se plantea la utilización del denominado Índice de

Diversidad⁸, el cual utilizando wLzip, mide la relación de peso en bytes del archivo comprimido, partido por el peso en bytes del archivo original. Posteriormente, el profesor Vogel designaría a este indicador con el nombre de Índice de Mutabilidad, término que será utilizado en adelante en este trabajo, cada vez que se utilice este concepto.

III. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el cumplimiento de los objetivos, hemos enunciado una hipótesis de investigación que pensamos, permite orientar los esfuerzos de la investigación hacia una dirección convergente y consistente con los objetivos.

Hi: Una aplicación de la econofísica utilizando compresión de datos, contribuye a comprender y explicar de un modo diferente el comportamiento de variables económicas.

Para efectos de operacionalizar la idea de “contribución”, como elemento clave de la hipótesis de trabajo, se entenderá este concepto en términos de la capacidad de agregar valor discriminante para efectos de toma de decisiones con datos numéricos de alta frecuencia, derivados de mercados y otras variables de características económicas o financieras, de los cuales es posible disponer hoy en día, y que con los enfoques tradicionales permanecen aparentemente invisibles u ocultos.

Para el cumplimiento de los objetivos e hipótesis de investigación planteada, tanto los datos como el análisis y conclusiones que se pueden obtener de ellos, son tratados bajo una perspectiva no tradicional.

Datos Utilizados:

La muestra de datos utilizados, corresponde a precios de acciones que se utilizarán en el análisis, tanto a nivel de índices como de precios específicos. Asimismo, la frecuencia con que se han obtenido, refleja claramente la orientación hacia la microestructura de los mercados financieros, enfoque más compatible con el punto de vista que proviene desde la Econofísica.

Pasos metodológicos:

La secuencia metodológica del trabajo se ha ordenado de acuerdo a los siguientes pasos en cadena:

1. (*Captura de datos*). Rescate de información y generación de matriz de precios
2. (*Aplicación de wLzip*). Obtenida la matriz de datos, se aplica el compresor wLzip a precios de acciones diarias, en ventanas de una hora, con una frecuencia de minuto a minuto.
3. (*Índice de Mutabilidad*). Para los datos comprimidos se aplica el índice de mutabilidad, (inicialmente definido por Vogel (Vogel E. , y otros, 2013) como índice de diversidad). Este indicador consiste en una relación entre los bytes ocupados por la serie comprimida, y los bytes ocupados por la serie original de precios y expresado en la fórmula:

$$D_i(Q(\alpha)) = \frac{W_i^*(Q(\alpha))}{W_i(Q(\alpha, t))}$$

Posteriormente se construye una matriz de índices de mutabilidad, que permite obtener una variedad de indicadores que resumen una serie de análisis indicando la agitación transversal y longitudinal.

4. (*Coefficiente de Mutabilidad*). Finalmente se establece un coeficiente de mutabilidad (μ), que permite analizar la agitación relativa en forma horizontal o vertical (μ_g). O también respecto al mercado (μ_a).
5. (*Aplicaciones y análisis*). Para explicar parte de lo que se podría obtener con las variadas alternativas de indicadores generados a partir de la aplicación del compresor wLzip, se utilizan e interpretan datos organizados como series de tiempo, los que vienen a complementar el enfoque matricial anterior.

Captura de datos.

Medir el tiempo por minutos, corresponde al tiempo calendario, una de cuatro alternativas disponibles. Otras posibilidades son las del momento del

8 Este concepto de diversidad (D), utilizando el compresor wLzip, se utiliza inicialmente en el trabajo **Diversity and Profitability in the Chilean Stock Market** en la XVII versión de las Conferencias en Mecánica Estadística Fuera del Equilibrio y Física No Lineal, MEDYFINOL 2012, desarrollada en Santiago desde el 3 al 7 de Diciembre de 2012.

evento (*event time*), momento de la transacción y el *tick time* o cuando el precio cambia. Cada forma de medición tiene sus pros y contras; por ejemplo, el tiempo calendario utilizado aquí y probablemente el más recurrente en análisis de series de tiempo, presenta problemas de comparación de varias acciones cuando éstas difieren en liquidez o presencia bursátil, pero tiene la ventaja de que reduce el problema de datos no sincrónicos. Un breve resumen sobre el efecto medición del tiempo y otros problemas al tratar con alta frecuencia de datos son presentados por Chakraborti y otros (Chakraborti, Muni Toke, Patriarca, & Abergel, 2011) y con aún mayor profundidad en Cambell y Mackinlay (Campbell, Lo, & Mackinlay).

Para el desarrollo de este trabajo se debió utilizar los únicos microdatos disponibles de la Bolsa de Comercio de Santiago, que corresponden a la información de los precios, minuto a minuto.

Una restricción a esta forma de operar en Chile, es que la disponibilidad está circunscrita al día en que se produjeron, sin dejar registro visible de períodos anteriores.

Aplicación de wzip.

En el caso de los compresores de datos usualmente disponibles al público, se busca alcanzar la máxima compresión, de modo que todas las repeticiones pueden ser comprimidas.

El compresor propuesto por (Vogel, Saravia, & Cortez, 2012) y que se utilizó para comprimir la información original de los precios, pretende comprimir de acuerdo a las propiedades del sistema, y no para cualquier extensión física, lo que puede terminar careciendo de significado. Por ejemplo, centavos de peso en Chile.

El compresor wzip está basado en una extensión fija de caracteres.

Índice de Mutabilidad.

El Índice de Mutabilidad, se puede organizar como se muestra en la matriz siguiente, con datos de cinco días, de los precios minuto a minuto, comprimidos con wzip con ventanas de una hora, para el caso de una semana de transacciones, de un título determinado, o de un índice agregado.

Tabla I. Matriz de Mutabilidad
(Elaboración propia)

HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	PROMEDIO
1	IM L1	IM Ma1	IM Mi1	IM J1	IM V1	IM-1
2	IM L2					IM-2
3	IM L3					IM-3
4	IM L4		IM Mi4			IM-4
5	IM L5					IM-5
6	IM L6					IM-6
Promedio	IM L	IM Ma	IM Mi	IM J	IM V	

$$\frac{IML1}{IM-1} = Z_{L1}$$

$$X_{L1} = \frac{IML1}{IML}$$

Análisis horizontal (Z):

Si utilizamos como ejemplo la primera hora del día lunes:

Si $Z > 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta más agitación que el promedio de las primeras horas del resto de los días de la semana.

Si $Z < 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta menos agitación que el promedio de las primeras horas del resto de los días de la semana.

Si $Z = 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta igual agitación que el promedio de las primeras horas del resto de los días de la semana.

Análisis vertical (X):

Si utilizamos como ejemplo la primera hora del día lunes:

Si $X > 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta más agitación que el promedio del día Lunes.

Si $X < 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta menos agitación que el promedio del día Lunes.

Si $X = 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta igual agitación al promedio del día Lunes.

Coefficiente de Mutabilidad.

Este coeficiente indica la agitación de la empresa con respecto a la agitación del mercado. Se puede organizar a través de una matriz como se muestra a continuación, referida a una semana. En este caso, se refiere al coeficiente μ_s .

Tabla II. Matriz de Coeficiente de Mutabilidad (Elaboración propia)

HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	PROMEDIO
1	μ_{L1}	μ_{Ma1}	μ_{Mi1}	μ_{J1}	μ_{V1}	$\overline{\mu-1}$
2	μ_{L2}					$\overline{\mu-2}$
3	μ_{L3}					$\overline{\mu-3}$
4	μ_{L4}		μ_{Mi4}			$\overline{\mu-4}$
5	μ_{L5}					$\overline{\mu-5}$
6	μ_{L6}					$\overline{\mu-6}$
Promedio	$\overline{\mu_L}$	$\overline{\mu_{Ma}}$	$\overline{\mu_{Mi}}$	$\overline{\mu_J}$	$\overline{\mu_V}$	

$$\frac{\mu_{L1}}{\overline{\mu-1}} = \mu_{L1}$$

$$\mu_{L1} = \frac{\mu_{L1}}{\overline{\mu_L}}$$

De modo similar al análisis de la matriz anterior,

Análisis horizontal:

Si utilizamos como ejemplo la primera hora del día lunes:

Si $\mu L1 > 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta una agitación mayor que el promedio de la primera hora de todos los días de la semana.

Si $\mu L1 < 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta una agitación menor que el promedio de la primera hora de todos los días de la semana.

Si $\mu L1 = 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta una agitación igual al promedio de la primera hora de todos los días de la semana.

Análisis vertical:

Si utilizamos como ejemplo la primera hora del día lunes:

Si $\mu L1 > 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta una agita-

ción mayor que el promedio de la agitación del día lunes.

Si utilizamos como ejemplo la primera hora del día lunes:

Si $\mu L1 < 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta una agitación menor que el promedio de la agitación del día lunes.

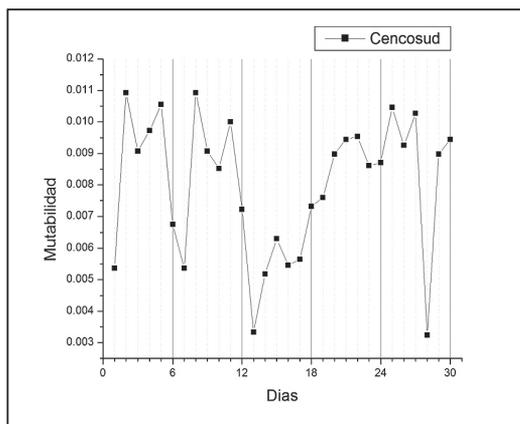
Si utilizamos como ejemplo la primera hora del día lunes:

Si $\mu L1 = 1$ Indica que la primera hora de transacción bursátil del día lunes presenta una agitación igual al promedio de la agitación del día lunes.

IV. RESULTADOS

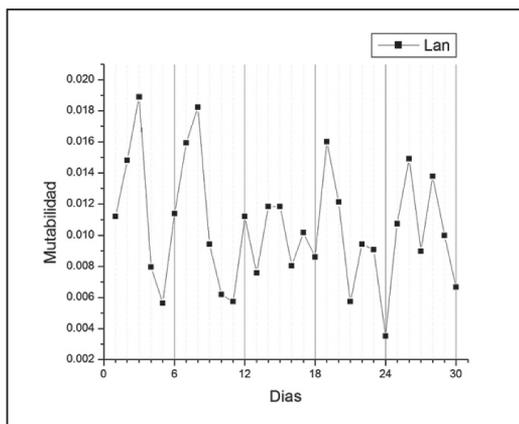
Los resultados de una primera aplicación, para las empresas LAN y CENCOSUD, y el indicador IPSA, correspondientes a datos de una semana, organizados como serie de tiempo, minuto a minuto con ventanas de una hora, tal como se ha explicado anteriormente, se presentan en los gráficos siguientes:

Gráfico 1. Mutabilidad de Cencosud



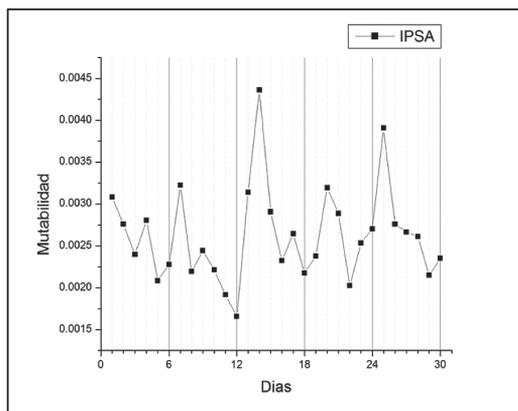
Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de la Bolsa de Comercio de Santiago.

Gráfico 2. Mutabilidad de LAN



Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de la Bolsa de Comercio de Santiago.

Gráfico 3. Mutabilidad del IPSA



Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de la Bolsa de Comercio de Santiago.

La sensibilidad del grado de agitación de empresas individuales, respecto del grado de agitación del mercado, medido en este caso por el IPSA, no resulta fácil de estimar visualmente, y se abren posibilidades por el lado del desarrollo de nuevas métricas para estimar formas distintas de definir la volatilidad.

Para este trabajo, y por analogía con el conocido coeficiente Beta del modelo de mercado de Fama, con la serie de datos de la muestra obtenida, se ha calculado un coeficiente de mutabilidad agregado (μ_a), el cual se ha definido entre la covarianza de la mutabilidad de una empresa individual y la mutabilidad del mercado, partido por la varianza de la mutabilidad del mercado.

Sin ser concluyentes, para el caso de LAN, con esta muestra de datos, se obtiene un μ_a de 1,24; es decir, en promedio ante una variación de la mutabilidad o agitación del IPSA, la mutabilidad o agitación de LAN, se espera varíe 1,24 veces más en la misma dirección que la mutabilidad del IPSA.

Respecto de CENCOSUD se obtuvo un μ_a de -0,86 representando un movimiento en dirección contraria a la mutabilidad del IPSA en 0,86 veces.

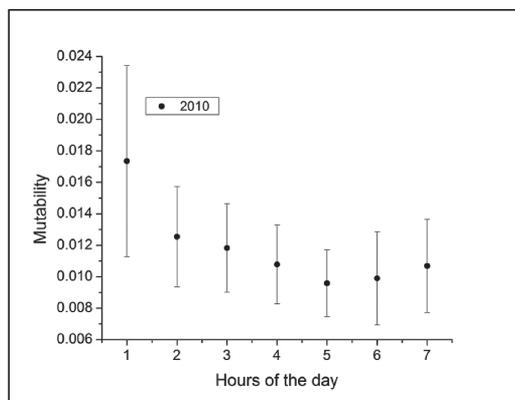
Los resultados de una segunda aplicación, se obtuvieron extrayendo datos del índice IPSA minuto a minuto, con ventanas de 60 minutos,

para todos los días de funcionamiento de la Bolsa, durante un año. Es necesario hacer notar que, a diferencia de la aplicación anterior, esta se trata de una gran cantidad de datos (más de 100.000 observaciones de cada minuto), para un análisis de datos de muy alta frecuencia, los que por métodos tradicionales resultan difíciles de interpretar.

En este caso, dada la masa significativa de la data, para poder obtener los valores para el año completo, con una medida pormenorizada al minuto, se hizo necesario automatizar su registro diario, a fin de rescatar los datos antes de que la Bolsa los retirara de su disposición pública.

El siguiente gráfico, muestra la posición de los datos comprimidos del IPSA y expuestos en base al promedio del índice de mutabilidad para todo el año 2010, con datos de cada minuto, en ventanas de una hora, y con sus rangos de amplitud correspondiente.

Gráfico 4. Mutabilidad Minutos del IPSA



Fuente: Elaboración Propia.

En este caso en el eje de las abscisas se muestra el tiempo en el cual opera la bolsa durante un día, entendiéndose que la primera hora corresponde a la primera hora de todos los días del año 2010, del mismo modo para las siguientes horas.

En el eje de las ordenadas se muestra el índice de mutabilidad de cada hora, representando el rango de fluctuación de este índice en cada hora de cada día del año 2010, y sus promedios expresados en cada uno de los puntos del gráfico.

De acuerdo al cuarto objetivo planteado inicialmente para este trabajo, consistente en analizar comportamientos preliminares de los datos, que por medios tradicionales resultan difíciles de visualizar, la figura anterior nos muestra de modo claro la agitación de los precios durante el año 2010, comprimidos en ventanas de sesenta minutos. El rango del índice de mutabilidad de la primera hora de cada día, presenta la mayor agitación diaria. Ello se refleja también, como es natural, el promedio del índice de mutabilidad más alto que el resto de las horas del día.

Esta forma de expresar la agitación, no se visualiza fácilmente por las vías convencionales, ya que éstas en general no nos muestran la cantidad de cambios en los precios.

Otro aspecto que se detecta a través de este gráfico, es que al avanzar el día, el índice de mutabilidad, baja, y también su promedio, lo que nos indica una menor agitación con el transcurso del tiempo; llegando a su mínimo en la quinta hora, donde tenemos el rango menor de la variabilidad del índice de mutabilidad y también su promedio. A partir de esa quinta hora, se ve una tendencia al alza en la agitación de los precios.

V. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La contrastación de los objetivos propuestos inicialmente, con el desarrollo de referencias, contenidos y diseño metodológico, permite establecer que ellos han sido satisfechos de modo adecuado. Al efecto, una revisión más detallada indica lo siguiente:

Las conexiones entre las variables de la realidad económica con desarrollos derivados de la física, se evidencian en los distintos aportes que se han materializado a través del tiempo, en parte descritos en la revisión de literatura.

La aplicación de una herramienta de la teoría de la información de compresión de datos, fue efectuada a partir de la utilización del compresor *wlzip*, del modo que se describe en el diseño de la investigación, y materializado a partir de las dos aplicaciones expuestas en los resultados de este trabajo.

El diseño de un modelo descriptivo preliminar destinado a analizar los datos comprimidos, fue desarrollado en la etapa de diseño de la investigación, e incluyó la secuencia completa considerando: captura de datos, aplicación de *wlzip*, aplicación del índice de mutabilidad, establecimiento y desarrollo de un coeficiente de mutabilidad como aporte derivado del índice de mutabilidad, y las aplicaciones correspondientes de esta secuencia.

Finalmente el análisis de comportamientos preliminares de los datos, difíciles de visualizar por las vías convencionales, se desarrolla en los resultados, en base a las interpretaciones efectuadas a la data intervenida, a través de los indicadores generados a partir del uso del compresor de datos *wlzip*, como herramienta derivada de la física, y utilizable de modo aportante para series de datos económicos.

Así, cumplidos los objetivos anteriores, la hipótesis de trabajo encuentra un sentido pragmático en la manifestación de cada una de las fases abordadas en el estudio, y permite por ende, su validación en forma general.

En este estudio, la hipótesis de investigación planteada solamente fue desarrollada en términos de las potencialidades de análisis que ofrece la teoría de la información, operacionalizado a través del compresor descrito. Es decir, no se ha buscado el rechazo de una hipótesis estadística sino que mostrar el estudio del comportamiento de microdatos con el uso de esta herramienta, enfatizando su poder para poder estudiar la volatilidad de series de datos de alta frecuencia. Es conocido que las series de datos bursátiles presentan varianza no constante, dificultando estudiar sus propiedades; adicionalmente, también es conocido que con datos de alta frecuencia (minutos, transacciones, etc.) es muy difícil medir la volatilidad a través de la varianza o desviación estándar, problema que buscan resolver los modelos como ARCH y GARCH. El enfoque proveniente de la econofísica presentado aquí, cae en esta línea de trabajo pero sin restricciones como, por ejemplo, la normalidad en los datos y se asemeja a las herramientas utilizadas por los analistas técnicos. Desde esta perspectiva, se puede afirmar que esta herramienta ofrece una perspectiva diferente y poderosa para estudiar las propiedades de series de tiempo de altos volúmenes de datos y alta frecuencia.

VI. REFERENCIAS

- Arthur, B., Durlauf, S., & Lane, D. (1997). *The Economy as an Evolving Complex System II*. Reading MA: Addison-Wesley.
- Bachelier, L. (1900). Theorie de la speculation. *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure III-17*, 21-86.
- Blanchard, O. (1979). Speculative bubbles, crashes and rational expectations. *Economics Letters 3*, 387-389.
- Campbell, J., Lo, A., & Mackinlay, C. (s.f.). *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Chakraborti, A., Muni Toke, I., Patriarca, M., & Abergel, F. (Julio de 2011). Econophysics: I. Empirical facts. *Quantitative Finance*, 11(7), 991-1012.
- Courtault, J.-M., Kabanov, Y., Bru, B., Crepel, P., Lebon, I., & Le Marchand, A. (2000). Louis Bachelier on the centenary of Theorie de la Speculation. *Mathematical Finance 10 (3)*, 341-353.
- Díaz, J., & Riadi, F. (2012). *Aproximaciones hacia una Contabilidad Continua*. Valdivia: Instituto de Administración. Universidad Austral de Chile.
- Farmer, D., Shubik, M., & Smith, E. (2005). Is Economics the Next Physical Science? *Physics Today 58*, 37.
- Feyerabend, P. (2003). *Provocaciones filosóficas*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Gell-Mann, M. (1994). *El Quark y el Jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo*. Barcelona: Metatemas.
- Harmon, D., De Aguiar, M. A., Chinellato, D. D., Braha, D., Epstein, I., & Bar-Yam, Y. (11 de Febrero de 2011). *Social Science Research Network SSRN*. Obtenido de http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1829224
- Johansen, A., Sornette, D., & Ledoit, O. (2000). Crashes as Critical Points. *International Journal for Theoretical & Applied Finance 3 (2)*, 219-255.
- Majorana, E. (1942). The value of the statistical laws in physics and social sciences. *Scientia 36*, 58-66.
- Mariani, M. C. (2006). La matemática financiera y el surgimiento de una nueva disciplina. *Matemática Vol. 2*.
- Martínez, J. J. (2011). Retornos no gaussianos, Volatilidad Aglomerada y Asimetrías en un Modelo de Mercado de Valores Modelando agentes adaptativos con limitaciones de liquidez. *XII Jornadas Latinoamericanas de Teoría Económica* (págs. 1-30). Punta del Este: Ciudad Política.
- Mattessich, R. (1977). *Accounting and analytical methods : measurement and projection of income and wealth in the micro- and macro-economy*. Houston, Tex: Scholars Book Co.
- Max-Neef, M. (2005). Foundations of transdisciplinarity. *Ecological Economics 53*, 5-16.
- Stanley, E., Afanasyev, V., Amaral, L., Buldyrev, S., Goldberger, A., Havlin, S., . . . Viswanathan, G. (1996). Anomalous Fluctuations in the Dynamics of Complex Systems: From DNA and Physiology to Econophysics. *Physica A 224*, 302-321.
- Taleb, N. (2009a). *El Cisne Negro: El impacto de lo altamente improbable*. Buenos Aires: Paidós.
- Taleb, N. (2009b). *¿Existe la suerte?: Las trampas del azar*. Buenos Aires: Paidós.
- Vogel, E. E., Saravia, G., & Cortez, L. V. (2012). Data compressor designed to improve recognition of magnetic phases. *Physica A 391*, 1591-1601.
- Vogel, E., Saravia, G., Astete, J., Díaz, J., Erribarrén, R., & Riadi, F. (19 de Marzo de 2013). *Bulletin of the American Physical Society*. Obtenido de APS March Meeting 2013: <http://meetings.aps.org/Meeting/MAR13/Session/G28.7>