



La hipótesis de los mercados eficientes en el IBEX-35

Albert Xavier López Barrantes

Grado de Economía

Tutor: Josep Lluís Raymond Bara

ÍNDICE

1. RESUMEN
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA HIPÓTESIS DE LOS MERCADOS EFICIENTES
3. TEORÍA DE LA HIPÓTESIS DE LOS MERCADOS EFICIENTES
 - 3.1. Hipótesis débil
 - 3.2. Hipótesis semi-fuerte
 - 3.3. Hipótesis fuerte
4. LA HIPÓTESIS DÉBIL EN EL IBEX-35
 - 4.1. Datos
 - 4.2. Metodología
 - 4.2.1. *Prueba gráfica*
 - 4.2.2. *Prueba de Durbin y Watson*
 - 4.2.3. *Prueba de “las rachas”*
 - 4.2.4. *Prueba de Breusch-Godfrey*
 - 4.2.5. *Prueba con modelos GARCH*
 - 4.3. Resultados
 - 4.3.1. *Prueba gráfica*
 - 4.3.2. *Prueba de Durbin y Watson*
 - 4.3.3. *Prueba de “las rachas”*
 - 4.3.4. *Prueba de Breusch-Godfrey*
 - 4.3.5. *Prueba con modelos GARCH*
5. CONCLUSIONES
6. BIBLIOGRAFÍA

1. RESUMEN

En un contexto de recesión en nuestro país, desaceleración de nuevo de las grandes economías mundiales, tipos de interés bajos e incertidumbre en multitud de variables macroeconómicas, la capacidad de poder aumentar o incluso mantener el capital acumulado es una de las grandes cuestiones en economía. En concreto, en el campo de las finanzas y la gestión de carteras, esta capacidad se traduce en el eterno dilema entre gestión activa y pasiva.

Por un lado, la gestión activa clásica. Son una buena parte de los fondos y cuyo principal objetivo es obtener una rentabilidad por encima de un índice de referencia que estos mismos fijan. De no cumplir con este requisito, no habría justificación posible a las comisiones que cobran a sus clientes por gestionar su dinero ya que estos podrían obtener los mismos resultados con fondos de gestión pasiva sin asumir ningún coste. Estos últimos, los de gestión pasiva, son fondos cuyo objetivo es replicar el comportamiento de un índice, dado que este ya se trata de una cartera diversificada de acciones de una región o sector. La piedra angular en este debate recae en la conocida hipótesis de los mercados eficientes. Uno de los autores con mayores contribuciones a este tema, Eugene Fama, defiende que los mercados son eficientes en la medida que estos reflejan a la perfección el valor intrínseco de las empresas. Además, el precio de las acciones se asemeja a un paseo aleatorio, por lo que cualquier estrategia de inversión basada en el análisis de precios históricos carece de utilidad. Asumiendo estas premisas, los fondos de inversión son incapaces de obtener rentabilidades, en promedio, por encima del mercado. La consecuencia, es una crítica directa a las estrategias utilizadas en la gestión activa y la incapacidad de los fondos de inversión en crear valor y justificar sus costes.

A lo largo del trabajo se pretende hacer un repaso de esta hipótesis de los mercados eficientes y probar si el mercado de valores español es eficiente. Para ello se hará uso de varias pruebas econométricas que permitirán saber si este cumple la hipótesis nula de no autocorrelación que indicaría que el mercado es eficiente.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La hipótesis de los mercados eficientes o en inglés *Efficient Market Hypothesis* (EMH) es asociada con la idea de “paseo aleatorio”, el cual es un término usado frecuentemente en literatura financiera para caracterizar series de precios que se mueven de forma aleatoria respecto al precio anterior. Por este motivo, debemos recordar la literatura, muchas veces de otras ciencias completamente distintas, para entender como se ha llegado a la EMH.

Los primeros trabajos que se conocen son de Rayleigh (1880), un físico británico que a partir de sus investigaciones sobre las vibraciones del sonido descubrió la noción de “paseo aleatorio”. Durante la década siguiente, Gibson (1989) menciona en su libro “*The stock markets of London, Paris and New York*” que cuando las acciones cotizan en un mercado abierto, el valor que adquieren se debe a las valoraciones de los demás participantes del mercado ajustándose al mejor análisis posible¹. Durante la posterior década, nacen varios de los principios del cálculo estocástico y la estadística. El matemático francés Louis Bachelier (1900), desarrolla en su tesis doctoral “*Théorie de la spéculation*” las matemáticas y la estadística del movimiento Browniano², cinco años antes que Einstein (1905). Dedujo también que la esperanza matemática del especulador es cero, sesenta años antes que Samuelson (1965) explicara la EMH en forma de martingala³. Pocos años después, Langevin (1908) desarrolla por primera vez las ecuaciones diferenciales para el cálculo estocástico⁴.

En los años previos a la Gran Depresión, el célebre economista británico John Maynard Keynes (1923), constata que los inversores en mercados de valores son pagados no por conocer el futuro, sino por ser arriesgados y tomar riesgos. Años más tarde, publicaría su libro “*General Theory of employment, interests and money* “, donde compararía el

¹ Es un detalle relevante, ya que al cabo de unas décadas se convertirá en uno de los principios de la forma eficiente de mercado.

² Desproporción entre las fuerzas de oferta y demanda de acciones, causante del movimiento aleatorio.

³ Proceso estocástico caracterizado por no tener deriva.

⁴ Concepto matemático que sirve para tratar con magnitudes aleatorias que varían con el tiempo, o más exactamente para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Cada una de las variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad y pueden o no, estar correlacionadas entre ellas (*Wikipedia: proceso estocástico*)

mercado de acciones con un concurso de belleza y reivindicando que muchos de las decisiones de los inversores solo podían ser resultado de su “espíritu animal” (Keynes 1936).

Poco después, el economista y empresario americano Alfred Cowles, fundó y financió la “*Econometric Society*” y su correspondiente revista “*Econometrica*”. En esta, analizó el rendimiento de los inversores profesionales y concluyó que los pronosticadores de mercado no pueden predecir el futuro. Por lo tanto, Cowles (1933) es el primero en demostrar que las variaciones en el precio de las acciones son independientes al periodo anterior. Una década más tarde advirtió la incapacidad de los inversores profesionales de batir el mercado (Cowles 1944). Durante esta misma década varios investigadores llegaron a la misma conclusión, dónde en mercados ideales sería imposible para cualquier profesional predecir los cambios en los precios con éxito (Working 1949). Por otro lado, Kendall (1953) analizó veintidós series de precios en intervalos semanales y encontró que eran esencialmente aleatorias. También se dio cuenta de la no estacionariedad de las series de tiempo de precio⁵.

En 1955 Leonard Jimmie Savage descubrió la tesis olvidada de Bachelier (1914) en la biblioteca de su facultad y la reenvió a varios de sus colegas preguntando “¿*Alguien lo conoce?*”. Curiosamente, uno de sus compañeros era Paul A. Samuelson, un joven estudiante del MIT, quien reinterpretó la tesis de Bachelier en lo que se convirtió en una tesis sobre fijación de precios sobre opciones, devolviendo el reconocimiento a Bachelier y con él toda la investigación alrededor del cálculo estocástico. Por este motivo, Osborne (1959) enseña por primera vez que el primer logaritmo del precio⁵ de una acción sigue un movimiento Browniano. El mismo año, Alexander (1959) se dio cuenta que por hacer medias se podían dar casos de autocorrelación espuria al estudiar la independencia entre precios presentes y pasados. Concluyó que el modelo más cercano a los datos de series del primer logaritmo del precio son las caminatas aleatorias con una distribución leptocúrtica⁶. También fue el primero en probar la no autocorrelación lineal de esta serie. A la misma conclusión llegaron Granger y Morgenstern (1963) cuando analizaron el

⁵ Por este motivo analizamos la serie de rentabilidad $R_t = \log \frac{P_t}{P_{t-1}}$

⁶ La distribución leptocúrtica es una distribución donde la densidad de los puntos alrededor de la media es mayor que en una distribución normal. El prefijo “lepto” significa que la curvatura es más puntiaguda.

espectro de la serie de precios del mercado y encontraron que en el corto plazo los movimientos del precio responden a un paseo aleatorio.

Eugene Fama (1965) reúne toda la literatura anterior y las evidencias encontradas. Por primera vez define el concepto de “mercado eficiente”, siendo su punto de referencia el análisis empírico de los precios de las acciones concluyendo que siguen una caminata aleatoria. Además el mismo año, Samuelson realiza la primera argumentación formal en favor de la tesis de Fama en *“Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly”*. Las investigaciones y argumentaciones de Fama representan la piedra angular del debate alrededor de la EMH, por lo que merece que nos detengamos y lo tratemos en mayor profundidad.

“Random walk is an accurate description of reality, then the technical procedures for predicting stock prices are completely without value” –Eugene Fama (1965)

En su investigación distingue los dos métodos que el sector financiero utiliza para predecir el precio de las acciones. Por un lado, el análisis técnico, que se basa en el reconocimiento de patrones pasados que permiten hacer predicciones sobre el futuro. Y el segundo, el análisis fundamental, basado en determinar si el valor intrínseco de la empresa se encuentra por encima o por debajo del precio de mercado. Dicho esto, la teoría del paseo aleatorio bajo la premisa de que el mercado es eficiente, implica que los sucesivos precios de las acciones son independientes ajustándose automáticamente a la información disponible del mercado. Esto implica que las series de precios no tienen memoria, por lo que la información de precios pasados no puede utilizarse para predecir el futuro. Luego de confirmarse esta hipótesis, una simple estrategia *“buy and hold”* será igual de buena que una estrategia sofisticada de mecanismos de compra y venta basada en análisis técnico.

La evidencia empírica que utiliza Fama es la prueba de correlación serial. Es decir, probar con algún test de autocorrelación la hipótesis nula de no correlación entre precios presentes y pasados. Por este motivo, en las posteriores décadas el debate coge fuerza en favor de la EMH ya que muchos investigadores se dedican a buscar los mejores métodos para probar la hipótesis. Fama y Blume (1966) concluyen que para medir el grado de dependencia en los cambios del precio, la correlación serial es probablemente igual de potente que los filtros más complejos de Alexander (1961). Poco después, se evalúa el rendimiento de los fondos institucionales y se concluye que en promedio, los fondos no

son suficientemente exitosos en sus actividades de trading, ni si quiera para cubrir los costes de transacción (Jensen 1968). Finalmente, Fama (1970) publica la investigación definitiva sobre la hipótesis del mercado eficiente y la definición de mercado eficiente:

“Un mercado eficiente es aquel que refleja siempre toda la información disponible”

Tres años más tarde, Malkiel escribe la primera edición del célebre libro *“A random walk down Wall Street”*, que hoy se ha convertido en lectura obligatoria como iniciación a los mercados financieros y con el propio autor como uno de los máximos defensores de la EMH. De nuevo Jensen (1978) escribiendo sobre la EMH constata dos reflexiones clave en el debate:

“No creo que exista otra proposición en economía que tenga mayor solidez empírica que la que tiene la hipótesis de los mercados eficientes”

“Un mercado es eficiente respecto la información θ_t si es imposible beneficiarse con estrategias de trading basadas en información de θ_t ”

Dejada atrás la década de los sesenta, las nuevas generaciones de economistas con críticas en contra la EMH cogen fuerza. Grossman y Stiglitz (1980) enseñaron la imposibilidad de que un mercado sea perfectamente eficiente en cuanto a la información. Se dan ineficiencias debido a que la información es costosa, por lo que los precios no pueden reflejar a la perfección toda la información disponible, ya que si lo hicieran, los inversores que consumen más recursos en obtener y analizar información no recibirían compensación. Así, un modelo de mercado equilibrado debería dejar incentivos a la reunión de información. Poco después, se descubre que los precios de las acciones sobre reaccionan, evidenciando sustanciales ineficiencias del mercado (De Bondt y Thaler 1985). Este trabajo marca el inicio del *“behavioural finance”*, una de las ramas más críticas en cuanto a la racionalidad de los participantes y la eficiencia del mercado. Summers (1986) argumentó que muchos de los test estadísticos para la EMH tienen muy poco poder de discriminación frente a posibles formas de ineficiencia. Y se encuentran evidencias de microestructuras de mercado⁷ y predicciones de evoluciones de precio (Huang y Stoll 1994).

⁷ Las microestructuras de mercado son una rama de las finanzas donde se estudian los detalles de los intercambios en los mercados. Se examinan como los procesos de formación de precio afectan a determinantes como los costes de transacción, precios, volúmenes y comportamiento de los inversores.

Paralelamente a estos años de muchas críticas en contra, son varias las publicaciones que emergen del estudio de series de tiempo analizadas para la hipótesis de eficiencia del mercado. El profesor de finanzas de Yale Robert Shiller (1981) encuentra que los movimientos de las acciones se mueven demasiado como para ser explicados por la variación de los dividendos, firmando indicios de volatilidad⁸. A su vez, LeRoy y Porter (1981), Roll (1984) y French y Roll (1986) encuentran también excesos de volatilidad. Estos excesos de volatilidad pueden hacer que se rechace la hipótesis nula de no autocorrelación de la EMH. La presencia de volatilidad en la serie hace que la varianza de las series de tiempo se modifique con el tiempo obteniendo heteroscedasticidad⁹.

Ya en las últimas décadas de investigación, las principales críticas provienen de Bernstein (1999) reclamando que los beneficios marginales de los inversores que actúan con información superan los costes marginales. Shleifer (2000) en su publicación "*Inefficient markets: An introduction to behavioural finance*" pone en duda la asunción de que el inversor es racional y que exista un perfecto arbitraje. Finalmente, Shiller (2000) en "*Irrational Exuberance*" reta la EMH, demostrando que los mercados no pueden explicarse históricamente por el movimiento de los beneficios o dividendos de las empresas.

La principal contraparte a favor de la EMH viene de la mano de Malkiel y Metcalf (1994) quienes encuentran que las carteras de acciones escogidas por expertos no batan de forma consistente al mercado. Además, se hacen varios trabajos de recopilación y revisión de investigaciones alrededor de la eficiencia del mercado y se concluye en todos ellos que los mercados son racionales, eficientes e impredecibles (Rubinstein 2001, Malkiel 2003). También se encuentra que cuando aparecen anomalías, los participantes implementan estrategias desarrolladas por investigadores académicos y en consecuencia estas desaparecen. En otras palabras, los resultados de la investigación hacen que el mercado se vuelva aún más eficiente (Schwert 2003). La última publicación de Malkiel (2005) enseña que los profesionales de fondos de inversión no superan sus respectivos *benchmarks* y enseña evidencias de que los precios parecen reflejar toda la información

⁸ El término volatilidad es una medida de la frecuencia e intensidad de los cambios del precio de un activo definido como la desviación estándar.

⁹ Cuando la varianza de las perturbaciones no es constante. Implica el incumplimiento de una de las hipótesis básicas del modelo de regresión lineal y se suele dar en series de datos económicas porque los individuos no suelen tener un comportamiento homogéneo.

disponible. Una rápida comprobación de su trabajo se puede realizar comparando el rendimiento promedio de los fondos de una región con sus correspondientes índices de referencia a los que en teoría deberían batir para dar sentido a la gestión activa. En la ilustración siguiente se puede apreciar como los rendimientos en promedio de los fondos no son capaces de batir sus índices. Este análisis es muy vago y carece de fundamentos sólidos, sin embargo permite hacernos una idea general de la teoría que Malkiel repite constantemente.

Retornos de los fondos de EEUU				Índices de referencia EEUU			
	1 año (%)	3 años (%)	5 años (%)		1 año (%)	3 años (%)	5 años (%)
Large growth	9,05	16,33	13,23	Large growth	13,54	18,72	15,82
Mid-cap growth	5,11	14,42	11,83	Mid-cap growth	5,82	15,72	13,34
Small growth	4,78	13,52	11,78	Small growth	6,61	15,01	13,07
Retornos de fondos internacionales				Índices de referencia internacionales			
	1 año (%)	3 años (%)	5 años (%)		1 año (%)	3 años (%)	5 años (%)
Japan stock	13,54	12,4	8,55	Nikkei225	22,02	28	14,87
Europe stock	4,4	9,07	6,16	Eurostoxx50	11,36		18,84
World Stock	2,71	10,39	10,39	ETF mundial	-6,67	7,09	6,85

Promedio de los retornos de los fondos vs los índices de referencia. Fuente: Morningstar

3. TEORÍA DE LA HIPÓTESIS DE LOS MERCADOS EFICIENTES

3.1. Hipótesis débil

En la forma débil de eficiencia, los precios futuros no se pueden predecir analizando precios pasados. Por lo tanto, no se pueden obtener rentabilidades extraordinarias en el largo plazo usando estrategias basadas en el análisis histórico de precios. En otras palabras, el análisis técnico no puede ayudar a obtener rentabilidades anormales. Por otro lado, determinadas formas del análisis fundamental también pueden verse afectadas por esta hipótesis, como por ejemplo el uso de la ratio PER, que basa sus datos en precios

históricos. En definitiva, esta versión implica que no existen relaciones de dependencia entre las series de precios, luego no se pueden determinar patrones de precios. Resumiendo, los movimientos de precios están determinados por información que no reflejan las series de precios, lo que significa que los precios siguen un paseo aleatorio. Esta versión débil no requiere que los precios se encuentren en equilibrio, sólo que los participantes del mercado no pueden aprovechar de forma sistemática las ineficiencias del mercado.

La principal anomalía es el detectado efecto “*momentum*”, identificada por Jegadeesh y Titman (1993), donde vieron que las acciones que han subido en los últimos 3 a 12 meses continúan comportándose bien en los siguientes 3 a 12 meses. Esta estrategia pone largos en las acciones ganadoras y cortos en las perdedoras, produciendo una rentabilidad ajustada al riesgo en promedio positiva. Esta es la mayor crítica bajo la consideración de Fama.

La forma de contrastar empíricamente esta versión débil es mediante el análisis de correlación serial de series de precio. En este trabajo se tratará de contrastar si esta versión débil de la EMH se verifica en el IBEX-35.

3.2. Hipótesis semi-fuerte

Esta forma de eficiencia implica que los precios de las acciones refleja toda la información pública y de una forma prácticamente instantánea. Bajo este supuesto, ningún participante del mercado puede obtener rentabilidades extraordinarias evaluando las nuevas informaciones publicadas. En otras palabras, el análisis técnico i el análisis fundamental son inútiles para obtener rentabilidades por encima del mercado.

3.3. Hipótesis fuerte

En esta forma estrictamente eficiente, el precio de las acciones refleja toda la información, pública y privada, y nadie puede obtener grandes rentabilidades. Esta forma es imposible en el mundo real ya que el uso de información de privilegiada está penalizado por ley. Para probar esta forma más estricta, deberíamos encontrar un mercado donde los gestores de fondos de inversión fueran incapaces de obtener rentabilidades por encima del mercado en un período largo de tiempo. Sin embargo, que algunos gestores superen

consistentemente el rendimiento del mercado no invalida esta hipótesis, ya que los resultados siguen una distribución normal por lo que pueden existir gestores estrella sin invalidarla.

4. LA HIPÓTESIS DÉBIL EN EL IBEX-35

4.1. Datos

En este trabajo se pretende probar la hipótesis nula de no autocorrelación entre las series diarias, semanales y mensuales del IBEX-35, comprobando la eficiencia del mercado de valores español en su versión débil. La base de datos utilizada es Quandl.com y el período analizado son los últimos veinte años de cotización. (1995-2015) Los precios utilizados son los precios ajustados, ya que incorporan acciones representativas de las empresas como los *splits*¹⁰, ampliaciones de capital o los dividendos.

Sin embargo, Kendall (1953) advirtió por primera vez de la no estacionariedad de las series de precio de acciones. Por este motivo, debemos transformar los datos de precio en forma de retornos. Sea P_t el precio de un activo en el período t , el retorno simple neto de un período (o la tasa de variación de los precios) es:

$$R_t = \frac{P_t}{P_{t-1}} - 1 = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

El retorno compuesto continuo (o el log-retorno):

$$R_t = \log \frac{P_t}{P_{t-1}} = \log P_t - \log P_{t-1}$$

Las formas anteriores son aproximadamente las mismas, ya que:

$$\log P_t - \log P_{t-1} = \log\left(1 + \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}\right) \approx \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

Fama (1965) explica tres razones por las que usar logaritmos en lugar del simple cambio de precio. La primera, que el cambio en el logaritmo del precio representa el rendimiento, con capitalización continua, al mantener un activo por un periodo de tiempo determinado. La segunda razón, que la variabilidad del cambio simple en el precio para una acción dada, es una función creciente del nivel del precio de la acción (Moore 1962). El trabajo de Moore explica que al tomar logaritmos se parece neutralizar buena parte del efecto de

¹⁰ Un Split de acciones es cuando una compañía decide aumentar el número de acciones y, al mismo tiempo, bajar su precio. El precio de las acciones y el número de partes nuevas se calcula para mantener la misma capitalización bursátil que la compañía tenía antes del Split. Es decir, el valor de su inversión se quedara igual aumentando el número de partes que usted tiene, pero en un precio más bajo.

nivel del precio. Por último, para cambios menores al $\pm 15\%$, el cambio en el logaritmo del precio es muy cercano al cambio porcentual en el precio, y en muchos casos es conveniente observar los datos en términos de cambios porcentuales de los precios. Por estas razones utilizaré la forma logarítmica al definir las variables de la rentabilidad.

4.2. Metodología

Una vez obtenidas las variables de los retornos con los conjuntos de precios a diferentes escalas de tiempo (diario, semanal y mensual) procedemos a añadir los retardos para definir la ecuación (1) sobre la cual aplicaremos MCO y haremos las posteriores pruebas de autocorrelación. La hipótesis nula que buscaremos contrastar será la de no autocorrelación con los rezagos.

$$(1) R_t = \alpha + \beta R_{t-1} + u_t$$

4.2.1. Prueba gráfica

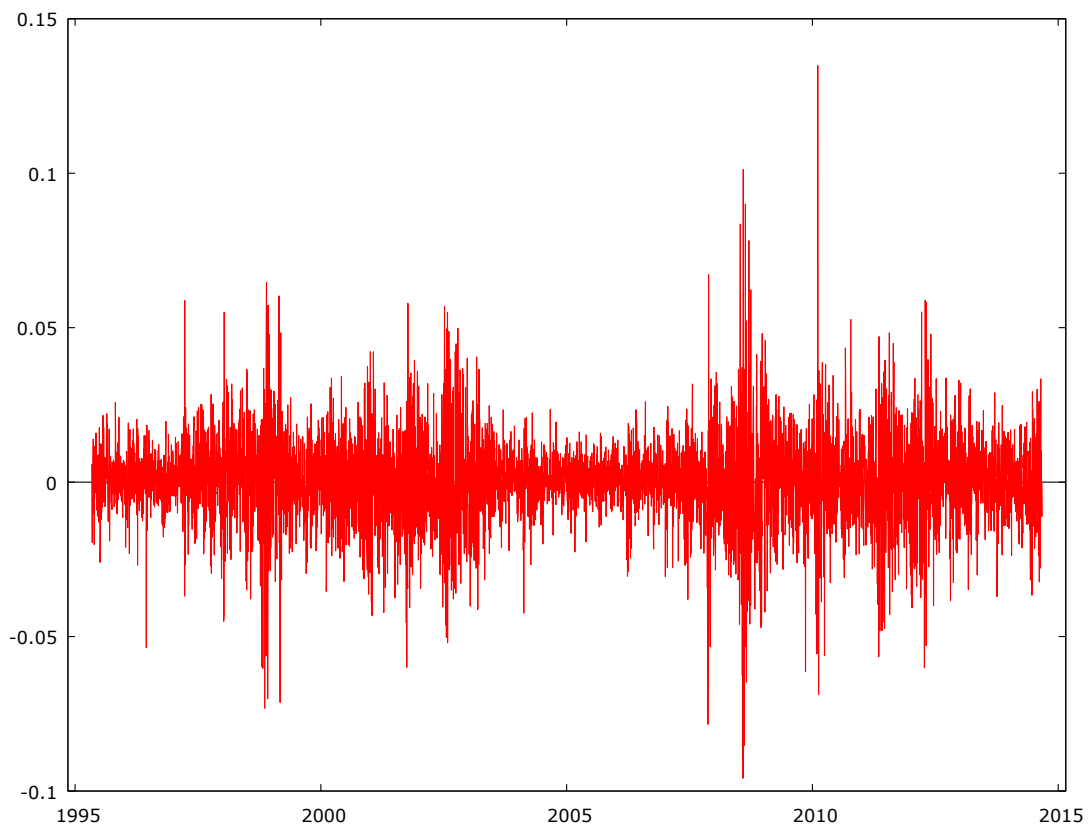
Antes de llevar a cabo una prueba formal, es habitual graficar la serie de tiempo bajo estudio, así que las figuras (1) y (2) representan las series temporales del precio y la primera diferencia del precio. Concretamente, para el estudio de la serie diaria de rentabilidad no vemos una tendencia clara, lo cual sugiere que probablemente la media sea constante y además próxima a cero. Esto probablemente nos indica que la serie de rentabilidades diarias sea estacionaria, lo cual va en línea a un proceso puramente aleatorio en línea con la hipótesis del mercado eficiente. Este vistazo sirve como intuición para una prueba más formal de estacionariedad.

Una característica de la mayoría de las series de tiempo financieras consiste en que en su forma de nivel son senderos aleatorios, es decir son no estacionarias. Sin embargo, en la forma de primera diferencia (en este caso la primera diferencia del logaritmo al que llamamos rentabilidad) por lo general resultan estacionarias.

(Ilustración 1) Precios diarios del IBEX35



(Ilustración 2) Rentabilidad diaria del IBEX35

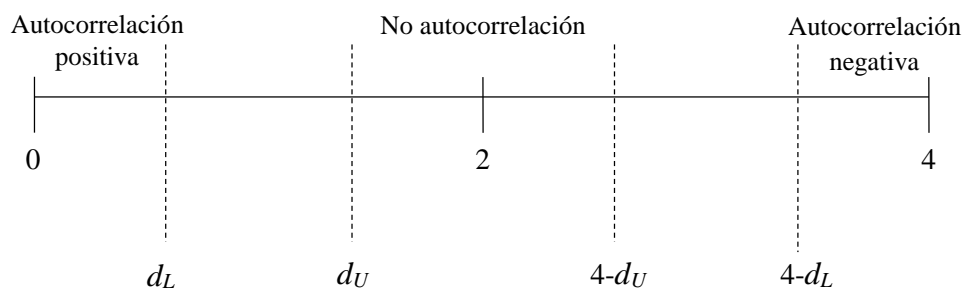


4.2.2. Prueba de Durbin Watson

La prueba más conocida para detectar correlación serial es la desarrollada por los estadísticos Durbin y Watson. Comúnmente conocida como el estadístico d de Durbin-Watson, el cual se define como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=2}^{t=n} \hat{u}_t^2}$$

La gran ventaja del estadístico d es que está basado en los residuos estimados, que se calculan de manera rutinaria en los análisis de regresión. Sin embargo, el muestreo exacto de probabilidad del estadístico d es difícil de derivar porque, como lo han demostrado Durbin y Watson depende de forma compleja de los valores presentes de X en una muestra dada. Es decir, la dificultad radica en que d es calculada a partir de las \hat{u} . En consecuencia, a diferencia de otras pruebas, no hay un valor crítico único que lleve al rechazo o a la aceptación de la hipótesis nula de que no hay correlación serial en las perturbaciones. Para ello, Durbin y Watson encontraron un límite inferior d_L y un límite superior d_U tales que si el valor del estadístico d cae por fuera de estos, puede tomarse una decisión respecto a la presencia de correlación serial. Estos límites dependen del número de observaciones n y del número de variables explicativas del modelo.



Estadístico d de DW para $n > 100$ y una variable explicativa

El problema más serio con la prueba de Durbin-Watson es que únicamente permite contrastar la hipótesis nula de no autocorrelación de primer orden sin contemplar otros procesos más generales de dependencia temporal.

4.2.3. Prueba de “las rachas”

En ocasiones, al examinar la autocorrelación de forma gráfica podemos encontrar ciertas series de residuos negativos seguidos de residuos positivos creando pequeños patrones. Sin embargo, si los residuos fuesen puramente aleatorios como en el caso de la hipótesis de este trabajo, ¿sería posible observar tales patrones? Esta intuición puede entonces ser verificada por la prueba de “las rachas” o conocida también como prueba de Geary.

Para esta prueba se anotan los signos de los residuos de la regresión formando rachas en forma de sucesión ininterrumpida de un símbolo, tal como + o -. Al examinar el comportamiento de las rachas en una sucesión de observaciones estrictamente aleatoria, podemos derivar una prueba de aleatoriedad en la que se pretende resolver si el número de rachas son muchas o pocas. Ahora, sea:

$$N = \text{número total de observaciones} = N_1 + N_2$$

$$N_1 = \text{número de símbolos + (es decir, residuos+)}$$

$$N_2 = \text{número de símbolos - (es decir, residuos-)}$$

$$R = \text{número de rachas}$$

El número de rachas está asintóticamente distribuido con:

$$\text{Media: } E(R) = \frac{2N_1N_2}{N} + 1$$

$$\text{Varianza: } \sigma_R^2 = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N)}{(N)^2(N - 1)}$$

Si la hipótesis nula de aleatoriedad es sostenible, se debería cumplir que:

$$\text{Prob}[E(R) - 1,96\sigma_R \leq R \leq E(R) + 1,96\sigma_R] = 0,95$$

Es decir, la probabilidad es de 95%, de que el intervalo incluya R.

4.2.4. Prueba Breusch-Godfrey

También conocida como la prueba de los multiplicadores de Lagrange, desarrollada por Breusch y Godfrey, consiguieron una prueba en la que se permiten procesos autorregresivos de orden superior al primero.

A partir del modelo base (1):

$$(1) R_t = \alpha + \beta R_{t-1} + u_t$$

Suponemos que el término de error u_t sigue un esquema autorregresivo de orden 1, AR(1) y donde ε_t es un término de error de ruido blanco, del siguiente modo:

$$u_t = \rho_1 u_{t-1} + \varepsilon_t$$

La hipótesis nula H_0 a ser probada es

$$H_0: \rho_1 = 0$$

Es decir, no existe correlación serial de ningún orden. Entonces, los pasos para la elaboración de la prueba de BG son:

1. Estimamos el modelo base mediante MCO y obtenemos el residuo u_t .
2. Hacemos la regresión u_t sobre la *Rentabilidad_1* añadiendo el rezago del residuo obtenido en el paso anterior. En resumen, MCO sobre el modelo siguiente y obtenemos el valor R^2 .

$$\hat{u}_t = \alpha_1 + \alpha_2 \text{Rentabilidad}_{t-1} + \hat{\rho}_1 \hat{u}_{t-1} + \varepsilon_t$$

*Usando Gretl, simplemente con introducir los comandos de contraste de autocorrelación de BG nos aparece el valor R^2 .

3. Si el tamaño de la muestra es grande, Breusch y Godfrey han demostrado que:

$$(n - p)R^2 \sim \chi_p^2$$

Por lo tanto, si $n - p$ veces el valor de R^2 excede el valor crítico de chi-cuadrado con p grados de libertad, se puede rechazar la hipótesis nula de no correlación serial.

Para procesos autorregresivos de orden superior se seguiría similar metodología.

4.2.5. Prueba con modelos GARCH

Una característica de la mayoría de las series de tiempo financieras consiste en que en su forma de nivel son senderos aleatorios, es decir son no estacionarias. Sin embargo, en la forma de primera diferencia (en este caso la primera diferencia del logaritmo al que llamamos rentabilidad) por lo general resultan estacionarias. En consecuencia, en vez de llevar a cabo los niveles de las series temporales financieras llevamos a cabo modelos de sus primeras diferencias. Sin embargo, estas primeras diferencias suelen presentar amplias variaciones, o volatilidad, lo cual sugiere que la varianza de las series de tiempo financieras se modifica con el tiempo. En estas situaciones es cuando el modelo de heteroscedasticidad

condicional autorregresivo (ARCH), desarrollado por Engle resulta práctico. Como su nombre lo sugiere, heteroscedasticidad o varianza desigual, puede tener una estructura autorregresiva en la que la heteroscedasticidad observada a lo largo de periodos distintos quizá esté autocorrelacionada. Desde su formulación en 1982, la elaboración de modelos ARCH se ha convertido en un área floreciente, con todo tipo de variantes respecto al modelo original. Uno de los que se ha hecho más popular es el modelo de heteroscedasticidad condicional autorregresiva, propuesto por Bollerslev. El modelo GARCH más simple es el GARCH(1,1), que puede expresarse como:

$$(2) \text{ Ecuación de varianza } \sigma_t^2 = \gamma_0 + \gamma_1 u_{t-1}^2 + \phi \sigma_{t-1}^2$$

Este modelo anuncia que la varianza condicional de u en el tiempo de t depende no sólo del término error al cuadrado del periodo anterior, como sucede en el ARCH(1), sino también de su varianza condicional en el anterior periodo. Este modelo puede generalizarse al modelo GARCH(p,q) en el que existen p términos rezagados del término error al cuadrado y q términos de las varianzas condicionales rezagadas.

Resumiendo, la característica de las series de tiempo financieras es que la varianza del error puede estar correlacionada a lo largo del tiempo debido a la acumulación de volatilidad. Luego debemos quitar el efecto de la volatilidad para comprobar si hay correlaciones con los rezagos de periodos anteriores y rechazar o no la hipótesis de los mercados eficientes. Además, se sabe que en muchos casos, una d de Durbin-Watson significativa puede deberse a un efecto ARCH o GARCH. La importancia de contemplar procesos ARCH y GARCH en el contraste de la hipótesis de eficiencia de mercado radica en que si no se tiene en cuenta el potencial patrón heteroscedástico de la variable, los contrastes previos pierden validez al resultar transgredida una de las hipótesis que la que se fundamenta la formulación del contraste.

Para contrastar la hipótesis nula de no autocorrelación llevamos a cabo las regresiones del modelo general correspondiente a la hipótesis alternativa y la del modelo restringido correspondiente a la hipótesis nula de no autocorrelación. Una vez obtenidas las estimaciones, utilizaremos un test de la razón de verosimilitud para contrastar el paso del modelo general al restringido. Su formulación es:

$$2(L_1^* - L_0^*) \sim \chi_p^2$$

dónde L_1^* y L_0^* son los logaritmos de la función de verosimilitud bajo las hipótesis alternativa y nula respectivamente.

4.3. Resultados

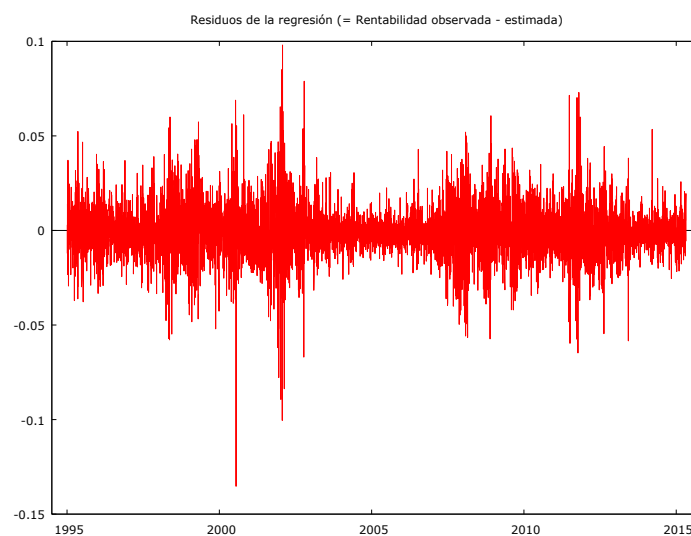
4.3.1. Prueba gráfica

Con mucha frecuencia un examen visual de las \hat{u} nos da algunas claves sobre la posible presencia de autocorrelación en las u . El análisis gráfico de los residuos proporciona un resumen fácil ilustrando claramente un problema complejo como puede ser detectar autocorrelación. En este primer apartado he examinado los residuos a través de una gráfica de secuencia de tiempo.

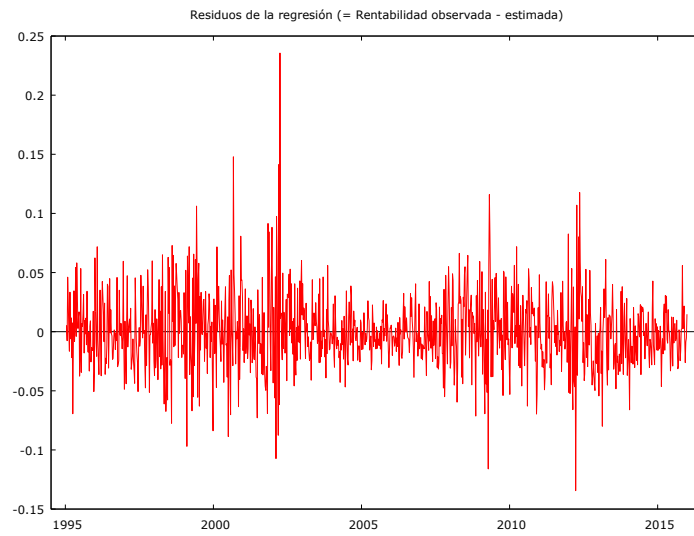
Se puede apreciar en los tres gráficos de los residuos contra el tiempo y a diferente escala temporal como se distribuyen de forma aleatoria por encima y por debajo de la media.

Por naturaleza, el método gráfico comentado es esencialmente subjetivo aunque muy poderoso. Sin embargo, hay diversas pruebas cuantitativas que pueden utilizarse para complementar este enfoque puramente subjetivo.

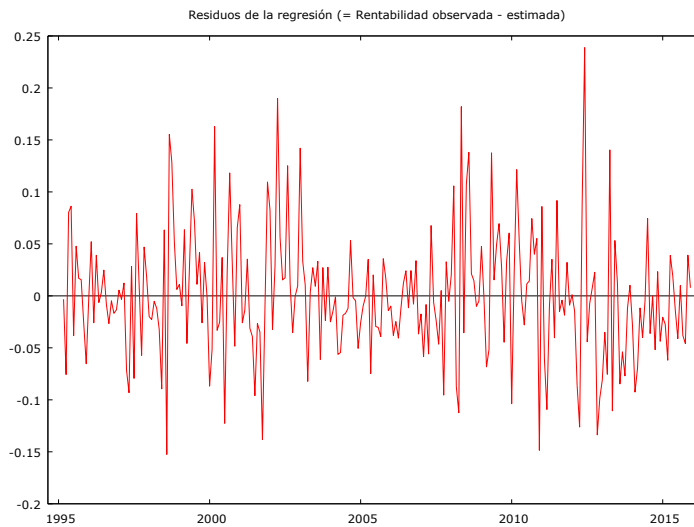
(Ilustración 3): Rentabilidad diaria del IBEX-35



(Ilustración 4): Rentabilidad semanal del IBEX-35



(Ilustración 5): Rentabilidad mensual del IBEX-35

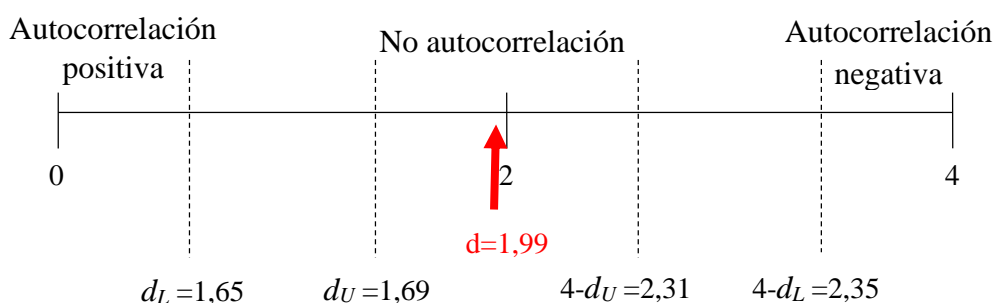


4.3.2. Prueba de Durbin Watson

A partir de las tablas de Durbin-Watson, se encuentra que para observaciones $n > 100$ y una variable explicativa, $d_L = 1,65$ y $d_U = 1,69$. Obtenemos el estadístico mediante la expresión definida en la metodología con el paquete estadístico y obtenemos en las tres escalas temporales un valor estimado de 1,99. Por lo tanto, dados los valores de que delimitan nuestra zona de rechazo, aceptamos la hipótesis nula de no autocorrelación.

	Diaria	Semanal	Mensual
Rentabilidad_1	0,019	-0,053	0,06
Desviación típica	0,013	0,030	0,063
Observaciones	5044	1094	250
<i>d</i> de Durbin-Watson	1,99	1,99	1,99

(Ilustración 6): Tabla de representación del estadístico de DW



Estadístico *d* de DW para $n > 100$ y una variable explicativa

Como podemos ver en la ilustración (6), todos los valores de DW son de 1,99 y por lo tanto quedan dentro de los límites de no autocorrelación, verificando la hipótesis nula de no autocorrelación de primer orden sin contemplar otros procesos más generales de dependencia temporal.

4.3.3. Prueba de “las rachas”

Siguiendo los pasos de la metodología, el paquete econométrico nos da directamente el valor R y el intervalo de confianza de 95%, obteniendo:

	Diaria	Semanal	Mensual
R	2554	535	118
Intervalo de confianza al 95%	***	(543.24,16.38)	(124.43,7.79)

Se observa claramente que los valores de R quedan dentro de los intervalos respectivos, por lo tanto se acepta la hipótesis nula de residuos aleatorios, con una confianza del 95%. En otras palabras, los residuos no muestran autocorrelación.

4.3.4. Prueba Breusch-Godfrey

Siguiendo los pasos, con las series temporales trabajadas obtenemos:

	Diario	Semanal	Mensual
$(n - p)R^2$	9,70	2,63	0,44
P-value	0,0018 ***	0,105	0,503

Para un valor crítico de chi-cuadrado con un grado de libertad tal que:

$$\chi_{p=1}^2 = 3,84$$

El *p-value* obtenido nos indica que rechazamos la hipótesis nula de no autocorrelación en la muestra con los cambios de precio diarios, mientras que para las series semanales y mensuales aceptamos la hipótesis nula. Las implicaciones de la evidencia de autocorrelación en la serie de precios diaria podría ser explicada por transacciones a medio hacer en operaciones intra-día u otros factores. Sin embargo, la capacidad predictiva del modelo no permitiría aprovechar la información de precios pasados para predecir precios futuros y consecuentemente obtener rentabilidades superiores, ya que a efectos prácticos los costes de transacción harían que estas operaciones no fueran aprovechables. Por lo tanto, un último test más complejo sería necesario para comprobar que en la serie de rentabilidades diarias no hay efectos que puedan estar sesgando los resultados.

4.3.5. Prueba con modelos GARCH

Aplicando un test de heteroscedasticidad condicional autorregresiva (3) nos sirve para encontrar evidencias de acumulación de volatilidad, lo que nos permitirá posteriormente aplicar el modelo GARCH explicado anteriormente.

$$(3) \quad u_t^2 = u_{t-1}^2$$

Para realizar esta prueba, primero debemos hacer la regresión con MCO de la ecuación (4). En este caso, la ecuación representa los 5 retardos correspondientes al análisis de la serie diaria de precios. Para el análisis de las series semanales y mensuales utilizaremos el mismo procedimiento pero con 12 retardos.

$$(4) \quad R_t = \alpha_0 + \alpha_1 R_{t-1} + \alpha_2 R_{t-2} + \alpha_3 R_{t-3} + \alpha_4 R_{t-4} + \alpha_5 R_{t-5} + u_t$$

Por ejemplo, en la regresión por MCO de la ecuación autorregresiva diaria (4) obtenemos que las variables 2, 3 y 5 son estadísticamente significativas. Esto

implica que hay ciertas correlaciones a tener en cuenta en esta serie, por lo que es aconsejado el uso de modelos tipo GARCH.

Modelo 4: MCO, usando las observaciones 1995-2015(T = 5040)
Variable dependiente: Rentabilidad

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	-0.000263243	0.000208603	-1.2619	0.20703	
Rentabilidad_1	0.019282	0.0140839	1.3691	0.17103	
Rentabilidad_2	-0.0492726	0.0140857	-3.4981	0.00047	***
Rentabilidad_3	-0.0383824	0.0140944	-2.7232	0.00649	***
Rentabilidad_4	0.0109245	0.0140881	0.7754	0.43812	
Rentabilidad_5	-0.0376026	0.0140867	-2.6694	0.00762	***
Media de la vble. dep.	-0.000240		D.T. de la vble. dep.	0.014833	
Suma de cuad. residuos	1.102478		D.T. de la regresión	0.014799	
R-cuadrado	0.005620		R-cuadrado corregido	0.004632	

A partir de la regresión de este modelo autorregresivo para las tres series temporales, obtenemos los residuos y con MCO sobre el modelo (3) obtenemos:

	<i>Coefficiente</i>	<i>Valor p</i>	
Diaria	0.181139	<0.00001	***
Semanal	0.0302	0.0005	***
Mensual	0.12839	0.048	**

Encontramos coeficientes significativos que nos indican la existencia de acumulación de volatilidad, algo típico en las primeras de diferencias de series financieras. Por lo tanto, las perturbaciones aleatorias verifican este patrón. Una vez tenemos señales de que hay volatilidad acumulada en las series de tiempo estudiadas, procedemos a realizar el contraste de la hipótesis nula de no autocorrelación.

$$H_0: \alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 0$$

Para contrastar la hipótesis nula llevamos a cabo las regresiones del modelo (5) correspondiente a la hipótesis alternativa y la del modelo (6) correspondiente a la hipótesis nula de no autocorrelación. Una vez obtenidas las estimaciones, utilizaremos la máxima verosimilitud para probar que:

$$2(L_1^* - L_0^*) \sim \chi_p^2$$

Es decir, para muestras grandes $2(L_1^* - L_0^*)$ sigue la distribución chi-cuadrada cuyos grados de libertad corresponden al número de términos autorregresivos de la regresión auxiliar (5)

$$(5) R_t = \gamma_0 + \phi_1 R_{t-1} + \phi_2 R_{t-2} + \phi_3 R_{t-3} + \phi_4 R_{t-4} + \phi_5 R_{t-5} + u_t^{11}$$

Permitiendo que la perturbación aleatoria siga un proceso GARCH (1,1) del tipo:

$$\sigma_t^2 = \gamma_0 + \gamma_1 u_{t-1}^2 + \phi \sigma_{t-1}^2$$

Obtenemos el valor máximo de la función de verosimilitud del modelo (5) y lo comparamos con el del modelo (6).

$$(6) R_t = \gamma_0 + u_t$$

L_0^* Corresponde a la hipótesis nula H_0 de no autocorrelación de la ecuación de varianza del modelo (6) implícita en su constante y L_1^* corresponde a la hipótesis alternativa de la ecuación de varianza del modelo (5). De tal modo que al aplicar el contraste, la diferencia de estos multiplicada por dos, debería parecerse a una chi-cuadrada con 5 grados de libertad (en el caso de las series semanales y mensuales 12) tal que así:

$$2(L_1^* - L_0^*) \sim \chi_5^2$$

Los resultados obtenidos con los modelos GARCH son:

	<i>Log-vero.</i> L_1^*	<i>Log-vero.</i> L_0^*	$2(L_1^* - L_0^*)$	$\chi_{g.l.}^2$	<i>Valor p</i>
Diaria	14869.51	148864.84	10	11.07	0.075235
Semanal	2320.12	2315.73	8.78	21.03	0.721598
Mensual	345.03	339.58	10.9	21.03	0.537508

Conociendo los valores de la función de verosimilitud de ambos y $\chi_{g.l.}^2$, no podemos rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación. Por lo tanto, se valida

¹¹ Cambiamos los signos de las variables regresoras del modelo (4) al (5) para diferenciar el modelo estimado por MCO y el modelo GARCH.

la hipótesis de que el mercado de valores español es eficiente en su versión débil. Otra conclusión relevante es la existencia de un patrón heteroscedástico condicional autorregresivo. Esto significa que hay períodos de inestabilidad, propiciados por shocks externos, en que la varianza de la rentabilidad (es decir, el riesgo) aumenta, a través del siguiente mecanismo:

$$\text{Ecuación de varianza } \sigma_t^2 = 2.23 * 10^{-6} + 0.107471 u_{t-1}^2 + 0.885992 \sigma_{t-1}^2$$

5. CONCLUSIONES

El debate en torno a la gestión activa o pasiva y su punto de encuentro en la hipótesis de mercado eficiente ha sido, es y seguirá siendo un debate intenso entre los investigadores y los gestores profesionales. Por este motivo, quise comprobar con herramientas econométricas a mi alcance la eficiencia del mercado de valores español. Las evidencias empíricas encontradas favor de la eficiencia del IBEX-35 son muy sólidas.

Si bien es cierto, en alguna prueba como la de Breusch-Godfrey a intervalo diario hemos rechazado la hipótesis nula de no autocorrelación. Podría pensarse que ello rechaza la hipótesis de eficiencia del mercado en la medida en que el comportamiento pasado de la propia serie permite predecir el futuro. Sin embargo, la capacidad predictiva de estos modelos era bajísima siendo a efectos prácticos de nula utilidad como estrategia de inversión. Además, los costes de transacción harían inutilizable estos posibles patrones de predicción que pueden darse por efectos de volatilidad, *momentum* u otras varias pequeñas ineficiencias. Finalmente, si las perturbaciones aleatorias siguen un proceso GARCH, el contraste de Breusch-Godfrey resulta distorsionado en la medida en que no se verifican las hipótesis en las que el contraste se fundamenta. De hecho, cuando empleamos modelos GARCH que corrigen los efectos de la volatilidad que pueden causar algún patrón, los niveles de significación de las variables con retardos son inexistentes. En otras palabras, las series de precio son independientes y no se pueden utilizar para predecir el futuro.

Mi última reflexión es que por un lado, ningún mercado puede ser perfectamente eficiente, lo cual implica que en cierto modo la hipótesis de mercado eficiente es falsa. Sin embargo, la sólida evidencia empírica obtenida en el transcurso de mi trabajo y por un gran número de investigadores, convierte la EMH en una de las hipótesis aceptadas

más fuertes en el campo de las finanzas. Luego, estrictamente hablando la hipótesis es falsa¹² y no se cumple rigurosamente, sin embargo, en esencia es profundamente cierta ya que al detectarse pequeñas ineficiencias estas son arbitradas hasta volver a la eficiencia de mercado. De algún modo las ciencias buscan dar con la mejor hipótesis posible que explique la realidad, y hasta que nuevas evidencias empíricas rechacen las actuales, la EMH es la mejor en cuanto al comportamiento del mercado de valores.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alexander, S. (1961). "Price movements in speculative markets: Trends or Random Walks". *Industrial Management Review*

Bachelier, L. (1900). "Théorie de la speculation". *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure Sér.*

Bernstein, P.L. (1999). "A new look at the efficient market hypothesis". *The Journal of Portfolio Management*

Cowles, 3rd, A. (1933). "Can stock market forecasters forecast?". *Econometrica*

Cowles, A. (1944). "Stock market forecasting". *Econometrica*

De Bondt, W.F.M.; Thaler, R. (1985). "Does the stock market overreact?". *The Journal of Finance*

Fama, E. (1965). "The behavior of stock market prices". *The Journal of Business*

Fama, E. F. (1965). "Random walks in stock market prices". *Financial Analysts Journal*

Fama, E. F. (1970). "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work". *The Journal of Finance*

Fama, E.F.; Blume, M.E. (1966). "Filter rules and stock-market trading". *The Journal of Business*

¹² Todas las hipótesis son falsas pero algunas son útiles y la hipótesis de eficiencia de mercado permite explicar gran parte de la evidencia hallada en el campo de las finanzas.

- French, K. R. and Roll, R. (1986). "Stock return variances: The arrival of information and the reaction of traders". *Journal of Financial Economics*
- Gibson, G. (1889). "The Stock Markets of London, Paris and New York" *G.P. Putnam's Sons, New York*
- Granger, C.W.J.; Morgenstern, O. (1963). "Spectral analysis of New York stock market prices". *Kyklos*
- Grossman, S. J. and Stiglitz, J. E. (1980). "On the impossibility of informationally efficient markets". *The American Economic Review*
- Huang, R. D. and Stoll, H. R. (1994). "Market microstructure and stock return predictions". *The Review of Financial Studies*
- Jegadeesh, N.; Titman, S. (1993). "Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency". *Journal of Finance*
- Jensen, M. C. (1978). "Some anomalous evidence regarding market efficiency". *Journal of Financial Economics*
- Jensen, M.C. (1968). "The performance of mutual funds in the period 1945-1964". *The Journal of Finance*
- Kendall, M. (1953). "The analysis of economic time series". *Journal of the Royal Statistical Society*
- Keynes, J. M. (1923). "Some aspects of commodity markets". *Manchester Guardian Commercial: European Reconstruction Series*
- Keynes, J. M. (1936). "The General Theory of Employment, Interest and Money". *Macmillan*
- Langevin, P. (1908). "Sur la théorie du mouvement brownien". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*
- LeRoy, S. F. and Porter, R. D. (1981). "The present-value relation: Tests based on implied variance bounds". *Econometrica*
- Malkiel, B. G. (1973). "A Random Walk Down Wall Street" *Norton, New York*

- Malkiel, B.G. (2003), "The efficient market hypothesis and its critics". *The Journal of Economic Perspectives*
- Malkiel, B.G. (2005). "Reflections on the efficient market hypothesis: 30 years later". *The Financial Review*
- Moore, A. (1962). "A statistical analysis of common stock prices". University of Chicago Graduate School of Business Dissertation
- Osborne, M. F. M. (1959). "Brownian motion in the stock market". *Operations Research*
- Rayleigh, L. (1880). "On the resultant of a large number of vibrations of the same pitch and of arbitrary phase". *Philosophical Magazine*
- Roberts, H. (1967). "Statistical versus clinical prediction of the stock market"
- Roll, R. (1984). "Orange juice and weather". *The American Economic Review*
- Rubinstein, M. (2001). "Rational markets: Yes or no? The affirmative case". *Financial Analysts Journal*
- Samuelson, P. A. (1965). "Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly". *Industrial Management Review*
- Shiller, R. J. (1981). "Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends?". *The American Economic Review*
- Shiller, R. J. (2000). "Irrational Exuberance". *Princeton University Press*
- Shleifer, A. (2000). "Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance". Oxford University Press, Oxford.
- Summers, L. H. (1986). "Does the stock market rationally reflect fundamental values?". *The Journal of Finance*
- Working, H. (1949). "The investigation of economic expectations". *The American Economic Review*