FACULTAD DE TURISMO Y FINANZAS

GRADO EN FINANZAS Y CONTABILIDAD

MODELO CAPM: APLICACIÓN AL MERCADO BURSÁTIL ESPAÑOL

Trabajo Fin de Grado presentado por Rocío Cabrera Oliva, siendo el tutor del mismo el profesor José Manuel Gavilán Ruiz.

Vº. Bº. del Tutor: Alumno/a:

D./Dña. D./Dña.

Sevilla. Noviembre de 2021

GRADO EN FINANZAS Y CONTABILIDAD

FACULTAD DE TURISMO Y FINANZAS

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO ACADÉMICO 2021-2022

TÍTULO:

MODELO CAPM: APLIACIÓN DEL MERCADO BURSÁTIL ESPAÑOL

AUTOR:

ROCÍO CABRERA OLIVA

TUTOR:

D. JOSÉ MANUEL GAVILÁN RUIZ

DEPARTAMENTO:

DEPARTAMENTO ECONOMÍA APLICADA I

ÁREA DE CONOCIMIENTO:

MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA

RESUMEN:

El objetivo del presente trabajo es realizar una aplicación práctica del modelo CAPM en el mercado bursátil español, valorando el exceso de rendimiento de las acciones de las empresas Telefónica, Santander e Iberdrola respecto al exceso de rendimiento del mercado, medido a través del índice bursátil IBEX 35. Se usan datos mensuales desde abril de 2000 hasta septiembre de 2021; Los cálculos y representaciones gráficas se han realizado a través de la aplicación Excel. Previamente, se realiza un repaso de la teoría fundamental de carteras con el objetivo de conocer los conceptos básicos, y cómo surgieron.

PALABRAS CLAVE:

Exceso de rendimiento; riesgo; rentabilidad; CAPM; activos

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia y hasta llegar a día de hoy, el objetivo principal de cualquier inversor ha sido, y es, formar una cartera óptima de activos que le proporcione el máximo rendimiento asumiendo el menor riesgo posible. Por ello, autores como Markowitz, Sharpe o Lintner trabajaron en el desarrollo y la creación de modelos financieros capaces de conseguir carteras óptimas que proporcionen una buena descripción del comportamiento de las acciones para alcanzar la mayor rentabilidad esperada.

El presente trabajo hace un breve recorrido por la creación de dichos modelos, con el fin de poner en contexto al lector y aclarar ciertos factores que influyen en la elección de una cartera de activos. Posteriormente, se desarrolla un modelo financiero muy utilizado actualmente para la consecución de este objetivo, el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) junto a una aplicación práctica al mercado bursátil español. En ella, se estudia las variaciones de los excesos de rendimiento de las acciones frente a las variaciones de los excesos de rendimiento del mercado de tres empresas españolas que cotizan en Bolsa, Telefónica, Santander e Iberdrola.

Para realizar una estimación del modelo CAPM en mercado bursátil español, los datos de cotización de las acciones de estas tres multinacionales, así como del índice bursátil español, IBEX 35, han sido tomados de la página web Yahoo Finance. En lo que respecta a los datos de cotización de las Letras del Tesoro, han sido obtenidas de la página web del Banco de España.

La aplicación práctica contiene un total de 257 rendimientos comprendidos en el periodo de abril del 2000 a septiembre de 2021, y se ha realizado a través del programa de hojas de cálculo Microsoft Excel.

La estructura del trabajo está dividida en seis secciones:

- La primera sección, se dedica a la presente breve introducción acerca de este trabajo.
- En la segunda sección, se desarrolla el marco teórico dónde se explican algunos conceptos básicos de la teoría de carteras y se realiza un breve recorrido por los modelos teóricos de carteras.
- En la tercera, se explica teóricamente el modelo CAPM.
- En la cuarta, se realiza un análisis exploratorio de los datos a estudiar en la aplicación práctica.
- En la quinta sección, se desarrolla la aplicación práctica del modelo CAPM estimando los modelos propuestos.
- Finalmente, en la sexta sección se exponen las conclusiones alcanzadas con el presente trabajo.

2 MARCO TEÓRICO

En la versión más clásica del modelo de valoración de activos de capital (CAPM), sus creadores Sharpe (1964) y Lintner (1965) postulan que la rentabilidad esperada de un activo debe ser una función lineal positiva de la beta o riesgo sistemático. Se fundamenta en la teoría de carteras y toma como base los fundamentos señalados por Markowitz (1952), indicando que una de las hipótesis de partida corresponde al equilibrio de mercado, pues se encuentra fundamentado en mercados de competencia perfecta. Dicha teoría tiene como base el comportamiento racional del inversor, que le lleva a buscar aquella cartera óptima que permita conseguir la máxima rentabilidad para un determinado riesgo, o reducir al máximo el riesgo con el que puede obtener una rentabilidad determinada.

2.1 RENDIMIENTO DE MERCADO Y ACTIVOS FINANCIEROS

El mercado de valores abarca una gran cantidad de títulos que ofrecer a los inversores, pero esto les supone tener que lidiar con una gran incertidumbre, al desconocer el riesgo asociado a cada título. Por ello, el objetivo del inversor es formar una agrupación de títulos, según sus preferencias y aversión al riesgo, que se ajusten a su objetivo de inversión. Estas agrupaciones se denominan carteras y se forman tras el análisis, por parte del inversor, de cada título del mercado, en cuanto a su rentabilidad y nivel de riesgo. Además, el inversor dispone de un determinado capital destinado a ello el cual debe invertir de forma que, en relación al riesgo que soporte la inversión, obtenga la mayor rentabilidad posible.

Otro de los factores a tener en cuenta por parte del inversor es el rendimiento de mercado (r_m) que se define como la variación experimentada por el índice bursátil que lo representa durante un determinado período de tiempo y cuya expresión matemática es:

$$\boldsymbol{r_m = r_f + Prima\,por\,riesgo}$$

El rendimiento de la cartera de mercado va a depender principalmente de la prima de riesgo y de la tasa de interés de libre de riesgo. La prima de riesgo se define como “una recompensa o “prima” que se le concede al inversor por invertir en un activo con riesgo en vez de invertir en uno con menos riesgo” (Sevilla, 2012). Normalmente, es utilizada para comparar la rentabilidad de un activo con riesgo con la del activo libre de riesgo. Por otro lado, la tasa de interés libre de riesgo (r_f) es utilizada para referirse a la rentabilidad obtenida en aquellos activos considerados totalmente seguros, ya que no existe riesgo de insolvencia y su vencimiento es a corto plazo; es el caso de las Letras del Tesoro, siendo el activo más seguro que existe.

Para gestionar planes de inversión, los agentes económicos basan sus decisiones en las tres características principales de los activos financieros: liquidez, rentabilidad y riesgo, apoyándose principalmente en la rentabilidad a esperar en la inversión, así como en el nivel de riesgo que están dispuestos a afrontar.

Dichas características presentan distintos grados en función del tipo de activo financiero, teniendo además una fuerte relación entre ellas.

La liquidez de un activo viene determinada por la capacidad de éste en convertirse en dinero en un período corto de tiempo, sin sufrir pérdidas.

La rentabilidad mide la capacidad de generar intereses u otros rendimientos al inversor, como contraprestación por el riesgo que supone la obtención del título. Para el cálculo de ésta, suelen ser usados los rendimientos logarítmicos, que se calculan como:

$$\boldsymbol{R_t = \log(P_t) - \log(P_{t-1})}$$

El riesgo hace referencia a la incertidumbre ocasionada por las posibles variaciones de los valores de un activo derivadas de las fluctuaciones y variaciones del mercado; por tanto, el inversor se verá afectado por la volatilidad de los activos y de los tipos de interés. Para medir el riesgo, se usa la varianza de los rendimientos durante los diferentes períodos y su expresión es la siguiente:

$$\boldsymbol{\sigma^2 = \frac{\sum_{t=1}^{n} |R_t - \bar{R}|^2}{n}}$$

La variabilidad de las acciones se define como la capacidad de estas para cambiar su valor repentinamente por lo que serán más arriesgadas aquellas que tengan una variabilidad mayor, definiendo así este factor como la clave para medir el riesgo.

Dadas las condiciones de incertidumbre que suponen las inversiones en activos, es necesario el uso de las probabilidades. En general, los rendimientos de una inversión se suelen suponer distribuidos según una distribución normal, donde se utilizan como parámetros la media (para el cálculo de la rentabilidad) y la varianza (para el cálculo del riesgo).

Los rendimientos esperados por el inversor se determinan por la expresión:

$$\boldsymbol{E\,(R_t) = \sum_{i=1}^{n} R_{it} \cdot p(R_i)}$$

Donde**:**

- **E (**$\boldsymbol{R_t}$) **:** es el rendimiento esperado en el momento t
- $\boldsymbol{R_{it}}$ **:** representa los diferentes valores que pueden tomar los rendimientos del activo i en el tiempo t
- **P (**$\boldsymbol{R_i}$) **:** es la probabilidad de que se produzca dicho evento

El riesgo se determina por la expresión:

$$\sigma^2 = Var\,(R_t) = \sum_{i=1}^{n} |R_{it} - E\,(R_t)\,|^2 \cdot p(R_i)$$

A la hora de invertir, los inversores deben de tener también en consideración la diversificación de su cartera con el objetivo de reducir el riesgo total de esta. La diversificación consiste en formar una cartera con diferentes tipos de activos, activos de diversa naturaleza, origen y sector.

En este caso, la variabilidad de la cartera en sí no refleja una variabilidad-media de los activos que la componen ya que el valor de las acciones no evoluciona en el mismo sentido pues no existe una correlación perfecta. La ventaja que proporciona la diversificación es que, si una de las acciones sufre una caída en sus precios, ésta puede compensarse con un aumento del resto de la cartera, reduciendo por lo tanto la pérdida potencial.

El objetivo del inversor es minimizar el riesgo que pueda llegar a sufrir en sus operaciones para obtener una determinada rentabilidad, y para ello es necesario conocer los riesgos al que éste se encuentra expuesto. La diversificación los divide en dos:

- **Riesgo sistemático**, de mercado o no diversificable. Está formado por todos los factores derivados de la dinámica del mercado (recesión de la economía, intervención del banco central, etc.) que afectan a la rentabilidad de la inversión. Todos los activos que coticen en el mismo mercado están afectados por dicho riesgo.
- **Riesgo específico**, propio o diversificable. Es la parte del riesgo debida al propio título, con independencia del mercado y que se puede evitar con una correcta diversificación.

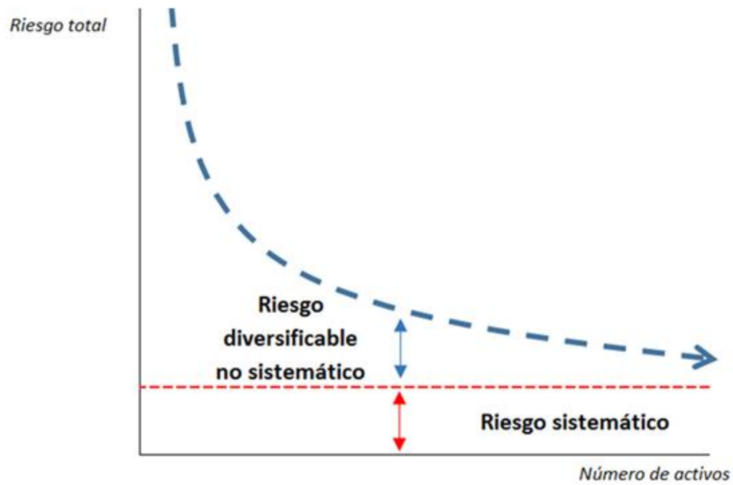

Figura 2.1. Tipos de riesgo

Fuente: Value4all (2020). Para minimizar los riesgos: diversificar.

La Figura 2.1. muestra los dos tipos de riesgo definidos anteriormente y representa cómo la diversificación puede reducir hasta el mínimo el riesgo específico, mostrando que cuando una cartera está correctamente diversificada esta solo debería presentar riesgo de mercado.

2.2 EL MODELO DE MARKOWITZ

El economista Harry Markowitz presenta en 1952 un modelo que supuso un antes y un después en la historia de la inversión. Este modelo, conocido como la Teoría de Carteras, se basa en el comportamiento racional de los inversores cuando actúan en los mercados financieros, es decir, en el deseo de estos por la rentabilidad del activo y el rechazo de su riesgo. Markowitz pretende, con su modelo, construir una cartera óptima donde se proporcione la máxima rentabilidad posible para un riesgo concreto, o bien, ofrecer el mínimo riesgo para un determinado rendimiento.

El modelo de Markowitz presenta dos hipótesis básicas:

- Existencia de racionalidad. El inversor prefiere activos con mayor rendimiento esperado.
- Existencia de aversión al riesgo. Aceptar un mayor riesgo debería conllevar una mayor rentabilidad.

Por lo tanto, el inversor buscará la cartera óptima y eficiente, pudiéndola obtener a través de la resolución del siguiente problema de optimización:

$$\boldsymbol{Min\ \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2\, \sigma_i^2 + \sum_{i=1\ i\neq j}^{n} \sum_{j=1}^{n} x_i\ x_i \nabla\ i,j}$$

Donde**:**

- $\boldsymbol{\sigma_p^2}$ es el riesgo de la cartera ***p.***
- $\boldsymbol{x_i}$ es la proporción en la que se invertirá en cada activo.
- $\boldsymbol{\nabla_{i,j}}$ es la matriz de varianzas y covarianzas de las rentabilidades.

Además, estando sujeta a las restricciones:

$\boldsymbol{E(R_p) = \sum_{t=1}^{n} x_i \cdot E(R_i) = V^*}$

$\boldsymbol{\sum_{i=1}^{n} x_i = 1}$

$\boldsymbol{x_i \geq 0\ ,\quad \forall\ i = 1, \dots, n}$

De esta forma se obtienen combinaciones de riesgo y rentabilidad óptimas. Si las representamos gráficamente, como se observa en la Figura 2.2, todas las opciones de cartera eficientes darán lugar a una parábola positiva, conocida como frontera de carteras eficiente de Markowitz.

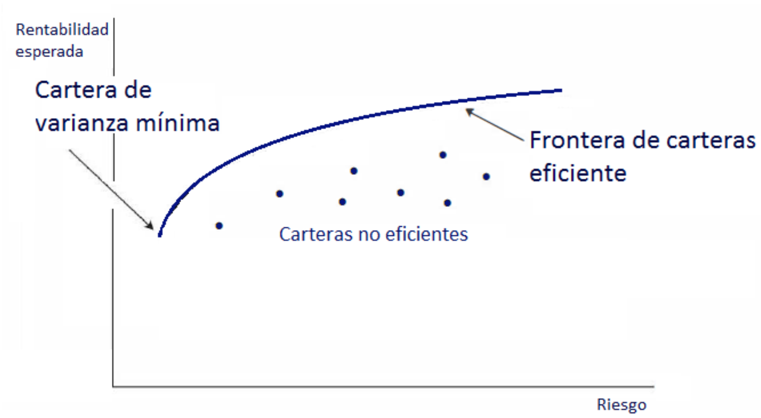

Figura 2.2. Carteras eficientes

Fuente: López (2017)
Modelo de Markowitz*. Economipedia.com*

Tal y como se puede observar en la Figura 2.2, el conjunto de carteras óptimas queda en la línea curva (azul), siendo éstas las que el inversor seleccionará, ya que, en términos de rentabilidad y riesgo, son las más eficientes. Por el contrario, aquellas que quedan por debajo de la frontera son carteras ineficientes llegando a soportar un mayor riesgo y un menor rendimiento; no hay que olvidar mencionar que las carteras que quedarían por encima de la frontera son inalcanzables para el inversor.

Una conclusión que se deduce del modelo de Markowitz, es que a mayor diversificación menor riesgo, siendo éste menor cuanto menor correlación exista entre los activos de la cartera, es decir, es conveniente invertir en activos de sectores y países diferentes, aquellos con comportamientos totalmente diferentes, aunque igualmente rentables, para acercarnos a la cartera óptima. (Anónimo, 2020, Plantillaspyme.com)

Es importante conocer la correlación existente entre dos variables, ya que determinará el nivel de riesgo que soportará la inversión.

Si r = -1 > correlación perfecta negativa. Se disminuye el riesgo de la cartera sin tener que reducir su rentabilidad por lo que existe la posibilidad de combinar ambos activos.

Si r = 1 > correlación perfecta positiva. No existiría la posibilidad de diversificación ya que disminuyen o aumentan ambas con la misma intensidad.

Por lo tanto, los inversores tratarán de diversificar sus carteras a partir de la información disponible a la hora de invertir.

2.3 LAS LINEAS DE MERCADO: CML Y SML

2.3.1 Línea de mercado de capitales (CML)

La línea de mercado de capitales, o capital market line (CML), introduce como base el activo libre de riesgo para optimizar la cartera del inversor. Por tanto, ésta amplía el modelo de Markowitz fundamentando que las carteras eficientes estarán formadas por la combinación de la cartera de mercado y el activo libre de riesgo.

La CML es la línea que une la rentabilidad del activo libre de riesgo con el punto de tangencia de la frontera eficiente. Para obtener el rendimiento esperado, la CML presenta la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{E\,(r) = rf + \frac{E\,(R_M) - rf}{\sigma_M}\,\sigma_R}$$

Donde**:**

- **E (r)**: rendimiento de la cartera eficiente.
- **rf:** rendimiento del activo libre riesgo.
- **E ($\mathbf{R_M}$)**: rendimiento del mercado.
- $\boldsymbol{\sigma_M}$ riesgo de mercado.
- $\boldsymbol{\sigma_R}$ riesgo de la cartera.
- **E (r) – rf**: prima de riesgo de la cartera.
- **E ($\mathbf{R_M}$**) $-$ $\mathbf{rf}$: prima de riesgo de mercado.

Figura 2.3. Línea del mercado de capitales

Fuente: Buján (2018)

Enciclopediafinanciera.com

La Figura 2.3 muestra una línea curva que corresponde a la *frontera eficiente de Markowitz* y una línea recta, conocida como *Capital Market Line* (CML). Esta última representa las combinaciones óptimas de la cartera de mercado y el activo libre de riesgo para el inversor. El punto de tangencia entre las líneas representa la cartera óptima sin activo libre de riesgo.

Dependiendo del perfil de riesgo del inversor este puede situarse en otros puntos de la recta CML. Si se sitúa por encima del punto de tangencia, tendrá mayor rendimiento que el ofrecido por el mercado, pero le supondrá soportar un mayor riesgo. Por el contrario, si se sitúa por debajo del punto de tangencia, el rendimiento será inferior al igual que el riesgo.

En el origen de la recta, encontramos el tipo de interés del activo libre de riesgo; de modo que, las combinaciones de activos más alejadas de éste tendrán una mayor proporción de activos con riesgo, mientras que las más cercanas serán aquellas con una mayor proporción libre de riesgo.

Ratio de Sharpe

Los inversores pueden destinar parte de su presupuesto a invertir en Letras del Tesoro, además de en una cartera de acciones (“S”). De esta forma, obtienen una combinación aleatoria de rendimiento y riesgo, ubicada entre la tasa de interés libre de riesgo y la cartera.

Esta ratio financiera, desarrollada por Sharpe (1966), analiza el rendimiento de una inversión, teniendo en cuenta el riesgo que supone esa inversión para el inversor. Se basa en la diferencia entre la rentabilidad de un activo sin riesgo y la rentabilidad de la cartera; y es mejor cuanto mayor sea la ratio.

La fórmula para calcular la ratio de Sharpe es:

$$\boldsymbol{S = \frac{E\,(R_M) - R_f}{\sigma_M}}$$

2.3.2 La línea de mercado de valores (SML)

La línea de mercado de valores o Security Market Line (SML) se basa en la relación existente entre la rentabilidad esperada de un título y el riesgo sistemático asociado al título. A diferencia de la línea CML, que se aplica solo a carteras eficientes, la línea SML puede aplicarse a todos los activos.

La fórmula para obtener la recta SML es la siguiente:

$$\boldsymbol{E\,(r) = r_f + \beta\,[E\,(R_M) - r_f]}$$

Donde**:**

- **E (r):** rentabilidad esperada del activo o cartera.
- $\boldsymbol{r_f}$ **:** rentabilidad del activo libre de riesgo.
- $\boldsymbol{\beta}$ **:** riesgo sistemático.

- $E\ (R_M)$**:** rentabilidad esperada del mercado.

Gráficamente, la SML representará aquellos activos que aporten un rendimiento suficientemente alto para soportar el riesgo que suponen.

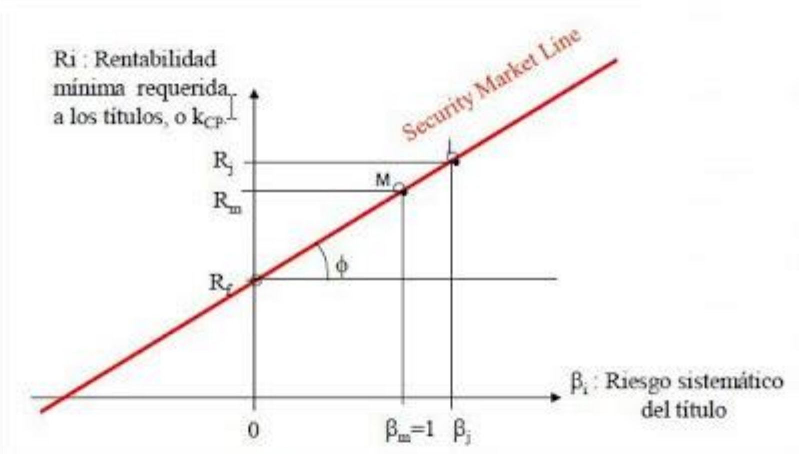

Figura 2.4. Línea de mercado de títulos.

Fuente: Mercale (2013) El modelo de mercado: El CAPM.

En la Figura 2.4 se observa la línea SML, sobre la cual se sitúan todas las carteras óptimas. Aquellos títulos situados por encima de la recta son considerados activos infravalorados ya que la rentabilidad que proporcionan es mayor que la esperada al riesgo soportado. Por el contrario, aquellos títulos situados por debajo de la SML tendrán una rentabilidad muy pequeña para el riesgo que supone invertir en ellos por lo que serán activos sobrevalorados.

3 EL MODELO CAPM

El CAPM (Capital Asset Pricing Model) o modelo de valoración de activos financieros es una pieza fundamental para las finanzas modernas, permitiéndole a las organizaciones tener una visión clara de las rentabilidades y riesgos que tendrán sus inversiones. En su introducción, Treynor (1962), Lintner (1965) y Mossin (1966) basaron su desarrollo en formulaciones propuestas por Harry Markowitz y su teoría de carteras.

Este modelo, basado en el equilibrio de mercado donde la oferta de activos financieros es igual a la de su demanda, tiene como objetivo estimar los precios que alcanzarán los activos en dicho mercado, así como explicar cuáles de ellos presentarán un mayor rendimiento para un determinado nivel de riesgo.

Para entender el CAPM como un modelo teórico se han de tener en consideración una serie de supuestos previos a su desarrollo:

- Los inversores tienen el mismo horizonte temporal, por lo que nos encontramos ante un modelo estático.
- Las operaciones se realizan en un mercado de competencia perfecta. La gran cantidad de inversores son precio-aceptantes, sin poder influir en el precio del activo, por tanto, tienen aversión al riesgo.
- La información disponible será la misma para todo aquel inversor que participe en la operación, por tanto, las expectativas de estos serán homogéneas respecto a rentabilidad, correlación entre activos y volatilidad.
- Se asume que los rendimientos se distribuyen según un modelo normal.
- Existe un activo libre de riesgo, permitiéndoles una rentabilidad concreta a riesgo cero.
- No se tendrán en consideración ningún tipo de coste de transacción ni impuestos.

La expresión del modelo CAPM es:

$$\boldsymbol{E\,(R_i) = R_f + \beta_{im}\,(E\,(R_m) - R_f)}$$

Donde**:**

- **E** $\boldsymbol{(R_i)}$ **:** rendimiento esperado del activo i
- $\boldsymbol{R_f}$ **:** tasa libre de riesgo
- $\boldsymbol{E\,(R_m)}$ **:** rendimiento esperado del mercado
- $\boldsymbol{\beta_{im}}$ **:** beta o coeficiente de volatilidad del título i

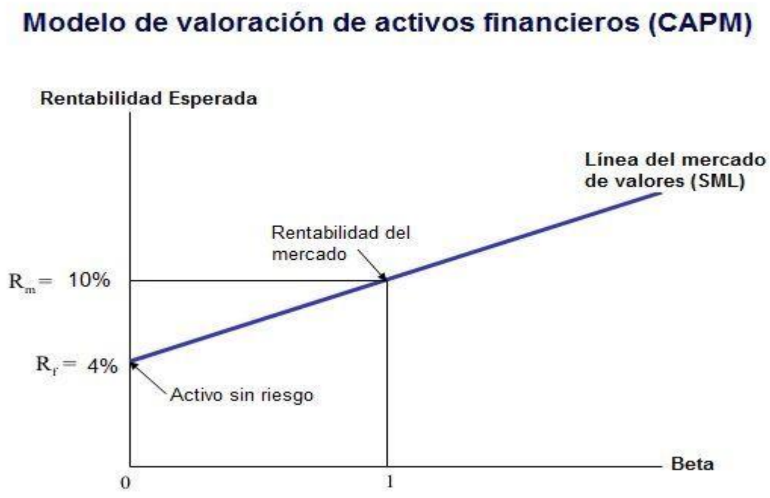

Figura 3.1. Modelo de valoración de activos financieros (CAPM)
Fuente: Almenara (2017), Modelo de valoración de activos financieros (CAPM). Economipedia.com

En la Figura 3.1. se puede observar la relación lineal y directa existente entre rendimiento y riesgo. El activo sin riesgo, como las Letras del Tesoro presentan el menor riesgo y el menor rendimiento, mientras que al avanzar por la línea SML, se muestra que la rentabilidad de la cartera de mercado es una inversión más arriesgada, pero ofrece un mayor rendimiento.
La diferencia entre el rendimiento ofrecido por la cartera de mercado respecto a las Letras del Tesoro se le denomina "Prima de riesgo del mercado".

3.1 COEFICIENTE BETA

El coeficiente beta o coeficiente de volatilidad mide la sensibilidad del rendimiento de un título ante las variaciones del mercado. La beta, β, es la pendiente de la recta SML, previamente mencionada.

Para cuantificar dicho coeficiente aplicaremos la función siguiente:

$$\boldsymbol{\beta} = \frac{\boldsymbol{cov}\ (\boldsymbol{R_t}\ ,\ \boldsymbol{R_m})}{\boldsymbol{var}\ (\boldsymbol{R_m})}$$

Donde:

- $\boldsymbol{cov}\ (\boldsymbol{R_t}, \boldsymbol{R_m})$ **:** covarianza de la rentabilidad del título y del mercado.
- $\boldsymbol{var}\ (\boldsymbol{R_m})$ **:** varianza de la rentabilidad del mercado.

De esta forma, en función del coeficiente beta, podemos clasificar los títulos:

Si β > 1, son títulos agresivos; el exceso rendimiento de estos títulos frente al activo libre de riesgo es mayor al del mercado.

Si β < 1, son títulos defensivos ya que su riesgo sistemático es menor al del mercado.

Si β = 1, son activos neutros, presentan la misma variabilidad en la rentabilidad que el mercado.

Si β < 0 son activos superdefensivos ya que sus movimientos son contrarios al movimiento del mercado, es decir, la rentabilidad del activo aumenta cuando cae la del mercado y viceversa.

Finalmente, con la utilización del coeficiente de determinación se puede decidir la bondad de una inversión. Este coeficiente nos permite saber si se puede utilizar el coeficiente beta como indicador de riesgo y rentabilidad. Representa el riesgo sistemático del título, es decir, las variaciones de su rentabilidad provocadas por las variaciones de la rentabilidad del mercado. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$p^2 = \left[\frac{cov\ (R_t R_m),}{\sigma(R_t)\ x\ \sigma\ (R_m)}\right]^2$$

3.2 MODELOS ALTERNATIVOS AL CAPM

A pesar de ser el modelo de valoración de activos más utilizado, existen otros modelos de valoración alternativos al modelo CAPM que pretenden superar las limitaciones del CAPM y criticar la validez de dicho modelo. Ordenados cronológicamente, algunos de los modelos alternativos al modelo CAPM son:

1. **El modelo Zero – Beta CAPM.** Su creador, Black (1972) desarrolla un modelo zero-beta en el cual propone que los inversores no tengan la posibilidad de pedir prestado ni prestar dinero a la tasa libre de riesgo, por lo que deben formar una cartera cuya correlación con la cartera de mercado, la beta, sea igual a cero. Al contrario que en el modelo CAPM original, donde una de las limitaciones establecidas es que los agentes puedan prestar y tomar prestado dinero de la tasa libre de riesgo.
   Según este modelo, se deriva que:

   $$\boldsymbol{E\ (R_i) = R_z + \beta_i\ [E\ (R_M) - E\ (R_z)]}$$

   Donde:
   E (R_i) = Rentabilidad esperada de un activo.
   R_z = Rentabilidad de la cartera “z” con beta igual a 0.
   β_i = Riesgo sistemático del activo Z con relación al mercado.
   $E\ (R_M)$ = rentabilidad esperada del mercado.

2. **Modelo CAPM Intertemporal.** Merton (1973), se enfrenta a la limitación del modelo original en la que se considera el comportamiento estático de los precios a través del periodo de tiempo de la inversión. Así, Merton desarrolla el modelo I-CAPM basándose en la idea de que los rendimientos cambian conforme cambia el periodo económico y considerando que la mayoría de los inversores optimizan su riqueza invirtiendo en los mercados financieros en más de un período. Por ello surge una nueva búsqueda de cobertura ante los riesgos que puedan surgir durante esos periodos.

   La expresión del modelo es la siguiente:

$$\boldsymbol{E\,(R_i) = R_f + \beta_{im}\left(R_M - R_f\right) + \sum_{k=1}^{N} \beta_{i,k} * (R_k - R_F)}$$

   Donde:
   $\sum_{k=1}^{N} \beta_{i,k}$ = incluye todos los factores macroeconómicos (PIB, tipo de interés, deuda empresarial, etc.)
   R_k = rentabilidad de la cartera en función de la cobertura.
   $(R_k - R_F)$ = Prima de riesgo de cobertura.

3. **Modelo de valoración por arbitraje (APT).** Este modelo surge cuando Ross (1976) plantea que los precios de los activos financieros se establecen por operaciones de arbitraje basadas en el principio de que, dos activos idénticos, no pueden ser vendidos a precios diferentes. El arbitraje consiste en realizar las operaciones de compra y venta en el mercado de forma simultánea con el objetivo de conseguir una rentabilidad segura a un riesgo cero. A diferencia del modelo CAPM donde solo se utilizaba una sola medida de riesgo, es decir, una beta, el modelo APT establece diferentes medidas de riesgo dejándolas a elección del especialista financiero.

   La expresión del modelo es:

$$\boldsymbol{E\,(R_i) = R_F + \beta_{1i}F_{1t} + \beta_{2i}F_{2t} + \cdots + \beta_{ki}F_{kt}}$$

   Donde:
   $E\,(R_i)$ = es el rendimiento esperado de un activo i
   F_{jt} = valor del factor de riesgo sistemático j en el momento t.
   β_{ji} = sensibilidad del retorno de un activo i al factor j.

4. **Modelo de CAPM de Consumo**. Desarrollado por Rubinstein (1976), el modelo C-CAPM establece que, para el inversor, el riesgo va a depender de su consumo futuro. El inversor debe invertir en una cartera que le permita incrementar su consumo en el futuro por lo que la tasa con la que mide el riesgo sistemático se denomina tasa de crecimiento del consumo, que sería la cantidad que el inversor está dispuesto a reducir de su consumo actual para incrementar su consumo futuro.

La expresión del modelo es:

$$\boldsymbol{E(R_i) = R_F + \beta_{i,c}[R_M - R_F]}$$

Donde:

$\beta_{i,c}$ = determina la volatilidad de la rentabilidad esperada de un activo con relación a los cambios en las necesidades de consumo.

4 APLICACIÓN PRÁCTICA

En esta sección, se procede a realizar un análisis exploratorio de los datos seleccionados del mercado bursátil español. Para ello, se toman las acciones de las empresas Telefónica, Santander e Iberdrola a través de las cuales se analiza la variación del rendimiento esperado de éstas con respecto al rendimiento obtenido por una cartera de mercado, siendo en este caso representado por el IBEX 35. El objetivo es analizar el comportamiento de dichos rendimientos y comprobar si puede ser fructífera la estimación mediante un modelo lineal.

Para la estimación del modelo CAPM, las series financieras empleadas son las cotizaciones de las acciones de Telefónica, Santander e Iberdrola como activos con riesgo; el índice bursátil IBEX 35 como activo en representación del mercado y finalmente, los rendimientos de las letras del tesoro a un año como activo libre de riesgo.

Telefónica S.A., Banco Santander e Iberdorla son tres grandes multinacionales españolas que forman parte del índice bursátil español, IBEX35 y además cotizan en otras bolsas internacionales como la de Londres o Nueva York. Estas tres grandes empresas se caracterizan por su elevada capitalización bursátil, llegando a máximos históricos este año 2021 como es el caso de Iberdrola, que cerró la primera sesión bursátil del año con una capitalización de 75.597,5 millones de euros.

Telefónica S.A. es una de las mayores multinacionales españolas de las telecomunicaciones, fundada en Madrid, donde se ubica su sede central, el 19 de abril de 1924. Cerró el año 2020 con una capitalización bursátil de 17.290 millones de euros, sufriendo una caída de casi la mitad con respecto al año 2019 a causa de la pandemia generada por la COVID – 19. (Bolsa de Madrid, 2021)

Banco Santander es una de las mayores entidades financieras, situándose como el segundo mayor banco de la eurozona y el 32º del mundo por capitalización. Fue fundada el 15 de mayo de 1857 en la ciudad de Santander, donde tiene su sede social. Cuenta con una presencia relevante en 10 mercados claves de Europa y América. (Wikipedia, 2021)

Iberdrola S.A. constituye una de las grandes empresas dedicadas a la producción distribución y comercialización de energía que nace en 1992 como resultado de la fusión de la Hidroeléctrica Española e Iberduero.

El IBEX 35 es índice bursátil de referencia de la bolsa española. Está compuesto por las 35 empresas que, tras un análisis del comité asesor técnico, cumplen mejor los parámetros de: capitalización, liquidez y volumen de negocio. Dicho índice mide el comportamiento conjunto de estas 35 empresas que cotizan en el Sistema de Interconexión Bursátil Electrónico en las cuatro bolsas españolas (Madrid, Barcelona, Bilbao y Valencia). Por lo tanto, el IBEX 35 es un gran indicador del estado de la economía española, ya que, gracias a los movimientos de alzas y bajas de las compañías con mayor capitalización, éste nos muestra el estado de la bolsa española. Para calcular el valor del índice, se valora el peso de las compañías en el mercado bursátil a través de una serie de factores, obteniendo así un índice ponderado por capitalización bursátil.

Las letras del tesoro son valores de renta fija a corto plazo, creadas en junio de 1987, y representados mediante anotaciones en cuenta. Son emitidas al descuento o a premio mediante subasta; el valor nominal de cada letra es de 1.000 euros y las peticiones por importe superior han de ser múltiplos de 1.000€. Al ser valores cuya emisión es a corto plazo (entre 3 y 12 meses), son consideradas uno de los activos financieros con menor riesgo en el mercado.

Los datos de cotización de las diferentes acciones y del IBEX35 se han tomado de la página web Yahoo Finance, siendo datos de cierre mensuales comprendidos entre el período de abril de 2000 hasta septiembre de 2021, obteniendo un total de 257 rendimientos. Respecto a la cotización de las letras del tesoro, los datos han sido tomados de la página web del Banco de España comprendidos en el mismo periodo anteriormente mencionado e igualmente con 257 rendimientos.

Para la realización de la aplicación práctica se trabaja con los excesos de rendimientos que se definen como:

- y_tel: exceso de Telefónica $E\left(R_{Telefónica}\right) - E\ (R_{letras\ del\ tesoro})$
- y_san: exceso de Santander $E\ (R_{Santander}) - E\ (R_{letras\ del\ tesoro})$
- y_ibe: exceso de Iberdrola $E\ (R_{Iberdrola}) - E\ (R_{letras\ del\ tesoro})$
- x_rm: exceso de de la cartera de mercado $E\ (R_{IBEX\ 35}) - E\ (R_{letras\ del\ tesoro})$

El modelo CAPM se caracteriza por la relación lineal que presentan los excesos de rendimientos de los activos y los del mercado, así pues, es necesario probar en este análisis que los datos a estudiar cumplen con este requisito de linealidad. Para ello, en una primera aproximación gráfica, se han representado gráficamente las distintas variables dependientes y explicativas, los excesos de rendimientos de las acciones y los excesos de rendimiento de la cartera de mercado respectivamente. Esta representación se realiza a través de un gráfico de dispersión como muestra la Figura 4.1, donde además de las variables se ha trazado la línea de regresión lineal. Como se puede observar, la mayoría de los puntos se encuentran próximos a la recta, con una pendiente estimada positiva y una ordenada en el origen muy cercana a cero. Cabe destacar un poco más de dispersión alrededor de la recta correspondiente a Iberdrola. De esta forma, se concluye que, tal y como establece el modelo CAP, el requisito de linealidad de la relación entre las variables y la ausencia de ordenada en el origen parecen ser adecuados.

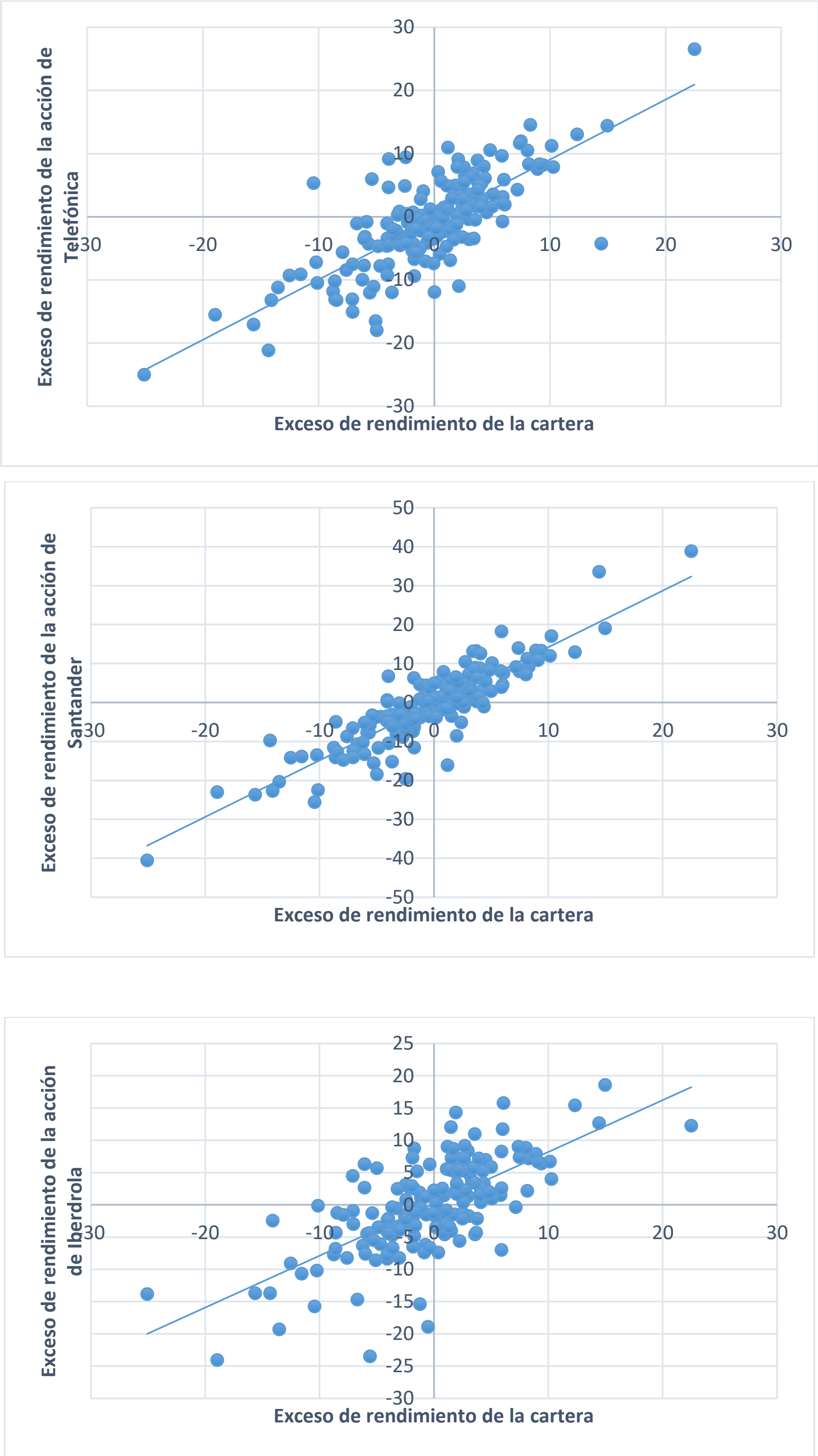

Figura 4.1. Gráficos de dispersión.

Fuente: Elaboración propia

5 ESTIMACIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO

Tras realizar el análisis exploratorio de los datos y comprobar la linealidad en la relación, y la homogeneidad de los datos, se procede a la realización de la estimación del modelo CAPM a través de la utilización de la aplicación informática Excel con la que se estima un modelo lineal para cada uno de los excesos de rendimientos de las acciones de Telefónica, Santander e Iberdrola teniendo en cuenta el exceso de rendimiento del mercado.

Así, los modelos a estimar, en un primer momento conservando la ordenada en el origen, son los siguientes:

$y\_tel_t = \beta_0 + \beta_1 * x_{rmt} + u_t$ (TELEFÓNICA)

$y\_san_t = \beta_0 + \beta_1 * x_{rmt} + u_t$ (SANTANDER)

$y\_ibe_t = \beta_0 + \beta_1 * x_{rmt} + u_t$ (IBERDROLA)

	TELEFÓNICA	SANTANDER	IBERDROLA
Variables	y_tel	y_san	y_ibe
Intercepto	-0,471053	-0,33192	0,144493
x_rm	0,9504651***	1,452961***	0,80395***
R2	0,600388	0,789908	0,476848
R2 ajustada	0,598143	0,788727	0,473909
Error Estándar	4,636544	4,480498	5,035102
Estadístico F	267,43251***	669,2463***	162,2451***

Tabla 5.1. Resultados de las estimaciones de los modelos propuestos

Fuente: Elaboración propia

**** significativo al 1%, ** significativo al 5% *significativo al 10%*

En primer lugar, se observa en la Tabla 5.1 que los tres modelos a estudiar son significativos, es decir, su variable "exceso de rendimiento de la cartera de mercado" presenta efecto sobre el exceso de rendimiento de la acción, siendo significativo al 1%, existiendo así evidencias para rechazar la hipótesis nula $H_0: \beta_1 = 0$. Además, se contempla que en todos los modelos la ordenada en el origen no es significativa (ni a un 10% de significatividad).

En el caso de la primera empresa a estudiada, Telefónica, el exceso de rendimiento de la cartera de mercado explica un 60.03% de la variabilidad que se produce en el exceso de rendimiento de las acciones de ésta, correspondiéndose un 39.97% a variaciones producidas por el riesgo específico.

Igualmente, el exceso de rendimiento de la cartera de mercado explica un 78,99% de variabilidad que se produce en el exceso de rendimiento de las acciones de la empresa Santander, siendo, en este caso, un 21,01% a variaciones provocadas por el riesgo específico.

Finalmente, se observa que, a diferencia de las acciones de Telefónica y Santander donde más del 50% de la variabilidad de las acciones es producida por los movimientos del mercado, la variabilidad del rendimiento de las acciones de Iberdrola es explicado en un 47,68% a causa de éste, quedando un 52,32% de variabilidad causada por el riesgo específico.

En las variaciones que sufren las acciones de estas empresas a causa de los excesos de rendimientos del mercado se han contrastado las hipótesis sobre las pendientes β = 1, β ≥ 1, β ≤ 1 para medir la intensidad presentada. El resultado de dichos contrastes se recoge en la Tabla 5.2.

H0	TELEFÓNICA	SANTANDER	IBERDROLA
	P-VALOR	P-VALOR	P-VALOR
β1 = 1	0,395204	1,04E-13	0,002206
β1 ≤ 1	0,197602	1	0,001103
β1 ≥ 1	0,802398	5,21E-14	0,998897

Tabla 5.2. Resultados del contraste de hipótesis sobre la pendiente

Fuente: Elaboración propia

Tras los resultados obtenidos en la Tabla 5.2, al típico 5% de significatividad se puede deducir que:

1- En el caso de Telefónica, se acepta la hipótesis de $\boldsymbol{\beta_1} = \mathbf{1}$ de manera que la variabilidad del rendimiento de estas acciones es igual a la variabilidad del rendimiento del mercado; las acciones de Telefónica bajan su rendimiento cuando baja el rendimiento del mercado y suben cuando lo hace éste.

2- Para Santander, se rechazan las hipótesis $\beta_1 \geq 1$ y $\beta_1 = 1$ por lo tanto se acepta que $\boldsymbol{\beta_1} < \mathbf{1}$, entendiendo así que la variabilidad del rendimiento de las acciones de Santander es menor que la variabilidad del rendimiento del mercado. De esta manera, la inversión en acciones de esta compañía es considerada una inversión defensiva pues el riesgo sistemático que soporta es menor al del mercado.

3- Por último, en el caso de Iberdrola, se rechazan la hipótesis $\beta_1 \leq 1$ y $\beta_1 = 1$, aceptando que $\boldsymbol{\beta_1} > \mathbf{1}$. Así, la variabilidad del rendimiento de las acciones de Iberdrola es mayor que la variabilidad del rendimiento del mercado. Como se indica en el marco teórico, las inversiones en este tipo de acciones son consideradas agresivas pues dada una bajada (o subida) en el rendimiento del mercado, se provoca una bajada (o subida) en mayor medida de estas acciones.

Tal y como se establece el modelo CAPM, se ha obtenido en los tres casos analizados que la ordenada en el origen no es significativa, por lo tanto, estimamos estos tres modelos de nuevo, ahora sin la ordenada en el origen. Así, los modelos a estimar son los siguientes:

y_$tel_t = \beta_1 \, rm_t + u_t$ (TELEFÓNICA)

y_$san_t = \beta_1 rm_t + u_t$ (SANTANDER)

$y\_ibe_t = \beta_1 rm_t + u_t$ (IBERDROLA)

	TELEFÓNICA	SANTANDER	IBERDROLA
Variables	y_tel	y_san	y_ibe
Intercepto	-	-	-
x_rm	0,954584	1,455863	0,802686
R2	0,60063	0,790104	0,476533
R2 ajustada	0,59839	0,788932	0,473609
Error Estándar	4,647576	4,480312	5,023102
Estadístico F	269,2058	673,8046	162,9509

Tabla 5.3. Resultados de la estimación de modelos sin ordenada en el origen

Fuente: Elaboración propia

Si se comparan los datos de la Tabla 5.3. con los de la Tabla 5.1. se puede observar que, tras la estimación sin ordenada en el origen, el coeficiente β_1 prácticamente no ha sufrido variación respecto a la estimación anterior. Este coeficiente sigue siendo estadísticamente significativo.

Siguiendo la misma estructura del análisis anterior, se procede a realizar nuevamente los contrastes de hipótesis sobre el valor β_1, ($\beta_1 = 1;\ \beta_1 \leq 1;\ \beta_1 \geq 1$) con el objetivo de comprobar la variabilidad de los excesos de rendimientos de las acciones respecto a los del mercado.

H0	TELEFÓNICA	SANTANDER	IBERDROLA
β1 = 1	0,436059	6,97E-14	0,00199
β1 ≤ 1	0,218029	1	0,000995
β1 ≥ 1	0,781971	3,48E-14	0,999005

Tabla 5.4. Resultados de los contrastes sobre las pendientes en los modelos sin ordenada en el origen.

Fuente: Elaboración propia

Tras realizar los contrastes, cabe destacar que los resultados obtenidos son similares a los que se han obtenido en el contraste de la Tabla 5.2.

Para el caso de Telefónica se acepta la hipótesis $\beta_1 = 1$, aceptando que las variabilidades del rendimiento de sus acciones evolucionan igual que las del mercado. Así pues, para el caso de Santander e Iberdrola se aceptan las hipótesis de $\beta_1 < 1\ y\ \beta_1 < 1$, respectivamente, aceptando que, mientras las inversiones en acciones del Santander son consideradas defensivas por la menor variabilidad de sus rendimientos respecto al mercado, las inversiones en Iberdrola son consideradas agresivas por tener una variabilidad más fuerte que la del mercado.

6 CONCLUSIONES

Tras la presentación de los conceptos básicos de la teoría de carteras y de los modelos de inversión correspondientes, se concluye que la mejor cartera posible para poder invertir es aquella que, en función de las expectativas de rentabilidad esperada, desviaciones estándares y correlaciones, sea la más eficiente para conseguir los objetivos propuestos por el inversor.

El objetivo del presente trabajo ha sido explicar los excesos de rendimientos de las acciones de Telefónica, Santander e Iberdrola como función lineal de los excesos de rendimiento del mercado español (dado por el diferencial de rendimiento del IBEX 35 respecto a las letras del tesoro), como establece el modelo CAPM.

Con la información recopilada se obtiene que, en el caso de las acciones de Telefónica, el 60.03% de sus variaciones se deben al exceso de rendimiento de la cartera de mercado; para las acciones de Santander, el 78,99% de las variaciones de los excesos de rendimiento de sus acciones se deben también al exceso de rendimiento de la cartera de mercado. Por el contrario, las acciones de Iberdrola se explican en menos del 50% de variabilidad a causa de los excesos de rendimiento de la cartera de mercado, siendo un 47,68% causado por éste. El resto de variabilidades es provocado por el riesgo específico.

Además, tras el contraste de hipótesis para comprobar la intensidad de dichas variaciones, se observa que en el caso de Telefónica, los excesos de rendimiento de sus acciones se mueven en el mismo sentido que el rendimiento del mercado ya que se acepta la hipótesis de $\beta_1 = 1$. Mientras que, las variaciones de las acciones de Santander e Iberdrola varían en mayor y menor proporción que los excesos de rendimiento de la cartera de mercado, respectivamente. Estas conclusiones son válidas cuando el modelo se considera con o sin ordenada en el origen, además, se ha comprobado que la ordenada en el origen no es significativa en ninguno de los tres casos considerados, como así establece el modelo CAPM.

Finalmente, tendiendo en consideración los resultados obtenidos se puede observar que el modelo CAPM es una buena herramienta para estimar los excesos de rendimiento de las acciones con respecto a los rendimientos de la cartera de mercado.

7 BIBLIOGRAFÍA

Almenara Juste C. 12 de Febrero de 2017. *Modelos de valoración de activos financieros (CAPM).* Economipedia.com https://economipedia.com/definiciones/modelo-valoracion-activos-financieros-capm.html

Black, F. (1972). Capital market equilibrium with restricted borrowing. *The Journal of Business*, 45(3), 444-455.

Bolsa de Madrid. (26 de octubre de 2021) https://www.bolsamadrid.es/esp/aspx/Empresas/FichaValor.aspx?ISIN=ES0178430E18&ClvEmis=78430

Buján Pérez, A. (2018) Capital Market Line – CML. Enciclopedia Financiera. Recuperado de: http://www.enciclopediafinanciera.com/gestioncarteras/capital-market-line.htm

Lintner, J (1965) The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets", *Review of Economics and Statistics*, 47 (1), 13-37

López, J.F. (2017) Modelo de Markowitz. *Economipedia. Recuperado de: https://economipedia.com/definiciones/modelo-de-markowitz.html*

Markowitz, H. (1952) "Portafolio Selection". *The Journal Of Finance*, Vol. 7, No. 1, 77-91

Mercale P. (4 de junio de 2013). *El modelo de mercado: El CAPM (capital asset pricing model o modelo de valoración de activos financieros). La Línea del Mercado de Valores (SML).* [Mensaje en un blog] Recuperado de: http://www.contabilidad-empresa.com/2013/06/el-modelo-de-mercado-el-capm-capital.html

Merton, Robert C. (1973). *"Theory of Rational Option Pricing*". Bell Journal of Economics and Management Science, Volume 4, pp 141-183.

Mossin, J. (1966) Equilibrium in capital markets. *Econometrica*, 34, 768–783

Qué es el modelo de Markowitz y cómo funciona, (13 de agosto de 2020). PlantillasPymes. Recuperado de: https://www.plantillaspyme.com/que-es-el-modelo-de-markowitz-como-funciona-n-54-es

Ross, Stephen A. (1976). "*The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing*". The Journal of Economic Theory, Volume 13, pp. 341-360.

Rubinstein, Mark (1976) "*The Valuation of Uncertain Income Streams and the Pricing of Options"* The Bell Journal of Economics, Vol. 7, No. 2 (Autumn, 1976), pp. 407-425

Sevilla Arias, A. (1 de marzo de 2012). Prima de Riesgo. *Economipedia*. Recuperado de: https://economipedia.com/definiciones/prima-de-riesgo.html

Sharpe, W. (1964) "Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk", *Journal of Finance*, 19 (3), 425-442.

Sharpe, W. (1966) "Mutual Fund Performance." *Journal of Business*, pp. 119-138

Treynor, Jack L.(1962). "Toward a Theory of Market Value of Risky Assets." Manuscrito no publicado. Versión final en *Asset Pricing and Portfolio Performance*, 1999, Robert A. Korajczyk, ed., London: Risk Books, pp. 15-22.

Value4all (18 de noviembre de 2020). *Para minimizar los riesgos: Diversificar*. Recuperado de: https://www.value4all.es/blog/diversificar

Wikipedia (6 de octubre de 2021) *Banco Santander*. https://es.wikipedia.org/wiki/Banco_Santander