

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIOLOGÍA**  
**Departamento de Economía Aplicada V**



**LA RENTABILIDAD DE LA BOLSA ESPAÑOLA  
(1990-2007) Y LAS LIMITACIONES DEL ANÁLISIS  
FINANCIERO CONVENCIONAL**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR**  
**PRESENTADA POR**

**Guadalupe Muñoz Martín**

Bajo la dirección del Doctor  
Diego Guerrero Jiménez

**Madrid, 2008**

- **ISBN: 978-84-692-0038-4**

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIOLOGÍA**  
**Departamento de Economía Aplicada V**



**LA RENTABILIDAD DE LA BOLSA ESPAÑOLA (1990-2007) Y  
LAS LIMITACIONES DEL ANÁLISIS FINANCIERO  
CONVENCIONAL**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR PRESENTADA POR:

Guadalupe Muñoz Martín

Bajo la dirección del doctor:

Diego Guerrero Jiménez

**Madrid, 2008**

**LA RENTABILIDAD DE LA BOLSA ESPAÑOLA (1990-2007) Y  
LAS LIMITACIONES DEL ANÁLISIS FINANCIERO  
CONVENCIONAL**

Tesis Doctoral

Dirigida por: Dr. Don Diego Guerrero Jiménez

Presentada por: Doña Guadalupe Muñoz Martín

Facultad de Ciencias Políticas y Sociología  
Departamento de Economía Aplicada V  
Universidad Complutense de Madrid

Madrid, 2008

*La única batalla que se pierde  
es aquella que se abandona*

*Hebe de Bonafini*

# Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecerle a mi director, el profesor Diego Guerrero, su apoyo y sus conocimientos, que han guiado constantemente este trabajo. A mis padres, Victorino y María del Carmen, y a mi hermano, Víctor Manuel, porque me han apoyado continuamente.

## Resumen del planteamiento

Todos los estudios relacionados con el mercado bursátil utilizan como punto central la idea de equilibrio del mercado. Este concepto, que fue el origen de la Economía como Ciencia, se puede estudiar actualmente desde dos enfoques diferentes: por un lado, el planteamiento ortodoxo con todas sus variantes, basadas todas en el análisis *neoclásico*; y por otro, el heterodoxo, que aquí identificaremos con el pensamiento *clásico-marxiano*. Esta Tesis Doctoral está motivada por las reflexiones derivadas de este último enfoque, siendo su objetivo específico efectuar un doble estudio del equilibrio en el caso particular del mercado bursátil. Para ello se lleva a cabo, en primer lugar, un estudio de los precios y la rentabilidad de la bolsa española en el periodo 1990 a 2007, basado en el punto de vista financiero y bursátil convencional y utilizando en particular un análisis de reglas técnicas obtenidas por el método de la programación genética. A continuación se analizan los resultados obtenidos siguiendo los planteamientos convencionales. Y, por último, se avanza una reflexión crítica de dichos resultados usando el enfoque heterodoxo señalado.

# Contenido

Capítulo 1. Introducción.....	9
1.1 Motivación.....	9
1.2 Objetivo .....	12
Capítulo 2. Los mercados y el equilibrio de mercado en general .....	14
2.1 Evolución del concepto de mercado.....	14
2.2 El equilibrio de mercado.....	26
2.2.1 Precio natural o centro de gravedad.....	34
2.3 Enfoque heterodoxo del equilibrio .....	39
2.3.1 La libre competencia de capitales .....	45
Capítulo 3. Los mercados financieros y la hipótesis del mercado eficiente ....	53
3.1 Introducción .....	53
3.2 Definición .....	59
3.3 Taxonomía.....	61
3.4 Historia .....	63
3.5 Situación actual.....	69
3.6 Capacidad predictiva.....	74
Capítulo 4. El mercado bursátil y las teorías de inversión .....	76
4.1 Introducción .....	76
4.2 Teorías de inversión .....	78
4.2.1 Análisis técnico.....	81
Chartismo.....	84

Reglas técnicas.....	89
4.2.2 Análisis fundamental .....	95
Áreas de estudio.....	96
Precio teórico de una acción .....	100
Precio relativo de una acción.....	102
Capítulo 5. La modelización del problema de predicción de los valores bursátiles.....	105
5.1 Introducción .....	105
5.2 Algoritmos de predicción .....	108
5.2.1 Series temporales.....	108
5.2.2 Análisis de reglas técnicas .....	112
5.2 Algoritmos de optimización .....	116
5.2.1 Tradicionales.....	117
Deterministas.....	118
Enumerativos.....	120
No deterministas.....	121
5.2.2 No tradicionales .....	122
Redes neuronales .....	122
Computación evolutiva .....	126
Algoritmos genéticos.....	127
Programación genética .....	131
Capítulo 6. Análisis bursátil convencional propuesto .....	138
6.1 Revisión de la literatura.....	138

---

6.1.1 Programación genética .....	141
6.2 Descripción del algoritmo .....	142
6.3 Esquema de funcionamiento .....	150
Capítulo 7. Experimentos y resultados .....	157
7.1 Datos.....	157
7.2 Pruebas.....	159
7.3 Resultados.....	161
7.3.1 Coste de transacción = 0,1%.....	164
7.3.2 Coste de transacción = 0,25%.....	173
7.3.3 Coste de transacción = 0,5%.....	181
7.3.4 Resultados.....	188
Capítulo 8. Conclusiones .....	192
Anejo A. Algoritmo EcoGP .....	202
A.1 Estructura .....	202
A.2 Código principal .....	204
Bibliografía .....	208

---

# Capítulo 1

## Introducción

---

### 1.1 Motivación

La literatura actual sobre el mercado bursátil centra su objetivo principalmente en la cuestión de si se puede “ganar o no al mercado”, es decir, si mediante alguna estrategia de inversión se pueden obtener rentabilidades superiores a la media obtenida por la Bolsa en su conjunto. Los que piensan que sí se puede ganar creen que esto es posible siempre que se utilice para ello alguno de los dos tipos de análisis (o los dos) más conocidos en este campo: el llamado Análisis Técnico o bien el Análisis Fundamental, mientras que quienes piensan que no se puede ganar son los defensores de la llamada “Hipótesis del Mercado Eficiente”. Lo primero que hay que observar es que para todos ellos, sin embargo, es esencial el concepto de “equilibrio”, y todos

realizan sus estudios y obtienen sus conclusiones partiendo de modelos contruidos a partir de esta idea. Por esta razón, en esta Tesis también es necesario dedicar un amplio espacio a las diferentes concepciones del equilibrio económico.

Puede decirse que el concepto de equilibrio está en el origen de la Economía como Ciencia, al menos desde que Adam Smith lo utilizara como tesis central implícita en su metáfora de la Mano Invisible. Para Smith, que estaba influido por las teorías físicas de Isaac Newton, el equilibrio no era otra cosa que un “centro de gravedad” en torno al cual girarían una serie de puntos externos a dicho centro o punto de equilibrio, y esto se refería en especial a los precios de mercado y a las tasas de ganancia. Como es bien conocido, para Smith, todas las rentabilidades tienden hacia la misma tasa media general de la economía como resultado de la búsqueda individual universal del máximo beneficio privado (o máxima rentabilidad del capital invertido), y todos los precios efectivos tienden a estar situados alrededor de, pero sobre todo *regulados* por, el nivel correspondiente a lo que él entendió por precio de equilibrio y llamó Precio Natural. Veremos que esta idea de Smith –que en realidad no es original suya sino que se había venido gestando al menos desde el siglo XVII– es la que está en último término en la base de todas las reflexiones posteriores sobre el equilibrio de cualquier tipo de mercado, y en particular del mercado bursátil que aquí nos interesa, si bien la idea se ha concebido y se concibe ahora desde puntos de vista muy diversos y

por tanto se aplica muy heterogéneamente en los diferentes análisis empíricos que hacen uso de ella.

La enorme riqueza de los conceptos y debates en torno al concepto clave del equilibrio no puede ser abordada en esta Tesis, pero creemos que puede usarse un esquema simplificativo que dará buenos resultados en la comprensión del argumento fundamental. Desde este punto de vista, podemos afirmar que existen actualmente “dos” enfoques con respecto al equilibrio en el mercado. Por un lado, está el *ortodoxo*, defendido por todas las subescuelas y afluentes de la gran corriente neoclásica. Y por otro, el *heterodoxo*, más acorde con el pensamiento clásico-marxiano original, y del que tomaremos como exponentes contemporáneos básicamente a Anwar Shaikh [Shaikh, 1980] y, en España, a Diego Guerrero [Guerrero, 1995].

Este último enfoque busca la explicación del equilibrio poniendo un énfasis mayor en la existencia y evolución de los equilibrios *a largo plazo* y sus determinantes, y lleva a cabo dicho análisis siempre desde la comprensión del fenómeno de la “libre competencia” como un proceso auténticamente *dinámico* y no estático, muy distinto del concepto neoclásico de competencia “perfecta” (e “imperfecta”, que no es sino el negativo de la primera, y padece de las mismas limitaciones teóricas). Como ya se ha dicho, esta Tesis Doctoral está motivada por las reflexiones derivadas del enfoque heterodoxo.

## 1.2 Objetivo

El objetivo de esta Tesis Doctoral es realizar un estudio del significado del equilibrio y la eficiencia en el mercado bursátil que vaya más allá del tipo de estudio habitual. El mercado bursátil, como mercado que es y a pesar de sus particularidades, está sujeto a todas las leyes generales de los mercados, y en particular a la ley más general, que es la del equilibrio, por lo que, además de desde el punto de vista de sus rasgos específicos, puede estudiarse desde el punto de vista general del mercado.

Para llevar a cabo nuestro estudio, primero se realizará un análisis, desde el punto de vista bursátil convencional, de la bolsa española para el periodo 1990 a 2007. Se utilizará para ello la aproximación más apropiada de acuerdo con la literatura especializada actual, pero se emplearán además los procedimientos técnicos más avanzados, mediante el uso de la Programación Genética aplicada al análisis de “reglas técnicas”. Esto nos permitirá obtener reglas de compra-venta a corto plazo que superen (o no) la rentabilidad de la estrategia opuesta, y pasiva por antonomasia, conocida como “comprar y mantener” (*buy and hold*). Como ya se ha dicho, se analizarán luego los resultados que derivan de la aplicación de esta metodología, y finalmente se efectuará una reflexión crítica desde el enfoque heterodoxo de dichos resultados.

Se ha organizado esta memoria presentando de manera progresiva los conceptos necesarios para la realización de esta Tesis Doctoral. Este capítulo 1 es una breve introducción general sobre la motivación y los objetivos de la investigación. El capítulo 2 expone las ideas generales sobre mercados y equilibrio en los que se basa este trabajo. El capítulo 3 aborda las diversas cuestiones que plantea la llamada “Hipótesis del Mercado Eficiente”, que es específica del mercado bursátil y demás mercados financieros. El capítulo 4 presenta una visión panorámica del comportamiento del mercado bursátil y de las teorías de inversión en Bolsa surgidas en este contexto. El capítulo 5 muestra los diferentes métodos concretos que permiten modelizar el problema de predicción de la evolución futura de los valores bursátiles. El capítulo 6 presenta el análisis bursátil convencional que hemos propuesto y utilizado aquí para el estudio de la Bolsa española. El capítulo 7 expone los experimentos realizados y da cuenta de los resultados obtenidos de la aplicación del algoritmo. Por último, el capítulo 8 recoge las conclusiones generales extraídas de este trabajo.

Y finalmente se anexa un esquema del algoritmo utilizado para realizar los experimentos, y se enumeran a continuación las referencias bibliográficas utilizadas para llevar a cabo este trabajo.

## Capítulo 2

# Los mercados y el equilibrio de mercado en general

---

### 2.1 Evolución del concepto de mercado

Hemos afirmado más arriba que el concepto actualmente aceptado de mercado, como regulador de las actividades económicas, es una concepción clásica, debida en primer lugar a Adam Smith, pero que contaba con antecedentes anteriores debido a que el mercado es una institución social que ya existía desde la Edad Antigua. Como se sabe, el pensamiento económico comenzó su desarrollo en la Antigüedad, sobre todo en la Grecia clásica, con Aristóteles [Aristóteles, 384-322 a.C.], y en Grecia, como en todas las sociedades antiguas, la producción, la distribución y el consumo de los bienes económicos (que en la actualidad son el objeto de la Economía) se realizaban, en su mayor parte, dentro del marco familiar y estaban sometidos a los

principios de reciprocidad y redistribución. Por consiguiente, el intercambio o comercio de bienes (otro de los objetos de la Economía) apenas tenía importancia: existían los mercados, sí, pero éstos, a diferencia de lo que ocurre en la actualidad, no determinaban la vida económica<sup>1</sup>.

Durante toda la Edad Media se mantuvo vigente la concepción aristotélica de la Economía<sup>2</sup>. En esta época, los mercados desempeñan todavía un papel poco importante en la vida económica de los seres humanos. Además, al igual que ocurría en la Grecia clásica, sus actividades estaban limitadas al intercambio de bienes, dado que el trabajo, el uso de la tierra y el valor de las monedas estaban regulados por las costumbres, los gremios, las corporaciones y las autoridades políticas<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Por eso en el pensamiento griego las actividades económicas se estudiaban dentro de los tratados que se ocupaban de la vida doméstica: los *oekonomica* (de *oikos*, casa). Las relaciones económicas entre los individuos estaban sometidas al modelo de las relaciones familiares, en las que no hay lugar para la búsqueda del interés individual, sino que éste se subordina al interés de la familia como un todo. Este mismo modelo servía de pauta para los intercambios económicos, por lo que se consideraba inmoral el pretender obtener un beneficio en dichos intercambios. Por esta razón los griegos condenaban las actividades comerciales encaminadas a obtener un beneficio, toda actividad comercial realizada con ánimo de lucro es, para Aristóteles, antinatural e ilegítima, porque no está encaminada a conseguir los bienes necesarios para vivir, sino a acumular riquezas ilimitadamente.

<sup>2</sup> Tomás de Aquino, por ejemplo, enseña que el fin último de la Economía no es conseguir riquezas, dado que éstas son un simple instrumento para conseguir el auténtico fin último de la actividad económica: el bien de la familia [Tomás de Aquino, 1265-1272].

<sup>3</sup> Los escolásticos, por lo tanto, seguirán defendiendo los planteamientos económicos antiguos: la Economía, para ellos, debía estar sometida a las normas que dictaba la filosofía moral, de acuerdo con la ley natural, la cual era, a su vez, expresión de la ley divina. Más adelante, los humanistas seguirán defendiendo también la tesis antigua según la cual el interés individual debía subordinarse al interés general. Es decir, en la sociedad medieval, las actividades económicas, dentro de las cuales las mercantiles

Pero el importante desarrollo de la actividad mercantil durante los siglos XIV y XV va a suponer un cambio decisivo en la concepción de la Economía. Los comerciantes, dedicados a una actividad económica que trata de conseguir el máximo beneficio posible –actividad que había sido condenada por Aristóteles–, propondrán una nueva idea que estaba de acuerdo con sus intereses: que el fin de la Economía es conseguir aumentar la riqueza, que consiste en acumular metales preciosos. Por consiguiente, los tres principios de la doctrina mercantilista [Montchrestien, 1889] serán:

1. La finalidad de la Economía es adquirir riquezas.
2. Lo anterior se consigue mediante intercambios favorables, es decir, comerciando.
3. El Estado es el principal sujeto de la actividad económica<sup>4</sup>.

Como reacción al Mercantilismo surge en Francia a mediados del siglo XVIII la Fisiocracia. Para esta Escuela la riqueza de una nación procede de la capacidad de producción, y no de la cantidad de oro y plata que posee, por lo

---

representaban una mínima parte, estaban reguladas por las instituciones sociales y sometidas a las exigencias de la moral.

<sup>4</sup> La Economía, por lo tanto, no es la ciencia que enseña a adquirir y administrar los bienes necesarios para la vida (como defendía Aristóteles), sino la ciencia de la riqueza. Como para los mercantilistas la riqueza depende del comercio, la actividad mercantil, que había sido condenada por Aristóteles si estaba encaminada a aumentar la riqueza y no a satisfacer las necesidades humanas, se convierte en la más beneficiosa para la sociedad. Sin embargo, todavía en esta época los mercados están fuertemente intervenidos por leyes y decretos de los Estados y se está lejos de admitir que el mercado es un mecanismo que regula naturalmente las actividades económicas.

que se centra en el estudio, no del dinero, sino de las fuerzas reales que permiten el desarrollo económico. Esto les lleva a afirmar la existencia de una *ley natural* por la cual el buen funcionamiento del sistema económico estaría asegurado *sin la intervención del gobierno*. Y esta idea, que es el precedente inmediato de la Mano Invisible de Smith y los condujo a ellos primero a proponer el famoso «*laissez faire, laissez passer*» (dejar hacer, dejar pasar), tuvo una importancia excepcional para la evolución posterior de la Economía, y en particular para la concepción de los mercados y sus equilibrios, que es lo que aquí nos interesa. El principal fisiócrata, Quesnay, defendió la idea de que los fenómenos económicos están regidos, al igual que los fenómenos físicos, por leyes de la naturaleza que son independientes de las normas y de la voluntad de los seres humanos.

Adam Smith, frecuentemente considerado el fundador de la Economía como Ciencia, es al mismo tiempo, y siguiendo a los fisiócratas, uno de los más importantes promotores originales del “liberalismo económico”<sup>5</sup>. Desde este punto de vista, es posible afirmar que su concepto de la Mano Invisible postula que el crecimiento y el desarrollo económico capitalistas son procesos *naturales* provenientes de la inclinación o ambición también natural del hombre a enriquecerse. Asimismo, el Estado no debería intervenir en la

---

<sup>5</sup> Aunque una de las ideas fundamentales de Smith, que los fenómenos económicos están regulados por leyes naturales que producen un orden espontáneo que el hombre debe respetar, había sido ya expuesta por los fisiócratas, estos no pudieron desarrollar una verdadera ciencia económica al defender equivocadamente que la riqueza depende de la agricultura y que la industria es estéril.

economía porque cuanto más libre sea la competencia, mejor será para el conjunto de la sociedad. O sea: el mercado es el mecanismo natural que concilia los intereses de los diferentes individuos, produciendo y manteniendo así el orden social.

La Mano Invisible, pues, es una simple metáfora para referirse al mecanismo del mercado que es el encargado de armonizar los intereses individuales; y el modelo de sistema económico que propuso Smith se basa, por tanto, en un doble supuesto: que la inclinación fundamental de la naturaleza humana es la búsqueda del interés propio y que existe un orden económico natural que produce automáticamente la riqueza y la prosperidad de la sociedad cuando los seres humanos compiten entre sí en un mercado libre.

Este recordatorio de los precedentes “clásicos” de la idea del mercado y su equilibrio, o del famoso mecanismo automático del mercado que está implícito en la idea de la Mano Invisible, solo tiene sentido si se piensa en el desdoblamiento de caminos que se produce a partir de ese momento. Porque, en efecto, a partir de Smith dos han sido, y no uno, los desarrollos seguidos por esta idea fundamental, aunque aquí solo daremos una rápida y simplificada visión general de estos desarrollos. Podemos resumir diciendo que en los neoclásicos, tomados aquí como idénticos a la *ortodoxia*, la Mano Invisible significa una cosa, mientras que en Marx, o en la *heterodoxia* de la

que nosotros partimos, significa algo muy distinto (que, por cierto, no siempre ha sido bien entendido, ni en el interior de su escuela ni entre sus críticos).

Smith explicó, de forma ya acabada, que la sociedad capitalista puede reproducirse sin la intervención de una autoridad política o administrativa que determine la asignación de los recursos productivos. La idea de que la reproducción económica “pura” de la nueva sociedad que surgía en esos momentos era posible tuvo una importancia teórica decisiva porque entre otras cosas permitió el análisis económico del mercado en cuanto tal, dejando para un segundo momento analítico la consideración de la incidencia que pudieran tener otras cosas, como los efectos de la política económica gubernamental, en el funcionamiento de ese mercado.

Ahora bien: este es solo el componente “positivo” de la idea desarrollada y popularizada por Adam Smith. Pero es muy importante señalar que en la Mano Invisible se encuentra también un segundo componente que podríamos llamar “normativo”, ya que la idea de que el mecanismo de mercado *puede* reproducir a la sociedad capitalista se mezclaba continuamente en Smith con una idea distinta: la idea de que dicho mecanismo *debe* ser el adoptado por el orden social moderno.

Para Adam Smith, dicha confusión o entremezclamiento era natural, ya que de hecho no estaba haciendo otra cosa que comparar lo que en su

época era el sistema económico objetivamente superior (en términos de productividad social del trabajo) –es decir, la sociedad surgida de la Revolución Industrial– con las sociedades donde dicha transformación todavía no había tenido lugar y donde, por consiguiente, las actividades productivas estaban más ligadas a la agricultura tradicional precapitalista o al comercio exterior monopolista controlado por los Estados europeos de la época. Nada más fácil, pues, que concluir, a partir de la superioridad técnica y productiva inglesa y escocesa sobre los países competidores de entonces (1776), la superioridad del sistema capitalista sobre las sociedades precapitalistas. Esta es la dimensión normativa de la Mano Invisible a la que nos estamos refiriendo: la idea de que el capitalismo, o bien el mecanismo de mercado en cuanto tal, es más eficiente que los mecanismos o sistemas económicos alternativos.

Y este lado normativo de la idea de mercado es precisamente la que los neoclásicos se encargaron de desarrollar. Desde Menger, Jevons y Walras hasta los teóricos contemporáneos del “equilibrio general”, pasando por todos los teoremas de la Economía del bienestar paretiana con todos sus óptimos económicos y sociales, lo que la economía neoclásica ha defendido siempre es que la búsqueda del máximo beneficio individual, el comportamiento egoísta de los agentes económicos, es el mejor camino para la consecución del óptimo social. Por consiguiente, en su opinión cualquier obstáculo que se interponga en el libre funcionamiento del mercado, cualquier intervención extramercantil

en la mecánica de la economía privada de mercado, no puede ser sino un detrimento de la eficiencia social y un flaco servicio al bienestar de la sociedad.

La concepción marxiana de la Mano Invisible es, por supuesto, muy diferente. Marx, sin utilizar nunca el término acuñado por Smith ni desarrollar una crítica expresa a esa idea, llevó a cabo un análisis del funcionamiento de la economía capitalista que nos permite ahora distinguir claramente entre las dos dimensiones señaladas del análisis “liberal” que arranca con la idea de Smith. Y siguiendo a Marx es posible sostener en el presente que la dimensión positiva de la Mano Invisible supone una enorme contribución al desarrollo del pensamiento económico, pero que la normativa no se sostiene en, ni tiene nada que ver con, la dimensión positiva.

De acuerdo con el análisis de Marx y el enfoque heterodoxo que desarrollamos a partir de él, lo que se deduce de la idea de la Mano Invisible es lo que se desarrollará más tarde en el capítulo 8. El mecanismo de la Mano Invisible garantiza que la persecución del máximo beneficio por cada empresario redunde en la obtención de una tasa de ganancia media reguladora, de forma que la rentabilidad se convierte en el indicador del éxito o fracaso del comportamiento del capitalista. Si el conjunto de los productores de un tipo de mercancía no produce lo suficiente para satisfacer la demanda de ese producto, esa falta relativa de oferta o exceso de demanda resultante

hará subir el precio por encima del “precio natural”, o determinado por los costes de producción, y el consiguiente aumento de la rentabilidad por encima de la media atraerá más inversión de capital en esa rama y mayor producción y oferta. De esta manera, una vez producidos los ajustes correspondientes, y desaparecido el exceso de demanda, desaparece la razón de la elevación de la rentabilidad, de forma que la situación final será que los precios vuelven al nivel ordinario pero la producción habrá aumentado de acuerdo con las necesidades sociales expresadas en la demanda.

Por tanto, es cierto que el sistema de mercado contiene un mecanismo que hace que la oferta se ajuste a la demanda, y esto ya lo observó perfectamente Adam Smith. De esta forma, podemos concluir que si la sociedad demanda ahora mayor cantidad del producto X, las empresas terminarán produciendo más de X. Y si demanda menos de Y, los productores rebajarán la oferta de la mercancía Y. Todo parece confirmar la teoría neoclásica moderna de la “soberanía del consumidor”, ya que aparentemente se ve que los capitalistas terminan produciendo en la práctica precisamente lo que la sociedad desea comprar y manifiesta como necesidad social en el mercado a través de su demanda. Según los economistas liberales de entonces y de ahora, si esto no es la sociedad perfecta, se le parece mucho, o al menos, concluyen, es una sociedad *eficiente* en la satisfacción de las necesidades sociales.

El análisis heterodoxo basado en la inspiración de Marx nos lleva a hacer la siguiente crítica del planteamiento anterior. El mercado, en efecto, permite que la oferta, tras el necesario ajuste productivo, satisfaga la demanda realmente existente. Este es el lado positivo o científico de la idea de la mano invisible, la dimensión que no hay problema en aceptar desde el punto de vista crítico. En cambio, y aquí aparece el problema de la dimensión normativa, lo que la inmensa mayoría de economistas no sabe ver es que la demanda realmente existente no tiene por qué responder a las auténticas necesidades sociales. Y ello no porque el análisis psicológico del consumidor nos permita comprender sus condicionamientos y limitaciones a la hora de decidir la cuantía y dirección de sus compras, sino porque la demanda global de cada tipo de mercancía depende del reparto de la renta global de la sociedad entre los distintos agentes económicos. Y, como nos enseña Marx, la distribución de la renta tiene que corresponderse con una distribución previa –previa en la realidad y previa en el análisis–, que es la distribución de los medios de producción.

Si estos medios de producción con que cuenta la sociedad están *privatizados* y permiten a sus dueños (pocos) apropiarse de una parte del trabajo total de la sociedad que se lleva a cabo por su intermediación, y precisamente es realizado por parte de la gran mayoría social, el resultado necesario es que la distribución de la renta resultante será muy desigual, y que por tanto la demanda que se financia con esa renta estará determinada

de forma desigual y no de manera democrática. Si hay necesidad de ilustrar la tesis que estamos avanzando, pongamos el siguiente ejemplo: si los pollos y las cervezas valen 100 por unidad, y la demanda monetaria asciende a 200, se puede comprar varias combinaciones de esos bienes. Si dos personas se reparten los 200 a partes iguales, puede que compren un pollo cada una si la necesidad primaria es el hambre; pero si uno tiene 200 y el otro 0, puede que la demanda final sea de un pollo y una cerveza. Y solo uno de los dos pueda, en este caso, satisfacer su necesidad. La demanda total en términos monetarios o efectivos es la misma, pero su composición es muy diferente; sin embargo, la oferta de las empresas y el comportamiento capitalista se adaptarán siempre a esa demanda, y lo hará sin preguntar nada más, por así decir.

Todo esto significa, por paradójico y herético que parezca entre las propias corrientes heterodoxas, que el mecanismo de mercado es realmente *eficiente* en servir a la demanda monetaria, la demanda *efectiva* de la que hablaban Smith y Marx. Pero, por supuesto, en absoluto significa que el mercado sea eficiente en la expresión de las necesidades sociales auténticas (democráticas) por medio de esa demanda. Y en cambio, ha sido el propio mercado y su institucionalización social –entre otras cosas por medio del mecanismo histórico que hizo posible que la fuerza de trabajo del trabajador terminara convirtiéndose en una mercancía– el que ha creado ese estado de cosas que hace que la demanda no exprese democráticamente, sino

plutocráticamente, las necesidades sociales. El mercado es en efecto, tal como dicen los liberales, un mecanismo de voto en la economía. Pero lo que está claro también es que no todos los mecanismo de votación tienen el mismo significado social, y en este caso estamos ante un tipo de voto que se corresponde con sociedades ahora ya completamente caducas, donde sólo votaba una minoría de la población y no la sociedad en su conjunto o donde el voto de cada uno no es igual en todos los casos.

Todo esto es muy importante también para el análisis que se lleva a cabo en esta Tesis Doctoral, ya que cuando hablamos del mercado y de su equilibrio no podemos evitar preguntarnos por cuáles son las necesidades que están detrás de la demanda que se manifiesta en ese mercado. Es obvio, pero eso no forma parte del estudio que llevamos a cabo en esta Tesis, que los demandantes de acciones, al menos los demandantes habituales de cantidades apreciables de las mismas, son una pequeña minoría social y que, como ponen de manifiesto diversos estudios empíricos, sólo una pequeña proporción de los hogares tienen acceso a ese mercado. Pero lo que debe ponerse de relieve es que la eficiencia de la que se habla en la literatura que analizaremos en sucesivos capítulos de esta Tesis poco tiene que ver con la eficiencia de una economía dotada de una Bolsa de valores para atender a las necesidades de los miembros de esa sociedad económica.

Se trata de una eficiencia muy diferente. Puede que los mercados bursátiles consigan ajustarse a sus equilibrios de forma rauda e inmediata, incluso instantánea. Puede que la estrategia del comprador en Bolsa sea confiar más o confiar menos en el comportamiento espontáneo de esos mercados o en la capacidad predictiva que se deriva del comportamiento pasado de sus precios. Pero no puede olvidarse tampoco que estas eficiencias poco dicen de la auténtica eficiencia económica y social. Y tampoco cabe olvidar que el hecho de que el objeto de nuestra investigación nos obligue a dejar parcialmente de lado este tipo de reflexiones, no implica que el enfoque heterodoxo que usamos en ella no sea relevante para el tipo de crítica que acabamos de hacer de una institución tan importante para la sociedad moderna como es la Bolsa de valores.

## **2.2 El equilibrio de mercado**

Partiendo de lo anterior, se impone ahora un desarrollo más detenido del concepto en sí del equilibrio económico en una economía de mercado. Como se sabe, el equilibrio es un concepto tomado de la Física. Por tanto, dado el carácter universal con que se considera a esta última disciplina como el paradigma de la científicidad, no puede sorprender que haya un acuerdo general entre los economistas en considerar que el estudio y definición de manera sistemática del equilibrio ha sido la auténtica base de la Economía

como Ciencia. Con el estudio del equilibrio, lo que se pretende es dar una explicación global de la producción, el consumo y la formación de precios en los mercados desde la perspectiva más abstracta pero también más fundamental.

A un nivel elemental, en Economía se puede definir el equilibrio de tres maneras:

1. Como un balance de fuerzas, como cuando se describe la relación que existe entre las fuerzas de oferta y demanda.
2. Como un punto en el que no existe tendencia alguna al cambio que surja de manera endógena.
3. Como el resultado al que tiende cualquier proceso económico, como ocurre cuando se habla de los procesos competitivos, que tienden a producir determinados resultados.

Esta última idea es la que parece haberse aplicado primero en Teoría económica, y fue Smith quien lo hizo. Aunque este no utilizó el término equilibrio, el concepto de centro de gravedad que él usaba equivale a lo mismo, y se refería con ello a los valores (magnitudes) hacia los que las magnitudes económicas tienden continuamente.

Este concepto original tiene dos propiedades para Smith [Smith, 1776]:

1. Condiciones de equilibrio: son las llamadas condiciones naturales, que están asociadas a una tasa general de ganancia (uniformidad en el porcentaje que representan los beneficios sobre el capital invertido en la producción), y que se basan en el proceso de libre competencia.
2. Análisis de las condiciones naturales: el precio natural es el precio central hacia el que tienden los precios efectivos de todas las mercancías, aunque circunstancialmente puedan diferir, hacia arriba o hacia abajo, en un momento dado.

Esta definición de las “condiciones naturales” implica la idea de que existen ciertas fuerzas sistemáticas o persistentes, que operan en el sistema económico. En la literatura económica de los siglos XVIII y XIX, se llamaba a estas fuerzas leyes, principios o estados de tendencia. Pero téngase en cuenta que la aceptación de la existencia de estas fuerzas o leyes no implica ninguna conclusión con respecto a la rapidez o lentitud de su actuación, o con respecto a que existan o no interferencias u obstáculos en ese proceso. De hecho, es posible, que la realidad del día a día se parezca más al desequilibrio que al equilibrio, como ya lo expresara un discípulo de Smith, John Stuart Mill [Mill,

1844], que exponía que las conclusiones de la Teoría Económica son solo aplicables en abstracto, es decir, son solo ciertas bajo ciertos supuestos.

Para desentrañar esas leyes o regularidades hay que investigar en lo que hay debajo de lo que se ve a simple vista, como se hace en otras ciencias, como la Física. Smith es importante también porque estableció la base de este procedimiento, y con ello la base para la Economía como Ciencia, al hablar de que en la naturaleza se dan sucesos que parecen aislados e incoherentes, pero que representan una cadena invisible que une todos estos objetos disjuntos. Por su parte, Ricardo continuó esta línea al declarar que centraba su atención en el “estado permanente” de las cosas, excluyendo del análisis general las desviaciones accidentales y temporales [Ricardo, 1817].

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que esta tradición continuó más allá de la Economía clásica. Alfred Marshall, aunque prefirió el término “condiciones normales a largo plazo” en vez del anterior de “condiciones naturales”, excluyó de esta categoría los resultados sobre los que accidentes momentáneos podían ejercer una influencia importante [Marshall, 1890]. Igualmente, John Bates Clark continuó con esta línea y mantuvo que los valores naturales o normales son aquellos a los que tienden los valores del mercado en el largo plazo [Clark, 1899]. Todos los neoclásicos de la primera generación, como [Jevons, 1871], [Walras, 1874-7], [Böhm-Bawerk, 1899] y [Wicksell, 1901], siguen en realidad el mismo procedimiento.

Por tanto, en este campo específico, la conclusión es que también después de Smith, no solo fue preservado el estado de equilibrio como el centro de gravedad del sistema, sino que se definió como lo había hecho él. El principal objeto teórico de todos estos estudiosos fue explicar la situación caracterizada por una tasa de ganancia uniforme en el precio de la oferta del capital invertido en las distintas líneas o ramas de la producción. Walras expresa asimismo la naturaleza de esa conexión cuando explica que la tasa de ganancia es una de las condiciones que gobierna el interés económico [Walras, 1874].

Desde un punto de vista histórico, la novedad de estos argumentos, que fueron elaborados por Smith y los Fisiócratas en el siglo XVIII, o incluso antes, no es que reconozcan que puede haber situaciones que puedan ser descritas como naturales, sino que asocian estas condiciones con el resultado de un proceso específico común a los mercados económicos –la “libre competencia”– y las utilizan para la construcción de un análisis económico general de la sociedad de mercado<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Aunque se había utilizado previamente este concepto de “ley natural” (por ejemplo, por Locke, Hobbes, Hume), y aunque las ideas de estos autores sirvieron de base a Smith, la idea se había usado tan solo como una forma conveniente de pensar, pero sin implicar que esas regularidades gobiernan el mundo social y económico. De hecho, a medida que el concepto se fue incorporado al mundo económico, y perdiendo su lado filosófico, se fue acuñando el adjetivo “normal” como sustituto de “natural”.

Mientras que “condiciones naturales” o “condiciones normales a largo plazo” parecen ser el origen del concepto de equilibrio, John Stuart Mill, en [Mill, 1848], parece ser la fuente del uso del término “equilibrio” en sí en el campo de la Economía (aunque es cierto que se encuentra también en las *Recherches* de Cournot [Cournot, 1838]). Sin embargo, mucho más significativo que la aparición del término equilibrio, es el matiz que aporta Mill, ya que su idea es que la teoría del equilibrio es esencialmente *estática*, y esto condujo poco a poco a una evolución que llevó a la corriente neoclásica hacia una dirección crecientemente apartada de la tradición clásica. Si esta nueva propiedad que Mill da al concepto de equilibrio era necesaria, o no, ha producido mucho debate tanto dentro como fuera del neoclasicismo. Pero, desde el punto de vista neoclásico, puede decirse que, al menos hasta los años 30 del siglo XX, se resolvió el dilema al introducir Hicks, Hayek y Lindahl el concepto de “equilibrio intertemporal” como complemento del equilibrio estático más convencional [Hicks, 1939]

Pero antes de los años 30 se habían introducido ya algunas importantes modificaciones al concepto clásico de equilibrio, hasta que finalmente, como consecuencia de la introducción de la idea del “equilibrio intertemporal”, la concepción clásica puede darse por acabada y transformada en otra bien distinta.

Se puede señalar en primer lugar la distinción entre el análisis del equilibrio *parcial* y el análisis del equilibrio *general*. Las bases analíticas para el equilibrio parcial estaban ya en Cournot [Cournot, 1838], y parece que fue la conveniencia matemática, más que la metodológica, la responsable de esta distinción. Marshall, basándose en Cournot, popularizó el equilibrio parcial, con su famosa cláusula del “*ceteris paribus*”, locución latina que, como bien se sabe, significa "permaneciendo el resto constante" e implica que se mantienen constantes todas las variables de la situación que se analiza, menos aquella cuya influencia se desea estudiar en primer término.

Marshall justifica este método de “un poco cada vez”, o paso a paso, no solo como una forma de simplificar el estudio de cualquier objeto de análisis, sino como la única manera en que el equilibrio normal puede emerger: cuando solo las causas más generales pueden operar sin ninguna interferencia. Walras, por otro lado, es el padre del estudio del equilibrio general, que intenta dar respuesta a las siguientes cuestiones: 1) encontrar la *solución* del equilibrio en el sentido de encontrar los valores de las variables, y que sean consistentes entre sí; 2) encontrar si esta solución es *única* (solo existe un valor para cada variable que es consistente con el conjunto); 3) encontrar si el sistema es *estable*, de forma que volverá a los valores del equilibrio después de cualquier perturbación.

En segundo lugar, es importante la distinción entre el establecimiento de las condiciones del equilibrio “temporal”, o de corto plazo, y el de largo plazo, para la oferta y la demanda. Esto también se debe a Marshall, para quien las condiciones del equilibrio de largo plazo son las condiciones naturales de Smith, mientras que las condiciones del equilibrio de corto plazo son debidas a sucesos intermitentes y pasajeros. Marshall no considera el equilibrio de corto plazo como desviaciones del de largo plazo, sino como un caso distinto de equilibrio.

Finalmente, el concepto de Equilibrio Intertemporal, que fue desarrollado después de Hicks y Hayek por Malinvaud, Arrow y Debreu, da la puntilla a la tradición clásica que había ido muriendo lentamente durante la etapa neoclásica. Este concepto es importante porque en este caso las condiciones de equilibrio se definen de manera distinta a lo que son las condiciones naturales o normales. A partir de ahora se considerará expresamente el tiempo, y el objetivo del equilibrio intertemporal ya no es encontrar el (único) precio de equilibrio, sino los  $n_t$  precios de  $n$  mercancías en  $t$  periodos de tiempo. Esto significa que no solo el precio de la misma mercancía variará para distintos instantes de tiempo, sino que el capital no necesita proporcionar una tasa de ganancia uniforme en el precio de la oferta. Aparte de que del concepto de equilibrio intertemporal puede derivarse la idea de equilibrios temporales secuenciales (para cada instante  $t$ ), lo decisivo es la

desaparición de una tasa de ganancia única y con ella la del precio normal como centro de gravedad de los precios efectivos de cada momento.

### **Precio natural o centro de gravedad**

Cuando Smith habla de lo que significa el precio natural de una mercancía, también dice que sirve de referencia para el precio real o efectivo (o de mercado) de esa mercancía. El precio de mercado es diferente al precio natural, pero tiende a él todo el tiempo debido al proceso de competencia entre los productores. Este concepto es fundamental para la teoría económica clásica, y fue suscrito casi completamente por Ricardo y Marx. La idea de precio natural de Ricardo se diferencia de la de Smith en que para Smith, las ganancias y salarios se determinan en mercados separados y el precio natural es la suma de estas partes más la renta de la tierra, mientras que Ricardo dice que la tasa de ganancia y el salario real están relacionados inversamente.

Para Marx, la idea de “precio de producción” es muy similar a la de precio natural de Smith, estando ambos conceptos definidos por la existencia de una tasa de ganancia uniforme en todos los sectores de la economía [Marx, 1894]. Es más, Marx, aceptó el análisis de Ricardo sobre las razones por las que los precios de mercado fluctúan alrededor de sus precios naturales. Como Ricardo, creía que los salarios reales y la tasa de ganancia varían en direcciones opuestas.

Si consideramos los dos conceptos de precio que se dan en la teoría clásica, el precio de mercado, que es el precio que se da en la realidad, y el precio natural, que es aquel “suficiente para pagar la renta de la tierra, los salarios por el trabajo, y las ganancias (...) de acuerdo a sus tasas naturales” [Smith, 1776], el precio natural es el centro de gravedad para el precio de mercado, es decir, el primero está continuamente tendiendo al segundo. De esta descripción pueden extraerse dos proposiciones:

1. La desviación del precio de mercado respecto del precio natural depende de la diferencia entre la oferta real y la demanda efectiva (la demanda de aquellos que están dispuestos a pagar el precio natural de la mercancía), siendo el precio del mercado mayor, menor o igual al precio natural en función de que dicha diferencia sea negativa, positiva o cero.
2. La diferencia entre el precio de mercado y el precio natural produce movimientos de entrada y salida de capital y cambios en la estructura de la producción, de forma que la cantidad producida de una mercancía disminuye (o aumenta) si dicha diferencia es positiva (o negativa).

Según Smith, la posición de la economía en la que el precio de mercado iguala al precio natural y la cantidad producida iguala a la cantidad demandada, es un centro de reposo y continuidad, una posición en la que se mantendrá hasta que suceda un cambio exógeno, por ejemplo, en las técnicas de producción.

Estas definiciones pueden identificarse como un sistema dinámico en el que las variables de estado son los precios y las cantidades producidas (o el capital), y para el que el vector formado por los precios naturales y la correspondiente cantidad producida (o capital) es un equilibrio.

Aunque después de Ricardo la noción de un vector de precios con tasa de ganancia uniforme (o vector de precios de producción), hacia el que tienden los precios reales, fue aceptada por economistas como Marshall y Walras, esta concepción fue abandonada en los trabajos recientes sobre el equilibrio general. Por su parte, un crítico de los neoclásicos como Sraffa [Sraffa, 1960] tampoco introduce una relación entre dicho vector y el vector de precios reales. Sin embargo, la idea ha sido retomada posteriormente por un discípulo suyo [Garegnani, 1976], quien señala las posiciones a largo plazo como centros de gravedad para los precios reales.

Por último, cabría decir que la formalización dinámica de esta teoría de la gravitación, dentro de un modelo de  $n$  sectores, cada uno produciendo

una mercancía, puede expresarse de la siguiente manera. La producción de cada mercancía requiere adelantos de capital, que deben cubrir las compras de las materias primas y el pago de los salarios de los trabajadores. Si se supone un vector de precios único y semi-positivo, de forma que en cada sector se cumplen simultáneamente dos condiciones –tasa de ganancia uniforme e igualdad de oferta y demanda–, podemos llamar a dicho vector, “vector de precios de producción” y representarlo por:  $p^* = (p_i^*)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Pues bien, la existencia de este vector puede ser probada utilizando distintos tipos de modelo [Boggio, 1985]<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> La modelización de las proposiciones anteriores resulta en las siguientes fórmulas ( $d_{it}$  es la demanda efectiva,  $p_{it}$  es el precio real, y  $q_{it}$  es la cantidad producida, todos para la mercancía  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) en el instante de tiempo  $t$  ( $t \in \mathbb{R}_+$ )):

1.  $p_{it} - p_i^* = g_i(d_{it} - q_{it})$  ( $g_i$  es una función continua para preservar el signo) **(Ecuación 1)**
2.  $\dot{q}_i = s_i(p_{it} - p_i^*)$  ( $\dot{q}_i = \frac{dq_{it}}{dt}$  y  $s_i$  son funciones continuas que preservan el signo) **(Ecuación 2)**

Sin embargo, estas dos ecuaciones no son suficientes para probar la tesis de la gravitación. Deben complementarse con algún supuesto acerca del comportamiento temporal del vector de la demanda ( $d_t$ ). Si suponemos que este es constante:

$$d_t = d^* \text{ (} d^* \text{ vector fijo semi-positivo) } \textbf{(Ecuación 3)}$$

de las ecuaciones 1 y 2 puede obtenerse:

$$\dot{q}_i = s_i[g_i(d_i^* - q_{it})]$$

Dado que  $\frac{d(q_{it} - d_i^*)}{dt} = \dot{q}_i$  siempre, puede verse que su signo es siempre opuesto a  $(q_{it} - d_i^*)$ , por lo que cuando  $t$  aumenta,  $|q_{it} - d_i^*|$  decrece monótonamente, y por lo tanto,  $q_{it}$  tiende hacia  $d_i^*$ . Esto implica que cuando tiende a  $\infty$  ( $t \rightarrow \infty$ ),  $p_{it}$  debe tender a su vez, hacia  $p_i^*$ .

Por tanto, el par  $(p^*, d^*)$  forman un equilibrio asintóticamente estable para el sistema de las ecuaciones 1, 2 y 3. Además, pueden obtenerse las mismas

La aplicación del análisis dinámico al modelo de gravitación clásico (estabilidad de los precios de producción), ha producido dos aproximaciones:

1. El proceso de formación de precios se basa en un método de aplicación de margen (*mark-up pricing*: método de fijación de precios de un producto basado en un margen, que consiste en sumar todos los gastos de producción del producto, y añadirle como beneficio un porcentaje de esos gastos, o margen): se han obtenido resultados de estabilidad muy contundentes, pero dado que los márgenes o las tasas de ganancia objetivo son variables exógenas, han producido cierto rechazo.
2. Se sigue la teoría clásica de forma más estricta: los precios reales cambian dependiendo de la oferta y la demanda, y los cambios en las cantidades producidas dependen de las diferencias en las ganancias. Los resultados de esta aproximación son más consistentes cuando se supone que los

---

conclusiones si en vez de asumir  $d_{it}$  como constante, se considera que crece a una tasa proporcionalmente constante.

Este resultado significa que, de acuerdo al modelo, aunque cambios exógenos pudieran cambiar el vector de precios reales y/o el vector de precios de producción, el mecanismo de gravitación siempre haría tender a reducir este cambio.

Sin embargo, este modelo de gravitación clásico tiene algunas pegs, como el hecho de que descuida las relaciones entre sectores, y asume la equivalencia entre un valor positivo (o negativo) de  $(p_{it} - p_i^*)$  con una atracción (o repulsión) de capital hacia el sector, sin tener en cuenta que la relación entre la tasa de ganancia de un sector dado y la tasa de ganancia media depende también de los precios de las mercancías necesarias como materias primas para ese sector.

cambios en los precios dependen principalmente de los cambios en los costes, pero que también están influidos por el exceso de demanda.

## 2.3 Enfoque heterodoxo del equilibrio

Como se vio en el epígrafe 2.1, Marx desarrolló analíticamente la teoría clásica de la Mano Invisible pero dando solo su acuerdo al punto de vista positivo y no normativo. Estando nosotros también de acuerdo con el gran descubrimiento realizado por Smith de uno de los mecanismos económicos centrales de la sociedad capitalista, podemos explicar este aspecto positivo de la Mano Invisible de la siguiente forma [Guerrero, 2004]. En la figura 1 se representan los equilibrios a corto y largo plazo en los mercados de los bienes  $x$  (parte superior de la figura) e  $y$  (parte inferior). Si, partiendo de una situación de equilibrio (representada por puntos  $I$  de ambas partes de la figura), se produce un cambio en las preferencias de los consumidores desde la mercancía  $y$  a la  $x$ , mientras que los costes de producción no se alteran (se mantienen las mismas curvas de costes marginales y medios a corto plazo,  $C'$  y  $CME$ , y las curvas de costes medios a largo plazo,  $CME|_p$ ), la respuesta de la economía de mercado puede desdoblarse en dos efectos:

1. En un primer momento, los precios de  $y$  bajan hasta  $P_2$  y los de  $x$  suben a  $P_2$ , haciendo ganar a las empresas del segundo sector una ganancia extraordinaria que atraerá capitales del resto de la economía ( $y$ , a la vez, hará sufrir a las empresas de  $y$  pérdidas, o ganancias inferiores a la media, de forma que el capital desinvertirá de este sector).
2. Los “equilibrios” designados con el número 2 no pueden ser estables (dado que los capitales no están en equilibrio si no ganan una rentabilidad tendencialmente igual). Por tanto, la inversión adicional en el sector  $x$  (y la desinversión relativa en el sector  $y$ ) hacen que la curva de oferta de  $x$  se desplace a la derecha, a la vez que la de  $y$  se desplaza a la izquierda. Esto pone fin al periodo transitorio de subida (y descenso) de los precios respecto a los normales, así como a los beneficios y pérdidas fuera de lo normal. Finalmente, el equilibrio a largo plazo de la economía se obtiene en los puntos 3 de ambos sectores. En él, la cantidad de  $y$  habrá disminuido, y la de  $x$  habrá subido (en ambos casos, desde  $Q_e$  hasta  $Q_e'$ ), aunque los precios volverán finalmente, en ambos casos, a sus niveles de equilibrio a largo plazo ( $P_e$ ).

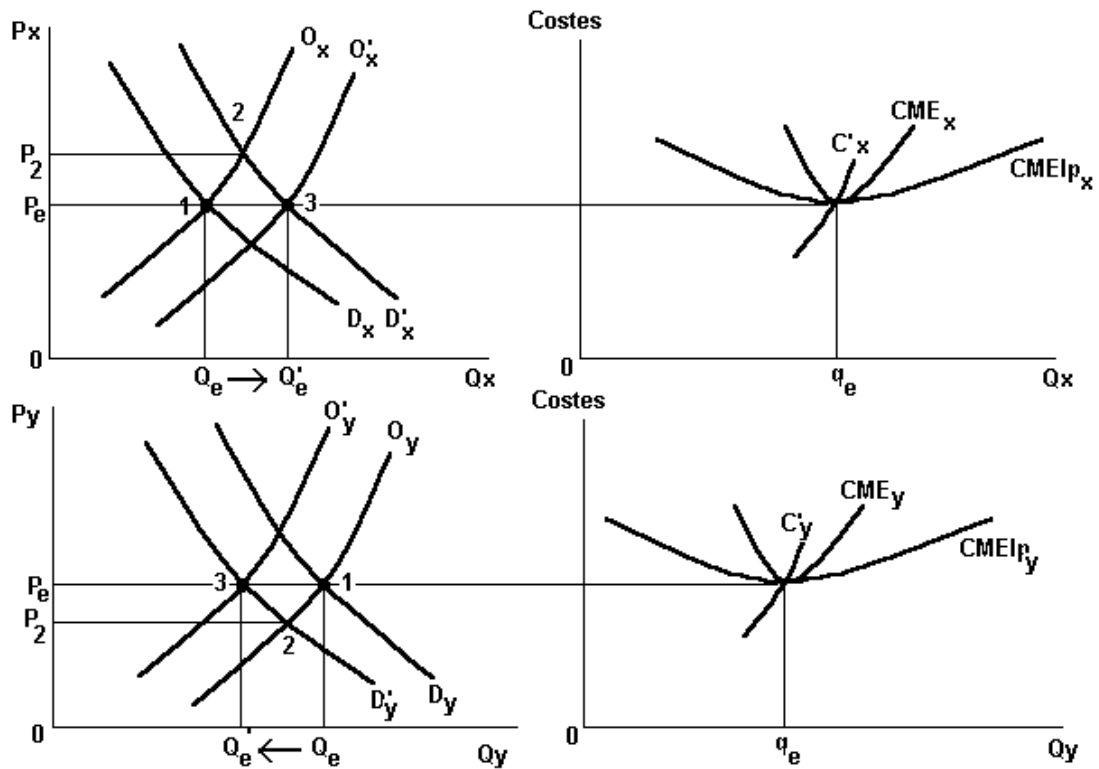


Figura 1. Formación del equilibrio en la oferta y la demanda

Con respecto al aspecto de funcionamiento efectivo de este “mecanismo de mercado”, el enfoque neoclásico tiene una interpretación similar a la hecha por Marx, pero no en cuanto al aspecto normativo, como ya se ha señalado. La oferta de cada sector se adapta a la demanda “efectiva”, o realmente existente, de esa mercancía, y esto ocurre tanto en el caso de que la demanda esté aumentando (caso de  $x$ ) o esté reduciéndose ( $y$ ). Y lo que se ha dicho aquí de las mercancías  $x$  e  $y$  puede extenderse sin problemas al caso general de  $m$  mercancías, de manera que la forma en que Walras y Pareto exponen sus ecuaciones de equilibrio general solo son una versión matemática más

avanzada de la idea que se acaba de explicar. La cuestión verdaderamente importante para la valoración de la eficiencia del sistema es lo que separa la posición de Marx de la Smith. La cuestión es la de la relación que existe entre esta demanda efectiva (la demanda de mercado o capitalista) y la demanda que existiría en una organización social distinta, alternativa, que la propia sociedad podría considerar óptima, por ejemplo porque el mecanismo asignativo coincidiese con las necesidades naturales de la población (la demanda democrática).

Por otra parte, en opinión de los neoclásicos, para que sea posible la actuación de la Mano Invisible ha de darse el supuesto de competencia perfecta. La competencia es un concepto en el que también difieren los clásicos, y entre ellos Marx especialmente, y los neoclásicos. Así, para los neoclásicos, se da la posibilidad de la coexistencia de mercados de competencia perfecta junto a mercados de competencia imperfecta, siendo las diversas combinaciones de ambos modelos perfectamente compatibles con una interpretación flexible del equilibrio general. Pero desde un punto de vista heterodoxo, se puede y se debe sustituir tanto la competencia perfecta como la imperfecta por un nuevo *enfoque dinámico* de la competencia. Desde este punto de vista, la competencia debe entenderse como una batalla global entre cada empresa y todas las demás que comienza en el ámbito de la inversión y la acumulación de capital, tanto desde el punto de vista técnico y organizativo de la producción como en el financiero, para extenderse finalmente a la esfera

comercial en forma de las diversas estrategias más adecuadas para ganar cuotas de mercado a costa de los rivales.

Para llegar a esa visión de la competencia dinámica propuesta por el enfoque heterodoxo, hay que revisar pues el concepto de arriba a abajo: el rasgo más característico de la concepción clásica de la competencia coincide con lo que hoy en día es y siempre ha sido la visión popular de la competencia entendida como rivalidad y guerra, algo que está totalmente ausente en la idealizada teoría neoclásica de la competencia perfecta. La competencia real tiene dos manifestaciones o campos de batalla, por un lado la *intersectorial* (entre sectores), y por otra la *intrasectorial* (en el mismo sector) [Guerrero, 2003]. De acuerdo con la competencia intersectorial, el capital tiende a percibir una remuneración aproximadamente igual, sea cual sea el sector de actividad en el que decida invertirse. Los neoclásicos han añadido a éste un elemento adicional (la igualdad de remuneración de todas las empresas que forman cada sector) que no estaba en los clásicos, pues éstos defendían la disparidad de retribuciones de las diferentes unidades individuales del capital de cada industria.

La tendencia a la igualación de las rentabilidades sectoriales se hace posible gracias a la intervención de los conceptos clásicos de precio natural o precio de producción, y su caracterización como tendencia, y no como realidad permanente. Por consiguiente, el precio natural es el que hace posible la

igualación de las tasas de beneficio de cada sector. Aquí se está suponiendo la libre competencia o libre movimiento de los capitales, algo que no tiene nada que ver con la concepción neoclásica de la competencia perfecta, y que supone que ningún monopolio o barrera de otra clase impida a cada dueño de un capital mover libremente sus fondos en busca de la máxima rentabilidad, ya sea de sector a sector, o bien dentro de un sector, invirtiendo en los métodos de producción más adecuados en cada caso.

En cuanto al segundo aspecto de la competencia, la competencia intrasectorial, mientras que Smith se limitaba a hablar de la competencia como de una rivalidad o una carrera (o competición entre varios participantes) en la que es imposible que todos lleguen al mismo tiempo por definición, otros autores acentúan el carácter antagonista de la misma, hablando abiertamente de “lucha”, “batalla” o “guerra” entre empresas, de forma que la concepción resultante de la competencia de capitales poco tiene que ver con el planteamiento neoclásico. Así, aparte de Marx, se encuentra la misma idea en Schumpeter, quien habla de una "situación de guerra constante entre las empresas en competencia", de forma que "la competencia 'benéfica' del tipo clásico parece que ha de ser, fácilmente, reemplazada por una competencia 'de rapiña' o de 'guerra a cuchillo'" [Schumpeter, 1942].

El enfoque estático de la teoría neoclásica no satisface a aquellos autores que, como J. Schumpeter, creen que el cambio incesante en los

productos y en los métodos productivos es la auténtica esencia del capitalismo competitivo, de hecho su idea es que "la competencia perfecta no sólo es imposible, sino inferior, y carece de todo título para ser presentada como modelo de eficiencia ideal".

### **2.3.1 La libre competencia de capitales**

Para la teoría neoclásica, la competencia es diferente que para los clásicos (Smith, Ricardo y Marx) también en otro sentido: la teoría clásica pone el énfasis en la movilidad del capital, mientras que para los neoclásicos, lo importante es la idea de que la influencia de cada agente individual es insignificante, lo que equivale a decir que la economía está compuesta de infinitos participantes, y en particular empresas en cada sector [Aumann, 1964].

Para los clásicos, como Smith y Ricardo, la libre competencia es la fuerza equilibradora en una sociedad basada en el intercambio, una fuerza que hace que los precios naturales actúen como los centros de gravedad de los precios del mercado gracias a que se producen continuos flujos de capital desde sectores o áreas de inversión con bajas tasas de ganancia a otros con tasas altas y superiores a la media. En términos de la moderna Economía Industrial, podríamos decir que, comparada con la teoría de competencia perfecta, la "libre competencia" clásica se definía más bien en términos de

“comportamiento económico” que de “estructura de mercado” [Stigler, 1957], [McNulty, 1968], [Eatwell, 1982]. El concepto de competencia de Marx, basado en el de libre competencia clásica también se refiere al comportamiento de la empresa capitalista. Sin embargo, Marx tenía sus dudas sobre las propiedades estabilizadoras del proceso de competencia, y conceptualizó la competencia como una dinámica global entre empresas que empezaba por una reorganización de la empresa y una carrera por el cambio técnico mejor adaptado a la maximización de la rentabilidad. Solo el concepto schumpeteriano de la competencia como un proceso de “destrucción creativa” y, en mucha menor medida, la teoría moderna de la rivalidad en contextos oligopólicos [Friedman, 1982] se asemejan a esta concepción.

Aunque ya en sus primeros trabajos Marx apuntaba su idea de la competencia dinámica, solo la desarrolló de manera sistemática en sus últimos escritos. Como se ha dicho, es una concepción que se deriva de su propia teoría del comportamiento de la empresa capitalista [Kuruma, 1973]. La fuerza impulsora del cambio técnico y el crecimiento económico a escala social es el objetivo que tiene la empresa capitalista individual de crecer y expandirse (la auto-expansión del capital). De la dinámica intersectorial (entre empresas) proviene la evolución económica, la acumulación y el crecimiento, pero también la ruina de viejas empresas y la centralización de capital, por lo que la competencia y rivalidad se hacen cada vez más encarnizadas.

Las empresas no se conciben como agentes económicos sin poder, que se ajustan pasivamente a ciertas técnicas, precios y cantidades, sino que buscan activamente la reorganización de la producción y de las actividades del mercado en el contexto de las posibles reacciones de sus rivales. Las empresas no son tampoco como agentes precio-aceptantes sino que ellas mismas ponen los precios (precio-determinantes) o las cantidades, ajustándose constantemente a la situación a través de las reacciones previstas y efectivas de todos sus rivales, estableciéndose así los precios y los beneficios como resultado de todas las interacciones de mercado. La existencia de la diferenciación de precios, incluso para productos homogéneos, se asume bajo condiciones de desequilibrio. Las empresas monopolistas se consideran casos excepcionales de “monopolios temporales”, cuando la demanda excede a la oferta durante un periodo de tiempo muy grande, o bien como “monopolios naturales” basados en la posesión de una porción de la Tierra o en el acceso limitado y privatizado a los recursos naturales.

En las actividades de producción, la reorganización de la empresa y el cambio técnico se ven como las principales armas de la competencia. El objetivo de la empresa es capturar los potenciales de crecimiento, llevando al desequilibrio mediante cambios técnicos irreversibles e innovadores, que tienen lugar no siempre de manera continúa en el tiempo, sino especialmente por medio de pasos discretos de importancia decisiva. Es más, la competencia

a través del cambio técnico no tiene como resultado la existencia y adopción de una técnica óptima por parte de todas las empresas de esa rama, sino en la coexistencia de múltiples técnicas en su interior, de forma que la técnica media (excluyendo casos excepcionales) se considera la técnica *reguladora* que determinará el precio normal de largo plazo, pero sin olvidar que muchas empresas estarán dotadas en cada momento de un diferencial técnico, ya sea a la baja o al alza respecto a ese nivel medio regulador.

Simultáneamente con esas fuerzas que generan el desequilibrio, la competencia dinámica entre empresas es también una fuerza de balance y equilibrio en otro sentido. El capital, como fondo homogéneo que es considerado como capital dinerario, busca su máximo beneficio fluctuando entre sectores y moviéndose de uno a otro (“competencia intersectorial”). La libre movilidad del trabajo y el capital, sin barreras artificiales o naturales para su entrada o salida y un conocimiento suficientemente extendido desde los campos de inversión, se consideran precondiciones para el flujo libre de fondos.

Como se ha dicho, tanto para Marx [Marx, 1894] como para Smith [Smith, 1776] o Ricardo [Ricardo, 1817], este proceso dinámico se concibe partiendo de considerar que los fondos de capital fluyen hacia los sectores con tasas de ganancia alta desde sectores con tasas de ganancia baja. De esta forma, las proporciones de productos entre los sectores cambiará, creando

desequilibrios entre oferta y demanda. Esto, a su vez, provocará que los precios de mercado relativos cambien, tendiéndose a establecer los precios de producción a largo plazo como centros de gravedad para los precios de mercado. Pero es verdad que las propiedades estabilizadoras de este proceso dinámico no fueron demostradas rigurosamente. Los argumentos se utilizaron de manera intuitiva por analogía con la teoría newtoniana de los sistemas planetarios, con las tasas de ganancia oscilando en un intervalo acotado y los precios reales gravitando alrededor de sus precios de producción de largo plazo. Se espera que las diferencias entre las tasas de ganancia de sectores y empresas existan durante un periodo corto o largo debido a un desequilibrio dinámico y debido a la velocidad y facilidad de ajuste variable entre un sector y otro. Aunque Marx anticipó posibles cambios institucionales debidos a “concentración y centralización de capital”, no supuso, sin embargo, que la competencia intra- e inter- sectorial se convirtiera en menos severa con la evolución del capitalismo.

A pesar de que, después de Marx, se revisaron algunos conceptos que se alejaban de sus estudios, actualmente, se ha vuelto a sus ideas originales, especialmente en cuanto a:

1. Determinación del precio y ganancia inter- e intra- sectorial: se han hecho intentos de elaborar una teoría de *mark-up pricing* para grandes empresas en el marco de la teoría dinámica de la competencia y los precios

de producción a largo plazo. En este contexto, el comportamiento económico de las grandes empresas se explica más en términos de cambio de los procesos de producción y la organización de la empresa y menos en términos de cambios en las estructuras del mercado [Clifton 1977], [Clifton, 1983], [Semmler, 1984] como intentaba explicar la teoría post-marxista. De acuerdo con este nuevo punto de vista, el margen y la tasa de ganancia objetivos no surgen de nuevas estructuras de mercado, sino de un nuevo tipo de empresa, las corporaciones multi-plantas y multi-productos y sus nuevas técnicas de gestión financiera. Sin embargo, no hay suficientes pruebas empíricas de que las diferencias entre las tasas de ganancia entre sectores y entre distintos tamaños de empresa provengan de estructuras de mercado imperfectas o de desequilibrios dinámicos. En cualquier caso, los mejores resultados se obtienen cuando, dado que las grandes empresas ya no producen un solo producto, se estudian estas bajo la teoría de la producción conjunta [Semmler, 1984]

2. Cambio técnico e innovación: la teoría del cambio técnico en la economía marxista ha encontrado en los últimos años una buena base en la teoría de la competencia [Okishio, 1961], [Shaikh, 1978], [Roemer, 1979]. Desde este punto de vista, se puede aceptar la idea de Marx, de que bajo la presión competitiva las empresas individuales llevarán a cabo cambios técnicos e innovación que les permita obtener una ganancia

extraordinaria transitoria, pero la difusión de esas técnicas entre el resto de las empresas acarreará una caída de la tasa de ganancia general<sup>8</sup>.

3. Formación de una tasa general de ganancia: recientemente algunos críticos han llegado a la conclusión de que, dado que no se puede establecer teóricamente cómo pueden igualarse dinámicamente las diferencias en las tasas de ganancia mediante las fuerzas de la competencia, el concepto de precios de producción sería empíricamente irrelevante. Pero para resolver este problema, se ha comenzado a formalizar la conceptualización de la competencia de Marx mediante sistemas dinámicos con precios y cantidades que cambian a lo largo del tiempo. Por ejemplo, un crítico como [Nikaido, 1983] presentó sus resultados de ecuaciones dinámicas de las tasas de ganancia y las propiedades de la estabilidad de los precios de producción, mostrando que en general no son ni siquiera localmente estables. Sin embargo, en discusiones posteriores [Duménil y Lévy, 1984], [Steedman, 1984] y

---

<sup>8</sup> Aunque el teorema de Okishio se ha hecho famoso como un intento de invalidar dicha afirmación, Shaikh ha demostrado que este resultado solo se obtiene si se sustituye la concepción clásica de la competencia por la concepción neoclásica de la competencia perfecta, según la cual las empresas no se ven obligadas a competir con precios a la baja en un contexto dinámico [Shaikh 1978], [Shaikh, 1980] (otra vía de argumentación contra el teorema de Okishio puede verse en el reciente libro de Andrew Kliman [Kliman, 2007]). En el contexto de la competencia dinámica de Marx, debido a las reacciones imprevistas de los rivales, no se puede tener una certeza con respecto a la tecnología futura y a los mercados. Esto significa que la teoría de la competencia perfecta no puede aplicarse como marco en este contexto.

[Flaschel y Semmler, 1987] han mostrado que sí pueden ser localmente estables<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Todos ellos han utilizado la siguiente modelización dinámica (modelo de  $n$  sectores) que incluye cambios, no solo en los precios, sino también en los niveles de producción, y en la que el proceso dinámico de competencia se refiere a los flujos de capital entre sectores de acuerdo a diferencias en las tasas de ganancia y a cambios en los precios debidos a desequilibrios entre la oferta y la demanda:

$$\dot{x}_i = d_i[r(p, x)_i - \bar{r}(p, x)],$$

y

$$\dot{p}_i = k_i[\bar{D}(p, x)_i - S(p, x)_i],$$

donde  $\bar{D}(p, x)_i$  es la demanda media o esperada para un sector  $i$  en un sistema económico creciente,  $S(p, x)_i$  la oferta del sector,  $r(p, x)$  la tasa de ganancia del

sector, la tasa de ganancia media, y  $\dot{p}_i, \dot{x}_i$ , las tasas de cambio temporal de precios y productos. Sin embargo, esta modelización no incluye capital fijo, rendimientos de escala o múltiples técnicas.

## Capítulo 3

# Los mercados financieros y la hipótesis del mercado eficiente

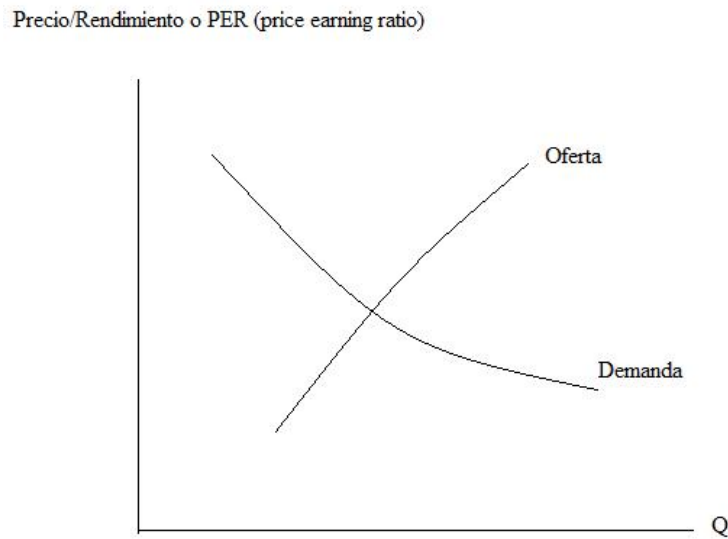
---

### 3.1 Introducción

Como se ha visto en el capítulo anterior, en teoría microeconómica los mercados y sus equilibrios se representan mediante diagramas con curvas de demanda decrecientes, y de oferta crecientes cuando representamos el precio frente a la cantidad de producto (ofrecida/demandada), de forma que el precio de equilibrio a corto plazo aumentará y la cantidad de equilibrio disminuirá como respuesta a un incremento de los costes de producción marginales de los oferentes, manteniéndose dadas las condiciones que determinan la curva de

demanda. Asimismo, si los costes bajan, el precio de equilibrio bajará y la cantidad de equilibrio aumentará para cualquier curva de demanda dada.

En los mercados financieros, no tiene sentido hablar de curvas de oferta basadas en costes marginales o costes medios –ya que aquí no hay productos que producir y por tanto no hay costes de producción de ninguna clase– sino de rendimientos *esperados* y rendimientos *requeridos* para una inversión determinada. El rendimiento esperado es la media del rendimiento del mercado, y el requerido, es aquel que hace que al inversor le compense invertir en función del riesgo que se corre con dicha inversión. Es decir, el primero es aquel rendimiento que el inversor espera obtener de esa inversión, y el requerido, el mínimo para que le compense invertir (el coste de oportunidad de renunciar al rendimiento de inversiones alternativas). Estos rendimientos pueden traducirse en un “precio”, el PER (Price Earning Ratio, o relación entre el precio y el rendimiento), que mide de alguna manera lo que vale una empresa y, por tanto, da una medida de los rendimientos que se pueden obtener si se invierte en ella. Tomado como precio el PER de una empresa y llamando  $Q$  a la cantidad de acciones de esa empresa que están en cada momento en el mercado, la figura 2 representa la oferta y la demanda en dicho mercado en el momento  $t$ .



**Figura 2. Oferta y demanda en bolsa de las acciones de una empresa.**

La figura anterior se debe entender como la oferta “de mercado” y la demanda “de mercado” de cualquier título financiero que cotiza en Bolsa. Como en el caso de cualquier otro mercado, las curvas de oferta y demanda de mercado pueden obtenerse mediante la suma de las curvas de demanda y oferta individuales de los  $n$  compradores potenciales o  $m$  potenciales vendedores intervinientes en el mercado. Cada punto de la curva de demanda de la figura se obtiene sumando las cantidades demandadas por todos los agentes para ese nivel del PER de la empresa cuya acción se negocia. A partir de un valor objetivo dado del PER de ese título (que refleja la inversa de la rentabilidad esperada conocida) y para un determinado valor subjetivo del “rendimiento requerido” (que dependerá del rendimiento de sus alternativas de inversión), el inversor decidirá qué cantidad de títulos desea adquirir en

ese momento. Asimismo, cada punto de la oferta de la figura resulta de la suma horizontal de las ofertas individuales hechas por todos los vendedores, y cada una de estas últimas será de mayor o menor magnitud dependiendo de la comparación que se hace entre el rendimiento subjetivamente requerido por cada individuo y el precio al que podría realizar ese título en ese momento. Esto se podría representar también, de forma completamente equivalente, por una típica curva de “exceso de demanda”, de forma decreciente, que cortaría al eje vertical en el nivel de equilibrio del PER, donde el exceso de demanda es cero.

En el resto de los mercados económicos, los oferentes, estando también en competencia unos con otros y en busca de su máximo beneficio, intentan minimizar los costes de producción, lo cual da lugar, mediante el movimiento de capital entre distintas empresas (competencia intrasectorial) o entre distintos sectores (competencia intersectorial), a que se llegue a un equilibrio único en el precio; sin embargo dicho precio único permite obtener beneficios extraordinarios a los que son capaces de innovar antes y producir más eficientemente que los demás, mientras que lo que producen en condiciones técnicas y organizativas por debajo de la normal tendrán que conformarse con una rentabilidad inferior a la media.

En el mercado financiero, también se alcanza un equilibrio único de mercado basado en la búsqueda individual del máximo beneficio por parte de

cada inversor. Pero el beneficio extraordinario lo tienen aquí tan solo los agentes que llevan a cabo el arbitraje de forma efectiva. Estas operaciones de arbitraje son diferentes combinaciones de operaciones de las que se obtiene un beneficio de un mercado descompensado, es decir: cuando existe alguna descompensación en el mercado (precio de un título financiero por encima o por debajo de su valor intrínseco o de equilibrio), los que antes acuden a aprovechar esa oportunidad serán los que obtengan esa ganancia extra.

Pero las operaciones de arbitraje se realizan en función de la información que tiene cada agente respecto a esas descompensaciones, de forma que quien antes disponga de información sobre una descompensación, podrá obtener un mayor beneficio. Si, por ejemplo, un título estuviese infravalorado, aquellos con información al respecto lo adquirirían antes que los demás con objeto de obtener una rápida ganancia de capital, pero la demanda sumada de todos los demás crearía una presión sobre dicho título que impulsaría su precio hacia arriba hasta situarlo en su valor intrínseco<sup>10</sup>. Cuanto más tarde se lleve a cabo la compra por parte de un inversor individual, menor será su ganancia en comparación con la realizada por los que anticipan el movimiento.

---

<sup>10</sup> Si, por el contrario, el título estuviese sobrevalorado esos mismos inversores lo venderían con lo que el precio del mismo descendería, debido a la presión de la oferta, hasta situarse en su valor teórico.

En este contexto, lo que esta literatura denomina la “Hipótesis del mercado eficiente” (HME) postula que el mercado financiero es eficiente porque refleja completa y correctamente toda la información necesaria para determinar los precios de los activos. Eso significa que en cada instante sólo existe un precio en el mercado para un título financiero. Ese es su precio intrínseco o de equilibrio. El que esto ocurra en cada instante significa que la información sobre las descompensaciones en el mercado, y por tanto las oportunidades de arbitraje, se incorporan, y se realizan, de manera *instantánea* (y por tanto, no hay lugar para el arbitraje).

Pero el arbitraje es a los mercados financieros lo mismo que la ventaja en costes es al mercado de bienes producidos. El precio puede tomarse como único en cada momento porque en ambos casos rige la “ley del precio único”. Pero al igual que en la producción un precio idéntico y un coste inferior generan un beneficio más alto, asimismo en el mercado financiero un precio único en cada momento y una actuación más rápida generan una ganancia extraordinaria para el que lleva a cabo el arbitraje. La implicación más importante de la hipótesis HME es que si toda la información disponible sobre el mercado *ya* está incorporada en este, no pueden realizarse operaciones que produzcan un beneficio, salvo como producto del azar. De esta forma, los sucesivos cambios en los precios de cada acción son independientes (es decir, obedecen a un modelo de “paseo aleatorio”). Esto implica que el mercado no tiene memoria y, por tanto, las series históricas de

precios no tienen utilidad alguna para predecir los precios futuros y obtener así ganancias extraordinarias.

## 3.2 Definición

En general, en Economía, y dejando de lado el concepto más general de eficiencia que se discutió en 2.1, el término “eficiencia” puede referirse a dos conceptos distintos. Por un lado, a la “eficiencia operacional”, que mide lo bien o mal que funciona algo –en particular, los mercados– en términos de velocidad de ejecución y precisión. Y por otro, a la “eficiencia informacional”, que es una medida de cuán rápida y precisa sea la reacción del mercado a cualquier nueva información. La HME se refiere exclusivamente a esta última, la “eficiencia informacional”, y no presupone ni exige la eficiencia operativa.

Debe tenerse en cuenta que la propia definición de la HME ha ido evolucionando a medida que se ha ido profundizando en su estudio. Existen por tanto, varias definiciones. Las más comúnmente aceptadas, según el orden cronológico en el que han ido apareciendo se muestran en la tabla 1.

Definición de HME	Referencia (Autor y año)
“An "efficient" market, i.e., a market that adjusts rapidly to new information.”	[Fama et al., 1969]
“A market in which prices always “fully reflect” available information is called “efficient.””	[Fama, 1970]
“A market is efficient with respect to information set $\theta_t$ if it is impossible to make economic profits by trading on the basis of information set $\theta_t$ .” [‘By economic profits, we mean the risk adjusted returns net of all costs.’]	[Jensen, 1978]
“I take the market efficiency hypothesis to be the simple statement that security prices fully reflect all available information. A precondition for this strong version of the hypothesis is that information and trading costs, the costs of getting prices to reflect information, are always 0 (Grossman and Stiglitz (1980)). A weaker and economically more sensible version of the efficiency hypothesis says that prices reflect information to the point where the marginal benefits of acting on information (the profits to be made) do not exceed marginal costs (Jensen (1978)).”	[Fama, 1991]
“A capital market is said to be efficient if it fully and correctly reflects all relevant information in determining security prices. Formally, the market is said to be efficient with respect to some information set, $\phi$ , if security prices would be unaffected by revealing that information to all participants. Moreover, efficiency with respect to an information set, $\phi$ , implies that it is impossible to make economic profits by trading on the basis of $\phi$ .”	[Malkiel, 1992]
“...market efficiency (the hypothesis that prices fully	[Fama, 1998]

<p>reflect available information)...”</p> <p>“...the simple market efficiency story; that is, the expected value of abnormal returns is zero, but chance generates deviations from zero (anomalies) in both directions.”</p>	
<p>“A market is efficient with respect to the information set, <math>\Omega_t</math>, search technologies, <math>S_t</math>, and forecasting models, <math>M_t</math>, if it is impossible to make economic profits by trading on the basis of signals produced from a forecasting model in <math>M_t</math> defined over predictor variables in the information set <math>\Omega_t</math> and selected using a search technology in <math>S_t</math>.”</p>	<p>[Timmermann y Granger, 2004]</p>

**Tabla 1. Definiciones de la HME**

### 3.3 Taxonomía

[Roberts, 1967] definió tres niveles de eficiencia de los mercados de valores, donde cada nivel indica la clase de información que es incorporada inmediatamente en el precio. Se llaman: débil, semi-fuerte y fuerte.

#### **Hipótesis débil**

En la hipótesis débil se supone que cada título refleja totalmente la información contenida en la serie histórica de precios, es decir, toda la información pasada. Los inversores, por lo tanto, no pueden obtener rentabilidades superiores analizando dichas series o ideando reglas de

comportamiento de los precios basadas en ellas, puesto que todos los participantes del mercado habrán aprendido ya a explotar las señales que dichas series de precios pueden mostrar y actuarán en consecuencia.

Según esta hipótesis ningún inversor podrá conseguir un rendimiento superior al del promedio del mercado analizando exclusivamente la información pasada (la serie histórica de precios) y si lo logra será sólo por azar. Ahora bien, aunque el mercado se ajustara al comportamiento propuesto por esta hipótesis, un inversor sí podría estar ganando más que la media del mercado utilizando la información hecha pública y la información privilegiada.

### **Hipótesis semi-fuerte**

Según esta hipótesis un mercado es eficiente en su forma semi-fuerte cuando los precios reflejan, no solo toda la información pasada que proporciona la serie de precios, sino también toda la información hecha pública en el presente acerca de la empresa o de su entorno micro o macroeconómico, que pueda afectar a cada título en particular (informe de resultados empresariales, anuncios de dividendos, información sobre balances anuales, trimestrales, variación del tipo de interés, etc.). La única forma de lograr un rendimiento superior al promedio, que no sea por medio del azar, es a través de la utilización de la información privilegiada.

### **Hipótesis fuerte**

Por último, la hipótesis fuerte parte del supuesto de que los precios reflejan absolutamente toda la información, ya sea pasada, pública o privada. Según ella, ningún inversor podrá ganar al mercado como no sea por azar.

En cualquier caso, para que un mercado sea eficiente es necesario que los participantes en el mismo utilicen toda la información de forma que, efectivamente, los precios de los títulos reflejen toda la información disponible. Es decir, los mercados se aproximan a la eficiencia cuando los participantes en los mismos creen que no son eficientes y compiten buscando explotar esa ineficiencia que les hará ganar una mayor rentabilidad que el promedio de los inversores.

## **3.4 Historia**

La primera persona que utilizó la expresión “mercados eficientes” fue Eugene Fama [Fama, 1970], y fue durante los años setenta cuando esta hipótesis se sistematizó. La hipótesis, sin embargo, recoge y engloba en realidad diversas aportaciones producidas desde mucho tiempo atrás, sobre la incapacidad de predecir los precios de los activos financieros.

Ya en 1565 el matemático Girolamo Cardano, escribió que el fundamento principal en el juego es la igualdad de condiciones, y en 1863 Jules Regnault, un inversor de bolsa, observó que las variaciones de precio eran directamente proporcionales a la raíz cuadrada del tiempo. En 1880, el físico Lord Rayleigh, a través de su trabajo en las vibraciones sonoras, conoce el concepto de “paseo aleatorio”. En 1888, John Venn, lógico y filósofo, tenía un concepto claro tanto del “paseo aleatorio” como del movimiento browniano. En 1889, los mercados eficientes se mencionan claramente en el libro de George Gibson titulado “The Stock Markets of London, Paris and New York”, y escribe que “cuando las acciones se hacen públicas, el valor al que se adquieren está dado por el juicio de la mayor inteligencia”. Pero el primero de los trabajos empíricos, y específicos en este tema fue el de [Bachelier, 1900] que estudia el movimiento de los precios de las acciones y concluye que los precios especulativos se comportan como un “juego justo”, lo que implica que la esperanza de ganancia de un especulador es siempre cero.

Sin embargo, los estudios posteriores sobre la eficiencia de mercado han seguido otros desarrollos y en gran medida se han centrado en las posibilidades de contrastar la hipótesis del “paseo aleatorio”<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Desde mediados de 1950 hasta mediados de 1960, diversos trabajos muestran evidencias de que el comportamiento de los rendimientos de los activos puede aproximarse por un paseo aleatorio, cuya formulación en términos del precio es:

$$P_t = P_{t-1} + \varepsilon_t,$$

Es evidente que si las series siguen un paseo aleatorio no es posible obtener beneficios sistemáticos siguiendo ninguna estrategia. La mayoría de los estudios al respecto trataron de contrastar que los cambios sucesivos en los precios de las acciones son estadísticamente independientes. El test más utilizado se basa en los coeficientes de correlación. Y, en efecto, en casi todos los estudios realizados [Kendall, 1953], [Cootner, 1962], [Fama, 1965] se obtienen coeficientes de correlación serial semejantes a cero, lo que parece apoyar la teoría de que no existe ningún tipo de dependencia en los cambios sucesivos en los precios, comportándose éstos como un paseo aleatorio.

Sin embargo, [Samuelson, 1965] encontró algunas incoherencias en este conjunto de resultados, como que las probabilidades de distribución de los rendimientos de las acciones no eran constantes en el tiempo, e investigó una versión menos restrictiva de la suposición de que los cambios en los precios sean independientes e idénticamente distribuidos. Samuelson fue el

---

donde  $P_t$  es el precio observado en el instante  $t$ , y  $\varepsilon_t$  es un término de error que tiene media cero, varianza constante y cuyos valores son independientes unos de otros. La independencia implica no solo que los incrementos son independientes ( $\Delta P_t = \varepsilon_t$ ), sino que cualquier función no lineal de los incrementos tampoco está correlacionada. Dicho término de error se denomina ruido blanco. Como  $\varepsilon_t$  representa los cambios en los precios, dichos cambios serán independientes de su pasado. Haciendo sucesivas sustituciones puede expresarse el precio como una acumulación de todos los errores pasados:

$$P_t = \sum_{i=1}^t \varepsilon_i$$

lo que implica que en el modelo de paseo aleatorio los precios están generados por una acumulación de cambios puramente aleatorios.

primero en estudiar la posible relación entre la eficiencia de mercado y las “martingalas”<sup>12</sup>.

Es claro que el modelo del paseo aleatorio es más restrictivo que una martingala, ya que el paseo aleatorio elimina la dependencia con momentos condicionales superiores de  $x_{t+1}$  y la martingala elimina cualquier dependencia de la esperanza de  $x_{t+1} - x_t$ , con la información disponible en  $t$ . Esto significa que, en ambos casos, cualquier técnica de predicción lineal sobre los cambios de precios futuros basada en los precios históricos no sería efectiva, pero en el caso de la martingala no niega la posibilidad de ganancias predictivas de momentos condicionales de órdenes superiores explotando algún tipo de relaciones no lineales entre las series temporales.

---

<sup>12</sup> Se dice que un proceso estocástico  $x_t$  es una martingala, respecto a un conjunto de información  $\phi$ , si tiene la propiedad de esperanza condicional:

$$E [x_{t+1} | \phi_t] = x_t$$

lo que equivale a decir que la mejor predicción de  $x_{t+1}$  con la información  $\phi$  actual es  $x_t$ .

Por otra parte, un proceso estocástico  $x_t$  es un juego justo si:

$$E [x_{t+1} | \phi_t] = 0$$

o sea, que  $x_{t+1}$  no se puede predecir dado  $\phi_t$ .

Por tanto,  $x_t$  es una martingala si  $x_{t+1} - x_t$  es un juego justo. Luego, la variación en los precios es un juego justo si y sólo si la serie de precios es una martingala [LeRoy, 1989] Que la variación de los precios sea un juego justo significa que los inversores no pueden utilizar la variación de los precios pasados para predecir la variación en los precios futuros.

El modelo de martingala se cumple cuando todos los inversores tienen preferencias iguales, constantes en el tiempo y, además, son neutrales al riesgo. Esto significa que, al elegir entre dos activos, los inversores preferirán aquel con una tasa de rendimiento mayor, ignorando el riesgo asociado a cada uno de ellos.

Ahora bien, dado que el supuesto de que los inversores son neutrales al riesgo no se corresponde con la realidad, posteriormente se intentó ampliar el modelo de martingala con el supuesto de que los inversores son contrarios al riesgo. La incorporación de la “aversión al riesgo” en el marco de los mercados eficientes dio lugar al modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) [Sharpe, 1964].

El CAPM supone que las expectativas de los individuos respecto a la tasa de rendimiento de los activos son homogéneas. Los inversores prefieren aquel activo que proporciona una mayor tasa de rendimiento para un nivel de riesgo dado, siendo siempre contrarios al riesgo. Por lo tanto, el precio del activo es equivalente al rendimiento descontado esperado menos una corrección que refleja el riesgo y la aversión al riesgo. El CAPM sugiere por tanto que, cuanto mayor es el riesgo de invertir en un activo, tanto mayor debe ser el rendimiento de dicho activo para compensar este aumento en el riesgo. El exceso de rentabilidad de un activo puede expresarse en función de la rentabilidad de una cartera referente (la cartera de mercado, o los índices

bursátiles más representativos), ajustado por un índice de riesgo beta, que indica cuán relacionado está el riesgo del activo individual con el riesgo de mercado<sup>13</sup>.

En este modelo se basa la teoría moderna de la cartera, representada principalmente por la teoría de Markowitz [Markowitz, 1991].

Posteriormente, se generalizó este modelo (para incorporar más fuentes de riesgo, y no sólo el mercado), con la Teoría del arbitraje o, en inglés, *Arbitrage pricing theory* (APT) [Ross, 1976], según la cual el rendimiento esperado de un activo financiero puede ser modelado como una función lineal de varios factores macroeconómicos, donde la sensibilidad a cambios en cada factor es representada por un parámetro beta.

---

<sup>13</sup> La relación de equilibrio que describe el CAPM es:

$$E(r_j) = r_f + \beta_{jm}(E(r_m) - r_f)$$

donde:

$r_f$  = rendimiento libre de riesgo (por ejemplo, el que puede obtenerse invirtiendo en letras del tesoro)

$r_m$  = rendimiento del mercado (o de un índice de referencia)

$E(r_j)$  = tasa de rendimiento esperada de capital sobre el activo j.

$E(r_m) - r_f$  = exceso de rentabilidad de la cartera de mercado con respecto al rendimiento libre de riesgo = prima de riesgo.

$\beta_{jm} = \frac{Covarianza(r_j, r_m)}{Varianza(r_m)}$  = ratio que sirve para medir la sensibilidad de un activo

con respecto al resto del mercado (locuaz significa que  $\beta_{mercado} = 1$ ,  $\beta_{jm} = 0$  implicaría que el activo no está correlacionado con el mercado)

Tanto el CAPM, como la APT implican que es posible predecir el precio del activo mediante el rendimiento descontado esperado, lo cual contradice el modelo de martingala y juego justo.

### 3.5 Situación actual

Actualmente, hay una fuerte división entre los expertos en el tema respecto a la validez de la HME, ya que existen estudios empíricos tanto a favor como en contra. Fundamentalmente, los detractores de la HME, argumentan varias cosas:

1. La HME no es neutral, por así decir, sino que utiliza un particular modelo teórico del mercado. Así, requiere una serie de suposiciones, como las siguientes, que no se dan en la realidad [Grossman y Stiglitz, 1980]:
  - a. Existe competencia perfecta, es decir, cada participante es lo suficientemente pequeño como para que sus acciones no puedan afectar a los precios del mercado.
  - b. Toda la información existente está totalmente disponible para todos los participantes del mercado, y lo está sin ningún tipo de coste.

- c. No existen barreras al ingreso en el mercado que pudiera dejar a algún inversor potencial fuera del mismo.
  - d. Los activos financieros son infinitamente divisibles.
  - e. No hay costes de transacción.
  - f. No hay impuestos asimétricos.
  - g. No hay restricciones al comercio impuestas por el gobierno ni de ninguna otra clase.
  - h. Todos los inversores se comportan de manera racional.
  - i. Todos los inversores reaccionan de igual manera ante las mismas noticias.
  - j. Todos los inversores tienen el mismo horizonte de inversión (días, meses o años)
  - k. Todos los inversores tienen el mismo grado de aversión al riesgo.
2. Por otra parte, existen “anomalías” y comportamientos periódicos que van en contra del supuesto de un comportamiento aleatorio o de martingala en el mercado:
- a. Parece que pares de cambios sucesivos en los precios de distinto signo ocurren mucho más a menudo que cambios del mismo signo, según [Niderhoffer y Osborne, 1966]

- b. Las varianzas de las acciones no son constantes en el tiempo [Mandelbrot, 1963].
- c. Dependiendo del horizonte temporal elegido (días, semanas y meses) se pueden realizar algunas predicciones, especialmente a largo plazo, teniendo en cuenta tasas de interés, reparto de dividendos y otras variables macroeconómicas [Balvers et. al., 1990], [Breen et al., 1990], [Campbell, 1987], [Fama y French, 1989], [Ferson y Harvey, 1993], [Pesaran y Timmermann, 1995], [Granger, 1993] y [Pesaran y Timmermann, 2000].
- d. Hay también anomalías relacionadas con el calendario, como por ejemplo:
  - El “efecto enero”: [Rozeff y Kinney, 1976] fueron los primeros en documentar que hay rendimientos mayores, como media, durante el mes de enero que durante el resto de los meses. Estudios posteriores siguen confirmando este efecto [Bhardwaj y Brooks, 1992], [Eleswarapu y Reinganum, 1993], aunque también se ha señalado que podría ser debido a motivos fiscales.
  - Fin-principio de mes y días de fiesta: por una parte, diversos estudios [Lakonishok y Smidt, 1988], [Ariel, 1987], [Cadsby y Ratner, 1992], [Ziemba, 1991] muestran que en el último día del mes y los primeros

del siguiente los rendimientos son más altos.; por otra parte, [Lakonishok y Smidt, 1988], [Ariel, 1990] y [Cadsby y Ratner, 1992] muestran que, como media, los rendimientos son mayores el día antes de una fiesta.

e. Por último, existen evidencias en contra del supuesto de “comportamiento racional” de los individuos cuando compran o venden acciones [Miller, 1977]

3. Se argumenta también que la HME está mal formulada: para saber cómo el mercado tiene que reflejar completamente toda la información disponible, habría que determinar las preferencias de riesgo de los inversores. Eso significa que cualquier experimento dirigido a probar o refutar la HME debería probar al mismo tiempo tanto la eficiencia del mercado como las preferencias de riesgo de los inversores, lo cual plantea el bien conocido problema de la llamada “*joint hypothesis*”. Por ese motivo, se concluye que la HME no está bien definida en sí misma, tratándose sólo de una hipótesis o conjetura que no es empíricamente refutable [Lo y MacKinlay, 1999]

Como respuesta a todas estas alegaciones negativas, los partidarios de la hipótesis, especialmente [Malkiel, 2003], argumentan que todas las anomalías registradas en los trabajos citados anteriormente no refutan en

realidad la HME porque son pasajeras y en general tienden a ser corregidas. Adicionalmente, atribuyen estos resultados, que aparentemente prueban que el mercado es ineficiente, al hecho de no haber utilizado un buen modelo de riesgo o de dividendos o de cualquier otra variable que es preciso tener en cuenta en la prueba.

Malkiel argumenta que los patrones “predecibles” no son robustos para distintos periodos de tiempo, y que algunos de los patrones basados en valores fundamentales pueden reflejar simplemente mejores formas de medir el riesgo. Es más, según Malkiel, en el momento en el que estos patrones se conozcan, se utilizarán, y por tanto quedarán inutilizados en el futuro. También explica Malkiel, por ejemplo, que la caída norteamericana de octubre de 1987 no tiene porqué deberse a motivos irracionales, sino a una serie de factores racionales que provocaron el cambio de los inversores: 1) los beneficios de los bonos del estado norteamericano a largo plazo se incrementaron del 9% al 10.5% en los dos meses previos a la caída; 2) en las dos semanas previas a la caída, el Congreso de los EE.UU. amenazó con imponer un impuesto casi prohibitivo a las fusiones, lo que podría provocar que se acabaran; 3) a principios de octubre el Secretario del Tesoro norteamericano amenazó con respaldar una caída en el valor de cambio del dólar, incrementando así el riesgo para inversores extranjeros.

### 3.6 Capacidad predictiva

En cualquier caso, sea cierta o no la HME, hay un consenso general acerca de la idea de que sí existe un cierto margen de predicción en el mercado. Los seguidores de la HME (p.e. [Fama y French, 1995]) afirman que la posibilidad de predicción proviene de los rendimientos esperados del equilibrio variable en el tiempo, generados por un comportamiento racional en el mercado eficiente que compensa por el riesgo asumido. Es decir, que es debido a relaciones no lineales asociadas a la existencia de un tipo de riesgo dinámico que es inherente al mercado. Esta posibilidad no es incompatible, necesariamente, con la eficiencia de dicho mercado, como explican [Campbell et al., 1997] en su manual de Econometría Financiera.

Algunos críticos de la HME (por ejemplo, [La Porta et al., 1997]) argumentan que la posibilidad de predicción refleja factores psicológicos, movimientos sociales, ruido, y modas de inversores irracionales en un mercado especulativo.

Asimismo, los seguidores de la HME no tienen inconveniente en admitir que algunos inversores pueden actuar de manera irracional, ya sea sobre o sub-reaccionando ante las noticias que llegan, pero insisten en que se trata de reacciones de los inversores que son lo suficientemente aleatorias como para que no sea posible obtener un beneficio que supere al mercado a

partir del análisis de estas conductas. Es posible, por lo tanto, que el mercado se comporte irracionalmente durante un largo periodo de tiempo. Cracks, burbujas y depresiones son compatibles con la hipótesis siempre que esta conducta no sea predecible.

## Capítulo 4

# El mercado bursátil y las teorías de inversión

---

### 4.1 Introducción

El mercado bursátil (o Bolsa) es un caso particular de mercado, en el que donde, como ya se comentado, no se intercambian productos, sino “pedazos” (títulos) de empresas, que son puestos a disposición del público general con el objetivo, por parte de las empresas, de obtener una financiación a menor precio de la que supondría un endeudamiento directo con entidades de crédito. Los inversores que compran esos títulos esperan obtener una rentabilidad a partir de la revalorización de los títulos, además del reparto de

dividendos al que tienen derecho por formar parte del conjunto de “dueños” de la empresa.

Los mercados en los que se negociaban valores existen desde la antigüedad. En Atenas existía lo que se conocía como *emporion* y en Roma existía el *collegium mercatorum* en el que los comerciantes se reunían de modo periódico a una hora fija. Ya en la Edad Media, la Lonja se consolida como la institución que evolucionará hasta la Bolsa moderna. En las Lonjas, los comerciantes se reunían con continuidad para la compraventa y la subasta de mercancías.

Pero el origen de la Bolsa como institución data de finales del siglo XV en las ferias medievales de la Europa Occidental. En esa feria se inició la práctica de las transacciones de valores mobiliarios y títulos. El término "Bolsa" apareció en Brujas (Bélgica), en la familia de banqueros Van der Bursen, en cuyo palacio se organizó un mercado de títulos valores. En 1460 se creó la Bolsa de Amberes, que fue la primera institución bursátil en sentido moderno. Posteriormente, se creó la Bolsa de Londres en 1570, y en 1595 la de Lyon, Francia. En 1611 se edificó la Bolsa de Ámsterdam en la que empezaron a cotizar las primeras acciones. Aunque las mercancías seguían teniendo un papel fundamental, en esta Bolsa se inició un mercado de valores. En 1610 se cotizaron las primeras acciones que pertenecían a la Compañía Holandesa de las Indias Orientales y fueron objeto de gran especulación.

El sistema de subasta fue aplicado al principio a las mercancías, aunque progresivamente se extendió a los valores y se fue perfeccionando hasta surgir el sistema de subasta colectiva tradicional que funciona en casi todas las Bolsas. En España, durante el siglo XIX, y debido a las guerras, el Estado español emitió un gran volumen de fondos públicos para cubrir sus necesidades de tesorería. Esto aceleró el proceso de creación de las Bolsas españolas. En 1831 nació la Bolsa de Madrid, la de Bilbao en 1889, la de Barcelona en 1915, y la de Valencia en 1980. La de Nueva York fue creada en 1817, que es actualmente la principal del mundo, seguida de la de Tokyo (1949)

## 4.2 Teorías de inversión

Una de las características de la Bolsa con respecto a otros sistemas de inversión es que su rentabilidad es variable. Al contrario de lo que ocurre con la renta fija, que produce unos rendimientos conocidos durante todo el periodo de titularidad, en el caso de la Bolsa, los precios de los títulos que se poseen varían en el tiempo, por lo que se desconoce a priori cuál va a ser su rentabilidad, que puede ser incluso negativa. Dado que el objetivo de un inversor que se decide a comprar títulos de una empresa es obtener la mayor rentabilidad, con el menor riesgo posible, estará interesado en saber si existe

alguna regla o forma de poder predecir el comportamiento del precio de los títulos disponibles en el mercado para poder tomar las decisiones correctas de compra o venta.

De esta forma surge el análisis bursátil, que tiene como objetivo el estudio del comportamiento de los mercados financieros y de los valores que los constituyen. El análisis bursátil solo tiene sentido si existen patrones, o posibilidades de predicción en el mercado. Teniendo en cuenta la existencia de la HME, las opciones de que esto ocurra, y que por lo tanto el análisis bursátil sea útil, son:

1. El mercado es eficiente:
  - a. En su forma débil: no se pueden utilizar los precios pasados para encontrar patrones, pero sí información pública y privada.
  - b. En su forma semi-fuerte: no se puede utilizar información pública para intentar predecir el comportamiento, pero sí privilegiada.
  - c. En su forma fuerte: no se puede utilizar ningún tipo de información para analizar el mercado.
  
2. El mercado no es eficiente:
  - a. Se puede utilizar cualquier tipo de información para analizar el comportamiento del mercado.

3. No se sabe si el mercado es eficiente o no, pero existe cierta posibilidad de predicción:
  - a. Se puede utilizar cualquier tipo de información para analizar el comportamiento del mercado.

Tradicionalmente, los partidarios de la HME han visto inútil el análisis bursátil, y de hecho, hasta hace unos años, en el entorno académico, principal defensor de la hipótesis, no se ha visto con buenos ojos cualquier tipo de análisis, práctica habitual, en cambio, en el entorno profesional de la Bolsa. En cualquier caso, y dado que actualmente, el consenso general es que, dejando de lado la refutación o confirmación de la HME, existen posibilidades de predicción, el análisis bursátil ha cobrado fuerza.

Existen dos enfoques con respecto a este análisis. Por un lado se puede utilizar la información pasada de los precios de las acciones, llamándose “análisis técnico” al que hace uso de esta información. Y por otro, se puede utilizar toda la información, pública y privada, disponible sobre las empresas a las que pertenecen esas acciones, además de las variables macroeconómicas, y entonces se tendría el “análisis fundamental”.

Suponiendo la HME, el análisis técnico iría en contra de la hipótesis débil, y el análisis fundamental, de la semi-fuerte y la fuerte.

### 4.2.1 Análisis técnico

Utilizar la información pasada de los precios para intentar predecir el comportamiento futuro implica que los precios siguen unas reglas, o unas tendencias que se repiten en el tiempo. Esta suposición, no tiene ningún fundamento teórico, aunque cada vez más estudiosos intentan dárselo. [Brock et al., 1992], [Levich y Thomas, 1993] y [Lebaron, 1990] fueron de los primeros en hacerlo. Este tipo de análisis solo valora el comportamiento de los precios en el tiempo, pero no tiene en cuenta de qué activos concretos (empresas) se trata.

El análisis técnico comienza con Charles H. Dow, quien creó su base, y posteriormente, la refinó Ralph Nelson Elliott. Además de los pilares del análisis técnico, creó los primeros índices bursátiles, entre ellos el conocido Dow Jones, que son una media ponderada de varios valores, como una forma de tener indicadores de la salud económica del país. Lo que se sabe de los estudios de Dow sobre el comportamiento del mercado, se obtiene de las notas editoriales que escribió para el Wall Street Journal entre 1900 y 1902, que Nelson recopiló en un libro [Nelson, 1903]. Después, Hamilton categoriza los principios de Dow y los publica [Hamilton, 1922], y posteriormente, [Rhea, 1932] profundiza y desarrolla los estudios de Dow.

Los principios de la teoría son 6:

1. El mercado lo descuenta todo. Esto quiere decir que toda la información, sea del tipo que sea (macroeconómica, política, psicológica, etc.), que esté disponible hasta ese momento, ya está reflejada en el precio, el cual no hace más que seguir el comportamiento de la oferta y la demanda. El análisis técnico supone que si los precios suben es porque la cantidad demandada es mayor que la cantidad ofertada y viceversa, sin importarle las causas de esta conducta.
2. Los mercados se mueven por tendencias. Las tendencias pueden ser alcistas, cuando los máximos y mínimos son cada vez más altos o bajistas, cuando los máximos y mínimos son cada vez más bajos. Las tendencias laterales son aquellas en las que los máximos y los mínimos son estables. A su vez las tendencias pueden ser primarias, secundarias o terciarias, según su duración, siendo las primarias de largo plazo, y las secundarias, de semanas o meses. El nivel de resistencia es el límite superior al que tiende un movimiento alcista, y una vez alcanzado este límite se produce un cambio de tendencia a la baja. El nivel de soporte o apoyo es el límite inferior al que

tienden los precios en una fase bajista, y cuando se llega a ese límite se produce un cambio de tendencia al alza.

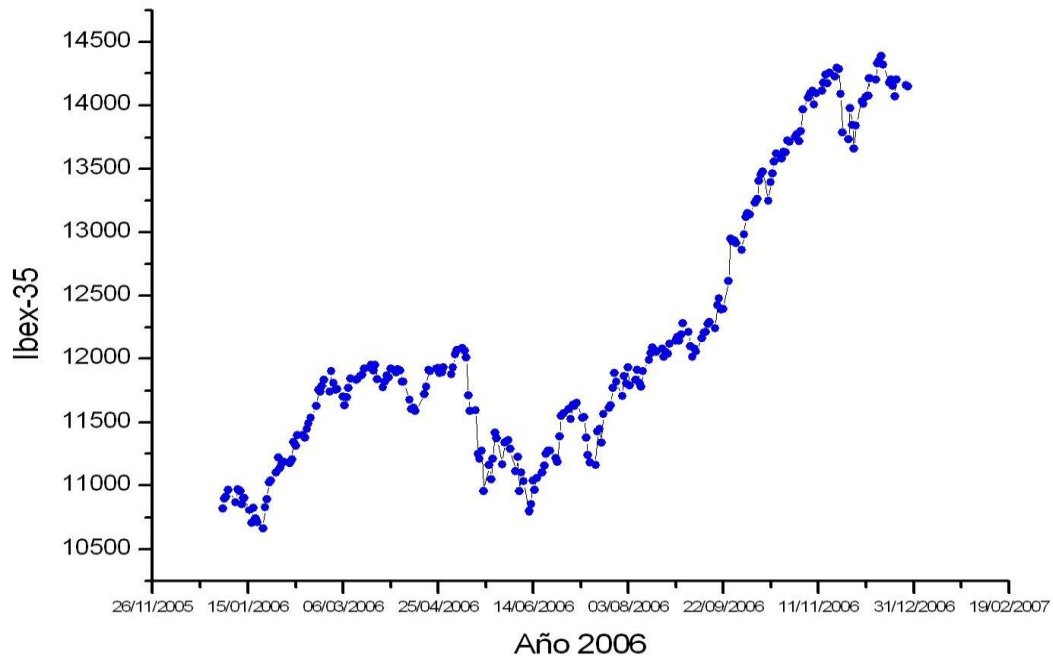
3. Principio de confirmación. Para confirmar una tendencia es necesario que los dos índices que Dow tomaba en consideración (Dow Jones Rail Average y Dow Jones Industrial Average) coincidan en la tendencia, es decir, los dos índices han de ser alcistas o bajistas a la vez.
4. Volumen concordante. Si el mercado es alcista el volumen se incrementará en las subidas y disminuirá en los descensos de los precios. Por el contrario si la tendencia es bajista, el volumen será más alto en las bajadas y se reducirá en las subidas. Es decir el volumen acompaña a la tendencia.
5. Solo se utilizan las cotizaciones de cierre. La Teoría de Dow, solo utiliza las cotizaciones de cierre, sin tener en cuenta los máximos o mínimos de la sesión.
6. La tendencia está vigente hasta su sustitución por otra tendencia opuesta. Hasta que los dos índices considerados por Dow no lo confirman, se considera que la tendencia antigua sigue en vigor, a pesar de los signos aparentes de cambio de

tendencia. Este principio intenta evitar cambios de posición prematuros.

El análisis técnico que se utiliza actualmente sigue utilizando estos principios. En este análisis, existen a su vez, dos enfoques. Por un lado, el llamado “chartismo” (de la palabra inglesa *chart*, que significa gráfico), que analiza la representación gráfica que forman las series de datos de los precios, de forma que el analista, subjetivamente, identifica formas conocidas y les asocia un determinado comportamiento. Y por otro, el que utiliza las llamadas reglas técnicas, que dan señales de compra o venta, objetivas, en función de ciertos indicadores estadísticos basados en esos datos de precios.

### **Chartismo**

Intenta deducir la tendencia futura de los precios a través de la forma del gráfico que representa la curva de las cotizaciones históricas. Generalmente, junto con este gráfico se utiliza también el del volumen de negociación (la cantidad de títulos que se han negociado, expresada generalmente en número de títulos o en dinero), como información complementaria. En el eje x se representa el tiempo, cuyas unidades pueden ser días, semanas, meses o años, y en el eje y, el precio (si es un gráfico diario, el de cierre, si es de un intervalo mayor, la media aritmética de los cierres diarios), como muestra la figura 3.



**Figura 3. Cierres diarios del Ibex-35 en el año 2006**

En vez de un solo valor en el eje y, pueden representarse varios a la vez, en una barra, donde se indiquen el precio de cierre, el máximo y el mínimo. Para representar estos valores, además de las barras, pueden usarse las llamadas velas japonesas, que aportan más información, como el precio de apertura.

Estas figuras, y su significado, no tienen base científica, y son fruto de la heurística. Tienen además, un componente subjetivo muy fuerte, ya que, por un lado, dependiendo de la escala temporal, mayor o menor, pueden

“aparecer” las figuras o no. Y por otro, visualizar las figuras depende del ojo que las mire, pudiendo un analista “verlas” y otro no.

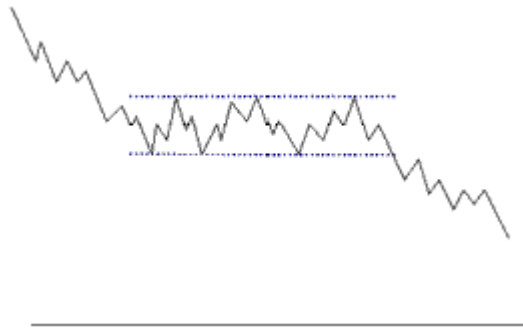
Las formaciones gráficas más utilizadas suelen ser de dos tipos, de consolidación de tendencia, y de cambio de tendencia. Las más comunes son:

- Triángulos: los bordes de las fluctuaciones forman una forma triangular. Cuando el triángulo se cierra cabe esperar una tendencia definida y persistente al alza o a la baja, según si el vértice del triángulo apunte hacia arriba o hacia abajo (figura 4).



**Figura 4. Figuras de triángulos**

- Banderas de forma rectangular: se interpretan como una señal alcista (figura 5).



**Figura 5. Figuras de bandera rectangular**

- Hombros-cabeza: es muy utilizada y se caracteriza por la existencia de un corto periodo de tres máximos en la cotización, con el centro de altura superior a los demás. Se interpreta como el final de una fase alcista y origen de una tendencia claramente bajista (figura 6). También se utiliza su “contrario”, el hombros-cabeza invertido, que indica lo contrario, es decir, el fin de una tendencia bajista e inicio de una alcista.



**Figura 6. Figura de Hombro-Cabeza-Hombro**

- Doble techo y doble suelo: los techos y los suelos son los máximos y los mínimos de cotizaciones de un valor en donde se manifiestan cambios de tendencia en las cotizaciones. El doble techo indica la repetición de dos precios máximos en la cresta de las cotizaciones lo que provoca normalmente una caída de las cotizaciones y el doble suelo es la figura contraria donde existen precios mínimos que provocarán un repunte al alza de las cotizaciones (figuras 7 y 8).



**Figura 7. Doble techo**



**Figura 8. Doble suelo**

## Reglas técnicas

Hacen uso de las Matemáticas y la Estadística, en un intento de eliminar la subjetividad del chartismo, pero las conclusiones que se pueden obtener (señales de compra o venta en función de que se cumplan o no unos determinados criterios) no tienen base científica, y son, como en el caso del chartismo, fruto de la heurística. Las funciones matemáticas más utilizadas son las llamadas: media móvil, momento e índice de fuerza relativa, aunque existen muchas más. En todos los casos se parte de que tenemos serie temporal de precios:  $\{P_t\}$  ( $t = 1, \dots, n$ ), para el instante  $t$ .

También se utiliza, como característica de una serie temporal de precios dada, la llamada volatilidad, que matemáticamente tiene varias definiciones, y que mide si se producen muchos (o pocos) cambios de valor en un periodo de tiempo dado (y la magnitud de esos cambios). Se usa para cuantificar el riesgo del valor a lo largo de dicho periodo temporal, de forma que cuanto mayor sea la volatilidad, mayor será el riesgo asociado. La volatilidad de un valor puede medirse con respecto a sí mismo, o con respecto al mercado.

### ***Media móvil***

La media móvil (*moving average* (MA)) se utiliza principalmente para identificar tendencias. Pero a diferencia de las figuras chartistas, no anticipa el cambio de tendencia, sino que identifica una tendencia una vez que se ha producido. La media móvil suaviza la serie de precios, eliminando de ella las fluctuaciones que se producen a corto plazo, para poder reconocer la tendencia subyacente.

Existen varios tipos: media móvil simple (*simple moving average* (SMA)), ponderada (*weighted moving average* (WMA)) y exponencial (*exponential moving average* (EMA)), y todas ellas tienen un parámetro longitud  $k$  (también se puede llamar ventana u horizonte), que indica los  $k$  días sobre los que se está calculando la media, anteriores al día  $t$  que se toma como referencia, de forma que para cada instante siguiente, por ejemplo, el  $t+n$ , la media va utilizando los  $k$  días anteriores al  $t+n$ , que se habrán “desplazado” en  $n$  con respecto a los del instante  $t$ , de ahí el adjetivo móvil. La más utilizada es la media móvil simple<sup>14</sup>.

Las críticas a la SMA son, que por un lado, se da el mismo peso a todos los días, cuando no tienen porqué tenerlo, y por otro, que el valor de la

---

<sup>14</sup> La media móvil simple se define de la siguiente manera: la SMA es la media aritmética de los  $k$  días anteriores al día  $t$  considerado:  $M_t(k) = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} P_{t-i}$  ( $t = k, k+1, \dots, k+n$ )

longitud es arbitrario. Para solucionar la primera crítica, se creó la WMA, de forma que se da distinto peso a los días, para que influyan más los últimos que los primeros. Y también se creó la EMA, que además de dar distinto peso a los días, tiene en cuenta todo el historial de precios, y no solo el de la ventana.

### *Reglas técnicas asociadas a la MA*

En general, se usan las siguientes reglas que toman como base los valores de una o varias medias móviles:

1. Corte de la media móvil con la serie de precios:
  - a. Si la serie de precios va por encima de la media y la corta hacia abajo es indicio del comienzo de una tendencia bajista, lo que producirá una señal de venta (figura 9).



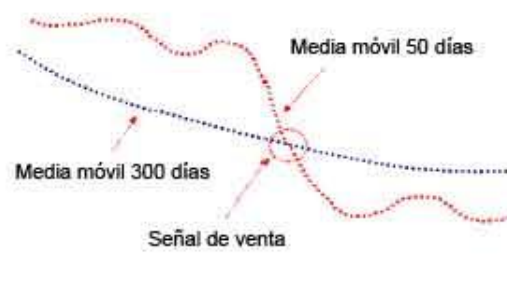
**Figura 9. Corte de la media móvil con la serie de precios por encima**

- b. Si la cotización va por debajo de la media y la corta hacia arriba es indicio del comienzo de una tendencia alcista, y generará una señal de compra (figura 10).



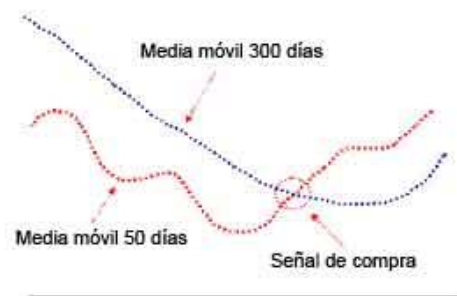
**Figura 10. Corte de la media móvil con la serie de precios por debajo**

2. Corte de varias medias móviles (de distinta longitud, una a corto plazo, y la otra a largo):
- a. Si la de corto plazo cruza hacia abajo a la de mayor plazo, es indicio del inicio de una tendencia bajista, y generará una señal de venta (figura 11).



**Figura 11. Corte de dos medias móviles por encima**

- b. Si la de corto plazo cruza hacia arriba a la de mayor plazo, es indicio del inicio de una tendencia alcista, y generará una señal de compra (figura 12).

**Figura 12. Corte de dos medias móviles por debajo**

En el uso de estas reglas, se detectó que se pueden generar señales engañosas, por lo que se suele añadir un filtro para eliminar dichas señales. Las reglas de filtro indican que se tiene que superar (o caer) en un  $x\%$  para tomar la decisión de compra o venta, y no simplemente que se produzca un corte.

### ***Momento***

El momento mide la variación existente entre el precio actual y el precio de hace n periodos, es decir, mide la velocidad del movimiento de los precios. El orden de un momento depende de los periodos que se estén considerando<sup>15</sup>.

#### *Reglas técnicas asociadas al momento*

1. Si el valor del momento va creciendo, es signo de tendencia alcista, tanto más sólida cuanto mayor sea la pendiente de esta subida, generando una señal de compra.
2. Si va disminuyendo, es señal de tendencia bajista, tanto más fuerte cuanto mayor sea la pendiente de caída, y genera una señal de venta.

### ***Índice de fuerza relativa***

En inglés, *Relative Strength Index* (RSI), también mide la velocidad de cambio de los precios, pero intenta resolver dos de los problemas que presenta el momento: 1) una subida o bajada brusca en uno de los n días tomados para el cálculo del momento provoca movimientos demasiado violentos en la línea del momento, aunque los precios actuales no muestren excesivos cambios; 2)

---

<sup>15</sup> Así, el momento de orden n será aquel que:  $M_t(n) = P_t - P_{t-n}$ , es decir, el precio del día t, menos el precio de hace n periodos con respecto al día t.

la línea del momento no muestra unos niveles máximos y mínimos, en los cuales se pueda considerar que el valor esté sobrecomprado o sobrevendido<sup>16</sup>.

#### *Reglas técnicas asociadas al RSI*

1. Si el valor de RSI supera 70, la acción está sobrevalorada, y produce una señal de venta.
2. Si su valor es inferior a 30, la acción está infravalorada, generando una señal de venta.

### **4.2.2 Análisis fundamental**

El análisis fundamental es el estudio de toda la información disponible en el mercado sobre una determinada compañía, con la finalidad de obtener su verdadero valor, y así formular una recomendación de inversión. La hipótesis de la que se parte es que si el precio de una acción no refleja el verdadero valor, el valor intrínseco, tenderá a hacerlo, por lo que si el valor

---

<sup>16</sup> Su expresión matemática es:

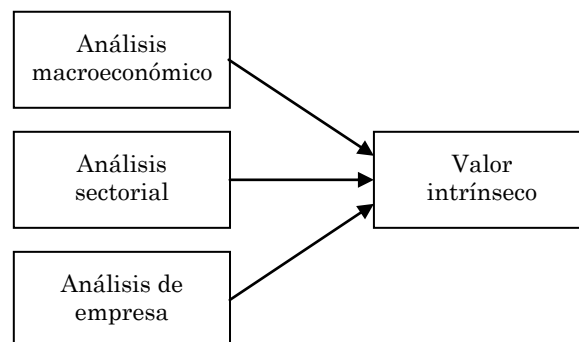
$$RSI_t(n) = 100 - \frac{100}{1 + RS}$$

donde  $RS = \frac{AU}{AD}$ , con AU (*average upward*) como la media exponencial de las alzas en un periodo de los n días anteriores al día t, y AD (*average downward*), la media exponencial de las bajas en un periodo de los n días anteriores al día t. Normalmente se utilizan datos de 15 días (n = 15). Puede tomar valores entre 0 y 100.

que tiene en el mercado es menor que el intrínseco, la recomendación será comprar, y si es mayor, vender.

### Áreas de estudio

Todos los cálculos necesarios para deducir el valor teórico o intrínseco de cada acción se determinan a través de un análisis y previsión de la economía en general, del sector industrial al que pertenece la empresa, y de la propia empresa (figura 13)



**Figura 13. Áreas de estudio del análisis fundamental**

Los tres análisis implicados, macroeconómico, sectorial y de la empresa, puede realizarse mediante dos aproximaciones: o bien de lo general a lo particular (macroeconomía  $\Rightarrow$  sector  $\Rightarrow$  empresa), que se llama análisis

*top-down*, o bien de lo particular a lo general, (empresa  $\Rightarrow$  sector  $\Rightarrow$  macroeconomía), cuyo nombre es análisis *bottom-up*.

### ***Análisis macroeconómico***

Es crucial para determinar las líneas básicas de las decisiones de inversión. Normalmente se realiza un análisis de este tipo por país. Las variables que habitualmente se consideran son:

- Tipos de interés (frecuentemente, para el descuento de flujos de caja, se utilizan, como referencia, los tipos de la deuda del estado de cada país)
- La demanda y su composición.
- Comercio exterior: importaciones y exportaciones.
- Balanza de pagos, tipo de cambio y reservas de divisas.
- Déficit público y su financiación.
- Agregados monetarios.
- Costes salariales.
- Producto interior bruto (PIB) y su distribución sectorial.
- Índice de precios al consumo (IPC)

Siempre se analizan estas variables en el marco de la política económica de cada gobierno particular, para poder prever su comportamiento futuro.

### ***Análisis sectorial***

Supone el análisis del sector industrial al que pertenece la empresa objeto de estudio, y supone el examen de los siguientes aspectos:

- Ciclos de vida del sector.
- Regulación y aspectos legales.
- Sensibilidad a la evolución de la economía.
- Estructura de la oferta y exposición a la competencia extranjera.
- Tendencias a corto y medio plazo.
- Exposición a oscilaciones de precios.

### ***Análisis de la empresa***

Consiste en el estudio de los siguientes aspectos:

#### ***Interpretación de balances***

Como alternativa al método ideal de proyección de flujos futuros. Sirve para determinar el potencial de crecimiento de la compañía; el nivel de riesgo relativo al negocio, al apalancamiento financiero y a la capacidad de captación de financiación externa; y, determinar la flexibilidad financiera, es decir, la habilidad de obtener caja para hacer frente a los pagos a corto plazo (recursos propios de la empresa, activos líquidos y recursos ajenos a la empresa como líneas de crédito o préstamos bancarios)

Para estudiar los balances, se hace uso del análisis de porcentajes y de ratios:

#### *Análisis porcentual*

Sirve para comparar dos empresas de distinto tamaño, o para ver las tendencias que estos porcentajes tienen a lo largo del tiempo. Consiste en estudiar las magnitudes del balance como porcentajes del activo total. También se estudian las partidas a cuenta de pérdidas y ganancias como porcentaje de las ventas totales.

#### *Análisis por ratios*

Sirve poder realizar una previsión de la tendencia de la compañía, y una valoración relativa con respecto a sus competidores. Los cuatro ratios más utilizados son:

- Ratios de liquidez.

- Ratios de apalancamiento.
- Ratios de actividad.
- Ratios de rentabilidad.

### **Precio teórico de una acción**

Para calcular el valor de una acción, se ha seguido, con mayor intensidad desde el crack de 1929 en Estados Unidos, el modelo de los flujos de caja descontados, que formalizaron [Fisher, 1930] y [Williams, 1938]. Según este modelo, el precio de una acción es el valor actual de los beneficios totales que se espera obtener de ella. De esta forma, se puede definir el precio teórico de una acción como la suma de los valores actuales de sus dividendos futuros.

El valor actual (*present value*) de un pago futuro es lo que vale ahora esa cantidad que se pagará en el futuro, de forma que para calcular ese valor ahora, habrá que descontar una determinada tasa de interés, llamada tasa de descuento (*discount rate*) o coste de oportunidad, que es la que supuestamente hará aumentar o disminuir esa cantidad de hoy hacia el futuro. De esta forma se pueden comparar de manera unívoca distintos flujos de caja (*cash flows*: flujos de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período de tiempo dado

que se produce en una empresa), de tamaño desigual y que aparecen en distintos momentos de tiempo<sup>17</sup>.

Si volvemos al planteamiento de que el valor de una acción es la suma de los valores actuales de los dividendos futuros, tendremos que el precio de una acción es:

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{(1+k)^i},$$

donde  $D_i$  es el dividendo obtenido en el sub-periodo  $i$ , y  $k$  la tasa de descuento.

Esta tasa de descuento o coste de oportunidad de invertir en renta variable frente a la renta fija, incluirá la tasa de interés libre de riesgo (tasa

---

<sup>17</sup> La fórmula que se aplica para calcular el valor presente de un flujo de caja (o de cualquier cantidad de dinero que se cobrará en el futuro) para el periodo de tiempo que va del momento actual al futuro cuando se cobrará la cantidad total es (se supone reinversión de lo ganado en cada sub-periodo):

$$\text{Valor actual} = \frac{C_1}{1+r_1} + \frac{C_2}{(1+r_2)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+r_n)^n}$$

Donde  $C_i$  es la cantidad de dinero a cobrar al finalizar el sub-periodo  $i$  del periodo total (compuesto de  $n$  sub-periodos), y  $r_i$ , la tasa de descuento para el sub-periodo  $i$ . Si suponemos tasa de descuento igual para todos los sub-periodos:

$$\text{Valor actual} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

de interés en renta fija), más una prima que refleje el riesgo de los ingresos futuros, la prima de riesgo).<sup>18</sup>

Si suponemos que los dividendos crecen a una tasa constante  $g$  a partir de un valor  $D$  (dividendos en el primer periodo), la expresión anterior se transforma en la llamada fórmula del modelo de crecimiento de Gordon [Gordon, 1959]:

$$P = \frac{D}{k - g}$$

### **Precio relativo de una acción**

En vez de tener una valoración absoluta de una compañía, también puede ser interesante, a la hora de tomar una decisión de inversión, una valoración respecto al mercado, para saber si esa acción está cara o barata en términos del mercado, aunque ha de hacerse con cuidado para no comparar entre sí compañías demasiado dispares. Esta valoración suele hacerse mediante ratios bursátiles. Uno de los más utilizados es el llamado Price Earning Ratio (PER), que ya se mencionó en el capítulo anterior, y que mide

---

<sup>18</sup> Es por tanto, el rendimiento requerido que se mencionó en el capítulo 3 y, que desde el punto de vista del análisis fundamental se corresponde con el coste de los recursos propios de la empresa o tasa de capitalización. Si se utiliza el modelo CAPM,  $k = E(r_j) = r_f + \beta_{jm}(E(r_m) - r_f)$ .

la relación entre el valor de mercado de una empresa (su capitalización bursátil) y el beneficio total de la misma. En términos de acción, es la relación entre el valor de mercado de una acción y el beneficio por acción<sup>19</sup>.

El PER indica el número de años necesarios para recuperar, a través de beneficios, una inversión hecha en una empresa, con el valor por acción actual y dados unos beneficios realizados. Por ejemplo, un PER de 15 veces indica que harán falta 15 años para recuperar la inversión si se reparten todos los beneficios como dividendos.

Conocido el PER histórico de una empresa se puede calcular aproximadamente el valor intrínseco de la misma de acuerdo con los beneficios futuros esperados<sup>20</sup>.

Si la capitalización en un momento dado fuera superior al valor intrínseco obtenido, significaría que la empresa está sobrevalorada, y que su capitalización, y por tanto, el precio de sus acciones, se reducirá hasta alcanzar su valor intrínseco. Análogamente ocurriría si estuviera infravalorada.

---

$$^{19} PER = \frac{\text{Capitalización bursátil}}{\text{Beneficio neto}} = \frac{\text{Valor bursátil de la acción}}{\text{Beneficio neto por acción}}$$

$$^{20} \text{Valor intrínseco} = \text{PER} * \text{Beneficio esperado}$$

Cuanto más bajo es el PER de una compañía, significa que es más barata, y por lo tanto, más apetecible de comprar, como ya se explicó en la figura 2.

## Capítulo 5

# La modelización del problema de predicción de los valores bursátiles

---

### 5.1 Introducción

Se ha visto que existen dos aproximaciones a la hora de intentar predecir el comportamiento de los valores en el mercado bursátil, la técnica y la fundamental. Desde un punto de vista computacional, que es la perspectiva abordada en esta Tesis Doctoral, se ha estudiado el Análisis Técnico, y en concreto, el basado en reglas técnicas. Esto es así por dos motivos:

1) las series de precios pasados pueden ser consideradas como series temporales, muy habituales en otros campos de las Ciencias, además de en Economía, y que por tanto, han sido estudiadas de manera extensa;

2) las reglas técnicas son fácilmente programables, ya que se pueden matematizar como reglas lógicas (booleanas) que emiten una señal de compra o de venta dependiendo de que se cumplan unas condiciones ( $C_1$ ,  $C_2$ ):

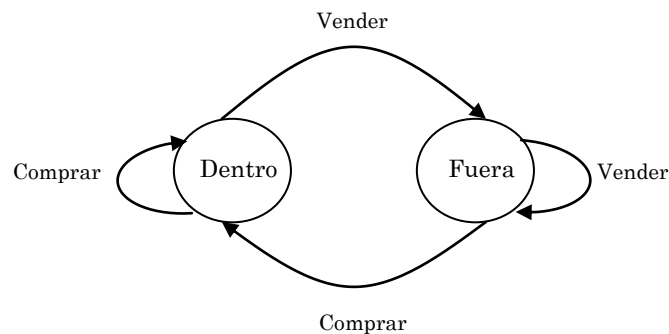
$$Señal = \begin{cases} Vender & , Si C_1 \\ Comprar & , Si C_2 \end{cases}$$

Hay pues, dos formas de acercarnos al problema. Por un lado, se puede partir de la serie temporal de precios, que son los datos que produce el mercado (a partir de esta, pueden derivarse y utilizarse otras magnitudes, como el rendimiento obtenido debido al cambio de precio), o bien podemos utilizar el análisis de las reglas técnicas.

Si utilizamos la serie temporal de precios, el objetivo de predicción puede traducirse, en el lenguaje matemático, como en el de encontrar, a partir de esos datos experimentales de los que disponemos, la función matemática que mejor se ajusta a esos datos. La suposición es que al tener la función matemática de los precios pasados ( $t < t_{actual}$ ), podremos obtener, aplicando

dicha función, los precios futuros ( $t > t_{\text{actual}}$ ). Con esta aproximación, obtendremos, para cada instante  $t$  el valor del precio en ese momento.

Si, en cambio, hacemos uso de las reglas técnicas, podremos modelizar el problema como una máquina de estados finitos como el mostrado en la figura 14, cuyo funcionamiento es el siguiente: cuando se está fuera del mercado, si la señal es de compra, se entra en el mercado, y si la señal es de venta, se permanece fuera. Cuando se está en el mercado, si la señal es de compra, se permanece en el mercado, y si la señal es de venta, se sale del mercado.



**Figura 14. Máquina de estados finitos para reglas técnicas**

Y en este caso, el problema de predicción puede traducirse en encontrar, no el precio en cada instante como en el caso anterior, sino momentos  $t$  en los que se tiene que tomar una decisión de compra o de venta

en función, normalmente del rendimiento, que como ya se ha dicho, es una magnitud derivada del precio.

## 5.2 Algoritmos de predicción

### 5.2.1 Series temporales

Si se aborda el problema desde el punto de vista de una serie temporal se intenta encontrar la función que “explica” el precio actual como una combinación de los precios pasados (*lagged values*). Esta combinación puede ser lineal o no lineal.

En Econometría, cuando se quiere encontrar una combinación lineal para una serie temporal, se utilizan algoritmos de regresión (una variable dependiente es función de una o varias variables independientes), y concretamente, de autoregresión (se dice auto porque utiliza como variables independientes, valores pasados de la propia variable dependiente. Estos métodos pueden ser univariados (una sola variable independiente) o multivariados (varias variables independientes) [Maddala, 2001] y [Greene, 2003]<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Se dice que el algoritmo de autoregresión (*autoregressive*, AR) es de orden  $q$ : AR( $q$ ), cuando usa  $q$  valores pasados, es decir, dada la serie temporal de precios  $S = \{P_t\} = (P_t, P_{t-1}, \dots, P_{t-2}, P_{t-q})$ , ( $t = 1, \dots, n$ ), definiríamos su modelo autoregresivo de orden  $q$ , como la función

La combinación de un modelo autoregresivo de orden  $q$  con uno de media móvil, de orden  $k$  (que utiliza este concepto, ya definido en el capítulo anterior), dio lugar a los modelos ARMA( $q,k$ ), también llamados modelos de Box-Jenkins [Box y Jenkins, 1970], como una mejora de cualquiera de estos dos por separado [Novales, 1993]. Esto es análogo a considerar la serie como compuesta de dos partes: una, auto-determinística, la que depende de sus valores pasados (AR), y la otra, un componente de perturbación (los residuos o errores del AR) que se modela con una MA.

Los modelos ARMA pueden ser generalizados de distintas maneras, produciendo los modelos ARCH (*autoregressive conditional heteroskedasticity model*, modelo de heteroscedasticidad condicional autorregresiva), que incorporan la varianza del término de error actual como una función de las varianzas de los errores en periodos de tiempo previos [Engle, 1982], y los modelos ARIMA (*autoregressive integrated moving average model*, modelo autoregresivo de media móvil integrada), en los que, a un modelo ARMA se incorpora un operador  $I(d)$  (integrado de orden  $d$ ), que convierte la serie

---

$$y(P_t) = \sum_{i=1}^q a_i P_{t-i} + e_t,$$

donde  $e_t$  es un término de error.

temporal modelada mediante el ARMA, no estacionaria, en estacionaria mediante  $d$  diferencias de la propia serie<sup>22</sup>.

Los modelos no lineales en la Econometría tradicional, suelen convertirse en lineales mediante un desarrollo en serie de Taylor [Novales, 1993], pero también existen trabajos que utilizan una aproximación no lineal, basados en la teoría del caos [Devaney, 1984].

Una vez encontrada la función lineal que modeliza la serie temporal en cuestión, hay que proceder a encontrar los valores que produzcan un mejor ajuste con la serie, de los parámetros o coeficientes que acompañan a las variables independientes (los valores de los  $a_i$  en  $y(P_t) = \sum_{i=1}^n a_i P_{t-i} + e_t$ ). Para encontrar estos valores se puede utilizar el estimador de máxima verosimilitud, pero el más extendido es el de mínimos cuadrados, que se lleva a cabo mediante algoritmos de optimización, que veremos más adelante. De manera sencilla, el estimador de mínimos cuadrados consiste en encontrar el mínimo de la suma de los cuadrados de la diferencia entre la función de la que se quieren encontrar los parámetros, y el valor conocido.

---

<sup>22</sup> El caso particular de ARIMA(0,1,0) (donde ARIMA(q,d,k), implica que q y k son los parámetros de la AR y la MA descritos anteriormente, y d el parámetro del operador integrado), es análogo a:  $P_t = P_{t-1} + \varepsilon_t$ , es decir, un paseo aleatorio.

En el caso de las series temporales de precios, consistiría en, suponiendo la serie de tiempo  $S = \{P_t\} = (P_t, P_{t-1}, \dots, P_{t-2}, P_{t-q})$ , ( $t = 1, \dots, n$ ), y que la función  $y(P_t) = \sum_{i=1}^n a_i P_{t-i}$  fuera la que se ajusta a la serie temporal, la función de la que hay que encontrar el mínimo sería:

$$z(t) = \sum_{i=1}^n (P_i - y(P_t))^2,$$

es decir, encontrar aquellos valores de los parámetros que hacen mínima la distancia entre los valores reales y la función que la ajusta (al cuadrado para evitar una suma negativa).

La figura 15 muestra un ejemplo de dos funciones que ajustan unos datos experimentales dados (por ejemplo, los precios de cierre diarios de un valor dados por el mercado). Ambas funciones son iguales en forma ( $y = ax + bx^2$ ), pero difieren en los valores de los parámetros. Puede observarse que la línea roja ( $y = 1,5x + 1,5x^2$ ) se ajusta peor que la verde ( $y = 2x + x^2$ )

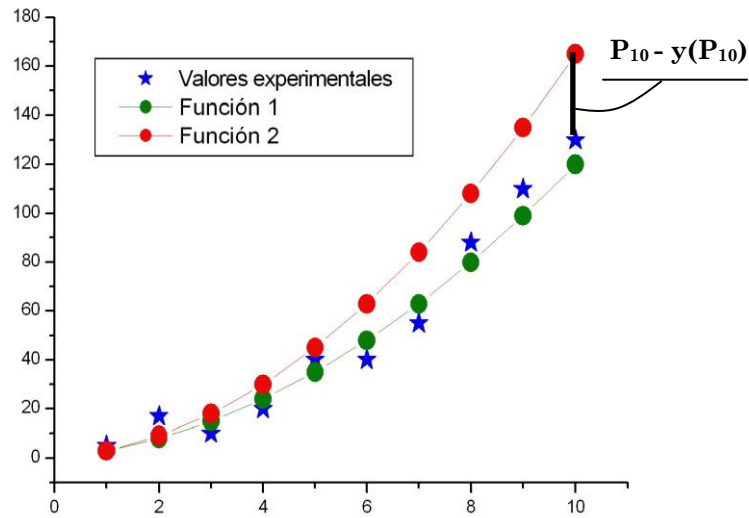


Figura 15. Ajuste de datos

### 5.2.2 Análisis de reglas técnicas

Cuando el enfoque de la predicción de valores bursátiles se hace desde el análisis de reglas técnicas, esta predicción se convertirá, como se ha mencionado con anterioridad, en encontrar, no el precio en cada instante, sino momentos  $t$  en los que se tiene que tomar una decisión de compra o de venta.

La forma en que se obtienen esos momentos de compra o de venta, consiste, normalmente, en los siguientes pasos, dada una serie de datos para un periodo de tiempo:

1. Dividir el periodo en al menos 2 subperiodos: uno de entrenamiento, y otro de prueba.
2. En el periodo de entrenamiento, se evalúan determinadas reglas técnicas, y se observa cuáles funcionan mejor.
3. En el periodo de prueba, se comprueba si las reglas obtenidas en el periodo anterior, efectivamente funcionan también en este nuevo periodo.

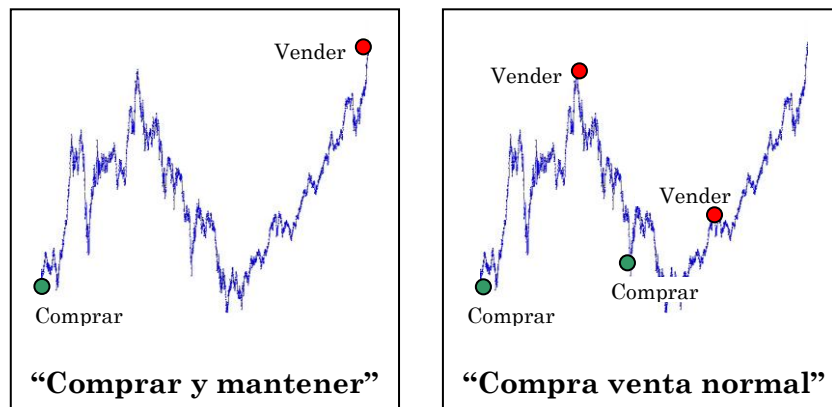
En los casos, como este, en el que se utilizan parte de los datos como entrenamiento, hay que tener cuidado en no producir un sobreentrenamiento (*overtraining*, a veces también *overfitting*), que consiste en que las reglas se ajustan tan bien a los datos del periodo de entrenamiento, que en vez de ser genéricas, solo son válidas para ese periodo.

En este procedimiento, la evaluación de las reglas técnicas ha de tener en cuenta dos cosas. Por un lado, los datos que se utilizan, y por otro, en qué consiste esa evaluación. Los datos utilizados pueden ser la serie de precios, como en el caso de las series temporales, pero con mayor frecuencia, datos derivados de estos. Los datos derivados, o calculados, más comunes son:

- Rendimiento:  $r_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$ . Es la tasa de lo que ha variado el precio de hoy (t) con respecto al de ayer (t-1)
- Logaritmo del rendimiento:  $r_t = \log\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$ . Esta magnitud es igual a la anterior para cambios pequeños ( $\log\left(\frac{x}{y}\right) \approx \frac{x}{y} - 1 = \frac{x - y}{y}$ )
- Volatilidad: este concepto ya ha sido definido con anterioridad, y mide en general el riesgo de un valor. Aunque existen varias definiciones matemáticas, uno de las más utilizadas es:  $v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n \left(\ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) - m\right)^2}$ , con
 
$$m = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

Para la evaluación de las reglas normalmente se toma como referencia la ganancia de la regla técnica con respecto a la ganancia de la estrategia “comprar y mantener” (*buy and hold, B&H*). Es decir, comparar el rendimiento obtenido con la regla técnica, con el rendimiento obtenido por una regla que consiste en comprar el primer día del periodo considerado, y vender el último día del periodo. La diferencia entre utilizar una regla técnica que emite señales de venta y de compra, es que durante el periodo considerado, unos días se estará en el mercado, ganando (o perdiendo) el

rendimiento del valor, y otros días se estará fuera del mercado, ganando el rendimiento obtenido de poner el dinero en la renta fija (en el supuesto de que mientras se está fuera del mercado, el dinero del que se dispone se invierte en renta sin riesgo, renta fija); mientras que si se usa la estrategia “B&H”, todos los días se está en el mercado, y por lo tanto siempre se gana (o se pierde) el rendimiento del valor (figura 16).



**Figura 16. Estrategia “Comprar y mantener” y estrategia de compra y venta normal**

Para ser completamente realistas, además del rendimiento, deberán tenerse en cuenta tanto el riesgo asociado a cada valor en cada momento  $t$ , como los costes de transacción asociados a cada compra y a cada venta (en el mercado bursátil, cada vez que se realiza una operación, ya sea de compra o de venta, el inversor debe asumir un coste por la operación que se conoce como coste de transacción)

Ya que el objetivo es encontrar la máxima ganancia de las reglas en comparación con la estrategia “B&H”, los algoritmos utilizados son los llamados de optimización o de búsqueda.

## 5.2 Algoritmos de optimización

Para poder llegar a una solución en la tarea de predicción bursátil, necesitamos algoritmos que permitan encontrar los extremos de una función (ya sea el mínimo del estimador de mínimos cuadrados, ya sea el máximo de la ganancia). Los algoritmos que realizan esta labor se llaman algoritmos de optimización o de búsqueda. A continuación se da una breve explicación del concepto de extremos de una función, y se realiza una exposición de los algoritmos de optimización más utilizados, que se han dividido en tradicionales y no tradicionales, siguiendo su evolución cronológica.

Los extremos (máximos ó mínimos) de una función pueden ser locales o globales. Se dice que un extremo es “global” cuando de manera absoluta es el mayor (máximo), o el menor (mínimo), de entre todos los posibles, y se le llama “local” si lo es de manera relativa, es decir, en una zona determinada de la función. La figura 17 muestra una representación de la función

$z = e^{-(x^2+y^2)}$ , que sólo tiene un máximo, y de la función  $z = (x + 3y^3)e^{-(x^2+y^2)}$  que tiene varios mínimos y máximos.

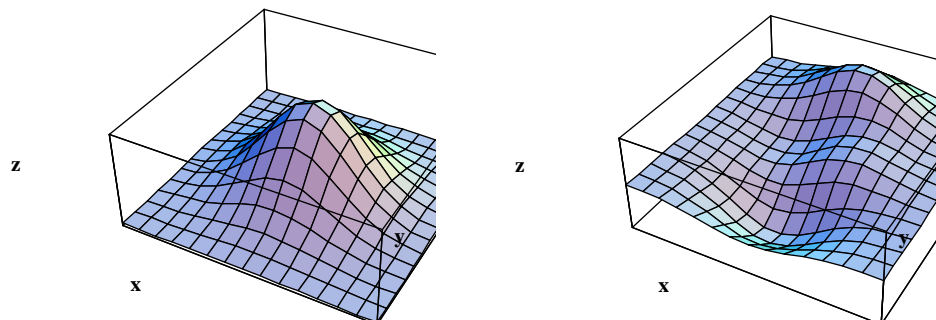


Figura 17. Funciones  $z = e^{-(x^2+y^2)}$  y  $z = (x + 3y^3)e^{-(x^2+y^2)}$

### 5.2.1 Tradicionales

Para llevar a cabo la optimización, se han venido utilizando una serie de algoritmos, llamados tradicionales o clásicos, que pueden dividirse, dependiendo del paradigma que utilicen, en “deterministas”, “enumerativos” y “no deterministas”.

## Deterministas

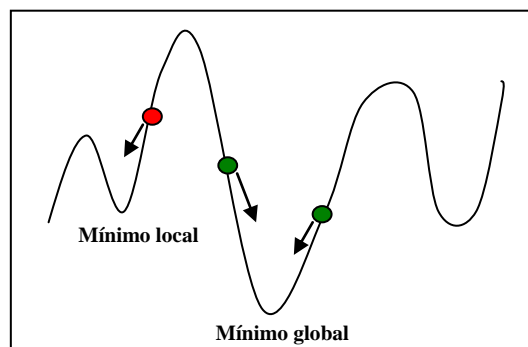
Los algoritmos numéricos o deterministas, utilizan un conjunto de condiciones, necesarias y suficientes, que han de cumplir las soluciones. Y solo pueden aplicarse si la función objetivo cumple unas determinadas restricciones. Para verlo mejor, necesitamos una serie de definiciones: dada la función  $f(x)$ , donde  $x^T = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ , definimos el gradiente y el hessiano (figura 18) respectivamente.

$$\nabla f(x) = g(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{bmatrix}, \quad \nabla^2 f(x) = H(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}$$

**Figura 18. Gradiente y hessiano de una función**

Los algoritmos numéricos más utilizados son los directos, que requieren que la función sea cuadrática, que el gradiente sea continuo y que la matriz del hessiano sea simétrica y definida positiva, en cuyo caso, la función puede expresarse como:  $f(x) = \alpha + g^T x + \frac{1}{2} x^T H x$ .

De este tipo, los algoritmos que se quedan en una aproximación de primer orden:  $f(x) = \alpha + g^T x$ , se dice que son de tipo gradiente, buscan extremos moviéndose por el espacio de soluciones guiados por el gradiente para moverse al siguiente punto. A este tipo pertenecen el algoritmo de máximo descenso/ascenso [Fliege y Fux, 2000], que toma la dirección de máximo descenso o ascenso (mínimo o máximo) del gradiente en cada búsqueda del extremo. Y también el algoritmo del gradiente conjugado [Broyden, 1996], que es una variación del anterior que tiene en cuenta la historia de las direcciones de los gradientes en su búsqueda. La figura 19 muestra tres posibles movimientos dependiendo desde donde se comience la búsqueda. La que comienza en el punto rojo nos lleva a un mínimo local, mientras que cualquiera de los verdes lleva al mínimo global. El conjunto de puntos que convergen a un extremo dado, ya sea éste local o global, recibe el nombre de cuenca de atracción de dicho extremo.



**Figura 19. Movimientos de búsqueda siguiendo la dirección del gradiente**

Los algoritmos más conocidos que utilizan también el segundo grado, es decir, el hessiano, y por tanto las segundas derivadas, son el método de Newton, y el de Levenberg-Marquardt [Levenberg, 1944] y [Marquardt, 1963], que es una variación del de Newton. Se llaman métodos de “Quasi-Newton” a aquellos que utilizan el primer orden, pero construyen un hessiano aproximado a partir de los valores de los gradientes de las iteraciones anteriores. De este tipo son el método de Davidon–Fletcher–Powell (DFP) [Fletcher y Powell, 1963], y el método de Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) [Broyden, 1970].

Las desventajas de este tipo de algoritmos son principalmente dos. Por un lado, las funciones sobre las cuales pueden aplicarse son muy restringidas, y por otro, caen en extremos locales con facilidad. Además, computacionalmente, el cálculo de derivada está mal condicionado.

## **Enumerativos**

Los métodos enumerativos [Mannino y Sassano, 2003] (también llamados “de grid” [Elster y Neumaier, 1995] porque proponen una “rejilla” con las posibles soluciones) van proponiendo soluciones sin ningún criterio

adicional, como el de “fuerza bruta”. Sin embargo, son computacionalmente costosos, sobre todo cuando el espacio de soluciones es muy grande.

### **No deterministas**

Este tipo de algoritmos también se llaman aleatorios, probabilísticos o heurísticos. Cronológicamente aparecieron después que los deterministas, por lo que, aunque tradicionales, son más modernos.

Proponen una solución aleatoria dentro del espacio de soluciones, que es evaluada de forma que, si no es la que se busca (extremo de la función objetivo), eligen otra solución posible. La forma de elegir la siguiente solución es lo que diferencia a los diferentes algoritmos de este tipo. Los algoritmos que utilizan algún tipo de criterio para restringir la zona del espacio de soluciones donde se busca ésta, se llaman de “búsqueda guiada”, y son principalmente la búsqueda tabú y el calentamiento simulado.

La búsqueda tabú [Glover y Laguna, 1997] clasifica algunos movimientos en el espacio de búsqueda y los introduce dentro de una lista tabú, de forma que los movimientos que se encuentran dentro de esta lista no estarán permitidos. El calentamiento simulado [Kirkpatrick et al., 1983], por su parte, controla las soluciones aceptando movimientos que empeoran de

acuerdo a una probabilidad comparada con el valor de un número generado aleatoriamente. Esto implica que todos los movimientos que mejoran la búsqueda son aceptados y algunos que no la mejoran también serán aceptados. La probabilidad de aceptar movimientos que empeoran la función objetivo disminuye a medida que aumenta el número de iteraciones. Se aceptan movimientos que empeoran la función objetivo con el fin de evitar los mínimos locales en los que caen los algoritmos deterministas.

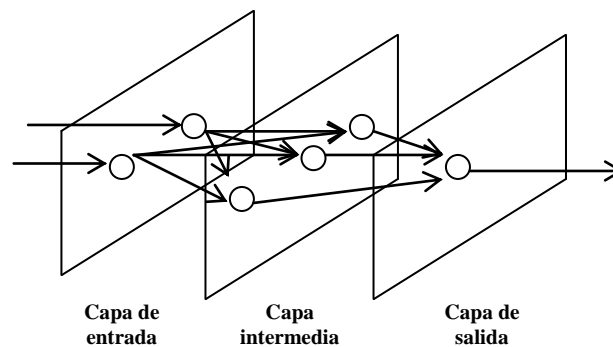
### **5.2.2 No tradicionales**

Los más importantes son los llamados algoritmos bio-inspirados, que son algoritmos del tipo no determinista o heurístico, con búsqueda guiada. Su nombre es debido a que toman la naturaleza como ejemplo para guiar la búsqueda. De estos, los más utilizados son las redes de neuronas y los englobados por la computación evolutiva.

#### **Redes neuronales**

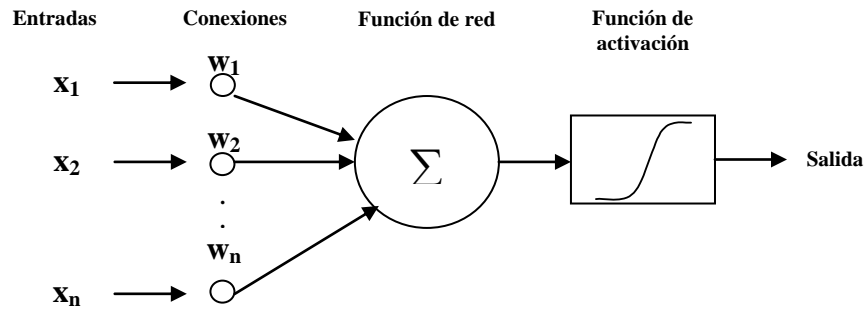
Están basadas en el sistema neuronal biológico, y formadas por un conjunto de unidades de procesamiento conectadas entre sí que, por analogía con el cerebro humano, se denominan neuronas. Cada neurona recibe muchas

señales de entrada y envía una única señal de salida, como ocurre en las neuronas reales, y se organizan en forma de capas, unidas entre sí. Se caracterizan tres tipos de neuronas: de entrada, de salidas y ocultas. Las neuronas de entrada reciben señales desde el entorno, las neuronas de salida llevan la señal fuera del sistema, y las ocultas son aquellas cuyas entradas y salidas se encuentran dentro del sistema, sin contacto con el exterior (figura 20).



**Figura 20. Ejemplo de capas de neuronas en una red neuronal**

Cada neurona sigue un modelo, propuesto por McCulloch y Pitts en 1943 [McCulloch y Pitts, 1943], donde cada una de ellas consta de unas conexiones de entrada, una función de red (de propagación), encargada de computar la entrada total combinada de todas las conexiones, un núcleo central de proceso, encargado de aplicar la función de activación, y la salida, por dónde se transmite el valor de activación a otras neuronas (figura 21).



**Figura 21. Neurona artificial**

Esta estructura de las redes de neuronas permite que aprendan, es decir, modifiquen su comportamiento inducidas por la interacción con el entorno y como resultado de experiencias [Hebb, 1949]. En las redes neuronales artificiales, el conocimiento se encuentra representado en los pesos de las conexiones existentes entre las neuronas. El proceso de aprendizaje implica cierto número de cambios en estas conexiones. Se aprende modificando los valores de los pesos de la red.

Existen distintos modelos de red neuronal, con su propia técnica de aprendizaje. Por ejemplo, en 1958, Frank Rosenblatt presentó el perceptrón [Rosenblatt, 1958], una red neuronal con aprendizaje supervisado cuya regla de aprendizaje era una modificación de la propuesta por Hebb. Se crearon

grandes expectativas sobre sus aplicaciones, que posteriormente se tornaron en gran decepción cuando en 1969 Minsky y Papert [Minsky y Papert, 1969] demostraron las grandes limitaciones de esta red. En los años 60, Bernard Widrow y Marcian Hoff [Widrow y Hoff, 1960] propusieron otros dos modelos, también supervisados, basados en el perceptrón de Rosenblatt denominados Adaline y Madaline.

Pero la era moderna de las redes neuronales artificiales surge con la técnica de aprendizaje de propagación hacia atrás (backpropagation) [Rumelhart et al., 1986]: la estructura de las redes anteriores (Perceptron, Adaline y Madaline) consta de dos capas: una primera capa formada por unidades que dejan pasar la entrada y que no tienen aprendizaje, y una segunda capa formada por una o varias neuronas en el caso del Madaline. La contribución de Minsky y Papert fue la de demostrar que una red del tipo perceptrón no es capaz de aprender todas las posibles combinaciones entre entradas y salidas. La solución del problema consiste en añadir capas intermedias de neuronas, introduciendo de esta forma el problema de cómo enseñar a estas capas intermedias. Aquí es donde tiene importancia el algoritmo de propagación hacia atrás. En éste se compara la salida real con la salida deseada. La diferencia entre ambas constituye un error que se propaga hacia atrás desde la capa de salida hasta la de entrada permitiendo así la adaptación de los pesos de las neuronas intermedias. Pero es verdad que también tiene sus limitaciones, por lo que se han desarrollado otros modelos

que permiten un aprendizaje no supervisado, como el mapa auto-organizativo de Kohonen [Kohonen y Oja, 1976], las redes de Hopfield [Hopfield y Tank, 1986] o los basados en la Teoría de Resonancia Adaptativa [Grossberg, 1976].

La capacidad de aprendizaje de las redes de neuronas es la que les permite por ejemplo, reconocer patrones, que no es más que una instancia del problema de optimización donde se busca la minimización de una función de mérito que mide la diferencia entre dos patrones dados.

### **Computación evolutiva**

Es un paradigma basado en la teoría de la evolución de Darwin, con la idea de que la naturaleza evoluciona optimizando, es decir, creando “entidades” cada vez más perfectas. Holland y Golberg introdujeron esta analogía en la computación [Holland, 1975] y [Golberg, 1989]. Los principales exponentes de este tipo de algoritmos son los algoritmos genéticos, y la programación genética.

### ***Algoritmos genéticos***

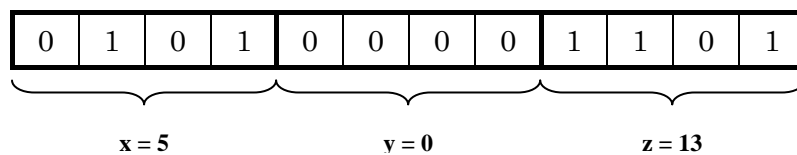
La evolución se produce por medio de una serie de cambios en los individuos, concretamente en sus genes. Así, en un algoritmo genético, cada individuo de una población se representa mediante un cromosoma, que es una secuencia de genes. Cada gen constituye una característica importante del individuo, llamándose alelo a su valor concreto (por ejemplo, un gen puede representar el color del pelo, de forma que ser rubio es el valor del alelo). Los métodos que utiliza la naturaleza para producir individuos mejores son básicamente la selección, el cruce y la mutación. La selección consiste en preservar aquellos individuos que son mejores en una población dada, y puede tenerse en cuenta a la hora de realizar el cruce, primando la reproducción entre los más aptos, y/o estableciendo una tasa de elitismo, es decir, de individuos que al ser tan buenos, se perpetúan tal cual. El cruce se produce cuando dos individuos se reproducen, es decir, generan individuos a partir del intercambio de sus genes. La mutación es un cambio aleatorio en el valor de alguno de los alelos.

Desde el punto de vista computacional, han de decidirse los genes necesarios, definirse la codificación de los cromosomas, y cómo se realizan las operaciones de selección, cruce y mutación.

En el caso de la optimización de una función, los genes son cada uno de los parámetros independientes de la función a optimizar, de forma que cada cromosoma será una solución posible de la función. Por ejemplo, supongamos que queremos optimizar una función que depende de tres variables  $f(x,y,z)$ . En este caso, cada cromosoma tendrá tres genes.

La codificación de los cromosomas puede hacerse de manera binaria, real o incluso simbólica, dependiendo del problema concreto. Siguiendo con el ejemplo anterior, podemos decidir codificar cada gen de manera binaria, eligiendo la longitud de los genes de manera que todos los valores posibles de las variables puedan ser codificados. Así, en el caso de que  $x, y, z \in [0, 15]$ , podemos representar cada gen con una longitud de 4 ( $2^4 = 16 \Rightarrow 0000\dots1111$ )

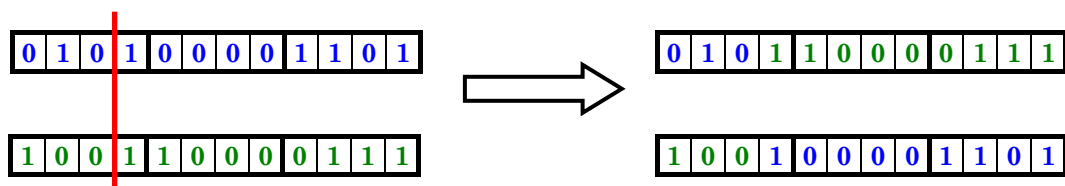
De esta forma, cada uno de los individuos (cromosoma), tendría un aspecto similar al mostrado en la figura 22.



**Figura 22. Ejemplo de cromosoma en un algoritmo genético**

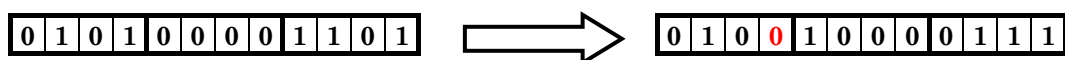
Para poder realizar la selección, debemos definir una función de aptitud, de forma que cada cromosoma evaluado sobre esta función será clasificado de acuerdo a ésta. En el ejemplo anterior, supongamos que queremos encontrar la solución a la ecuación  $3x^2-4y^3+z^4 = 0$ . En este caso, la función de aptitud será la propia  $f(x,y,z)$ , de forma que las soluciones más cercanas a 0 serán mejores, o más aptas, que las más alejadas de este valor.

El cruce consistirá en elegir un punto del cromosoma, y a continuación intercambiar las partes correspondientes del padre y la madre para producir dos hijos como indica la figura 23.



**Figura 23. Cruce de dos cromosomas**

La mutación produce un cambio aleatorio en algún gen como ocurre en la figura 24.



**Figura 24. Mutación de un gen**

Un algoritmo genético utilizará estas operaciones para obtener la solución más apta, es decir aquella que soluciona el problema, o al menos aquella que más se acerca. La figura 25 muestra el pseudocódigo general de este algoritmo [Michalewicz, 1992].

```
Generar población inicial  
Evaluar la aptitud de cada individuo  
Repetir  
  Generar nueva población:  
    Seleccionar los mejores individuos para que se reproduzcan  
    Aplicar el operador de cruce  
    Aplicar el operador de mutación  
  Evaluar la aptitud de cada individuo  
Hasta que se encuentre la solución
```

**Figura 25. Pseudocódigo algoritmo genético simple**

Las ventajas que presentan los algoritmos genéticos con respecto a otro tipo de algoritmos, es que escapan de los extremos locales (gracias a la aleatoriedad de la mutación), que hacen uso de la experiencia previa tomando las mejores soluciones, y que permiten evaluar varias soluciones del espacio de búsqueda de manera simultánea, minimizando el tiempo de computación.

### ***Programación genética***

La programación genética [Banzhaf et al., 1998], [Langdon y Poli, 2002], se basa, al igual que los algoritmos genéticos, en los principios de la evolución y por tanto, se rige también por los procesos de generación de una población, la elección de individuos y los operadores de selección, mutación y cruce.

La diferencia de un algoritmo genético con un algoritmo de programación genética (para resolver problemas de optimización), es que en el primer caso el algoritmo intenta encontrar los valores de los parámetros que acompañan a las variables de una función dada, y en el caso de la programación genética, no solo se intenta encontrar los valores de los parámetros, sino también las propias variables, y su relación entre ellas (operadores), es decir, la propia función, de forma que cada cromosoma será una función distinta: tendremos una población de funciones compitiendo entre sí. Esto significa también, que a diferencia de los algoritmos genéticos, cuyos cromosomas tienen un tamaño definido, los cromosomas en un algoritmo de programación genética, no la tienen, por lo que deberá introducirse como parámetro del algoritmo el tamaño máximo y mínimo de las funciones permitidas.

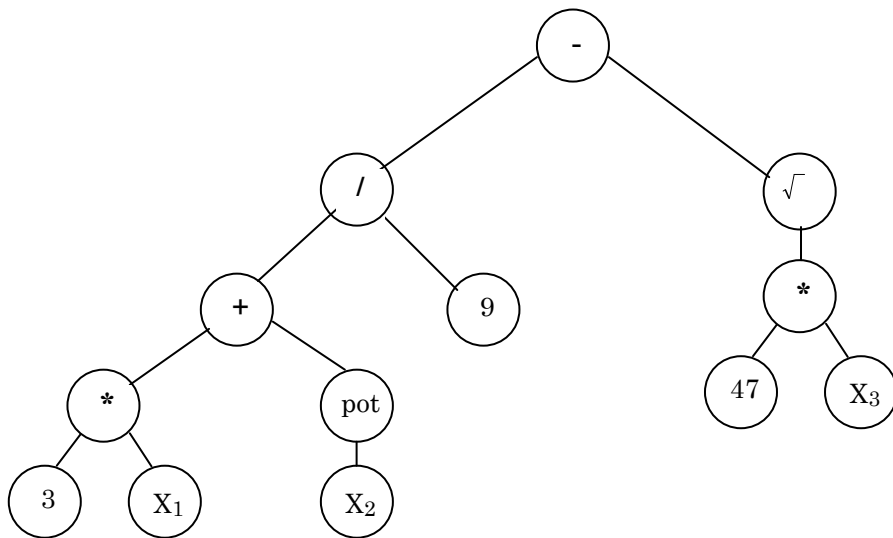
El pseudocódigo de evolución mostrado en la figura 25 puede seguir aplicándose, pero la representación de los cromosomas en este caso varía. Pueden representarse, entre otras posibilidades, en forma de árbol binario, de manera lineal, o como grafos, siendo la más extendida la forma en árbol binario. Esta representación implica cambios con respecto a cómo se realizan los operadores genéticos en la evolución de una población. Y en este caso, el tamaño máximo o mínimo de un individuo se expresará como la profundidad (o número de nodos) máxima y mínima.

Un árbol, matemáticamente hablando, se define como un conjunto de nodos conectados, con una estructura dada, y es un caso particular de grafo, de la teoría matemática de grafos: un árbol es un grafo conexo y acíclico. Un nodo es la unidad sobre la que se construye el árbol y puede tener cero o más nodos hijos conectados a él. Se dice que un nodo *a* es padre de un nodo *b* si existe un enlace desde *a* hasta *b* (en ese caso, también decimos que *b* es hijo de *a*). Sólo puede haber un único nodo sin padres, llamado raíz. Un nodo que no tiene hijos se conoce como hoja o nodo terminal. Cuando todos los nodos no terminales tienen dos hijos, se dice que el árbol es binario (si pudiera tener más de dos, se llamaría árbol multicamino).

Las funciones matemáticas (ya utilicen operadores aritméticos o lógicos) utilizan operadores unitarios o binarios, por lo que pueden modelarse

fácilmente como árboles binarios. La figura 26 muestra la representación en

forma de árbol de la función  $y = \frac{(3 * x_1 + x_2^5)}{9} - \sqrt{47 * x_3}$



**Figura 26. Representación en árbol de una función matemática**

En el caso de la programación genética, los distintos procesos implicados se realizarán de la siguiente manera:

### **Generación de la población inicial**

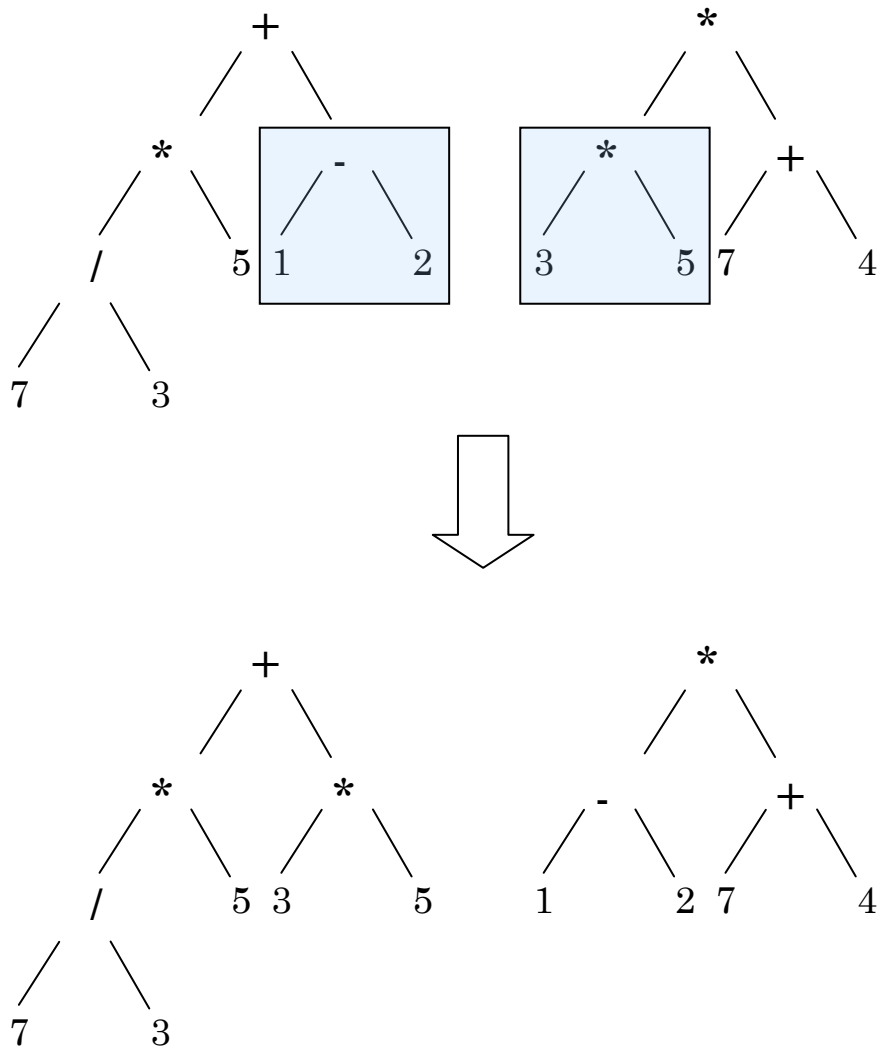
Cuando comienza un algoritmo de este tipo, el primer paso, como vimos en el pseudocódigo anterior, consiste en generar una población inicial, aleatoria, de forma que se garantice la variedad de individuos. Para generar la población inicial se pueden utilizar varios métodos [Koza, 1992], como el llamado creciente (*grow method*), donde se selecciona la máxima profundidad del árbol. El algoritmo escoge aleatoriamente un elemento entre los terminales y operadores que se han definido para el programa. Si es un operador elige nuevos elementos y si es un terminal la estructura de árbol termina en este punto. En los sitios donde se ha alcanzado la máxima profundidad la selección se restringe al conjunto de terminales. Esto significa que las ramas del árbol tendrán profundidades distintas ya que en ciertas ramas el algoritmo pudo seleccionar terminales antes de llegar a la profundidad máxima del programa.

O el llamado método completo (*full method*), donde en este caso no se seleccionan terminales hasta que no se haya llegado hasta la profundidad máxima del programa. Todos los árboles tendrán la misma profundidad. Si nos encontramos en un nodo cuya profundidad sea menor a la especificada, entonces la selección se realizará dentro del conjunto de operadores, pero si el nodo es de profundidad máxima entonces la selección se restringirá al conjunto de terminales.

### Cruce

El cruce se hace de forma muy parecida a los algoritmos genéticos (figura 27):

- Se seleccionan dos individuos en función de un criterio de selección y con una determinada tasa de cruce, llamados padres.
- Se selecciona aleatoriamente de cada padre un subárbol. La selección puede tener en cuenta que subárboles constituidos por terminales tengan menos probabilidad de ser elegidos.
- Se intercambian los subárboles seleccionados entre los dos padres, y se generan dos nuevos individuos, llamados hijos, que contienen, cada uno de ellos, información de ambos padres.



**Figura 27. Cruce de dos árboles**

### Mutación

Se selecciona un subárbol al azar en función de una tasa de mutación, y se sustituye por otro generado aleatoriamente (figura 28).

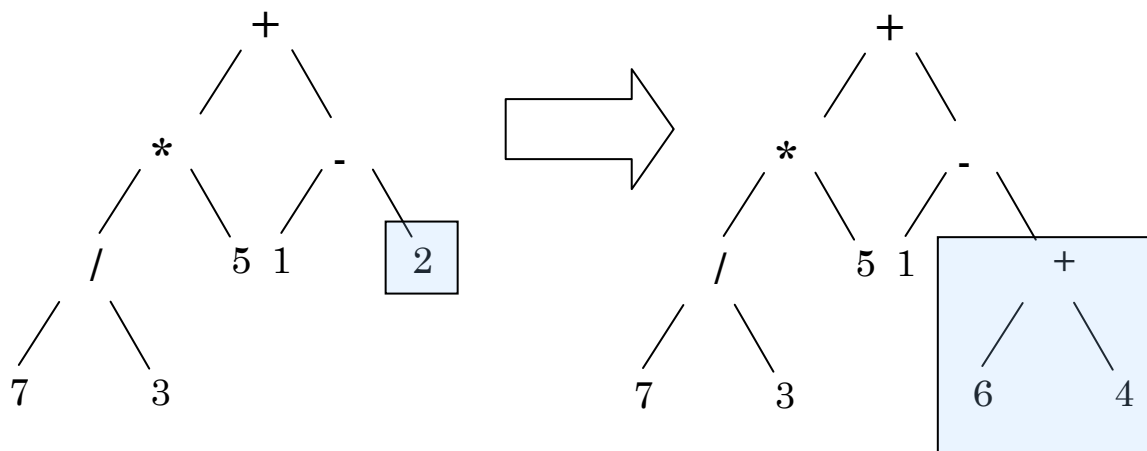


Figura 28. Mutación de un árbol

## Capítulo 6

# Análisis bursátil convencional propuesto

---

### 6.1 Revisión de la literatura

La revisión de la literatura relacionada con el tema de esta Tesis Doctoral se ha abordado desde el punto de vista de las series temporales, y desde el del análisis de las reglas técnicas, que son, como se ha visto, las dos formas en que se puede afrontar el problema de predicciones del mercado bursátil.

Sin embargo, esta revisión se ha realizado con tres restricciones en mente. La primera es que diversos autores, como [Hellström y Holmström, 1997], apoyan la visión de que es más adecuado el enfoque del análisis de reglas técnicas. Entre otros motivos, alegan que el objetivo de la predicción en bolsa es ganar dinero, sea en uno o varios días, por lo que la habilidad de predicción de un modelo no debe ser evaluado en un punto concreto del futuro, sino en si puede ganar en un periodo. Es lo mismo obtener una ganancia, ya sea en 10 días que en 11, y que los procesos que generan las series temporales tienen características muy distintas para partes diferentes de la serie total, por lo que un método global para todo el periodo no es una buena idea, y si se usan horizontes de tiempo demasiado pequeños, pueden quedar fuera datos necesarios para el modelo.

La segunda, se basa en las evidencias en los últimos años de que el mercado bursátil no se rige por leyes lineales, sino que sigue un régimen no lineal. Las conclusiones derivadas de los estudios de [Brock et al., 1992], [Granger, 1992], [Steiner y Wittkemper, 1996], [Hellström y Holmström, 1997] implican que para poder estudiarlo, es necesario hacer uso de las herramientas adecuadas, y no de algoritmos que requieran de una estructura lineal.

Y por último, se ha tenido en cuenta el llamado “fisgoneo de los datos” (*data snooping*), que implica el sesgo que se introduce en los resultados por

imponer, a priori, el modelo (función matemática) que deberían seguir los datos [Lo y MacKinlay, 1990].

Por esos tres motivos, se ha hecho especial hincapié en aquellos trabajos que utilizan al análisis de reglas técnicas, tienen en cuenta el comportamiento no lineal del mercado bursátil, que serían los relacionados con la computación evolutiva, y aquellos que no producen figoneo, o los producen en menor medida, en los datos, que son los algoritmos de programación genética.

Pero para poder llegar a conclusiones basadas en una visión de conjunto, se han revisado también los siguiente estudios: trabajos con el enfoque de series temporales, que utilizan modelos lineales como los ARMA y ARCH ([Engle et al., 1987], [Pesaran and Timmermann, 1994]), y que utilizan modelos no lineales como la teoría del caos ([Farmer y Sidorowich, 1987], [Chen, 1988], [Jaditz y Sayers, 1998] [Soofi y Cao, 1999]). Trabajos con el enfoque del análisis de las reglas técnicas, que utilizan modelos lineales ([Plummer, 1989]), que utilizan modelos no lineales, como redes de neuronas ([White, 1988], [Kuo et al., 1996], [Aiken y Bsat, 1999], [Chan et al., 2000], [Abraham et al., 2001], [Jasic y Wood, 2004] y [Dutta et al., 2006], y algoritmos genéticos ([Bauer, 1994], [Pictet et al., 1996], [Kassicieh et al., 1997] y [Ni y Zhang, 2006]). Los estudios que utilizan programación genética se ven a continuación.

### 6.1.1 Programación genética

Las primeras aplicaciones de la programación genética a la predicción en bolsa se han realizado en el mercado americano, para el índice S&P-500. Por ejemplo, el sistema EDDIE (Evolutionary Dynamic Data Investment Evaluator) [Tsang et al., 1998], [Li y Tsang, 1999], en el que no se tuvieron en cuenta los costes de transacción (lo que haría descompensar la balanza de las ganancias en el caso de que se produzca un número elevado de transacciones). Posteriormente, [Allen y Karjalainen, 1999] desarrollaron un algoritmo basado en programación genética que utiliza como nodos varias medias móviles, operadores aritméticos y lógicos. Para evaluar la aptitud de las reglas, utiliza el exceso de rentabilidad sobre la estrategia “B&H”, y realizan varios experimentos con distintos costes de operación (0.1 %, 0.25% y 0.5 %). Aunque en ningún caso consiguen ganar a la estrategia de “B&H” en el periodo de prueba, observan, como es de esperar, que a menores costes de transacción, más posibilidades de ganarle. También observan cierta capacidad predictiva en las reglas obtenidas por el algoritmo. [Neely, 2001] y [Chen, 2003] obtienen resultados muy similares con costes de transacción de 0.25% y utilizando como único indicador técnico la media móvil.

En el mercado español, destaca el trabajo realizado sobre el Índice General de la Bolsa de Madrid (IGBM) [Martel y Rodríguez, 2002], donde se

utiliza una función de evaluación que consiste en maximizar el porcentaje de aciertos de las reglas utilizando la media móvil, con coste de transacción igual a 0.25%. Las reglas generadas por el algoritmo son muy activas, es decir, producen muchas señales de compra-venta, lo que provoca que la rentabilidad en los periodos de prueba sea inferior a la de la estrategia “B&H”.

De los estudios analizados, el único cuyas reglas ganan a la estrategia “B&H”, es decir, obtienen mayor rentabilidad, incluso en el periodo de prueba, es el de [Becker y Seshadri, 2003]. Esto puede explicarse, no por la bondad del algoritmo, sino porque las reglas obtenidas siguen prácticamente la estrategia de “B&H”, ya que no llegan a realizar ni una transacción al año. La causa de esto es que los datos utilizados son de cierre mensual, mientras que los de los anteriores trabajos son cierres diarios.

## 6.2 Descripción del algoritmo

Como se ha mencionado en el apartado anterior, para esta Tesis Doctoral se ha considerado que de entre todas las soluciones posibles, la más adecuada es analizar reglas técnicas mediante algoritmos de programación genética, que se comportan de manera adecuada en sistemas no lineales, como el bursátil, y que además evitan el fisgoneo de los datos en mayor medida que el resto de los algoritmos disponibles.

Una de las características observadas en la literatura revisada es que los algoritmos utilizados no son demasiado sofisticados en cuenta a “algoritmo evolutivo”. Por eso, se han introducido una serie de mejoras a los algoritmos estándar utilizados anteriormente, especialmente en los operadores genéticos, el de cruce y el de selección, así como un escalado en la función de aptitud.

El algoritmo ha sido implementado utilizando el lenguaje de programación Java porque es un lenguaje multiplataforma que permite ejecutar el algoritmo en cualquier sistema operativo. Con respecto al diseño, en cuanto a algoritmo de programación genética hay que tener en cuenta las siguientes características: función de aptitud, la representación elegida para los cromosomas, tamaño máximo y mínimo de los cromosomas, el método de generación de individuos aleatorios, el método de selección, los operadores de cruce y de mutación, el tamaño de la población, el número de generaciones máximo que se va a dejar ejecutar, las tasas de cruce, de mutación, y de elitismo. La tabla 2 muestra las elecciones que se han realizado para este algoritmo:

Característica	Elección para el algoritmo
Función de aptitud	Exceso de ganancia sobre la estrategia "B&H" (los individuos con mayor exceso, son mejores)
Representación cromosomas	Árbol binario
Tamaño (en profundidad) máximo/mínimo cromosomas	3/10
Nº de individuos/población	500
Nº de generaciones	50
Método de generación aleatorio	Crecimiento
Método de selección	Torneo (ampliable a otros métodos) + Tasa de elitismo (10%)
Operador de cruce	Cruce de un punto, elegido aleatoriamente. Tasa = 80%
Operador de mutación	Aleatorio. Tasa = 10%

**Tabla 2. Valores de las características del algoritmo**

Los valores numéricos de las tasas, de los tamaños máximo y mínimo de los cromosomas, así como de la población han sido elegidos después de realizar numerosas pruebas de funcionamiento. Este tipo de pruebas, llamadas de ajuste del algoritmo (*tunning*) son muy comunes en los algoritmos evolutivos. En concreto, en el ámbito de la Bolsa, ha sido estudiado por [Núñez, 2002]. En cualquier caso, se han implementado de tal manera que sean parámetros del programa, es decir, que se puedan cambiar fácilmente.

### **Función de aptitud**

La función de aptitud tiene que estar relacionada con el problema concreto que se está analizando, en este caso se ha elegido el exceso de ganancia sobre la estrategia de “B&H” (que a partir de ahora llamaremos exceso) por ser la más utilizada y recomendada, aunque el algoritmo está preparado para poder implementar otra magnitud, llamada “tasa de acierto” (*hit rate*), que indica con cuanta frecuencia se predice de manera correcta el cambio de signo del rendimiento diario:

$$r_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}.$$

Además, se ha aplicado un escalado lineal en esta función siguiendo las recomendaciones de [Golberg, 1989], con el objetivo de evitar una convergencia prematura hacia un mínimo local en las generaciones iniciales, y paseos aleatorios en las generaciones finales:

$$Aptitud = \frac{1}{exceso + \alpha}$$

donde  $\alpha$  es un factor de escala, para el que se han probado los valores 0.1, 0.01 y 0.001, obteniendo el valor de 0.1 mejores resultados.

### **Operador de cruce**

Se ha utilizado un operador sencillo, en el que se elige de manera aleatoria en cada progenitor, el nodo raíz del subárbol que intercambiarán entre sí. El cruce se aplica con la tasa elegida. Y se realiza un bucle que se ejecuta un número de veces igual a la mitad de la población. Los hijos son evaluados con respecto a los padres, y si son mejores que estos, los sustituyen, y si no, no. Al aplicar elitismo, al número de individuos mejores correspondientes a la tasa aplicada no son elegidos para ser cruzados, y permanecen para la siguiente generación.

Para elegir los padres, se han considerado los métodos de ruleta (*roulette wheel*) [De Jong, 1975], resto estocástico sin reemplazo (*stochastic remainder without replacement*) [Broker, 1982], [Bridle, 1981], y el torneo (*tournament*) [Bridle, 1981]. Tanto la ruleta como el resto estocástico sin reemplazo son métodos basados en la aptitud proporcional de cada individuo, teniendo el primero una complejidad de  $O(n^2)$ , donde  $n$  es el tamaño de la población, mientras que la del segundo es de  $O(n)$ . Esto significa que para un número mayor de individuos, la ruleta es menos apropiada que el resto estocástico. El método de torneo no está basado en la proporcionalidad de la aptitud, y aunque su complejidad es  $O(n)$ , el hecho de no tener que calcular los valores esperados para cada individuo, le hace más rápido que el resto estocástico, por lo que se ha implementado el método del torneo.

### **Mutación**

La mutación se realiza para tantos individuos como indique la tasa seleccionada. Para el individuo al que le corresponda la mutación, se elige de manera aleatoria un nodo, y también de manera aleatoria, se genera un árbol que sustituirá al subárbol del que es raíz el nodo seleccionado.

### **Nodos**

Como nodos se han elegido los siguientes operadores, indicadores técnicos y valores terminales:

- Operadores:
  - Lógicos:  $<$ ,  $>$ , aplicados a valores reales. AND, NOT, OR aplicados a valores lógicos.
  - Aritméticos:  $+$ ,  $-$ ,  $*$ ,  $/$ , norma (valor absoluto de la diferencia de dos valores), máximo y mínimo, aplicados a valores reales.
- Indicadores técnicos:
  - Precio retrasado(n): precio de hace n días.
  - Precio máximo(n): precio máximo en los últimos n días.
  - Precio mínimo: precio mínimo en los últimos n días.

- Media móvil(n): media móvil de los últimos n días

$$(MM(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \text{ donde: } P_i \text{ es el precio el día } i \text{ y } n \text{ el número de}$$

días)

- Valores terminales:
  - Precio del día actual.
  - Constantes lógicas: true, false.
  - Constantes reales: números aleatorios escogidos en el rango [0,2]

### **Individuos**

Los individuos serán reglas de decisión, que emitirán señales de compra o de venta, siguiendo el comportamiento de máquina de estados ya mencionado anteriormente. Esto quiere decir que el nodo raíz siempre será un operador lógico, que comparará su subárbol derecho y su subárbol izquierdo. Si el resultado es el valor “verdad” (*true*) y no se está en el mercado, la regla emite una señal de compra, si es “falso” (*false*), y se está en el mercado, la regla emite una señal de venta. Para evaluar una regla, los días que se está en el mercado estará ganando lo que gane el mercado, y cuando esté fuera, ganará el interés libre de riesgo, mientras que la estrategia “B&H” ganará lo mismo que el mercado durante todo el periodo de

tiempo analizado. Además, podrán identificarse periodos de tiempo en el mercado y días fuera del mercado.

Cada nodo será una sub-regla de decisión, en el sentido de que los nodos podrán tomar cualquier valor de los posibles entre los señalados anteriormente, con la restricción de que ha de tenerse en cuenta qué tipo de operador es su padre, ya que cada operador o indicador tiene un número de parámetros, con un tipo, sobre los cuales puede actuar. Por ejemplo, si el algoritmo selecciona el operador AND, a la hora de elegir sus hijos derecho e izquierdo, habrá de escoger aquellos que puedan dar como resultado un valor lógico (true o false), pero no un número. Y si elige, por ejemplo, el indicador precio retrasado, solo puede tener un hijo, que será el horizonte de retraso.

### **Selección de las soluciones**

Para poder encontrar las soluciones se han considerado tres periodos, uno primero, llamado de entrenamiento, en el que el algoritmo encuentra las mejores reglas. Un segundo, llamado de selección en el que se seleccionan las mejores reglas encontradas por el algoritmo en el periodo anterior, y un tercero, de prueba, en el que se comprueba si efectivamente las reglas encontradas se comportan de manera adecuada, es decir, obtienen mayor rentabilidad que la estrategia de “B&H”. El motivo de introducir el periodo de selección es el de evitar el sobreentrenamiento mencionado anteriormente: en

cada generación, la mejor regla de la población se prueba en el periodo de selección, y si se sigue comportando bien (sigue ganando a la estrategia “B&H”), sigue estando seleccionada.

## 6.3 Esquema de funcionamiento

Los datos de entrada del algoritmo estarán en un fichero que contendrá fechas diarias, cada una en una fila. Para cada fecha se tendrá el precio de cierre de ese día, y el interés libre de riesgo en ese día (en %), con el formato:

yyyymmdd	precio de cierre	tasa de interés libre de riesgo
----------	------------------	---------------------------------

Así, por ejemplo, la línea en el fichero:

19630102	62.69	2.985
----------	-------	-------

Indica que el 2 de enero de 1963, el precio de cierre fue de 62.69, y la tasa de interés libre de riesgo (en %), era de 2.985.

Cuando se leen los datos, se calculan:

- Rendimiento compuesto:  $\log_{10}$  del rendimiento:

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

que es el factor de crecimiento, o tasa de ganancia (lo que se tenía más lo ganado)

◦ Tasa de ganancia libre de riesgo compuesta:

$$tasa\_libre\_riesgo\_compuesta(t) = TLRC(t) = \log\left(1 + 0.01 * \frac{tasa\_libre\_riesgo(t)}{365}\right)$$

el argumento del logaritmo es la cantidad que se tenía (1) más el % de interés diario cuando se invierte en renta fija)

A continuación, comienza el algoritmo en sí:

### **Creación de población inicial**

Se generan 500 reglas de decisión, árboles, de manera aleatoria (con el método de crecimiento explicado anteriormente), de tal forma que los árboles generados cumplan las condiciones de tamaño máximo y mínimo, que su nodo raíz sea un operador lógico, y que para generar los subárboles de un nodo, se tengan en cuenta el número de parámetros y el tipo que requiere.

Después de generar la población, se calcula la aptitud de cada uno de los individuos generados, de forma que para cada día del periodo considerado,

se evalúa la regla representada por el árbol. El resultado de la evaluación será true (comprar) o false (vender) para cada día, y siguiendo la máquina de estados descrita anteriormente (resultado distinto si se ya se está dentro o fuera del mercado), se habrá producido una compra o una venta. Y se anota el día de compra y de venta para cada transacción (una transacción está compuesta de una compra y de una venta).

De esta forma, para cada periodo, se obtiene un conjunto de transacciones (días de compra y de venta). Por ejemplo, para un periodo total dado de 100 días, estos estarán numerados de 0 a 99, y obtendremos pares del tipo:  $\{(2,10),(15,17)\dots\}$ , donde el primer elemento del par indica el día de compra, y el segundo, el día de venta. A continuación se calcula la ganancia obtenida con las transacciones generadas con esa regla, aplicando los costes de transacción correspondientes a cada compra o a cada venta:

$$ganancia_{REGLA} = ganancia_{días\_en\_mercado} + ganancia_{día\_fuera\_mercado} - \text{costes} =$$

$$\sum_{t=1}^N S_{t-1} * ganancia_{MERCADO\_t} + \sum_{t=1}^M (1 - S_{t-1}) * TLRC_t - O * c$$

donde N es el número de días del periodo considerado,  $S_{t-1}$  es el valor de la señal de compra del día anterior (1 = true = compra, 0 = false = venta),

$ganancia_{MERCADO\_t} = \log\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$ , TLRC la tasa libre de riesgo compuesta, O el

número de operaciones (una compra o una venta es una operación), y  $c$  es el coste de cada operación.

Y también se calcula la ganancia de la estrategia “B&H”, para la que se ha considerado una aproximación ajustada al riesgo:

$$ganancia_{CM} = \alpha \sum_{t=1}^N TLRC_t + (1 - \alpha) \sum_{t=1}^N ganancia_{MERCADO} - 2 * c , \text{ donde } \alpha \text{ es la}$$

proporción de días en que la regla está fuera del mercado.

El valor de la aptitud de esa regla será el exceso de ganancia de la regla sobre la estrategia de “B&H”:  $exceso = ganancia_{REGLA} - ganancia_{CM}$ , escalada como se ha mencionado anteriormente.

Una vez que todos los individuos han sido valorados, estos son ordenados mediante un algoritmo “*quick-sort*”.

### **Evolución**

Se realiza un bucle de 50 generaciones. Cada generación está compuesta de un periodo de entrenamiento (el propio proceso evolutivo en que se crean las reglas), y un periodo de selección, en que se extraen las mejores reglas obtenidas en el periodo anterior.

### ***Periodo de entrenamiento***

Está compuesto de las siguientes fases:

#### **1. Selección y cruce:**

Se seleccionan el número de individuos mejores en la proporción indicada por la tasa de elitismo. Para el resto, se van seleccionando por pares, mediante el método del torneo. Para cada uno de ellos, se elige un nodo de manera aleatoria y se intercambian los subárboles a partir del nodo elegido. Se evalúan los árboles generados (de la misma forma en que se ha indicado anteriormente), y se comparan con los progenitores. De los cuatro, quedan los dos mejores, sean los progenitores o los hijos, de forma que se mantiene constante el tamaño de la población.

#### **2. Mutación**

Una vez acabada la selección y el cruce, para tantos individuos como indique la tasa de mutación, se procederá a elegir un nodo, a generar un árbol aleatorio y a sustituir el subárbol hijo del nodo seleccionado con el generado aleatoriamente, con la restricción de que

el tamaño del árbol tiene que seguir cumpliendo el tamaño mínimo y el máximo.

El periodo de entrenamiento termina con un nuevo ordenamiento de la población.

### ***Periodo de selección***

En este periodo, primero se agrupan las reglas con la misma aptitud (en *clusters*), y para la regla que representa cada grupo, se calculan las transacciones que se producen con esa regla en este periodo, y el exceso de ganancia (no la aptitud) de la regla para este periodo, y el exceso de ganancia de la regla en el periodo de entrenamiento. Si el exceso de ganancia en este periodo es positivo (la regla gana a la estrategia “B&H”), se selecciona, y si es negativo, no se selecciona. De esta forma se seleccionan las reglas que, ganando en el periodo de entrenamiento, lo siguen haciendo en el de selección.

Una vez acabado el periodo de evolución (50 generaciones), las reglas obtenidas en cada generación se evalúan en el periodo de prueba.

**Periodo de prueba**

Durante este periodo, se calculan las transacciones que se producen con cada regla en este periodo y el exceso de ganancia de la regla para este periodo. También se calcula el exceso de ganancia de la regla en el periodo de entrenamiento y en el de selección para poder analizar los resultados.

## Capítulo 7

# Experimentos y resultados

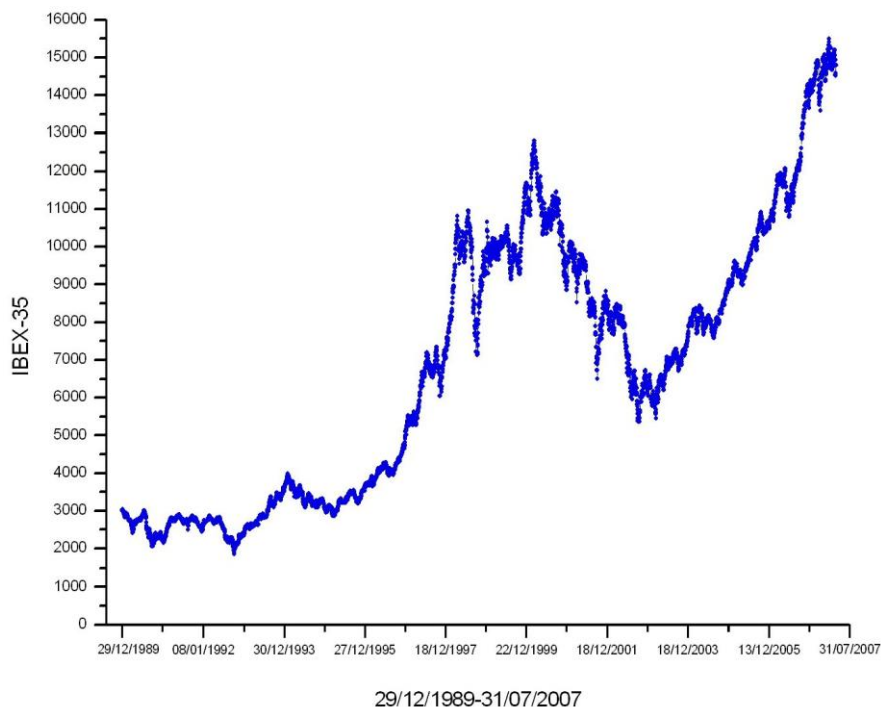
---

### 7.1 Datos

Los experimentos se han realizado sobre la serie histórica del IBEX-35. El IBEX-35 es un índice español, elaborado por la Sociedad de Bolsas y es el índice de referencia de la Bolsa de Madrid. Nace el 29 de diciembre de 1989, con una base de 3000 puntos obtenidos según precios de cierre del mercado. Está formado por 35 empresas, seleccionadas del grupo que cotiza a través del sistema SIBE (Sistema de Interconexión Bursátil), como las más líquidas, es decir, las más representativas del mercado bursátil español. Cada una de estas empresas es ponderada de acuerdo a su capitalización bursátil (precio por número de acciones consideradas por la Sociedad de Bolsas de las 35 empresas, y se aplica un coeficiente de ajuste). Las empresas con mayor capitalización bursátil tienen mayor protagonismo dentro del índice. A través

de su seguimiento se puede determinar cómo evoluciona la Bolsa española. Para incluir un valor en el Ibex 35, se emplea la liquidez como criterio de selección. La Sociedad de Bolsas entiende la liquidez en términos de volumen de contratación, tanto en euros como en órdenes. Su composición se analiza dos veces al año: el 1 de enero y el 1 de julio. No se ajusta por dividendos, pero sí por algunas operaciones financieras como pueden ser la ampliación o reducción de capital o las absorciones y las fusiones.

Se han utilizado datos diarios, desde el comienzo del índice, el 29 de diciembre de 1989, hasta el 31 de julio de 2007, con un total de 4414 observaciones. La figura 29 muestra estos datos.



**Figura 29. Evolución del IBEX-35 desde su inicio hasta el 31/07/2007**

Se han utilizado datos diarios en vez de mensuales, para propiciar que haya mayor posibilidad de transacciones, aunque esto también aumenta los costes debidos a las órdenes de compra y venta. No se ha tenido en cuenta el reparto de dividendos. Estos datos han sido obtenidos de la base de datos de la biblioteca de la Bolsa de Madrid.

Además, y puesto que se analiza la rentabilidad de las reglas técnicas en contraposición con la obtenida por la estrategia “B&H”, se necesita una tasa de interés libre de riesgo que sirva para medir las ganancias obtenidas cuando se está fuera del mercado, en el supuesto de que en esos periodos de tiempo se invierta en renta fija. Para ello se ha considerado el interés proporcionado por las Letras del Tesoro a 3 meses. Estos datos se han obtenido del Banco de España.

## 7.2 Pruebas

Se ha considerado la metodología de utilizar un periodo de entrenamiento seguido de uno de selección, para finalmente tener un periodo de prueba, para minimizar el efecto del sobreentrenamiento de los datos. Por tanto, con la serie histórica de la que se disponía, se ha dividido el periodo total de forma que se pudieran tener 4 subperiodos (un número mayor resulta

en un número demasiado pequeño de datos para el periodo de prueba) que se superponen, y que se resumen en la tabla 3:

<b>1990-2007</b>		
<b>Entrenamiento (3 años)</b>	<b>Selección (1 año)</b>	<b>Prueba (resto)</b>
1990-1992 (748 días)	1993 (252 días)	1994-2007 (3414 días)
1993-1995 (753 días)	1996 (253 días)	1997-2007 (2660 días)
1996-1998 (753 días)	1999 (250 días)	2000-2007 (1910 días)
1999-2001 (750 días)	2002 (250 días)	2003-2007 (1160 días)

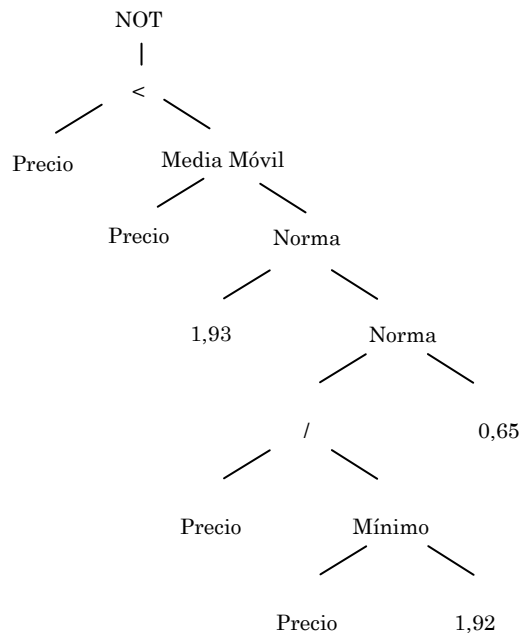
**Tabla 3. Periodos considerados en las prueba**

Para cada uno de estos subperiodos se han realizado 10 ejecuciones, para poder realizar medias estadísticas.

El conjunto de pruebas anterior (4 subperiodos, con 10 pruebas cada uno), ha sido realizado a su vez para 3 valores de los costes de transacción distintos, para poder evaluar su influencia en la formación de las reglas técnicas. Los valores utilizados para los costes de transacción (para cada operación de compra o de venta) han sido 0,1%, 0,25% y 0,5%, siendo el primero, casi equivalente a no tener costes de transacción, y el segundo el más cercano a la realidad. El tercero se introduce como una forma de medir de forma más exhaustiva la influencia de los costes de transacción.

## 7.3 Resultados

Se han realizado por tanto, 4 (periodos) x 10 (pruebas) = 40 pruebas para cada valor de los costes de transacción. En total, 120 pruebas. De cada una de esas pruebas se ha obtenido una regla. La forma de cada regla se obtiene del árbol generado por el algoritmo. Así, por ejemplo, el árbol de la figura 30:



**Figura 30. Ejemplo de árbol generado por el algoritmo**

Es equivalente a la siguiente regla:

NOT(Precio(t) < Media móvil (Precio(t), Norma(1.93,

$$\text{Norma}\left(\frac{\text{Precio}(t)}{\text{Mínimo}(\text{Precio}(t), 1.92)}, 0.65\right))$$

Es decir:

(Precio(t) >= Media móvil (Precio(t), Norma(1.93,

$$\text{Norma}\left(\frac{\text{Precio}(t)}{\text{Mínimo}(\text{Precio}(t), 1.92)}, 0.65\right))$$

Donde el segundo parámetro de la media móvil siempre indica el horizonte de la media, y en caso de que sea decimal, el algoritmo lo redondea a su entero inferior más próximo.

La regla se evalúa para cada día del periodo considerado (valores de t), de forma que para cada día, *si el precio de ese día es mayor o igual que la media móvil de los n días anteriores (donde n es el resultado de aplicar la norma entre la constante 1.93 y la norma de la constante 0,65 y el resultado de dividir el precio del día actual con el mínimo que resulte entre el precio del día actual y la constante 1.92), se compra (si se está fuera del mercado), y si se da lo contrario y se está en el mercado, se vende.*

A continuación se muestran los resultados de las reglas que superaron el periodo de selección (aquellas que teniendo un exceso positivo sobre la estrategia B&H, también lo tienen en el periodo de selección). En total, 39, 30 y 23 reglas para los costes de transacción 0.1%, 0.25%, y 0.5% respectivamente. Se muestran el valor del exceso sobre la estrategia “B&H” en los tres periodos considerados (donde el exceso de rentabilidad es el rendimiento anual medio en el periodo considerado sobre la estrategia “B&H” después de quitar los costes de transacción), así como el número de días en el mercado y fuera del mercado. También se muestra para cada periodo, la mejor regla obtenida, y la media en cada periodo del exceso de rentabilidad, de la frecuencia anual de transacciones, y del porcentaje de días en el mercado.

### 7.3.1 Coste de transacción = 0,1%

**Periodo 1: entrenamiento 1990-1992; selección: 1993; test: 1994-2007**

#### **MEJOR REGLA:**

Precio(t) >= Media Móvil (Precio(t),

$$\text{Norma}(1.93, \text{Norma}\left(\frac{\text{Precio}(t)}{\text{Mínimo}(\text{Precio}(t), 1.92)}, 0.65\right))$$

#### **DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.35992	261, 487
	Selección	0.07902	101, 138
	Prueba	0.15156	1679, 2035
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.37080	342, 406
	Selección	0.01029	125, 119
	Prueba	0.19227	2033, 1681
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.37449	378, 370
	Selección	0.02515	132, 107
	Prueba	-0.00540	2085, 1629
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.36782	402, 346
	Selección	0.01029	214, 31

	Prueba	0.20209	1954, 1760
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.35991	456, 292
	Selección	0.07902	167, 56
	Prueba	0.21155	1400, 2314
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.37247	380, 368
	Selección	0.01029	176, 67
	Prueba	0.15211	1640, 2074
<b>Regla 7</b>	Entrenamiento	0.34550	506, 242
	Selección	0.00009	145, 96
	Prueba	-0.00526	1287, 2427
<b>Regla 8</b>	Entrenamiento	0.36779	345, 403
	Selección	0.12451	150, 95
	Prueba	-0.00269	1303, 2411
<b>Regla 9</b>	Entrenamiento	0.35911	543, 205
	Selección	0.08570	162, 73
	Prueba	-0.00592	1520, 2194
<b>Regla 10</b>	Entrenamiento	0.35667	456, 292
	Selección	0.00850	113, 129
	Prueba	-0.00983	1867, 1847

**Tabla 4. Resultados para coste de transacción = 0.1%. Periodo 1**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.36345	9.2	54%
<b>Selección</b>	0.04329	8.1	59%
<b>Prueba</b>	0.08805	7.3	49%

**Tabla 5. Resultados medios para coste de transacción = 0.1%. Periodo 1**

**Periodo 2: entrenamiento 1993-1995; selección: 1996; test: 1997-2007**

**MEJOR REGLA:**

Media Móvil (Precio(t), Norma(Precio(t), Norma(1.81, Máximo(Precio(t), (0.66\*1.25)))) > (Precio(t) – 1.98)

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.10745	600, 153
	Selección	0.12236	211, 42
	Prueba	-0.03199	1302, 1358
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.01747	107, 646
	Selección	0.02391	63, 190
	Prueba	0.00740	715, 1945
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.00811	73, 680
	Selección	0.00318	27, 226
	Prueba	0.00006	1150, 1510
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.11133	391, 362
	Selección	0.11239	89, 164
	Prueba	-0.02907	1387, 1273
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.14212	440, 313
	Selección	0.05876	223, 30
	Prueba	-0.02877	1514, 1146
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.11606	506, 247
	Selección	0.12554	145, 108
	Prueba	-0.06105	621, 2039
<b>Regla 7</b>	Entrenamiento	0.11026	444, 309
	Selección	0.12554	150, 103
	Prueba	-0.03215	1769, 891
<b>Regla 8</b>	Entrenamiento	0.11470	400, 353
	Selección	0.12753	146, 107
	Prueba	-0.05875	1841, 819
<b>Regla 9</b>	Entrenamiento	0.12928	528, 225
	Selección	0.04926	124, 129
	Prueba	-0.01901	1803, 857
<b>Regla 10</b>	Entrenamiento	0.13514	425, 328
	Selección	0.04926	105, 148

	Prueba	0.03097	1771, 889
--	--------	---------	-----------

**Tabla 6. Resultados para coste de transacción = 0.1%. Periodo 2**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.09919	10.3	52%
<b>Selección</b>	0.07977	9.1	51%
<b>Prueba</b>	0.02217	9.4	52%

**Tabla 7. Resultados medios para coste de transacción = 0.1%. Periodo 2**

**Periodo 3: entrenamiento 1996-1998; selección: 1999; test: 2000-2007**

**MEJOR REGLA:**

Norma(1.59, Norma(Precio(t), Media Móvil (Precio(t), (0.32\*Precio(t)) <  
Media Móvil(Precio(t),2)

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.13658	505, 248
	Selección	0.03574	114, 136
	Prueba	-0.04652	1256, 654
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.07611	382, 371
	Selección	0.00785	107, 143
	Prueba	-0.01335	1084, 826
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.08411	412, 341
	Selección	0.05009	105, 145
	Prueba	-0.02640	1302, 608
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.04645	410, 343
	Selección	0.04868	115, 135
	Prueba	-0.06758	998, 912
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.25147	167, 586
	Selección	0.14998	72, 178
	Prueba	0.01318	840, 1070
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.07249	293, 460

	Selección	0.00788	201, 49
	Prueba	-0.01514	890, 1020
<b>Regla 7</b>	Entrenamiento	0.05875	483, 270
	Selección	0.04868	189, 61
	Prueba	-0.07212	1427, 483
<b>Regla 8</b>	Entrenamiento	0.04974	402, 351
	Selección	0.00669	158, 92
	Prueba	-0.07481	620, 1290
<b>Regla 9</b>	Entrenamiento	0.03412	402, 351
	Selección	0.00788	214, 36
	Prueba	-0.07782	1113, 797
<b>Regla 10</b>	Entrenamiento	0.06707	337, 416
	Selección	0.06513	134, 116
	Prueba	-0.03155	1002, 908

**Tabla 8. Resultados para coste de transacción = 0.1%. Periodo 3**

### **DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.08769	10.7	50%
<b>Selección</b>	0.04286	9.8	56%
<b>Prueba</b>	-0.00412	10.5	55%

**Tabla 9. Resultados medios para coste de transacción = 0.1%. Periodo 3**

**Periodo 4: entrenamiento 1999-2001; selección: 2002; test: 2003-2007**

**MEJOR REGLA:**

$$\text{Norma}\left(\frac{\text{Precio}(t)}{\text{Precio\_atrasado}(t,4)}, (\text{Precio}(t)*1.4) > \text{Media Móvil}(\text{Precio}(t), 0.34*\text{Precio}(t))\right)$$

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.14038	140, 610
	Selección	0.12539	44, 206
	Prueba	0.00001	302, 858
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.16894	372, 378
	Selección	0.13405	155, 95
	Prueba	-0.14233	630, 530
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.13407	374, 376
	Selección	0.09467	153, 97
	Prueba	-0.10730	692, 468
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.12282	418, 332
	Selección	0.37318	140, 110
	Prueba	-0.13144	520, 640
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.14440	421, 329
	Selección	0.07639	177, 73
	Prueba	-0.10067	797, 363

<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.16112	382, 368
	Selección	0.18402	125, 125
	Prueba	0.00001	604, 556
<b>Regla 7</b>	Entrenamiento	0.16593	432, 318
	Selección	0.22066	172, 78
	Prueba	-0.16900	698, 462
<b>Regla 8</b>	Entrenamiento	0.16894	370, 380
	Selección	0.13405	96, 154
	Prueba	-0.14233	674, 486
<b>Regla 9</b>	Entrenamiento	0.16112	312, 438
	Selección	0.24387	111, 139
	Prueba	0.00001	707, 453

**Tabla 10. Resultados para coste de transacción = 0.1%. Periodo 4**

### **DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.15197	9.5	48%
<b>Selección</b>	0.17670	8.6	52%
<b>Prueba</b>	0.00788	8.4	54%

**Tabla 11. Resultados medios para coste de transacción = 0.1%. Periodo 4**

### 7.3.2 Coste de transacción = 0,25%

**Periodo 1: entrenamiento 1990-1992; selección: 1993; test: 1994-**

**2007**

**MEJOR REGLA:**

$$\left(\text{Precio M\acute{a}ximo}(t, 0.3 * \frac{\text{Precio}(t)}{1.4}) < \text{Media M\acute{o}vil}(\text{Precio}(t), 0.2)\right) \text{ OR } (2.3 > \text{Precio}(t))$$

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.23700	431, 317
	Selección	0.00848	133, 119
	Prueba	-0.01732	2035, 1379
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.13600	171, 577
	Selección	0.00348	65, 187
	Prueba	0.01417	1987, 1427
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.24499	420, 328
	Selección	0.00147	130, 122
	Prueba	-0.01795	1871, 1543
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.17118	443, 305
	Selección	0.00234	163, 89

	Prueba	-0.07463	2204, 1210
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.23967	452, 296
	Selección	0.00134	163, 89
	Prueba	-0.07463	1949, 1465
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.23700	429, 319
	Selección	0.00073	164, 88
	Prueba	0.01419	2052, 1362
<b>Regla 7</b>	Entrenamiento	0.09035	317, 431
	Selección	0.00029	116, 136
	Prueba	-0.29489	1426, 1988
<b>Regla 8</b>	Entrenamiento	0.21225	337, 411
	Selección	0.00024	123, 129
	Prueba	-0.21415	1547, 1867

**Tabla 12. Resultados para coste de transacción = 0.25%. Periodo 1**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.19606	3.7	50%
<b>Selección</b>	0.00230	3.6	52%
<b>Prueba</b>	-0.08315	4.5	55%

**Tabla 13. Resultados medios para coste de transacción = 0.25%. Periodo 1**

**Periodo 2: entrenamiento 1993-1995; selección: 1996; test: 1997-2007**

**MEJOR REGLA:**

$$\left( \frac{\text{Precio}(t)}{\text{Precio\_Mínimo}(t,25)} < \text{Media Móvil}(\text{Precio}(t),6) \right) \text{ AND}$$

$$(\text{Precio\_Atrasado}(t,5) > \text{Norma}(3,\text{Precio}(t)))$$

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.02289	421, 332
	Selección	0.00029	123, 130
	Prueba	-0.10781	1390, 1270
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.034914	412, 341
	Selección	0.00029	131, 122
	Prueba	-0.10781	1490, 1170
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.02897	433, 320
	Selección	0.00001	133, 120
	Prueba	-0.01881	1490, 1170
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.04178	52, 701
	Selección	0.00151	76, 177
	Prueba	-0.03491	1021, 1639
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.05897	470, 283
	Selección	0.00002	144, 109
	Prueba	-0.12279	1598, 1062

<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.01245	384, 369
	Selección	0.00093	154, 99
	Prueba	-0.10781	1615, 1045
<b>Regla 7</b>	Entrenamiento	0.39066	365, 388
	Selección	0.00004	118, 135
	Prueba	-0.10761	1198, 1462
<b>Regla 8</b>	Entrenamiento	0.02388	442, 311
	Selección	0.00001	145, 108
	Prueba	-0.05863	1437, 1223

**Tabla 14. Resultados para coste de transacción = 0.25%. Periodo 2**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.07681	5.2	49%
<b>Selección</b>	0.00039	4.3	51%
<b>Prueba</b>	-0.08327	3.8	53%

**Tabla 15. Resultados medios para coste de transacción = 0.25%. Periodo 2**

**Periodo 3: entrenamiento 1996-1998; selección: 1999; test: 2000-2007**

**MEJOR REGLA:**

Precio(t) > Media Móvil (Máximo(Precio(t), Precio Máximo(t,7), 20)

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.00445	388, 365
	Selección	0.00003	118, 132
	Prueba	-0.11927	987, 923
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.06131	344, 409
	Selección	0.0666	122, 128
	Prueba	0.04125	1004, 906
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.04053	405, 348
	Selección	0.10742	124, 126
	Prueba	-0.0044	1112, 798
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.01437	347, 406
	Selección	0.01473	135, 115
	Prueba	0.0034	954, 956
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.00794	352, 401
	Selección	0.00145	120, 130
	Prueba	0.02386	890, 1020
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.02454	392, 361
	Selección	0.00321	143, 107
	Prueba	-0.10824	1102, 808

<b>Regla 7</b>	Entrenamiento	0.05251	385, 368
	Selección	0.10402	132, 118
	Prueba	-0.00856	998, 912

**Tabla 16. Resultados para coste de transacción = 0.25%. Periodo 3**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.02938	3.9	50%
<b>Selección</b>	0.04249	4.3	51%
<b>Prueba</b>	-0.02457	6.3	53%

**Tabla 17. Resultados medios para coste de transacción = 0.25%. Periodo 3**

**Periodo 4: entrenamiento 1999-2001; selección: 2002; test: 2003-2007**

**MEJOR REGLA:**

$$\frac{\text{Media}_{\text{móvil}}(\text{Precio}(t),3)}{3 * \text{Precio}_{\text{Máximo}}(t,15)} < (4 * \text{Norma}(\text{Precio Atrasado}(t,6),2.1))$$

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.23258	417, 333
	Selección	0.00313	132, 118
	Prueba	-0.14918	726, 434
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.24149	148, 602
	Selección	0.00313	64, 186
	Prueba	-0.24953	225, 935
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.16112	410, 340
	Selección	0.28049	128, 122
	Prueba	-0.02501	726, 434
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.16112	371, 379
	Selección	0.24387	127, 123
	Prueba	-0.14201	604, 556
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.01801	420, 330
	Selección	0.07105	143, 107
	Prueba	-0.19744	712, 448
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.06854	393, 357
	Selección	0.3569	128, 122

	Prueba	-0.18595	586, 574
<b>Regla 7</b>	Entrenamiento	0.02579	422, 328
	Selección	0.34488	128, 122
	Prueba	-0.02179	574, 586

**Tabla 18. Resultados para coste de transacción = 0.25%. Periodo 4**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.12981	5.2	49%
<b>Selección</b>	0.18621	4.4	49%
<b>Prueba</b>	-0.13870	6.1	51%

**Tabla 19. Resultados medios para coste de transacción = 0.25%. Periodo 4**

### 7.3.3 Coste de transacción = 0,5%

**Periodo 1: entrenamiento 1990-1992; selección: 1993; test: 1994-2007**

#### **MEJOR REGLA:**

$$((\text{Precio}(t) - \text{Precio M\acute{a}ximo}(t,23))^* \frac{\text{Media \_ m\acute{o}vil}(\text{Precio}(t),45)}{\text{Norma}(1.2, \text{Precio}(t))}) > (\text{Precio Atrasado}(t,8)-5.2)$$

#### **DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.23700	423, 325
	Selección	0.00343	156, 96
	Prueba	-0.17425	1844, 1570
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.01946	338, 410
	Selección	0.00605	130, 122
	Prueba	-0.62042	1631, 1783
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.20726	430, 318
	Selección	0.00343	148, 104
	Prueba	0.00830	1528, 1886
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.19561	457, 291
	Selección	0.01792	169, 83

	Prueba	0.00131	1959, 1455
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.28782	84, 664
	Selección	0.01564	89, 163
	Prueba	0.00141	1710, 1704
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.19709	448, 300
	Selección	0.00343	114, 138
	Prueba	-0.16594	1966, 1448

**Tabla 20. Resultados para coste de transacción = 0.5%. Periodo 1**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.19071	4.1	49%
<b>Selección</b>	0.00832	2.2	53%
<b>Prueba</b>	-0.15827	3.4	52%

**Tabla 21. Resultados medios para coste de transacción = 0.5%. Periodo 1**

**Periodo 2: entrenamiento 1993-1995; selección: 1996; test: 1997-2007**

**MEJOR REGLA:**

$$(1.2 * \text{Máximo}(\text{Precio}(t), \text{Media Móvil}(\text{Precio}(t), 5)) < \\ (\text{Precio Atrasado}(t, 14) + \text{Precio Máximo}(t, 23))$$

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.02532	457, 296
	Selección	0.00288	127, 126
	Prueba	-0.17760	1291, 1369
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.07438	457, 296
	Selección	0.00027	127, 126
	Prueba	-0.17620	1187, 1473
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.02346	503, 250
	Selección	0.00017	136, 117
	Prueba	-0.05348	1478, 1182
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.01448	523, 230
	Selección	0.00064	156, 97
	Prueba	-0.17003	1431, 1229
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.00854	23, 730
	Selección	0.00002	67, 186
	Prueba	-0.17760	1234, 1426

**Tabla 22. Resultados para coste de transacción = 0.5%. Periodo 2**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.02924	3.1	52%
<b>Selección</b>	0.00080	3.2	48%
<b>Prueba</b>	-0.15098	2.2	50%

**Tabla 23. Resultados medios para coste de transacción = 0.5%. Periodo 2**

**Periodo 3: entrenamiento 1996-1998; selección: 1999; test: 2000-2007**

**MEJOR REGLA:**

$$((\text{Norma}(\text{Precio}(t), \text{Precio M\acute{a}ximo}(t,3)) - 0.43) > (\text{Precio}(t) - \text{Precio Atrasado}(t,4)) * 2$$

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.00001	208, 545
	Selección	0.00032	98, 152
	Prueba	0.00001	543, 1367
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.00232	407, 346
	Selección	0.01472	137, 113
	Prueba	-0.16983	914, 996
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.01459	397, 356
	Selección	0.00012	122, 128
	Prueba	-0.11343	1007, 903
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.29032	412, 341
	Selección	0.14018	141, 109
	Prueba	-0.10623	1115, 795
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.27433	398, 355
	Selección	0.05357	137, 113
	Prueba	-0.12546	1214, 696
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.01068	412, 341
	Selección	0.02352	125, 125
	Prueba	0.00003	1003, 907

**Tabla 24. Resultados para coste de transacción = 0.5%. Periodo 3**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.09871	3.2	49%
<b>Selección</b>	0.03874	2.6	51%
<b>Prueba</b>	-0.08582	3.5	51%

Tabla 25. Resultados medios para coste de transacción = 0.5%. Periodo 3

**Periodo 4: entrenamiento 1999-2001; selección: 2002; test: 2003-**

**2007**

**MEJOR REGLA:**

$(\text{Media M3vil}(\text{Precio}(t),25)-\text{Media M3vil}(\text{Precio}(t),92)) > (\text{Precio}$

$$\text{Atrasado}(t,12)* \frac{\text{Media\_m3vil}(\text{Precio}(t),5)}{\text{Precio\_M3nimo}(t,8)}$$

**DATOS SOBRE LAS REGLAS:**

		<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Nº de días en el mercado y fuera del mercado</b>
<b>Regla 1</b>	Entrenamiento	0.08101	361, 389
	Selección	0.36190	127, 123
	Prueba	-0.19469	587, 573
<b>Regla 2</b>	Entrenamiento	0.06102	353, 397
	Selección	0.25122	107, 143
	Prueba	-0.17241	531, 629
<b>Regla 3</b>	Entrenamiento	0.14202	352, 398
	Selección	0.36190	119, 131
	Prueba	-0.28512	544, 616
<b>Regla 4</b>	Entrenamiento	0.09799	372, 378
	Selección	0.23214	133, 117
	Prueba	-0.26870	603, 557
<b>Regla 5</b>	Entrenamiento	0.06104	358, 392
	Selección	0.14113	132, 118
	Prueba	-0.23035	592, 568
<b>Regla 6</b>	Entrenamiento	0.08997	348, 402
	Selección	0.13774	117, 133
	Prueba	-0.19432	579, 581

**Tabla 26. Resultados para coste de transacción = 0.5%. Periodo 4**

**DATOS MEDIOS:**

	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>Entrenamiento</b>	0.08884	3.2	48%
<b>Selección</b>	0.24767	2.1	49%
<b>Prueba</b>	-0.22427	3.4	49%

**Tabla 27. Resultados medios para coste de transacción = 0.5%. Periodo 4**

**7.3.4 Resultados**

Los resultados medios para el periodo de prueba, para cada uno de los costes de transacción, se muestran en la tabla 28.

<b>Coste de transacción</b>	<b>Exceso de rentabilidad sobre "B&amp;H"</b>	<b>Frecuencia anual de transacciones</b>	<b>Porcentaje de días en el mercado</b>
<b>0.1%</b>	0.11397	8.9	53%
<b>0.25%</b>	-0.32969	5.2	53%
<b>0.5%</b>	-0.61933	3.1	51%

**Tabla 28. Resultados medios**

Como es obvio, en el caso general los costes de transacción son siempre una variable clave en las estrategias de contratación basadas en modelos no lineales de predicción. Han de utilizarse si se quiere reflejar un mercado realista, pero se produce un dilema entre la frecuencia de los datos y los costes de transacción. Por un lado, para la predicción no lineal en una serie temporal se necesita un número elevado de datos para que el tamaño muestral sea lo suficientemente grande. Por otra parte, una estrategia técnica de contratación basada en un número grande de datos puede incurrir fácilmente en el problema de que, si es muy activa, los costes de transacción pueden eliminar los beneficios que se obtenían bajo el supuesto de costes de transacción nulos o muy pequeños.

En nuestro caso particular, puede observarse en efecto que tanto la rentabilidad como la frecuencia de las transacciones disminuyen a medida que aumenta el valor del coste de transacción, aunque el número de días en el mercado es similar para todos ellos. Estos resultados son coherentes con otros realizados para el mercado norteamericano [Allen y Karjalainen, 1999], [Neely, 2001] y [Becker y Seshadri, 2003], y el mercado español [Fernández et al., 2001].

Por los valores del exceso de la rentabilidad anualizada, se puede concluir que las reglas tienen cierta capacidad predictiva, ya que son capaces de decidir estar ciertos días en el mercado y otros fuera del mercado, intentando

aumentar la rentabilidad, pero puede observarse también que esta capacidad disminuye (porque disminuye el valor del exceso de rentabilidad) en los periodos de prueba, quizá debido a un sobreentrenamiento, a pesar de utilizar un periodo de entrenamiento y otro de selección.

También es relevante que las mejores reglas obtenidas por el algoritmo presentan una estructura no lineal, lo que viene a justificar aun más el empleo de una técnica de predicción no lineal, pues es claro que dichas reglas no habrían podido ser “descubiertas” si se hubiera empleado cualquiera de los métodos lineales mencionados con anterioridad.

Por otra parte, dado que en general los resultados obtenidos no muestran una gran capacidad predictiva, tomando como base la literatura existente se pueden ofrecer varias justificaciones a los resultados obtenidos. O bien, por una parte, admitir que estos resultados son una constatación de la HME, de forma que esta pequeña capacidad predictiva es debida a primas de riesgo cambiantes en el tiempo [Ferson y Harvey, 1991], y explicada por la APT (*Arbitrage Price Theory*) y/o a fricciones (tales como costes de transacción, restricciones a la ventas a corto plazo, problemas de agencia, etc.) que podrían explicar la persistencia de anomalías en los precios de los activos financieros, incluida su predecibilidad.

O bien, por otra parte, no admitir la HME, pero justificarla a partir de la existencia de débiles estructuras no lineales en la dinámica de las rentabilidades que no reportan importantes mejoras predictivas [Diebold y Nason, 1990], o según [Stengos, 1996], por la escasez de observaciones, de forma que para poder obtener buenos resultados sería necesario contar con series de datos más amplias. También habría que admitir quizás la existencia de una fuerte componente no lineal potencialmente predecible, pero para la que todavía sería necesario emplear mejores métodos que permitieran una aproximación más precisa. Por último, un amplio grupo de autores proponen las denominadas “finanzas del comportamiento” (*behavioural finance*) y señalan que dicha predicibilidad se debe al comportamiento irracional por parte de los participantes en el mercado [Shleifer, 2001].

## Capítulo 8

# Conclusiones

---

Una buena parte del trabajo realizado en esta Tesis Doctoral ha consistido en la cuidadosa y ardua contrastación, para el caso español, de la adecuación o no del Análisis Técnico como instrumento para conseguir en la práctica, mediante una inversión en Bolsa, ganancias superiores a la media del mercado. En este sentido se ha visto que, utilizando una de las técnicas más avanzadas y sofisticadas (los algoritmos de programación genética), recomendadas en la literatura actual sobre análisis técnico, no se han podido encontrar de manera sistemática reglas que ganen al mercado. En dicha literatura, un resultado de este tipo se interpreta, mayoritariamente, como una confirmación de la hipótesis de la eficiencia del mercado bursátil y de los mercados financieros en general.

Pero en vez de limitarnos a eso y llegar meramente a una conclusión de este tipo, podemos decir que nuestra Tesis Doctoral ha puesto suficientemente las bases para arribar más bien a una triple conclusión.

1. Sabemos que la Hipótesis del Mercado Eficiente (HME) significa simplemente que el mercado es eficiente porque incorpora toda la información disponible en cada momento. Pero en realidad esta Tesis, si se analiza desde el punto de vista de los mercados en general, solo quiere decir que rige la ley del precio único en cada momento para el conjunto del mercado, si bien nada dice de cuál es el efecto que dicho precio tiene sobre el comportamiento de cada agente individual. Si en el mercado en cuestión en ese momento hay un exceso de demanda, eso significa que solo una parte de los adquirentes pueden serlo de manera efectiva mientras que al mismo tiempo el conjunto de ellos estará imprimiendo un movimiento alcista al precio de la acción.

Y si se adopta un punto de vista dinámico que tenga en cuenta el tiempo real, lo que sucederá es que en el siguiente momento la cantidad demandada será inferior a la anterior, en la medida en que una parte de esos adquirentes, los primeros y más rápidos, ya han comprado; mientras que al mismo tiempo la cantidad ofrecida es ahora mayor porque se ven atraídos nuevos oferentes por ese precio ahora más elevado. Estos movimientos pueden ser todo lo rápidos que se quiera, días, horas, incluso

minutos. Pero la ganancia resultante para los distintos compradores que compran a un precio más alto en un momento posterior es una ganancia diferencial (negativa en este caso), que depende del momento de la compra, que a su vez es dependiente del momento en que se recibe la información.

Como la información realmente existente no es perfecta y además es costosa de obtener, en tiempo y en dinero, no cabe esperar que todos los agentes accedan a ella en el mismo momento y en igualdad de condiciones. Por ejemplo, los accionistas más ligados a la gestión de la empresa (los miembros del “grupo de control” y sus familiares y amigos) dispondrán en general de los datos necesarios con cierta antelación respecto a quienes solo participan en el mercado bursátil como resultado de que recurren a él como una vía de ahorro alternativa a los depósitos bancarios comunes, que a su vez sólo pueden representar para ellos una rentabilidad inferior a la media de los instrumentos financieros (más sofisticados) que están a disposición del primer grupo de accionistas.

El hecho, además, de que existan expertos profesionales que ganan sistemáticamente una retribución normal en esta profesión es una realidad objetiva que demuestra, por sí mismo, que la información que ellos pueden dar, y que hay que comprar si se quiere usar, es útil en el campo de la inversión bursátil, y si esto no fuera así no se podría explicar la existencia continuada de estos profesionales y sus empresas.

2. En cuanto a la validez o no del Análisis técnico, más específicamente, hay que señalar que existe una limitación enorme en sus posibilidades de aplicación que ha pasado normalmente desapercibida en esta literatura. Casi todos los tests empíricos se han centrado en la comparación de un determinado periodo (entre  $t$  y  $t+n$ ) de inactividad o pura aplicación de la estrategia “B&H”, con las múltiples posibilidades de compra y venta activas que se pueden llevar a cabo en el interior de ese lapso de tiempo siguiendo la información que proporcionan las propias series de precios pasados, y por tanto con determinada selección de días en el mercado (*in*) y fuera del mercado (*out*) a partir de una regla técnica determinada. Pero lo que no hacen estos estudios es comparar las estrategias de “B&H” entre sí en función del día de comienzo o de finalización o incluso de la duración de la inversión.

Por ejemplo, se comparan los resultados de comprar en  $t$  y vender en  $t+n$  con los resultados de comprar y vender entre  $t$  y  $t+n$  tantas veces como sea, de acuerdo siempre con la correspondiente regla técnica, en cualquiera de los días de ese lapso. Pero no se compara el resultado de usar la estrategia del “B&H” para un periodo diferente, por ejemplo una inversión que, en vez de ir de  $t$  a  $t+n$ , vaya de  $t+m$  a  $t+m+n$ , o de  $t-p$  a  $t+n-p$  (todas ellas de la misma duración en días que la primera), o bien que vaya de  $t$  a  $t-s$  o  $t+s$  (con  $s \neq n$ ), o de  $t-q$  o  $t+q$  a  $t+n$ , etc.

Esto es una cuestión que tiene que ver con la indudable existencia del ciclo económico. Si, como ha demostrado Shaikh en [Shaikh, 1995], la evolución del precio de las acciones viene regulada por la variación de la tasa de ganancia *incremental* de la empresa emisora (o sector o economía nacional si razonamos a esos niveles de mayor agregación), habrá que esperar que el comportamiento del primero siga una senda similar al seguido por la segunda. Se sabe que la masa o volumen de beneficios en una economía en crecimiento, así como para cada empresa en general, tiene una tendencia a crecer en el corto y largo plazo, pero eso es compatible con la inexistencia de tendencia a largo plazo en la rentabilidad porcentual o tasa de ganancia de la empresa (y también con una tendencia a la baja de dicha rentabilidad media, a largo plazo). Pensamos que más bien la pauta de evolución a largo plazo de dicha rentabilidad responde a un comportamiento cíclico, como asimismo sucede con la rentabilidad de los diferentes sectores económicos y con la tasa de ganancia media del conjunto de la Economía [Guerrero, 2006].

Evidentemente, si el “B&H” se aplica a un largo periodo, la tendencia se hará cada vez más “independiente” de ese comportamiento cíclico. Pero si la duración de la inversión es más corta, similar digamos a la duración de un ciclo económico normal (de 7 a 10 años), la estrategia de “B&H”

dará resultados muy diferentes en función de cuál sea el momento elegido para su comienzo y finalización.

3. Pero lo más llamativo y que ni siquiera se aborda en esta literatura es la problemática que nos permite llegar a nuestra tercera conclusión. Qué tiene que decir la economía convencional cuando se trata de responder a las preguntas: ¿Es la Bolsa socialmente eficiente? ¿Es eficiente en el seno del modo de producción capitalista? ¿Es eficiente desde una perspectiva transistémica?

Si nos colocamos en la perspectiva “interna” a la sociedad capitalista, toda ella movida por las leyes de la acumulación de capital en primer lugar, la cuestión anterior equivale a preguntarse por la funcionalidad de la Bolsa como mecanismo fundamental hoy en día para dicha acumulación, y en particular por su aportación o no al proceso de centralización del capital que sirve crecientemente de base a dicha acumulación de capital. Desde este punto de vista, es obvio que el crecimiento de lo que podríamos llamar el “precio global de la Bolsa” está limitado por el precio de la masa de activos productivos que existen en una sociedad en su conjunto (es decir, la magnitud del capital productivo como parte de la Riqueza Nacional). Diríamos, más bien, “regulado”, no “limitado”. Porque precisamente, como ha señalado Chevalier en [Chevalier, 1970] y [Chevalier, 1976], lo que consigue el mecanismo

bursátil, desde un punto de vista social global, es acelerar el ritmo de la acumulación centralizada del capital, al permitir remunerar a los pequeños accionistas ajenos al ya citado “grupo de control” de la empresa a una tasa inferior a la media de la rentabilidad obtenida por la empresa y, por consiguiente, permite que la ganancia total –así como la fracción de ella que se invierte en nuevo capital productivo–, como flujo que llega a los propietarios y gestores de la empresa y cuyo uso sólo ellos deciden, crezca a un ritmo superior a la media.

En ese sentido, es obvio que la Bolsa es eficiente y desempeña un papel insustituible como medio de financiación de la expansión del sistema capitalista, que puede ir más allá del propio ritmo de expansión de la ganancia, incluso permitiendo que parte de lo que la clase capitalista ha pagado en forma de capital variable vuelva al circuito del capital productivo y, por esa vía, reingrese también al mercado financiero en cuanto corresponde a la ganancia que resulta de esa nueva producción.

Ahora bien, si adoptamos una perspectiva transistémica, la eficiencia social de la Bolsa tiene que ser puesta en entredicho con toda claridad. Como se ha visto en el capítulo 2, la demanda de cualquier mercado está determinada o condicionada no solo por el nivel de renta de los demandantes, sino por la distribución de la renta nacional entre todos ellos. Es bien conocido que Marx [Marx, 1867] criticó a John Stuart Mill

[Mill, 1848] por la artificial separación que este pretendía realizar entre “leyes de la producción” y “leyes de la distribución” del sistema capitalista.

Para Marx, las leyes de la distribución de cualquier sistema económico o modo de producción van necesariamente ligadas a las leyes de la producción social que rigen en esa Economía. Por otra parte, Marx insistió en que las propias leyes de la producción tenían su origen en las relaciones sociales en su conjunto, que quedan sintetizadas en lo que podríamos llamar “leyes de la propiedad”, y en especial de la propiedad de los propios medios de producción sociales. Por consiguiente, un sistema como el capitalista, donde la concentración y centralización creciente de la producción social significa una privatización cada vez mayor de la propiedad de esos medios de producción, tiene que resultar en la generación de unos resultados globales que estarán crecientemente concentrados en manos de unos pocos frente a la dispersión creciente de la propiedad del resto de la sociedad.

El creciente proceso de proletarización social así como la tendencia a la depauperación relativa (o aumento de la fracción de la renta nacional que representa el excedente de la producción) [Guerrero, 2006] viene a demostrar que también la renta se concentra más y más en una fracción cada vez más reducida de los agentes sociales. En esas condiciones, la demanda que se manifiesta en el mercado –en el mercado de cualquier

mercancía en general, y en el de ese tipo especial de mercancía que es el título financiero o la acción— tiene que ser una expresión de esas relaciones sociales de propiedad, producción y renta cada vez más desigualmente distribuidas. Si con una renta total de una magnitud dada se pueden comprar alternativamente dos coches normales o bien un coche de lujo, esa misma renta total puede que vaya dirigida a comprar dos coches normales o uno solo de lujo en función de las relaciones de propiedad que prevalezcan. El cambio en la distribución de la renta modifica el comportamiento de la demanda y hace que la composición de la oferta se adapte a la misma, generando por consiguiente una modificación también en la asignación de los factores y en la valoración relativa de los mismos.

Marx, y asimismo el enfoque heterodoxo inspirado en él que hemos aplicado a nuestra investigación, negaría la consideración única de la demanda existente como expresión de “las” necesidades sociales. Diría que estas últimas no están unívocamente definidas, que cada tipo de demanda efectiva realmente existente se corresponde con un tipo de relaciones de producción determinado y un conjunto específico de relaciones sociales en cada sociedad concreta. Por la misma razón, diríamos que la demanda que aparece en nuestro mercado de acciones no es la demanda social de esas “mercancías” (que al fin y al cabo es lo que son) sino la demanda que surge de una sociedad donde el funcionamiento básico viene explicado por la

obtención del beneficio privado y no por la expresión de las necesidades sociales de la población.

En esta medida, el que la Bolsa de acciones sirva para perfeccionar y desarrollar el funcionamiento de este tipo de sociedad no hace sino contribuir a desarrollar la eficiencia de la economía de mercado capitalista, un específico tipo de eficiencia social que estamos considerando como socialmente discutible. No se trata aquí de hacer ninguna propuesta, como la de sustituir la Bolsa “capitalista” por un sistema accionario de tipo distinto como el que proponen los marxistas analíticos [Roemer, 1982] y [Roemer, 1995], sino de comparar la existencia de los mercados financieros con los beneficios y costes que su desaparición tendría para la sociedad en su conjunto. Pero esto excede, lógicamente, los límites fijados para esta investigación.

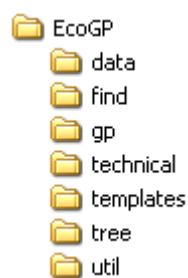
# Anejo A

## Algoritmo EcoGP

---

### A.1 Estructura

El algoritmo empleado en esta Tesis Doctoral se ha llamado EcoGP, y se ha organizado como un paquete sencillo con la estructura que se muestra en la figura 30. Para los nombres de las variables, de clases y paquetes, se ha utilizado el idioma inglés, para una futura difusión internacional del algoritmo:



**Figura 30. Estructura del paquete EcoGP**

El componente principal se encuentra en el subpaquete *find*, con la clase ejecutable *FindRules.java*. El resto de subpaquetes son auxiliares:

- *data* contiene las clases necesarias para el tratamiento de los datos de entrada.
- *gp*, las clases requeridas para todo el proceso de programación genética: generación de una población de árboles, y los operadores de cruce y mutación, así como el proceso necesario para realizar la evolución de las poblaciones.
- *technical*, las clases para el tratamiento de los árboles como transacciones.
- *templates*, contiene las definiciones de los operadores disponibles a la hora de formar nodos, con el número y tipo de argumentos.
- *tree* proporciona las clases para la conversión de las reglas en árboles.
- *util* tiene las clases de utilidades, para fechas, algoritmo de ordenación *quicksort*, y constantes, entre otras.

## A.2 Código principal

Se expone a continuación, como muestra del programa, un resumen del código principal, donde se han obviado la inicialización de algunas constantes u operaciones auxiliares, así como la generación de los árboles a partir de los operadores dados y la realización del proceso evolutivo:

```
// Al invocar el programa se dan valores para los periodos // de entrenamiento  
(t1, t2), y de selección (s1, s2)
```

```
// Lectura de los datos
```

```
StockMarketData smd = new StockMarketData();  
smd.read_data("ibex35-1990-2007-3meses.dat");
```

```
// Bucle para las pruebas
```

```
for (int trial = 0; trial < max_trials; trial++) {  
    // Comienzo del periodo de entrenamiento  
    // Creación de la población inicial  
    Pop pop = new Pop();  
    pop.create_population(population);  
    // Evolución de la población: bucle para las generaciones  
    for (int g = 0; g < generations; g++) {  
        // Bucle para los individuos  
        for (int i = 0; i < population.size; i++) {  
            if (g == 0)  
                offspring = i;  
            else  
                offspring = pop.evolve_offspring(population);
```

```
        Evaluation evaluation =
            pop.eval_genome(normalize, smd, t1, t2,
                delay, population.genome[offspring]);
// Ganancia de las transacciones propuestas por el
// algoritmo:
double raw = smd.compute_return(t1, t2,
    evaluation.n_trades,
    evaluation.trades, cost);
double buyAndHold = smd.compounded_return(t1,
    t2, cost);
double excess = raw - buyAndHold;
    population.genome[offspring].fitness =
        pop.fitness(offspring);
}

// Agrupar las reglas por aptitud en cluster
n_clusters = pop.cluster_population(population,
    cluster);

// Comienza el periodo de selección para los cluster
for (i = 0; i < n_clusters; i++) {
    Evaluation evaluationTraining =
        pop.eval_genome(normalize, smd, t1, t2,
            delay, cluster[i].genome);
    double rawTraining = smd.compute_return(t1,
        t2, evaluationTraining.n_trades,
        evaluationTraining.trades, cost);
    double buyAndHoldTraining =
        smd.compounded_return(t1, t2, cost);
    double excessTraining = rawTraining -
        buyAndHoldTraining;
```

```

Evaluation evaluationSelection =
    pop.eval_genome(normalize, smd,
        s1, s2, delay,
                                cluster[i].genome);
double rawSelection = smd.compute_return(s1,
    s2, evaluationSelection.n_trades,
    evaluationSelection.trades, cost);
double buyAndHoldSelection =
    smd.compounded_return(s1, s2, cost);
double excessSelection = rawSelection -
    buyAndHoldSelection;

    // Se salva la regla si el exceso en la selección // es igual o mayor en
    el entrenamiento
if !(excessSelection < excessTraining)
    pop.copy_genome(cluster[i].genome,
        saved[i].genome);
} // for generations

// Comienzo periodo de prueba
for (int i = 0; i < saved[i]; i++) {
    Evaluation evaluationTraining =
        pop.eval_genome(normalize, smd, t1,
            t2, delay, saved[i].genome);
    double rawTraining = smd.compute_return(t1, t2,
        evaluationTraining.n_trades,
            evaluationTraining.trades, cost);
    double buyAndHoldTraining =
        smd.compounded_return(t1, t2, cost);
    double excessTraining = rawTraining -

```

```
buyAndHoldTraining;

Evaluation evaluationSelection =
    pop.eval_genome(normalize, smd,
        s1, s2, delay, saved[i].genome);
double rawSelection = smd.compute_return(s1, s2,
    evaluationSelection.n_trades,
    evaluationSelection.trades, cost);
double buyAndHoldSelection =
    smd.compounded_return(s1, s2, cost);
double excessSelection = rawSelection -
    buyAndHoldSelection;

Evaluation evaluationTest =
    pop.eval_genome(normalize, smd, s2+1,
        smd.n_years-1, delay,
        saved[i].genome);
rawTest = smd.compute_return(s2+1, smd.n_years-1,
    evaluationTest.n_trades,
    evaluationTest.trades, cost);
buyAndHoldTest = smd.compounded_return(s2+1,
    smd.n_years-1, cost);
excessTest = rawTest - buyAndHoldTest;
} // for trials
```

## Bibliografía

1. [Abraham et al., 2001] A. Abraham, B. Nath y P. K. Mahanti. Hybrid Intelligent Systems for Stock Market Analysis. Computational Science, Springer-Verlag Alemania. N. Vassil et al. (eds.), pp. 337-345, 2001.
2. [Aiken y Bsat, 1999] M. Aiken y M. Bsat. Forecasting Market Trends with Neural Networks. Information Systems Management, 16 (4), pp. 42-48, 1999.
3. [Allen y Karjalainen, 1999] F. Allen and R. Karjalainen. Using genetic algorithms to find technical trading rules. Journal of Financial Economics, 51, pp. 245–271, 1999.
4. [Ariel, 1987] R. A. Ariel. A monthly effect in stock returns. Journal of Financial Economics, 18, pp. 161-174, 1987.
5. [Ariel, 1990] R. A. Ariel. High stock returns before holidays: existence and evidence on possible causes. Journal of Finance, 45, pp. 1611-1626, 1990.
6. [Aristóteles, 384-322 a.C.] Aristóteles. Política, I. 2, 3 y 5. Ediciones Istmo, 2005.
7. [Aumann, 1964] R. J. Aumann. Markets with a continuum of traders. Econometrica, 32, pp. 39-50, 1964.

8. [Bachelier, 1900] L. Bachelier. Théorie de la Spéculation. Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure, I I I -17, pp. 21-86, 1990.
9. [Balvers et al., 1990] R. J. Balvers, T. F. Cosimano y W. McDonald. Predicting Stock Returns in an Efficient Market. Journal of Finance, 45 (4), pp. 1109–1128, 1990.
10. [Banz, 1981] R. Banz. The relationship between return and market value of common stocks. Journal of Financial Economics, 9, pp. 3-18, 1981.
11. [Banzhaf et al., 1998], W. Banzhaf, P. Nordin, R. E. Keller y F. D. Francone, F.D. Genetic Programming: An Introduction: On the Automatic Evolution of Computer Programs and Its Applications. Morgan Kaufmann, 1998.
12. [Becker y Seshadri, 2003] L. A. Becker y M. Seshadri. GP-evolved technical trading rules can outperform buy and hold. En Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing. Septiembre 2003.
13. [Bhardwaj y Brooks, 1992] R. K. Bhardwaj y L.D. Brooks. The January anomaly: Effects of low share price, transaction costs, and bid-ask bias. Journal of Finance, 47, pp. 553-575, 1992.
14. [Boggio, 1985] L. Boggio. On the stability of production prices. Metroeconomica, 37 (3), pp. 241-267. Octubre, 1985.

15. [Böhm-Bawerk, 1899] E. von Böhm-Bawerk. *Capital and Interest*. Libertarian Press, 1959.
16. [Box y Jenkins, 1970], G. E. P. Box y G. M. Jenkins. *Time Series Analysis. Forecasting and Control*. San Francisco, Holden Day, 1970.
17. [Brealey y Myers, 1993] R. Bradley y S. Myers. *Fundamentos de Financiación Empresarial*. McGraw Hill. Madrid. (4ª ed.), pp. 343 - 376, 1993.
18. [Breen et al., 1990] W. Breen, L. R. Glosten y R. Jagannathan. Predictable variations in stock index returns. *Journal of Finance*, 44, pp. 1177–1189, 1990.
19. [Bridle, 1981] A. Bridle. *Genetic Algorithms for Function Optimization*. Tesis Doctoral. Universidad de Alberta, 1981.
20. [Brock et al., 1992] W. Brock, J. Lakonishok y B. Lefflaron. Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns. *Journal of Finance*, 5, pp. 1731-1766, 1992.
21. [Booker, 1982] L. B. Booker. *Intelligent Behavior as an Adaptation to the Task Environment*. Tesis Doctoral. Universidad de Michigan, 1982.
22. [Broyden, 1970] C. G. Broyden. The Convergence of a Class of Double-rank Minimization Algorithms. *Journal of the Institute of Mathematics and its Applications*, 6, pp. 76-90, 1970.

23. [Broyden, 1996] C. G. Broyden, A new taxonomy of conjugate gradient methods. *Computers and Mathematics with Applications*, 31 (4-5), pp. 7-17, 1996.
24. [C. W. J. Granger, 1992] C. W. J. Granger. Forecasting stock market prices: Lessons for forecasters. *International Journal of Forecasting*, 8 (1), pp. 3-13, 1992.
25. [Cadsby y Ratner, 1992] B. Cadsby y M. Ratner. Turn-of-month and pre-holiday effects on stock returns: Some international evidence. *Journal of Banking and Finance*, 16, pp. 497-509, 1992.
26. [Campbell, 1987] J. Y. Campbell. Stock returns and the term structure. *Journal of Financial Economics*, 18, pp. 373-399, 1987.
27. [Campbell et al., 1997] J. Y. Campbell, A. W. Lo y A. C. MacKinlay. *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton University Press, 1997.
28. [Chan et al., 2000] M-C. Chan, C-C Wong y C-C Lam. Financial Time Series Forecasting by Neural Network Using Conjugate Gradient Learning Algorithm and Multiple Linear Regression Weight Initialization. *Series Computing in Economics and Finance*, Society for Computational Economics, 61, 2000.
29. [Chen, 1988] P. Chen. Empirical and Theoretical Evidence of Economic Chaos. *System Dynamics Review*, 4, pp. 81-108, 1988.

30. [Chen, 2003] H. Chen. Equity premium prediction and investment strategy searching with genetic programming. Technical report, Faculty of Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Leiden, julio 2003.
31. [Chevalier, 1970] J. M. Chevalier. La structure financière de l'industrie américaine. Cujas, París, 1970.
32. [Chevalier, 1976] J. M. Chevalier. L'économie industrielle en question. Calmann-Levy, París, 1976 (La economía industrial en cuestión, Blume, Madrid, 1979)
33. [Clark, 1899] J. B. Clark. The distribution of wealth. MacMillan Londres, 1899.
34. [Clifton 1977] J. A. Clifton. Competition and the evolution of the capitalist mode of production. Cambridge Journal of Economics, 1 (2), pp. 137-151, junio 1977.
35. [Clifton, 1983] J. A. Clifton. Administered prices in the context of capitalist development. Contributions to Political Economy, 2, pp. 23-38, 1983.
36. [Cootner, 1962] P. H. Cootner. Stock Prices: Random vs. Systematic Changes. Industrial Management Review, 3, pp.24-45, 1962.
37. [Cournot, 1838] A. A. Cournot. Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth. Macmillan, 1927.

38. [De Jong, 1975] A.K. De Jong. An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems. Tesis Doctoral. Universidad de Michigan, 1975.
39. [Devaney, 1984] R. L. Devaney. An Introduction to Chaotic Dynamical Systems. Addison Wesley, 1984.
40. [Diebold y Nason, 1990] F. Diebold y J. A. Nason. Nonparametric exchange rate prediction. *Journal of International Economics*, 28, pp. 315–332, 1990.
41. [Duménil y Lévy, 1984] G. Duménil y D. Lévy. The Dynamics of Competition: a restoration of the Classical analysis. CEPREMAP, N° 8416, París, 1984.
42. [Dutta et al., 2006] G. Dutta, P. Jha, A. K. Laha y N. Mohan. Artificial Neural Network Models for Forecasting Stock Price Index in the Bombay Stock Exchange. *Journal of Emerging Market Finance*, 5 (3), pp. 283-295, 2006.
43. [Eatwell, 1982] J. Eatwell. Competition. En *Classical and Marxian Political Economy: Essays in Memory of R. Meek*. I. Bradley y M. Howards (eds.). Macmillan, 1982.
44. [Eleswarapu y Reinganum, 1993] V. R. Eleswarapu y M.R. Reinganum. The seasonal behavior of the liquidity premium in asset pricing. *Journal of Financial Economics*, 34, pp. 373-386, 1993.

45. [Elster y Neumaier, 1995] C. Elster y A. Neumaier. A grid algorithm for bound constrained optimization of noisy functions. *IMA Journal of Numerical Analysis*. Oxford University Press, 15, pp. 585-608, 1995.
46. [Engle et al., 1987]. R. F. Engle, D. M. Lilien y R. P. Robins. Estimating Time-varying Risk Premia in the Term Structure: The ARCH-M Model. *Econometrica*, 55, pp. 391–408, 1987.
47. [Engle, 1982] R. F. Engle. Autorregresive Conditional Heterocedasticity with Estimates of the Variance of the U.K. Inflation. *Econométrica*, 50, pp. 987-1008, 1982.
48. [Fama, 1965] E. F. Fama. The Behavior of Stock Market Prices. *Journal of Business*, 38, pp. 34-105, 1965.
49. [Fama, 1970] E. F. Fama Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance*, 25 (2), 1970.
50. [Fama y French, 1989] E. F. Fama y K. R. French. Business conditions and expected returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics*, 19, pp. 3–30, 1989.
51. [Fama y French, 1995] E. F. Fama y K. R. French. Size and book-to-market factors in earnings and returns, *Journal of Finance*, 50, pp. 131-155, 1995.
52. [Farmer y Sidorowich, 1987] J. D. Farmer y J. Sidorowich. Predicting chaotic time series. *Physical Review Letters*, 59, pp. 845–848, 1987.

53. [Fernández et al., 2001] F. Fernández Rodríguez, C. González Martel y S. Sosvilla Rivero. Optimization of technical rules by genetic algorithms: Evidence from Madrid stock market. Documento de trabajo 2001-14. Fundación de Estudios de Economía Aplicada, 2001.
54. [Ferson y Harvey, 1991] W. E. Ferson y C. R. Harvey. The variation of economic risk premiums. *Journal of Political Economy*, 99, pp. 385-415, 1991.
55. [Ferson y Harvey, 1993] W. E. Ferson y C.R. Harvey. The Risk and Predictability of International Equity Returns. *The Review of Financial Studies*, 6 (3), pp. 257-556, 1993.
56. [Fisher, 1930] I. Fisher. *The Theory of Interest*. The Macmillan Company, Nueva York, 1930.
57. [Flaschel y Semmler, 1987] P. Flaschel y W. Semmler. Classical and neoclassical competitive adjustment processes. The Manchester School of Economic and Social Studies, 1987.
58. [Fletcher y Powell, 1963] R. Fletcher y M. J. D. Powell. A rapidly convergent descent method for minimization. *Computer Journal*, 6, pp. 163-168, 1963.
59. [Fliege y Fux, 2000] J. Fliege y B. Fux. Steepest Descent Methods for Multicriteria Optimization. *Mathematical Methods of Operations Research*, 51 (3), pp. 479–494, 2000.

60. [Friedman, 1982] J. Friedman. Oligopoly theory. En Handbook of Mathematical Economics. K. J. Arrow y M. D. Intriligator (eds.), North-Holland, II, 1982.
61. [Garegnani, 1976] P. Garegnani. On a change in the notion of equilibrium in recent work on value and distribution; a comment on Samuelson. En Essays in Modern Capital Theory. M. Brown, K. Sato y P. Zarembka (eds.), North-Holland, 1976.
62. [Glover y Laguna, 1997] F. W. Glover y M. Laguna. Tabu Search. Kluwer Academic Publishers, 1997.
63. [Golberg, 1989] D. E. Goldberg. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading, Massachusetts. Addison-Wesley, 1989.
64. [Gordon, 1959] M. Gordon. Dividends, earnings and stock prices. Review of Economics and Statistics, 41 (2) I, pp. 99-105, mayo 1959.
65. [Granger, 1993] W. J. C. Granger. What Are We Learning about the Long-Run?. Economic Journal, Royal Economic Society, 103 (417), pp. 307-317, marzo 1993.
66. [Greene, 2003] W. Greene. Econometric Analysis. Prentice Hall (5<sup>a</sup> ed.), 2003.

67. [Grossberg, 1976] S. Grossberg. Adaptive pattern classification and universal recoding: I. Parallel development and coding of neural feature detectors. *Biological Cybernetics*, 23, pp. 121-134, 1976.
68. [Grossman y Stiglitz, 1980] J. S. Grossman y J. E. Stiglitz. On the Impossibility of Informationally Efficient Markets. *The American Economic Review*, 70 (3), pp. 393–408, 1980.
69. [Guerrero, 1995] D. Guerrero. *Competitividad: teoría y política*. Ariel, 1995.
70. [Guerrero, 2003] D. Guerrero, Capitalist competition and the distribution of profits, en A. Saad-Filho (ed. 2003): *Anti-Capitalism: A Marxist Introduction*, Londres: Pluto Press, pp. 73-81, 2003.
71. [Guerrero, 2004] D. Diego. *Economía no liberal para liberales y no liberales*. Edición electrónica ([www.eumed.net/cursecon/libreria/](http://www.eumed.net/cursecon/libreria/)), 2004.
72. [Guerrero, 2006] D. Guerrero. *La explotación. Trabajo y capital en España (1954-2001)*. Barcelona, El Viejo Topo, 2006.
73. [Hamilton, 1922] W. P. Hamilton. *The stock market barometer*. John Wiley and Sons, 1998 (1ª edición: 1922)
74. [Hebb, 1949] D. O. Hebb. *The Organization of Behavior*. New York, Wiley, 1949.

75. [Hellström y Holmström, 1997] Predicting the Stock Market. T. Hellström y K. Holmström. Technical Report Series IMA-TOM-1997-07, Universidad de Mälardalen, 1998.
76. [Hicks, 1939] J. R. Hicks. Value and Capital. Clarendon Press, 1939.
77. [Holland, 1975] J. H. Holland, Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
78. [Hopfield y Tank, 1986] J.J. Hopfield y D.W. Tank. Computing with neural networks: a model. Science, 233, pp. 625-632, 1986.
79. [Jaditz y Sayers, 1998] T. Jaditz y C. L. Sayers. Out of sample forecast performance as a test for nonlinearity in time series. Journal of Business & Economics Statistics, 16, pp. 110–117, 1998.
80. [Jasic y Wood, 1994] T. Jasic y D. Wood. The Profitability of Daily Stock Market Indices Trades Based on Neural Network Predictions: Case Study for the S&P 500, the DAX, the TOPIX and the FTSE in the Period 1965–1999. Applied Financial Economics, 14 (4), pp. 285–297, 2004.
81. [Jensen, 1978] M. Jensen. Some anomalous evidence regarding market efficiency. Journal of Financial Economics, 6, pp. 95– 101, 1978.
82. [Jevons, 1871] W. S. Jevons. The Theory of Political Economy, 20<sup>a</sup> ed. ampliada y revisada, Macmillan, Londres, 1979 (Teoría de la economía política, FCE, México, 1966)

83. [Kassicieh et al., 1997] S. K. Kassicieh, T. L. Paez y G. Vora. Investment Decisions Using Genetic Algorithms. En Proceedings of the Thirtieth Hawaii International Conference on System Sciences 5, pp. 484-490, enero 1997.
84. [Kendall, 1953] M. G. Kendall. The Analysis of Economic Time Series. Journal of the Royal Statistical Society. Serie A, 96, pp. 11-25, 1953.
85. [Keynes, 1936] J. M. Keynes. La teoría general del empleo, el interés y el dinero. Ediciones Aosta, 1998.
86. [Kirkpatrick et al., 1983] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt Jr., y M. P. Vecchi. Optimization by Simulated Annealing. Science, 220, pp. 671-680, 1983.
87. [Kliman, 2007] A. Kliman. Reclaiming Marx's Capital. A Refutation of the Myth of Inconsistency. Lexington Books, 2007
88. [Kohonen y Oja, 1976] T. Kohonen y E. Oja, Fast adaptive formation of orthogonalizing filters and associative memory in recurrent networks of neuron-like elements. Biological Cybernetics, 21, pp. 85-95, 1976.
89. [Koza, 1992] J. Koza. Genetic Programming: On the Programming of Computers By the Means of Natural Selection. MIT Press, 1992.

90. [Kuo et al., 1996] R. J. Kuo, L. C. Lee y C. F. Lee. Integration of Artificial Neural Networks and Fuzzy Delphi for Stock Market Forecasting. En Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 1073-1078, junio 1996.
91. [Langdon y Poli, 2002] W. B. Langdon y R. Poli. Foundations of Genetic Programming. Springer-Verlag, 2002.
92. [La Porta et al., 1997] R. La Porta, J. Lakonishok, A. Shliefer y R. Vishny. Good news for value stocks: Further evidence on market efficiency. *Journal of Finance*, 52, pp. 859-874, 1997.
93. [Lakonishok y Smidt, 1988] J. Lakonishok y S. Smidt. Are seasonal anomalies real? A ninety-year perspective. *Review of Financial Studies*, 1, pp. 403-425, 1988.
94. [Lebaron, 1990] B. Lebaron. Technical Trading Rules and Regime Shifts in Foreign Exchange. Documento de trabajo. Universidad of Wisconsin-Madison, 1990.
95. [LeRoy, 1989] S. LeRoy. Efficient Capital Markets and Martingales. *Journal of Economic Literature*, 27, pp. 1583-1621, 1989.
96. [Levenberg, 1944] K. Levenberg. A method for the solution of certain problems in least squares. *SIAM Journal of Numerical Analysis*, 16, pp. 588-604, 1944.

97. [Levich y Thomas, 1993] R. M. Levich y R. L. Thomas. The Significance of Technical Trading-rule Profits in the Foreign Exchange Market: a bootstrap approach. *Journal of International Money and Finance*, 12, pp. 451-474, 1993.
98. [Li y Tsang, 1999] J. Li y E. P. K. Tsang. Improving technical analysis predictions: an application of genetic programming. En *Proceedings of the Florida Artificial Intelligence Research Symposium*, EE.UU., 1999.
99. [Lo y MacKinlay, 1990] A. W. Lo y A. C. MacKinlay. Data snooping biases in test of financial asset pricing models. *The Review of Financial Studies*, 3, pp. 431-467, 1990.
100. [Lo y MacKinlay, 1999] A. W. Lo y A. C. MacKinlay. *A Non-Random Walk Down Wall Street*. Princeton University Press, 1999.
101. [Maddala, 2001] G. S. Maddala. *Introduction to econometrics* (3ª ed.). Wiley, 2001.
102. [Malkiel, 1992] B. G. Malkiel. *Efficient market hypothesis*. New Palgrave Dictionary of Money and Finance. Macmillan, 1992.
103. [Malkiel, 2003] B. G. Malkiel. The Efficient Market Hypothesis and Its Critics. *The Journal of Economic Perspectives*, 17 (1), 1, pp. 59-82, marzo 2003.

104. [Mandelbrot, 1963] B. B. Mandelbrot. The Variation of Certain Speculative Prices. *Journal of Business*, 36, pp. 392-417, 1963.
105. [Mannino y Sassano, 2003] C. Mannino y A. Sassano. An enumerative algorithm for the frequency assignment problem. *Discrete Applied Mathematics*, 129, pp. 155-169, 2003.
106. [Markowitz, 1991] H. Markowitz. Foundations of Portfolio Theory. *Journal of Finance*, 46 (2), pp. 469–477, 1991.
107. [Marquardt, 1963] D. Marquardt. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 11, pp. 431-441, 1963.
108. [Marshall, 1890] A. Marshall. *Principles of Economics*, MacMillan (Principios de Economía, Aguilar, Madrid, 1957)
109. [Martel y Rodríguez, 2002] C. G. Martel y F. F. Rodríguez. La creación de nuevas reglas técnicas en el IGBM mediante la programación genética. X Jornadas de la asociación española de profesores universitarios de matemáticas para la economía y la empresa, 2002.
110. [Marx, 1867] K. Marx. *El Capital. Crítica de la Economía Política. Libro I, Siglo XXI, Madrid, 1978.*
111. [Marx, 1894] K. Marx. *El Capital. Crítica de la Economía Política. Libro III, Siglo XXI, Madrid, 1979.*

112. [McCulloch y Pitts, 1943] W. S. McCulloch y W. Pitts. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, pp. 115-133, 1943.
113. [McNulty, 1968] P. J. McNulty. Economic theory and the meaning of competition. *Quarterly Journal of Economics*, 82, pp. 639-656, noviembre 1968.
114. [Michalewicz, 1992] Z. Michalewicz. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer-Verlag, 1992.
115. [Mill, 1844] J. S. Mill. *Principles of Political Economy*. Logmans, Green & Company, 1844 (reimpreso en 1909)
116. [Mill, 1948] J. S. Mill. *Principles of Political Economy with Some of Their Applications to Social Philosophy*, 1948 (reimpreso por Routledge and Kegan Paul, Londres, 1965 y *Principios de economía política con algunas de sus aplicaciones a la filosofía social*, Fondo de Cultura Económica, México, 1951)
117. [Mill, 1993] T. Mills. *The Econometric Modelling of Financial Time Series*. Cambridge University Press, 1993.
118. [Minsky y Papert, 1969] M. Minsky y S. Papert, *Perceptrons*. MIT Press, 1969.
119. [Montchrestien, 1889] A. de Montchrestien, *Traité de l'économie politique*. Paris, 1889.

120. [Neely, 2001] C. J. Neely. Risk-adjusted, ex ante, optimal, technical trading rules in equity markets. Technical report, Federal Reserve Bank of St. Louis., 2001.
121. [Nelson, 1903] S. A. Nelson. The ABC of stock speculation. Ed. Wells, Vt., Fraser Pub. Co., 1964 (Primera edición: 1903)
122. [Ni y Zhang, 2006] J. Ni y C. Zhang. Mining Better Technical Trading Strategies with Genetic Algorithms. Actas del International Workshop on Integrating AI and Data Mining (AIDM'06), pp. 26-33, 2006.
123. [Niderhoffer y Osborne, 1966] V. Niderhoffer y M. F. M. Osborne. Market Making and Reversal of The Stock Exchange. Journal of American Statistic Association, 61, pp. 897-916, 1966.
124. [Nikaido, 1983] H. Nikaido. Marx on competition. Zeitschrift für Nationalökonomie, 43 (4), pp. 337-362, 1983.
125. [Novales, 1993] A. Novales. Econometría (2ª Ed.) McGraw-Hill, 1993.
126. [Núñez, 2002] L. Nuñez. An analysis of the robustness of Genetic Algorithm (GA) methodology in the design of trading systems for the Stock Exchange. Computing in Economics and Finance, 29, 2002.
127. [Okishio, 1961] N. Okishio. Technical changes and the rate of profit. Kobe University Economic Review, 7, pp. 85-99, 1961.

128. [Pesaran y Timmermann, 1994] H. M. Pesaran y A. Timmermann. Forecasting stock returns: An examination of stock market trading in the presence of transaction costs. *Journal of Forecasting*, 13, pp 335-367, 1994.
129. [Pesaran y Timmermann, 1995] M. H. Pesaran y A. Timmerman. Predictability of stock returns: robustness and economic significance. *Journal of Finance*, 50, pp. 1201–1228, 1995.
130. [Pesaran y Timmermann, 2000] M. H. Pesaran y A. Timmerman. A recursive modelling approach to predicting UK stock returns. *Economic Journal*, Royal Economic Society, 110 (460), pp. 159-191, enero 2000.
131. [Pictet et al., 1995] O. V. Pictet, M. M. Dacorogna, B. Chopard, M. Oussaidene, R. Schirru y M. Tomassini. Using genetic algorithms for robust optimization in financial applications. En *Proceedings of the 5th International Workshop on Parellel Applications in Statistics and Economics*, 5, pp. 573-587, 1995.
132. [Plummer, 1989] T. Plummer. *Forecasting Financial Markets: The Truth Behind Technical Analysis*. Kogan Page, 1989.
133. [Rhea, 1932] R. Rhea. *The Dow theory* (1ª edición: 1932)
134. [Ricardo, 1817] D. Ricardo. *Principios de Economía Política y Tributación*, Ayuso, Madrid, ed. M. Román, 1973.

135. [Roberts, 1967] H. Roberts. Statistical versus Clinical Prediction of the Stock Market. Documento no publicado, citado por [Brealey y Myers, 1993]
136. [Roemer, 1979] J. E. Roemer. Continuing controversy on the falling rate of profit: fixed capital and other issues. *Cambridge Journal of Economics*, 3 (4), pp. 379-398, diciembre 1979.
137. [Roemer, 1982] J. E. Roemer. Property rights (ó relations) versus surplus value in marxian exploitation. *Philosophy and Public Affairs*, 11 (4), pp. 281-313, otoño 1982.
138. [Roemer, 1995] J. E. Roemer. Limited privatization in the presence of public bads. En Roemer (ed.): *Property Relations, Incentives and Welfare*, Macmillan, Nueva York, 1995.
139. [Rosenblatt, 1958] F. Rosenblatt. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65, pp. 386-408, 1958.
140. [Ross, 1976] S. A. Ross. The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing. *Journal of Economic Theory*, 13, pp. 341-360, 1976.
141. [Rozeff y Kinney, 1976] M. S. Rozeff y W.R. Kinney. Capital market seasonality: The case of stock returns, *Journal of Financial Economics*, 3, pp. 379-402, 1976.

142. [Rumelhart et al., 1986] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, y R. J. Williams. Learning Internal Representations by Error Propagation. *Parallel Distributed Processing*, 1, Ed. D. E. Rumelhart y J. L. McClelland, pp. 318-362, MIT Press, 1986.
143. [Samuelson, 1965] P. A. Samuelson. Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly. *Industrial Management Review*, 6, pp. 41-49, 1965.
144. [Schumpeter, 1942] J. A. Schumpeter. *Capitalism, Socialism, Democracy*, Nueva York (Capitalismo, socialismo y democracia, Aguilar, México, 1963 (3ª ed.))
145. [Semmler, 1982] W. Semmler. Competition, monopoly and differential profit rates: theoretical considerations and empirical evidence. *Review of Radical Political Economics*, 13 (4), pp. 39-52, otoño 1982.
146. [Semmler, 1984] W. Semmler. Competition, Monopoly and Differential Profit Rates. *On the Relevance of the Classical and Marxian Theories of Production Prices for Modern Industrial and Corporate Pricing*, Columbia University Press, 1984.
147. [Shaikh, 1978] A. Shaikh. An introduction to the history of crisis theories, en *U. S. Capitalism in Crisis*, URPE, Nueva York, 1978.

148. [Shaikh, 1980] A. Shaikh. Marxian Competition versus Perfect Competition: Further Comments on the So-called Choice of Technique. *Cambridge Journal of Economics*, 4 (1), pp. 75-83, 1980.
149. [Shaikh, 1995] A. Shaikh. The stock market and the corporate sector: a profit base approach. Working papers. The Jerome Levy Economic Institute, 146, septiembre, 1995.
150. [Sharpe, 1964] W. F. Sharpe. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Condition of Risk. *Journal of Finance*, 19 (4), pp. 425-442, 1964.
151. [Shleifer, 2001] A. Shleifer. *Inefficient Markets: An Introduction to Behavioural Finance*. Oxford University Press, 2001.
152. [Smith, 1776] A. Smith. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, W. Strahan and T. Cadell, Londres (Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones, Fondo de Cultura Económica, México, 1980)
153. [Soofi y Cao, 1999] A. S. Soofi y L. Cao. Nonlinear deterministic forecasting of daily pesetadollar exchange rate. *Economic Letters*, 62, pp. 175–180, 1999.
154. [Sraffa, 1960] P. Sraffa. *Production of commodities by means of commodities*. Cambridge University Press, 1960.

155. [Steedman, 1984] I. Steedman. Natural prices, differential profit rates, and the classical competitive process. *The Manchester School of Economic and Social Studies*, 52 (2), pp. 123-140, junio 1984.
156. [Steiner y Wittkemper, 1996] M. Steiner y H. G. Wittkemper. Neural networks as an alternative stock market model. En Refenes, A. P. *Neural networks in the capital markets*. John Wiley & Sons, pp. 137-149, 1996.
157. [Stengos, 1996] T. Stengos. Nonparametric forecasts of gold rates of return, in Barnett W., Kirman A. y Salmon M. (eds.), *Nonlinear Dynamics and Economics*, pp. 393-406, 1996.
158. [Stigler, 1957] G. J. Stigler. Perfect competition, historically contemplated. *Journal of Political Economy*, 65 (1), pp. 1-17, febrero 1957.
159. [Tomás de Aquino, 1265-1272] Tomás de Aquino. *Suma de Teología*, II. Biblioteca de Autores Cristianos, 2005.
160. [Tsang et al., 1998] E. P. K. Tsang, J. Li y J. M. Butler. Eddie beats the bookies. *International Journal of Software, Practice and Experience*, 28 (10), pp. 1033–1043, 1998.
161. [Walras, 1874] L. Walras. *Elements of Pure Economics*. Allen & Unwin, 1954.

162. [White, 1988] H. White. Economic Prediction Using Neural Networks: The Case of IBM Daily Stock Returns. En Proceedings of the Second Annual IEEE Conference on Neural Networks, II, pp. 451-458, 1988.
163. [Wicksell, 1901] K. Wicksell. Lectures on Political Economy. Ed. L. Robbins. Routledge and Kegan Paul, 1934.
164. [Widrow y Hoff, 1960] B. Widrow y M.E. Hoff. Adaptive switching circuits. IRE WESCON Convention Record, 4 (96), pp. 93-104, 1960.
165. [Williams, 1938] J. B. Williams. The Theory of Investment Value. Harvard University Press, 1938.
166. [Ziemba, 1991] W. T. Ziemba. Japanese security market regularities: monthly, turn-of-the-month and year, holiday and Golden Week effects. Japan and the World Economy, 3, pp. 119-146, 1991.