

Emilio Gómez Panes

LES CARTERES DEL FUTUR: INTRODUCCIÓ DE CRIPTOMEDES EN CARTERES D'INVERSIÓ

TREBALL DE FI DE GRAU

Àrea temàtica: Mercats i actius financers

Grau de Finances i Comptabilitat



**FACULTAT D'ECONOMIA i EMPRESA
Universitat Rovira i Virgili**

Reus / Tortosa

Curs 2023-24

ÍNDEX GENERAL

PRESENTACIÓ	5
0. INTRODUCCIÓ	6
1. PER QUÈ INVERTIR EN CRIPTOMONEDES?	8
1.1 UNA BREU INTRODUCCIÓ A LA HISTÒRIA DEL DINER I LES CRIPTOMONEDES	8
1.2 CONCEPTE DE CRIPTOMONEDA	12
1.3 CARACTERÍSTIQUES	13
1.4 CRIPTOMONEDES UTILITZADES EN L'ESTUDI	15
2. LA TEORIA DE MODERNA DE GESTIÓ DE CARTERES	20
2.1 L'EFICIÈNCIA DELS MERCATS FINANCERS	21
2.1.1 Tipus d'eficiència del mercat	23
2.2 LA TEORIA MODERNA DE GESTIÓ DE CARTERA	26
3. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LES CRIPTOMONEDES SELECCIONADES	31
3.1 BINOMI RENDIBILITAT-RISC	32
3.2 DISPERSIÓ DE LES DADES	34
4. APLICACIÓ DEL MODEL DE MARKOWITZ	42
4.1 LA REDUCCIÓ DEL RISC: DIVERSIFICACIÓ D'ACTIUS	46
4.2 RESULTAT	51
4.3 LIMITACIONS DE L'ESTUDI	56
5. CONCLUSIONS	59
BIBLIOGRAFIA	61

ÍNDEX DE TAULES, GRÀFICS I FIGURES

<i>Taula 1. Cotitzacions de les criptomonedes en l'horitzó temporal estudiat</i>	18
<i>Taula 2. Estadística descriptiva del rendiment logarítmic de les criptomonedes</i>	33
<i>Taula 3. Recorregut de les rendibilitats logarítmiques diàries de les criptomonedes</i>	34
<i>Taula 4. Resultat dels càlculs de Coeficient d'asimetria i curtosi en les criptomonedes</i>	37
<i>Taula 5. Distribució històrica del retorn anual de diferents actius, 1926-2001</i>	41
<i>Taula 6. Rendiments diaris i volatilitat de les accions de l'IBEX 35</i>	42
<i>Taula 7. Construcció de la cartera eficient només amb accions de l'IBEX 35</i>	45
<i>Taula 8. Matriu de covariàncies d'una cartera amb criptomonedes</i>	48
<i>Taula 9. Matriu de correlacions d'una cartera amb criptomonedes</i>	50
<i>Taula 10. Distribució d'actius en una cartera amb accions i criptomonedes</i>	52
<i>Taula 11. Càlcul de la Cartera amb mínima variància</i>	55
<i>Taula 12. Càlcul de la Cartera optimitzant Sharpe</i>	55
<i>Taula 13. Càlcul de Jarque Bera</i>	56
<i>Il·lustració 1. Informació sobre BITCOIN en data 20/08/2024.</i>	14
<i>Il·lustració 2. Capitalització de les criptomonedes segons Coinmarket.</i>	16
<i>Il·lustració 3. Gràfic d'oportunitats d'inversió amb corbes d'indiferència.</i>	28
<i>Il·lustració 4. Distribució de les dades entorn a la mitjana</i>	37
<i>Il·lustració 5. Concentració de les dades en les cues segons la Curtosi</i>	38
<i>Il·lustració 6. Dispersió de les rendibilitats logarítmiques diàries de Bitcoin</i>	39
<i>Il·lustració 7. Dispersió de les rendibilitats logarítmiques diàries de BNB</i>	39
<i>Il·lustració 8. Dibuix de la cartera eficient amb accions de l'IBEX 35</i>	46
<i>Il·lustració 9. Frontera eficient d'una cartera amb criptomonedes</i>	52

RESUM:

Aquest treball de fi de grau explora la integració de criptomonedes en una cartera d'accions de l'IBEX 35 utilitzant la *Modern Portfolio Theory* de Markowitz. L'objectiu és analitzar l'impacte d'aquests actius digitals, com el Bitcoin o l'Ethereum, en la diversificació, el risc i la rendibilitat de la cartera. La teoria de Markowitz, reconeguda per la seva capacitat d'optimitzar carteres mitjançant la diversificació, serveix com a marc teòric per aquesta anàlisi.

A més, es realitzarà una anàlisi estadística descriptiva de les criptomonedes per caracteritzar la seva volatilitat, rendiments i correlació amb les accions de l'IBEX 35, amb l'objectiu de comprendre millor els resultats obtinguts.

Paraules clau: Markowitz, Criptomonedes. Volatilitat, Diversificació, Rendibilitat

RESUMEN:

Este trabajo de fin de grado explora la integración de criptomonedas en una cartera de acciones del IBEX 35 utilizando la *Modern Portfolio Theory* de Markowitz. El objetivo es analizar el impacto de estos activos digitales, como el Bitcoin o Ethereum, en la diversificación, el riesgo y la rentabilidad de la cartera. La teoría de Markowitz, reconocida por su capacidad de optimizar carteras mediante la diversificación, sirve como marco teórico para este análisis.

Además, se realizará un análisis estadístico descriptivo de las criptomonedas para caracterizar su volatilidad, rendimientos y correlación con las acciones del IBEX 35, con el objetivo de comprender mejor los resultados obtenidos.

Palabras clave: Markowitz, Criptomonedas, Volatilidad, Diversificación, Rentabilidad

ABSTRACT:

This final degree project explores the integration of cryptocurrencies into a portfolio of IBEX 35 stocks using Markowitz's Modern Portfolio Theory. The objective is to analyse the impact of these digital assets, such as Bitcoin or Ethereum, on the diversification, risk, and return of the portfolio. Markowitz's theory, recognized for its ability to optimize portfolios through diversification, serves as the theoretical framework for this analysis.

In addition, a descriptive statistical analysis of the cryptocurrencies will be conducted to characterize their volatility, returns, and correlation with IBEX 35 stocks, with the aim of better understanding the results obtained.

Key Words: Markowitz, Cryptocurrencies, Volatility, Diversification, Return

PRESENTACIÓ

Des de petit sempre he tingut un especial interès en els mercats financers. Tot i així, al moment d'arribar selectivitat i triar el meu futur professional, vaig escollir realitzar un doble grau d'ADE i Dret que he finalitzat aquest curs acadèmic. Malgrat això, aquesta curiositat pels mercats i actius financers va fer que pauses els meus estudis relacionats amb l'advocacia per començar a estudiar FIC.

Quan va arribar el moment d'escollir el meu TFG, sabia que no només havia de seleccionar l'àrea més relacionada amb els mercats financers, sinó que també representaria qüestions més innovadores. Per aquest motiu, vaig voler relacionar les criptomonedes amb la gestió de capital i carteres.

La temàtica del treball de recerca combina dos elements essencials en les finances: la gestió de carteres més tradicional i elemental amb els actius més disruptius del moment, els popularment coneguts com a criptoactius.

A través d'aquesta tesi, no només he pogut combinar els coneixements adquirits en assignatures com anàlisi de dades o totes les assignatures relacionades amb els mercats financers, sinó que també he explorat com les criptomonedes poden aportar utilitat en una cartera composta per accions. A més, he tingut l'oportunitat de poder profunditzar en aspectes fonamentals com la valoració individual i comparativa d'aquests actius tradicionals i com es comporten en un horitzó temporal a llarg termini.

Finalment, el meu objectiu amb aquest projecte té una doble via. En primer lloc, l'elecció d'aquest tema ha estat un repte per a mi per començar a estudiar i analitzar el món de les criptomonedes. Anys enrere, la meua opinió respecte al que envoltava aquest món era força negativa i poc inclinada a la inversió d'aquests actius. Així mateix, aquest treball ha estat una molt bona possibilitat per donar-li l'oportunitat a les criptomonedes de canviar el meu punt de vista. En segon lloc, volia contribuir també a la comprensió sobre com en les finances sempre ens podem reinventar i descobrir temàtiques poc explorades. Estic completament segur que la combinació entre innovació i tradició en la gestió de carteres no només és possible, sinó que és el camí al futur de les inversions.

0. INTRODUCCIÓ

Els criptoactius avui en dia són coneguts per atraure a grans inversors que busquen obtenir rendibilitats elevades, assumint també elevats riscos. Segons Chambi Condori, l'arribada d'aquests instruments financers inspiren a una nova generació d'inversors que busquen mitjans innovadors, diferents dels tradicionals. I és per aquest motiu que les criptomonedes s'han convertit en un actiu molt atractiu que permet obtenir uns millors retorns per determinats nivells de risc diversificable (Chambi Condori, 2021, pp. 1–2).

L'objectiu principal d'aquesta tesi és la d'analitzar l'impacte de la integració de criptomonedes en una cartera d'accions de l'IBEX 35 emprant la teoria moderna de gestió de carteres de Markowitz. D'aquesta manera es vol determinar de quina manera aquests actius digitals afecten la diversificació, el risc i la rendibilitat d'una cartera tradicional. També és vol analitzar si aquests són capaços de millorar-ne l'eficiència.

Altres objectius secundaris són entendre el món de les criptomonedes i per què són un actiu a tenir en compte actualment. En primer lloc, les introduïrem des d'un punt de vista històric i conceptual, per després fer una anàlisi de la rendibilitat diària de les seves cotitzacions per observar quin comportament tenen els preus dels actius al mercat.

En segon lloc, abans de realitzar l'estudi, s'analitza la Teoria de Markowitz per conèixer en quines hipòtesis es basa aquest estudi.

L'estudi és rellevant en el context actual de mercats financers, on les criptomonedes estan adquirint un paper cada cop més destacat. Comprendre com funcionen aquests actius pot ser un abans i un després en la gestió de carteres tradicionals, oferint noves perspectives als inversors que van més enllà de la inversió en instruments financers convencionals.

La metodologia utilitzada és la investigació experimental de la introducció de quatre criptoactius en una cartera ja formada per quatre accions de l'IBEX 35. Partim de la base d'una cartera situada en la frontera eficient d'inversió del model de Markowitz i, amb la introducció d'aquests nous actius, es vol observar com es modifica aquesta frontera i quins canvis pateix respecte a la nova que s'obté. Posteriorment, per maximitzar el conjunt de carteres eficients, s'emprarà la ràtio de Sharpe.

A l'hora d'establir l'horitzó temporal de la cartera, que s'estudiarà en la part empírica d'aquest estudi, s'ha tingut en compte la definició que utilitza Petitjean per inversió a llarg termini. Citant aquest autor: *“Les inversions a llarg termini busquen obtenir beneficis dels cicles econòmics i borsaris [...]. Les posicions es mantenen durant mesos o inclús anys. L'horitzó temporal és rarament inferior als sis mesos. Els gràfics borsaris utilitzats tenen una escala en mesos* (Petitjean, 2005, p. 165).

Per aquest motiu, s'ha considerat un horitzó des de l'1 de gener de 2021 fins al 31 de desembre de 2023. És a dir, tres anys. D'aquesta manera, s'evitaran capturar diferents cicles de mercat i reduir l'impacte d'esdeveniments extraordinaris. Aquest termini també és suficientment ampli com per a reflectir les tendències a llarg termini del mercat de criptomonedes.

1. PER QUÈ INVERTIR EN CRIPTOMONEDES?

El primer que una persona hauria de plantejar-se quan entra en el mercat per realitzar una inversió és en la selecció de mercats en els quals operarà. Cadascú té un perfil de tolerància al risc diferent i hi ha diverses possibilitats de selecció de mercats i actius segons el que sigui el criteri al qual li doni més prioritat:

- Buscar el màxim rendiment.
- Màxima liquiditat.
- Mínim risc.
- Màxima diversificació.

En aquest apartat no és tractarà de convèncer el lector que les criptomonedes són la millor opció per invertir, sinó tot el contrari. Pels inversors que vulguin mantenir el valor del seu capital i guanyar a la inflació pot ser una cartera formada únicament seria l'estratègia més òptima per a ells.

Partirem de la base que dintre d'un univers de possibilitats d'inversió molt gran, les criptomonedes són un actiu molt a tenir en compte en una cartera formada per accions de l'IBEX 35. Per observar si les criptomonedes encaixen amb el perfil de l'inversor, en aquest capítol s'analitzarà el marc teòric al voltant dels criptoactius: el seu origen, que són, quines característiques tenen, quins són els actius escollits per fer l'estudi i, finalment, es donarà una resposta al títol del capítol: “*Per què invertir en criptomonedes?*”.

1.1 Una breu introducció a la història del diner i les criptomonedes

És un fet indubtable que per parlar de l'origen de les criptomonedes hem de fer també referència a l'evolució del que entenem com a diner al llarg de la història. Segons la Reial Acadèmia Espanyola, entenem com diner “*qualsevol mitjà de canvi o de pagament acceptat generalment*” (Reial Acadèmia Espanyola, 2024).

Així mateix, aquesta definició no és gaire concreta. Un concepte de diner més exacte el trobem a la pàgina web de l'Economista on s'expressa que “*anomenem diner a tot actiu*

o bé apreciat com mitjà de pagament o mesura del valor pels agents econòmics pels seus intercanvis i que, a més, compleix amb les funcions de ser una unitat de compte¹ i de dipòsit de valor. Les monedes i bitllets en circulació són la forma final adoptada per les economies com a diner” (El Economista, 2024).

Segons l'economia clàssica, fa 10.000 anys no existia el que avui en dia anomenem com diners. Malgrat això, els éssers humans sempre hem tingut la necessitat d'intercanviar valor d'alguna manera i, amb aquesta finalitat, es va inventar el bescanvi. En aquest sentit, durant la Revolució Neolítica podria ser que un pagès produís un excedent agrícola i llavors, amb aquest excés de fruites o verdures que no consumís la seva família, decidís intercanviar-lo per gallines o vaques. Tanmateix, hi havia un inconvenient amb aquest mètode: aquest pagès havia de vendre el seu excés de productes agrícoles abans que es fessin malbé, però, que hi passava si aquesta persona no volia carn i el que desitjava era peix? Aquest mecanisme va complir el seu propòsit durant uns segles tot i que amb els pas del temps, juntament amb el creixement de les societats, van fer que aquests intercanvis desaparegueren (Barriuso Varela, 2014, pp. 121–125). Els factors que van provocar la seva desaparició van ser l'adopció al sedentarisme, la dificultat d'assignar valor als béns ², l'estacionalitat d'alguns productes i la necessitat que hi hagi interès de la contrapart per tal que el tracte s'acceptés entre les dues parts.

És per aquesta problemàtica i complexitat dels bescanvis que sorgeix la primera forma de diner: metalls preciosos o béns abundants en algunes regions com la sal o el cacau. Aquests béns, sobretot l'or i la plata, van solucionar alguns dels inconvenients anteriors, com, per exemple, la garantia que les dues parts obtinguessin els béns que desitgessin. L'origen d'aquest procés és de lenta evolució, però alguns autors com Borrello i Plasencia, el situen aproximadament a partir del segle VII a.C (Borrello & Plasencia, 2010, p. 127). Citant de nou aquests autors, expressen com el bé de canvi a Mesopotàmia

¹ En altres paraules, el diner permet fixar el preu de béns i serveis.

² Un exemple d'aquesta problemàtica la podem cercar amb Aristòtil en el seu llibre "Ètica o Moral a..", llibre V, cap V: "*L'arquitecte rebrà del sabater l'obra que és pròpia del sabater i, a canvi, ell li donarà la seva pròpia obra*". Més endavant també expressa: "*La necessitat que tenim els uns dels altres és, en realitat, el llaç comú de la societat*" (Aristóteles, 1942, pp. 152–153).

era el *ciclo de plata*, que pesava vuit grams, i una unitat era l'equivalent al consum de civada del treballador i de la seva família durant un mes (Borrello & Plasencia, 2010, p. 128).

Seguint amb aquesta breu referència històrica, la primera encunyació de moneda es va produir a Lívia aproximadament en l'any 640 a.C. Ara bé, aquesta moneda sorgeix com a alternativa al bescanvi i als intercanvis comercials. Aquest nou sistema va suposar un gran avanç per a la humanitat, però els inconvenients seguien estant en la pràctica:

- La composició de les monedes eren de materials preciosos difícils de trobar. A més, eren recursos molt limitats, sobretot en les grans crisis.
- Per realitzar algunes transaccions es necessitaven una gran quantitat de monedes, les quals eren molt pesades.

El primer país que va voler donar solució i resposta a aquests problemes va ser la Xina el 845 d.C quan van emetre el primer paper moneda. Malgrat això, aquest primer intent innovador va suposar un gran fracàs a conseqüència de la mala gestió i l'alta inflació que va causar la seva adopció (Gil, 1974).

Així mateix, la consolidació del paper moneda la podríem estimar en el segle XVII, en la colònia anglesa de *Massachusetts Bay Colony* en Amèrica del Nord. Aquesta colònia va tenir un gran èxit i una gran capacitat comercial que van provocar que es veiessin obligats a millorar el seu sistema de pagament (Moe, 2003). Aquest diner de paper complia amb la mateixa funció que les monedes i originàriament estava recolzat per materials preciosos.

El paper moneda va permetre un creixement econòmic més ràpid, ja que facilitava les transaccions sense la necessitat de transportar grans quantitats de monedes ni de materials preciosos. Amb el pas del temps, governs i institucions financeres van començar a emetre diner fiduciari, que ja no estava recolzat per or o plata, sinó per la confiança en l'estabilitat i solvència de l'entitat emissora. Aquest canvi és pot observar clarament en els bitllets d'un dòlar: "*This note is legal tender for all debts, public and private*". En altres paraules, el dòlar no val perquè estigui fet d'or, plata o argent, de fet, és només un tros de paper, compost un 75% de cotó i un 25% de lli (La Nación, 2024). Aquest paper que costa 4,9 cèntims de dòlar en ser fabricat val 1 dòlar perquè el govern així ho diu. El valor depèn de la fe pública i l'estabilitat econòmica (Liviú Catalin, 2011).

En la segona meitat del segle XX, a mesura que van anar apareixent nous avenços científics i tecnològics, es va trobar una forma encara més convenient de guardar i fer transaccions amb el nostre valor: el diner digital i les targetes de crèdit. D'aquesta manera, les persones ja podien fer transaccions sense necessitat de portar diner efectiu físic. Per exemple, si jo vull comprar un llibre a AMAZON que val 10 euros i decideixo pagar-los, el meu compte del banc tindrà una nova entrada de -10 euros i, en conseqüència, el compte de banc d'AMAZON tindrà una nova entrada de +10 euros. Així mateix, aquest procés que en un primer lloc va suposar un comerç més ràpid i segur, una problemàtica que segueix encara vigent avui en dia: la dependència d'institucions financeres centralitzades (Bakry et al., 2021, pp. 1–2).

Aquesta centralització del sistema financer és el que origina la creació de la primera criptomoneda famosa al 2009, el Bitcoin per Satoshi Nakamoto. Aquesta utilitza sistemes de pagament descentralitzat, és a dir, a diferència d'altres monedes tradicionals de circulació legal (diner fiduciari), el Bitcoin no té un emissor centralitzat sinó que es genera mitjançant càlculs basats en algorismes específics de nodes en la xarxa (Economia3, 2024).

Tot i això, la idea de criptomoneda no va néixer amb el Bitcoin sinó que la concepció principal prové de David Chaum quan, en el 1983, va desenvolupar el primer sistema criptogràfic anomenat eCash. Aquest va ser concebut com una espècie de diner, electrònic, criptogràfic i anònim o com un sistema d'efectiu electrònic. Més tard, l'any 1995, va desenvolupar un nou sistema, el DigiCash, que utilitzava criptografia per mantenir de manera confidencial transaccions econòmiques (Economia3, 2024).

Després del llançament de Bitcoin, el mercat de les criptomonedes ha anat en expansió fins avui en dia de forma molt ràpida. El mercat de les criptomonedes ha vist en naixement i creixement d'altres criptomonedes, però no totes han tingut èxit:

- 2011: Litecoin (LTC) i Namecoin (NMC).
- 2012: Ripple (XRP) i Peercoin (PPC).
- 2013: Dogecoin (DOGE).
- 2014: MaidSafeCoin (MAID), Dash (DASH), Monero (XMR), BitShares (BTS), SolarCoin (SLR).
- 2015: Ether (ETH).

1.2 Concepte de criptomoneda

Després de l'anterior noció històrica respecte als desencadenants del naixement de les criptomonedes, encara falta conceptualitzar aquest terme. Segons Quiroga Juárez, una criptomoneda pot definir-se com “*la representació d'un valor digital, que no és emès per cap banc central, institució de crèdit, ni és diner electrònic, però que té la característica circumstancial de diner*”. (Quiroga Juárez, 2023, p. 4).

Altres autors com Barroilhet també assenyalen la descentralització en les criptomonedes i va més enllà en l'elaboració de la seva definició pròpia. Segons ell, “*les criptomonedes són com bits llur finalitat és la d'actuar com diner tot i que la diferència és el mitjà de transmissió digital [...]. Les transaccions amb criptomonedes són descentralitzades i s'utilitza la criptografia per donar seguretat a la transacció*” (Barroilhet, 2019, pp. 1–3). Autors com Quiroga Juárez també destaquen aquest caràcter anònim de l'operativitat de les criptomonedes mitjançant la tecnologia bockchain³ (Quiroga Juárez, 2023, p. 5). Seguint amb aquesta premissa, Laise i Manzo-Ugas afegeix que les criptomonedes “*són una alternativa al sistema convencional, on la intermediació de diversitat d'agents econòmics es fonamental*” (Laise L.D & Manzo-Ugas, 2019, p. 7) Tot i així, també esmenten que no hi ha una definició universal per aquests actius digitals, tot i que siguin l'epicentre d'una revolució global financera, política, econòmica i social.

³ Per entendre les criptomonedes és precís tenir una idea d'aquest concepte. Per exemple, és impossible entendre que és un bitcoin sense entendre el concepte de blockchain, fonamental per a la seguretat de la moneda. Citant a Selvaraj, “*el blockchain és el vehicle que permet realitzar les operacions d'aquesta criptodivisa [...] És una llista de registres, també anomenats blocs, que conformen una cadena unida a través d'un algoritme matemàtic (hash). Cadascun d'aquests blocs conté una llista de transaccions, un hash previ, un hash del bloc i una prova de treball*”. Aquesta “prova de treball” segons Nakamoto “*és un problema matemàtic que ha de ser resolt i l'usuari que descobreixi la forma de resoldre-ho o aconseguixi validar la cadena de blocs més llarga, tindrà una retribució en bitcoins per haver verificat la transacció*” (Nakamoto, 2008). En resum, el blockchain és com un llibre de comptabilitat digital que registra totes les activitats de forma segura, transparent i fonamental per al funcionament de les criptomonedes. Aquest procés de resolució de proves de treball o problemes és coneix popularment com mineria. Els usuaris que participen en aquest procés és coneixen popularment com miners i, com a recompensa de l'esforç, aquests reben una quantitat de bitcoins per incentivar als participants a continuar validant transaccions i així mantenir la xarxa segura.

Citant de nou a Laise i Manzo-Ugas, esmenten que cada criptomoneda és única i que existeix un registre, en el blockchain, de cada actiu creat i transferit. La manera de guardar-les és mitjançant una cartera digital amb una clau de seguretat associada, privada i irrecuperable (Laise L.D & Manzo-Ugas, 2019, p. 7).

1.3 Característiques

Després d'explorar l'origen i el concepte de les criptomonedes, cal conèixer més a prop les característiques i els fonaments que les sustenten i caracteritzen. Segons Cabrera Solto i Lage Codorniu, les característiques que uneixen als cryptoactius són les següents (Cabrera Soto & Lage Codorniu, 2021, p. 3):

- (i) No tenen representació física.
- (ii) La seva emissió és descentralitzada.
- (iii) No són controlats per cap Estat o entitat financera.
- (iv) Amb freqüència operen en circuits transnacionals.
- (v) No necessiten intermediació⁴.

Altres autors com Jan Lansky, van fixar una sèrie de condicions per a considerar a una criptomoneda. Aquestes condicions (o requisits) són sis i han d'existir tots alhora. Són les següents (Jan Lansky, 2018, p. 2):

- (1) El sistema no requereix una autoritat central sinó que segueix un sistema de consens distribuït. Aquestes mateixes paraules s'utilitzen en la pàgina web de <https://bitcoin.org/es/como-funciona> i, en realitat, va relacionat amb el concepte de mineria que ja s'ha tractat al subcapítol anterior (Bitcoin, 2024). Aquest sistema s'utilitza per confirmar les transaccions pendents de ser incloses en la cadena de blocs.

⁴ Fins ara, s'havien tractat totes les característiques, segons Cabrera Solto i Lage Codorniu, excepte aquesta última. Aquesta propietat pot ser un avantatge o un inconvenient segons com s'analitzi. Els riscos inherents dels seus usos són la irreversibilitat de cada transacció. Un cop s'efectua el pagament, és totalment impossible desfer-lo (Quiroga Juárez, 2023, p. 5).

- (2) El sistema manté una visió general de les unitats de criptomoneda i de la seva propietat. En el cas del Bitcoin, criptomoneda per excel·lència, aquesta està dissenyada per a tenir un nombre finit: 21 milions. En l'actualitat, el nombre de bitcoins que es troben en circulació arriba a la xifra de 19,74 milions i, a mesura que els miners validin blocs de transaccions, aquest número augmentarà. Però mai podrà superar la quantitat de 21 milions. Això provocarà dues qüestions:
- La primera: Hi haurà un moment on les recompenses per la mineria seran tan petites que arribaran a 0.
 - La segona: Aquest número infinit de bitcoin fa que l'actiu sigui escàs (cas dels materials preciosos, com l'or i la plata, i de matèries primes com el petroli). Aquest factor podria ajudar a mantenir constant el seu valor a llarg termini i, fins i tot, augmentar-lo en el cas que la demanda creixi.

Il·lustració 1. Informació sobre BITCOIN en data 20/08/2024.



Font: <https://coinmarketcap.com/es/currencies/bitcoin/>

- El sistema defineix si es pot crear nova criptomoneda o no. En el cas afirmatiu, el sistema determina les circumstàncies.
- La propietat d'una criptomoneda es pot demostrar exclusivament de forma criptogràfica.
- El sistema permet realitzar transaccions en les quals es permet canviar la propietat de les unitats criptogràfiques.

- (6) El sistema permet fer transaccions de monedes entre diferents propietaris, però només quan es pugui comprovar que són fetes pel vertader propietari. Això s'aconsegueix mitjançant codi QR, tecnologia NFC o firma digital.

En conclusió, els avantatges més importants que es podrien extreure dels apartats anteriors és que les criptomonedes no depenen de cap banc central: és una moneda descentralitzada (no està recolzada per cap entitat legal o govern). A més, el seu procés d'emissió és automàtic, predictable i no està al servei de cap usuari privilegiat. Tanmateix, darrere d'aquests avantatges, hi ha un gran fet que s'amaga al darrere: No es basa en béns materials, sinó que són els individus que negocien amb la criptomoneda els que determinen el seu valor. Per tant, podríem afirmar que el seu valor varia segons l'oferta i la demanda.

1.4 Criptomonedes utilitzades en l'estudi

El mercat de les monedes ha estat monopolitzat pel Bitcoin fins fa poc anys. Segons Domínguez Jurado i García Ruíz, “*parlar de capitalització de mercat era sinònim de parlar de capitalització del Bitcoin*”(Domínguez Jurado & García Ruíz, 2018). Aquesta afirmació podria seguir essent certa avui en dia, ja que actualment Bitcoin ocupa més de la meitat de la capitalització total de les criptomonedes. La següent taula representa molt gràficament la immensitat de Bitcoin sobre les altres criptomonedes:

Criptomoneda	Capitalització de mercat (20/08/2024)	Quota de mercat
Bitcoin (BTC)	1195070,351	55,81%
Ethereum (ETH)	317081,436	14,80%
Tether (USDT)	117238,653	5,47%
BNB (BNB)	82054,897	3,84%
Solana (SOL)	66520,624	3,11%
USDC (USDC)	34738,085	1,62%
XRP (XRP)	33761,465	1,58%
LIDO STAKED ETHER (STETH)	25878,61	1,21%
Toncoin (TON)	16931,634	0,79%
Dogecoin (DOGE)	15358,158	0,72%
TOTAL	1904633,913	88,95%

La capitalització de mercat és un indicador clau per comparar les criptomonedes en el mercat. Al mateix temps, serveix per conèixer la popularitat i acceptació d'una criptomoneda en el mercat. Les que tinguin un índex més elevat tenen, per tant, una major base d'usuaris i demanda (Bitso Argentina, 2023).

En resum, a capitalització de mercat és un paràmetre indispensable per valorar una criptomoneda, avaluar la seva estabilitat i prendre decisions d'inversió eficients. És per aquest motiu que és força utilitzada per molts analistes a l'hora de determinar com gestiona el seu capital.

Per aquest motiu, hem escollit per fer el nostre estudi quatre de les criptomonedes amb més capitalització de mercat. D'aquesta manera evitem possibles monedes fraudulentas:

- 1) Bitcoin
- 2) Ethereum
- 3) BNB
- 4) Solana

Taula 1. Cotitzacions de les criptomonedes en l'horitzó temporal estudiat

Data	Bitcoin	Ethereum	Solana	BNB
01/01/2021	24.165,56 €	600,86 €	1,52 €	31,18 €
30/12/2023	38.080,05 €	2.081,04 €	96,16 €	283,91 €

Font: Elaboració pròpia

Així doncs, la qüestió a resoldre a continuació és la que dona títol al capítol: “*Per què invertir en criptomonedes?*”. Per resoldre aquesta complexa pregunta, citem a Van K. Tharp que estableix una sèrie de sis criteris per a inversors abans d'entrar a qualsevol mercat. Aquests són els següents (Tharp, 2007, p. 187):

1. **Liquiditat:** La liquiditat és la capacitat d'un bé en convertir-se en diners en preu de mercat, és a dir, sense perdre valor. Com més ràpid es pugui transformar en diners, més líquid serà l'actiu. El fet de no acceptar rebaixes de preu fa referència a que l'actiu es vengui pel seu valor de mercat. Tant les criptomonedes, com les accions, són actius molt líquids.
2. **Novetat del mercat:** Segons Van K. Tharp, recomana no implicar-se en contractes de futurs de recent creació, com accions de recent creació o mercats emergents. La possibilitat de cometre un error augmenta quan més nou sigui el mercat. Van K. Tharp fa quan parla d'aquest criteri fa referència a mercats de recent creació vol dir aquells que tenen una vida inferior a un any (Tharp, 2007, pp. 187–188). Tot i que el mercat de les criptomonedes ha funcionat molt més anys, és veritat que les seves característiques són semblants als mercats emergents: quan el mercat és alcista els preus pugen molt ràpidament, però quan les expectatives són baixistes, el preu de les criptomonedes baixa en la mateixa proporció.
3. **Organitzadors del mercat i regles del trading:** Com hem vist, les criptomonedes operen en una xarxa descentralitzada, no regulada per governs ni institucions financeres. En conseqüència, les regles del joc són força diferents al mercat d'accions. Així mateix, Van K. Tharp recomana: “*Assegureu-vos que esteu en*

condicions de suportar els pitjors escenaris abans d'entrar al mercat" (Tharp, 2007, p. 188). Aspectes com la seguretat de les carteres digitals, la gestió de clau privada i les plataformes d'intercanvi tenen un paper fonamental i són les principals diferències respecte als mercats tradicionals.

4. Volatilitat: Entenem com volatilitat la variació respecte al moviment de preus que hi ha hagut en un període de temps determinat. En la part empírica del treball s'observarà com aquesta ens proporcionarà informació sobre l'agrupació o dispersió de les dades respecte a la mitjana. Si la dada de volatilitat és elevada en un actiu, més risc estarem assumint i, per tant, demanarem que l'actiu ens recompensi amb una volatilitat major. Van K.Tharp també parla que *"tant pels traders intradiaris com pels que operen en mercats consolidats necessiten la volatilitat suficient com per aconseguir beneficis que siguin de dos a tres vegades el risc inicial"* (Tharp, 2007, p. 189).
5. Capitalització: Els inversors conservadors, al contrari dels inversors que tendeixen a operar intradiàriament, no desitgen grans variacions de preus, sinó que esperen variacions suaus dels preus. El mercat de les criptomonedes és molt volàtil, però la inversió en actius amb una capitalització més elevada tendeixen a ser més segures pels inversors. Això és en conseqüència que tenen una comunitat més gran, hi ha major adopció i tenen un projecte i una infraestructura més desenvolupada.
6. Criteris del mercat i del trading: Els inversors que decideixen invertir en qualsevol mercat han d'establir prèviament una estratègia d'inversió. Sobretot en els casos on el capital per invertir sigui inferior. Com ja s'ha explicat, el nostre horitzó temporal és de trading a llarg termini. Tot i així, el mercat de les criptomonedes es caracteritza per un gran nombre d'inversors que operen mitjançant estratègies de trading a curt termini o trading intradiari.⁵

⁵ El trading a curt termini es caracteritza per buscar obtenir un benefici dels moviments de mercats alcistes del mercat en un horitzó temporal mesurable en dies. Molt ocasionalment aquest és superior a les dues setmanes. Per portar a terme una òptima estratègia de trading a curt termini és imprescindible l'ús de gràfics

2. LA TEORIA DE MODERNA DE GESTIÓ DE CARTERES

A mitjans del segle XX analistes econòmics van començar a estudiar l'evolució de les variables econòmiques i de la seva capacitat per poder-se anticipar a escenaris baixistes o alcistes. Les accions van ser el principal objecte d'estudi.

En 1953 Kendall va iniciar un estudi sobre la tendència de preus del valor de les accions (<<*The analysis of Economic Time Series, Part I: Prices*>>. Journal of the Royal Statistical Society 96 (1953)). Aquest autor va fer diferents hipòtesis: les accions havien de reflectir les perspectives de beneficis, dividendes, l'impacte dels cicles econòmics... Després de realitzar l'estudi, va arribar a la conclusió que els preus semblaven respondre a un patró aleatori. Segons Kendall, els preus de les accions eren impredecibles i irracionals (Brun & Moreno, 2008, p. 11).

A una conclusió molt similar va arribar Bachelier, l'any 1900, en la seva tesi doctoral *Théorie de la Spéculation*. Aquest autor va portar a terme un estudi sobre el comportament del preu dels bons en la Borsa de Paris. En les conclusions de la seva anàlisi, va proposar que els preus dels bons seguien un comportament aleatori, sense que es poguessin fer prediccions (Álvarez, 2013). Aquest concepte s'anomena *random walk* o passeig aleatori.

Segons Malkiel, a “*a random walk és aquell en que els passos futurs o la direcció no es pot predir a partir de l'història anterior*” (Malkiel, 2016, p. 26). Per tant, seguint aquesta hipòtesi, serien inútils qualsevol servei d'assessoria d'inversió o els complicats gràfics *candlestick* per intentar predir preus. És especialment curiosa l'analogia que utilitza Malkiel per conceptualitzar aquest concepte: “*Vol dir que un ximpanzé, amb els ulls tapats, tirant dards sobre la pàgina de cotitzacions borsàries d'un periòdic podria seleccionar una cartera de valors tan bona com la seleccionada pel millor dels experts*” (Malkiel, 2016, p. 28).

Posteriorment, Kendall va fer un matis respecte a les seves conclusions que havia arribat en el seu anterior estudi. Va establir que el comportament aleatori d'accions volen dir que

borsaris expressats en dies i hores. En contraposició, el trading intradiari, també anomenat day trading, busca l'obtenció de beneficis en períodes més breus de temps, per tant, l'horitzó temporal és encara menor, rarament supera un dia. L'altra diferència fonamental és l'ús de gràfics on l'escala temporal és de minuts (5, 15, 30 i 60 minuts (Petitjean, 2005, pp. 165–167).

el mercat és eficient i, per tant, funciona correctament. En el cas contrari, quan el mercat és irracional, no és eficient.

2.1 L'eficiència dels mercats financers

“L'assignació de recursos disponibles és el problema fonamental de l'economia” (Gómez Bezares, 2016, p. 37). Amb aquesta afirmació, Gómez Bezares entén la gestió de capitals en les inversions financeres com un cost d'oportunitat. Quan entrem al mercat, tenim recursos limitats. Per tant, cadascú decidirà com invertir cada unitat dels recursos disponibles.

En el mercat financer trobem compradors i venedors de diferents actius financers on, segons el joc de l'oferta i la demanda, acorden la transacció per un preu determinat. D'aquesta manera, els recursos més escassos i amb menys oferta, seran els que tinguin un preu més elevat. Altrament, els recursos més abundants tindran preus més econòmics. En aquest joc de l'oferta i demanda el paper dels oferents i demandants no és estàtic: els actius amb preus elevats provocarà que els venedors intentin augmentar l'oferta si és factible, disminuint l'escassetat d'aquest. Tanmateix, els demandants buscaran altres alternatives complementàries a l'actiu, per exemple. A la inversa, quan l'actiu sigui més barat, els oferents intentaran disminuir l'oferta mentre que els demandants intentaran comprar-lo al millor preu.

Tot i això, per què hi hagi una assignació eficient de recursos, és necessari l'existència de mercats perfectes. Citant de nou a Gómez Bezares, per què un mercat pugui considerar-se perfecte, s'han de complir les següents propietats (Gómez Bezares, 2016, pp. 37–39):

- (i) No hi ha fricció en els mercats: No hi ha costos de transacció ni impostos o barreres que dificultin les condicions de compra. Els recursos es poden moure lliurement, tots els actius es poden comerciar i són perfectament divisibles. En un mercat sense fricció els inversors poden comprar o vendre actius sense haver de tenir despeses addicionals.
- (ii) Els mercats són competitius: En un mercat competitiu hi ha una gran quantitat d'oferents i demandants, per la qual cosa cap és suficientment gran com per a influir en els preus. Això implica que qualsevol intent de

manipular el mercat es veurà ràpidament neutralitzat per altres participants, assegurant que els preus s'ajustin immediatament a la nova informació. També implica que els béns i serveis siguin homogenis i idèntics, de manera que l'inversor no té preferència per un o per altre.

- (iii) Existència d'eficiència informacional: La informació és gratuïta i arriba simultàniament a tots els individus. Qualsevol notícia o informació nova que afecti el valor d'un actiu es reflecteix de forma immediata en el preu. Per tant, ningú pot treure un avantatge competitiu, ja que la informació és pública i, en conseqüència, ja està inclosa en el preu de l'actiu.

Aquestes condicions són força utòpiques i no es produeixen en la realitat, tant en els mercats de capital com financers. És per aquest motiu que s'ha desenvolupat un altre concepte paral·lelament als mercats perfectes, el mercat eficient. Segons Fama (1970), *“un mercat és sempre eficient quan els preus sempre mostren tota la informació disponible”* (Gómez Bezares, 2016, p. 39). Amb aquesta darrera afirmació, l'autor fa referència al fet que els preus són un senyal correcte per a l'assignació de recursos.

Segons Eugene Fama, per què un mercat sigui considerat com a perfecte, s'han de donar les següents condicions (Fama, 1970):

- (i) Els preus actuals canvien ràpidament per ajustar-se al nou valor intrínsec o teòric derivat de la nova informació. A banda, tota la informació disponible és utilitzada per tots els participants del mercat.
- (ii) El període entre dos ajustos de preus o informació successius és una variable aleatòria independent.
- (iii) Que no hi hagi costos de transacció.

La hipòtesi del mercat eficient explica per què és possible el passeig aleatori. El seu fonament radica en el fet que el mercat de valors s'ajusta amb tanta precisió a la nova informació que ningú pot predir el que succeirà en el futur de forma absoluta. A causa de

l'actuació dels professionals, els preus de les accions reflectiria tota la informació que és disponible (Malkiel, 2016, p. 170).

Això vol dir que si tinguéssim un ordinador capaç de calcular el preu teòric exacte de cada acció, passaria el següent: Imaginem que determina que el valor teòric de l'acció A és de sis euros i avui cotitza a quatre. Qualsevol persona racional parlaria amb el seu intermediari financer per comprar accions de l'empresa A. Mentrestant, les persones que tinguessin accions d'A no vendrien les accions per sota de sis euros. En conseqüència, aquest fet provocaria que el preu de l'acció pugés a sis euros i, a partir d'aquest moment, la resta de moviments en el preu de l'acció A serien incerts.

Tot i això, també es podria considerar utòpic el concepte de mercat eficient. És per aquest motiu que podria ser que no es complissin totes les condicions esmentades per Fama, però podríem considerar un mercat igualment eficient. Per exemple, en un mercat amb costos de transacció podria ser que moltes de les operacions no es portessin a terme. Així mateix, quan aquestes operacions es realitzessin, els preus podrien ser correctes. De la mateixa manera, seria suficient només si un nombre d'agents determinat pogués accedir a tota la informació disponible i donar una interpretació correcta d'aquesta (Gómez Bezares, 2016, pp. 39–40).

Per tant, és important deixar clar que el concepte d'eficiència és una construcció teòrica i, per aquest motiu, mai s'ajustarà de forma exacta a la realitat. La hipòtesi mai es donarà de forma exacta, el que sí serà important és observar si la condició que els preus reflecteixen tota la informació disponible.

2.1.1 Tipus d'eficiència del mercat

Esmentant de nou a Gómez Bezares, “*en un mercat eficient els preus són la millor estimació possible dels valors dels actius que hi cotitzen*” (Gómez Bezares, 2016, p. 43). Així mateix, paradoxalment, és important també que al menys una part dels participants en el mercat creguin que tenen oportunitats d'enriquir-se, analitzant tota la informació disponible i comprar a un preu més baix que el valor intrínsec o vendre més alt.

En aquest subcapítol es presenten els diferents nivells d'eficiència als que pot arribar el mercat, en funció del seu nivell d'informació disponible i el seu impacte en les cotitzacions. Aquests nivells van ser presentats l'any 1967 per Roberts (Roberts, 1967):

- (i) Eficiència dèbil: Els preus incorporen tota la informació històrica de preus i volum de negociació. Per tant, analitzant els patrons temporals de cotitzacions del passat no es podrien aconseguir rendibilitats extraordinàries. Això implica que totes les sèries històriques d'accions són públiques i no tenen cap cost. En conseqüència, tots els inversors tindran les mateixes dades. En el cas que hi hagués analistes que haguessin après a detectar el comportament futur d'accions a través dels patrons passats de preus, qualsevol signe serà detectat per ells ràpidament i el preu reflectirà aquesta informació històrica (Brun & Moreno, 2008, p. 13). Per tant, en un mercat amb eficiència dèbil, els analistes tècnics no obtindrien benefici.

- (ii) Eficiència semiforta: Els preus incorporen tota la informació pública disponible. Aquesta eficiència inclou no només els preus passats (volums i preus), sinó que ara se li afegeix la informació pública (beneficis obtinguts, dividendes a pagar...). En aquest cas, només seria possible obtenir rendibilitats extraordinàries mitjançant la utilització d'informació privilegiada (si existís). Els inversors que basessin les seves prediccions en l'anàlisi fonamental mitjançant l'estudi de variables com l'estudi de balanç, resultats d'una empresa, creixement del sector... estarien perdent el temps analitzant empreses, ja que els preus ja reflecteixen tota la informació existent en el mercat (Brun & Moreno, 2008, p. 15).

- (iii) Eficiència forta: El preu reflexa tota la informació possible d'una empresa, tant la privilegiada com la no privilegiada. En aquest cas, cap inversor pot aconseguir rendibilitats extraordinàries, ja que estarien reflectides en el preu.

En conclusió, un mercat és eficient quan utilitzant tota la informació no podem obtenir rendibilitats extraordinàries perquè aquesta informació ja està inclosa en el preu. Suposant que el mercat és eficient, podem arribar a concloure les següents deduccions (Gómez Bezares, 2016, p. 45):

- (i) Els preus que ofereixen el mercat són els correctes cap analista, tècnic o fonamental, podrà aconseguir millors rendiments que un inversor sense un coneixement especialitzat.
- (ii) L'inversor no pagarà per un servei que ell mateix és capaç de realitzar, per la qual cosa els gestors de carteres són qüestionats, ja que "superar" recurrentment al mercat és extremadament difícil o quasi impossible.
- (iii) Els preus que indica la borsa són més fiables que la resta d'estimacions i dades de valor d'una empresa, inclosos els comptables.
- (iv) El mercat podrà assimilar, sense dificultat, la venda de grans volums d'actius a causa de la confiança del preu marcat, sense que hi hagi una disrupció significativa de preus.

Malkiel té un punt de vista més crític respecte a la hipòtesi dels mercats eficients. Segons aquest autor, a diferència del que han assegurat altres economistes "*la hipòtesi dels mercats eficients no afirma que els preus siguin sempre correctes*" (Malkiel, 2016, p. 165). Citant de nou a l'autor, el que això suposa és que "*ningú sap amb seguretat si els preus de les accions són alts o baixos [...]. La raó que els preus canviïn aleatòriament consisteix en el fet que el mercat és tan eficient que ningú pot comprar o vendre el suficientment ràpid com per a obtenir beneficis, i la informació real evoluciona tan aleatòriament que no pot predir-se estudiant informació tècnica ni fonamental*" (Malkiel, 2016, pp. 165–166)".

Inclòs Benjamin Graham, proclamat com el pare de l'anàlisi d'inversió fonamental, va arribar a conclusió en una entrevista, el 1976 en el Financial Analysts Journal, que ja no es podia utilitzar l'anàlisi fonamental per obtenir beneficis d'inversió. Citant les seves paraules:

"Ja no sóc defensor de les tècniques elaborades de l'anàlisi d'inversió per trobar millors oportunitats per a trobar actius. Aquesta era una activitat gratificant fa uns quaranta anys, quan és va publicar per primera vegada el Graham i Dodd [referint-se al seu llibre

amb David L. Dodd conegut com a “Security Analysis]; però la situació ha canviat. Dubto que esforços tan amplis produeixin una selecció superior que justifiqui els costos [...] Estic de part de l'escola de pensament del mercat eficient” (Benjamin Graham, 1976).

Un altre exemple sobre l'eficiència de mercat és analitzat per Malkiel: En 1976 els editors de la revista Forbes van escollir una cartera d'accions ordinàries tirant dards a les pàgines de la borsa de New York Times. Disset anys després, el resultat d'aquella cartera superava a la majoria de carteres gestionades per fons d'inversió (Malkiel, 2016, p. 161).

Respecte aquest anàlisis podem arribar a la següent conclusió: Si el mercat és eficient i valora correctament els actius financers del mercat, llavors la millor opció per l'inversor és la gestió passiva. Comprar i mantindre els actius, per evitar costos innecessaris. Gómez Bezares, fa referència a que també hi poden haver petites ineficiències que poden ser aprofitades pels inversors més hàbils, que obtindran una recompensa pel seu treball. En el cas que no existissin aquests inversors, i tothom es dediqués a la gestió passiva (estratègia òptima), aviat es generarien grans ineficiències, que podrien ser aprofitades per les persones que les descobreixin (Gómez Bezares, 2016, p. 53).

2.2 La teoria Moderna de Gestió de Cartera

Al llarg de la història moltes persones han passat temps intentant desenvolupar mètodes i estratègies que s'apropin a la inversió perfecta. Però, probablement, ningú ha estat tan popular com l'economista Harry Markowitz al publicar al 1952 la *Modern Portfolio Theory* o Gestió Moderna de Cartera.

Mentre investigava la comprensió dels preus de les accions, que en aquell moment consistia en el model de valor present de Williams, Markowitz es va adonar que la teoria mancava d'una anàlisi de l'impacte del risc. Va observar que el que més desitjaven els inversors era maximitzar la rendibilitat de les seves inversions sense preocupar-se per cap altre factor.

Aquesta situació va ser estudiada per Markowitz i va arribar a la conclusió que la variable rendibilitat no pot ser estudiada independentment de la variable risc. Si un inversor desitja obtenir una rendibilitat determinada, escollirà l'actiu que tingui una menor volatilitat, o

el que és el mateix, un menor risc⁶ (Brun & Moreno, 2008, p. 33). Si, en canvi, l'inversor estigués disposat a assumir un risc més elevat, preferirà un actiu amb major volatilitat.

Abans d'analitzar aquest model, s'ha de tenir present que per establir un model de decisió, s'ha de preguntar primer a l'inversor quins són els seus gustos. És evident que cadascú tenim gustos diferents, però es poden fer diferents generalitzacions (Gómez Bezares, 2016, p. 69):

- A. Tot inversor prefereix més riquesa. Si et donen a escollir entre tenir més o menys diners, sembla poc discutible la resposta.
- B. Els inversors són enemics del risc, entenent el risc com un perill, o en el cas de les finances, un actiu més arriscat. Com ja s'ha comentat, podem associar el risc a la variabilitat dels resultats (variància o desviació estàndard).

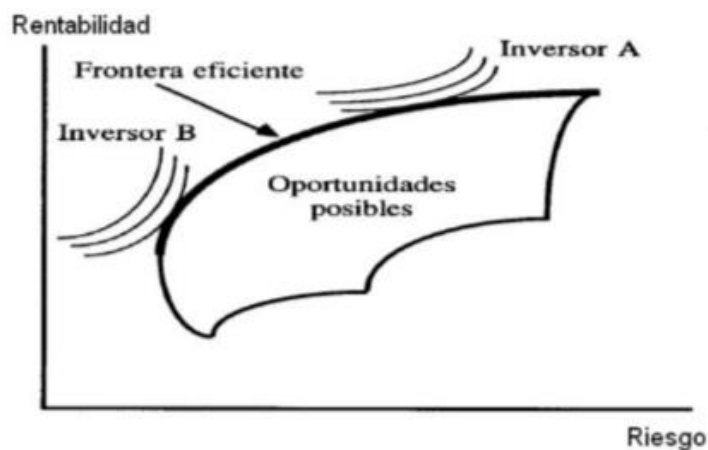
Si acceptem que els decisors són enemics del risc, en conseqüència, el risc ha de ser remunerat. Això vol dir que si l'inversor escull un actiu més arriscat, ho farà perquè espera un major resultat.

La teoria moderna de cartera parteix d'aquesta premissa: tots els inversors són contraris al risc, és a dir, la teoria explica als inversors com combinar les accions en les carteres de forma que proporcionin el menor risc possible en relació amb els rendiments que desitgen (Malkiel, 2016, pp. 175–176). Si suposem que a l'inversor li interessa conèixer la distribució de probabilitat de les rendibilitats, i suposem que aquestes rendibilitats segueixen una distribució normal, el model queda definit per dos paràmetres: l'esperança matemàtica i la desviació típica.

Per introduir-nos en el model hem de pensar que en els mercats financers hi ha una gran quantitat d'actius en els quals repartir la riquesa. L'inversor podrà decidir formar carteres i dividir el seu pressupost en un conjunt d'actius o invertir la integritat del seu capital en un sol actiu. El conjunt de possibilitats d'inversió, més endavant entesos com a carteres, formen un mapa com el de la següent il·lustració:

⁶ Per exemple, si a un mercat només existeixen l'actiu A i l'actiu B amb dues rendibilitats semblants d'un 10%, quin actiu escolliria? Molt probablement la resposta de la majoria de la població seria <<depèn>>. I molt probablement aquesta resposta seria perquè s'ha de tenir en compte el risc en l'operació. Si l'actiu A tingués una volatilitat del 15% i el B d'un 35%, queda força clar que l'estratègia òptima d'inversió seria l'actiu A perquè ofereix una mateixa rendibilitat amb un menor risc.

Il·lustració 3. Gràfic d'oportunitats d'inversió amb corbes d'indiferència.



Font:(Gómez Bezares, 2016, p. 92)

El gràfic mostra diverses oportunitats d'inversió que ofereixen una rendibilitat i un risc determinat. Com ja hem esmentat, entre dos actius amb una mateixa rendibilitat, cada inversor escollirà el que tingui el menor risc. Per aquest motiu, els actius o carteres preferides per cada inversor se situaran a l'esquerra de l'univers de possibilitats d'inversió. Markowitz va ser el primer en denominar aquestes carteres com eficients (Brun & Moreno, 2008, p. 33). El conjunt de carteres eficients se li anomena frontera eficient o frontera de mínima variància, essent el lloc que representen les carteres que tenen un menor risc per a una determinada rendibilitat mitjana.

Quan ja es determina quina és la frontera eficient, el següent pas consisteix en conèixer quina és la funció d'utilitat de l'inversor. Cada inversor tindrà una funció d'utilitat o corba d'indiferència⁷ que, sota unes condicions relativament acceptables, seran sempre creixents amb pendents positius. Aquesta dependrà de l'esperança matemàtica i la desviació estàndard, relacionades de manera que un augment del risc fa disminuir la utilitat i un augment del rendiment fa augmentar-la.

La funció d'utilitat tindrà els següents components:

$$U=f(E_p,\sigma_p) ; \frac{\partial U}{\partial E_p} > 0 ; \frac{\partial U}{\partial \sigma_p} < 0$$

⁷ Una corba d'indiferència és una funció que reporta una utilitat concreta per a cada individu. Al llarg de la corba, el individu obté el mateix nivell d'utilitat i, quan més alta es la corba, major és la seva utilitat.

On:

U = Representa l'índex d'utilitat o satisfacció.

E_p = Representa el retorn de la cartera.

σ_p = Representa el risc de la cartera, mesurat com la desviació estàndard dels retorns.

- $\frac{\partial U}{\partial E_p} > 0$: La utilitat augmenta quan ho fa el E_p . Com més alt sigui el retorn esperat, major serà la utilitat de l'inversor.
- $\frac{\partial U}{\partial \sigma_p} < 0$: La utilitat disminueix quan augmenta σ_p . Això reflecteix l'aversion al risc.

La funció d'utilitat descriu les preferències de cada individu. Un cop s'ha mesurat l'actitud de l'inversor davant el risc, llavors es pot concretar quina és la seva cartera òptima. En el cas de la il·lustració anterior, l'inversor B serà més advers al risc. Es conformarà amb un rendiment més baix però assumint menys risc que no pas l'inversor A, que a canvi d'assumir un risc superior, buscarà una rendibilitat major.

Sintetitzant la informació anterior, el model de Markowitz el podem diferenciar en tres etapes:

- Etapa 1: Determinació del conjunt de carteres eficients (Frontera eficient).
- Etapa 2: Especificació de l'actitud de l'inversor enfront del risc.
- Etapa 3: Determinació de la cartera òptima.

Per a poder aplicar aquest model en la part pràctica, s'han de tenir en compte els següents supòsits. Alguns ja han estat esmentats fins aquest punt i, d'altres, citem a Brun i Moreno (Brun & Moreno, 2008, p. 82):

- (i) La rendibilitat d'un actiu o cartera ve donada per la seva esperança matemàtica o valor mitjà i el risc mitjançant la desviació estàndard.

- (ii) L'inversor racional prefereix carteres amb major rendibilitat i menor risc, com s'ha observat a través de la seva funció d'utilitat. Els inversors buscaran seleccionar carteres en la frontera eficient.

- (iii) El retorn dels actius segueixen una distribució normal. Això facilita el càlcul del risc i la rendibilitat esperada, tot i que a la pràctica les rendibilitats poden no seguir una distribució normal.

- (iv) El model de Markowitz es desenvolupa sota les condicions d'un mercat eficient amb totes les característiques que havíem vist fins ara. No s'estableix específicament que els mercats siguin perfectament eficients, però la idea subjacent és que els preus reflecteixen correctament les rendibilitats i el risc.

3. Estadística descriptiva de les criptomonedes seleccionades

En el primer capítol, s'ha intentat explicar per què invertir en criptomonedes pot ser un bon actiu per començar a invertir si encara no ho estàvem fent i, per tant, introduir en les nostres carteres de gestió. Així mateix, s'han presentat des d'un punt de vista conceptual, sense analitzar quines són les seves propietats.

L'objectiu d'aquest capítol és introduir-les des del punt de vista de l'estadística descriptiva per demostrar per què són diferents de les accions.

En aquest apartat s'estudiaran les dades a partir de les rendibilitats logarítmiques diàries dels actius amb una amplitud temporal de tres anys, des del 01/01/2021 fins al 31/12/2023. L'avantatge de les rendibilitats efectives diàries és que són més intuïtives i fàcils d'interpretar:

$$\text{Rendibilitats efectives diàries } (R_t) = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \times 100$$

On:

$R_{(t)}$ = Rendibilitat en el dia t

P_{t-1} = Preu de tancament del dia t-1

P_t = Preu de tancament del dia t

$$\text{Rendibilitats logarítmiques diàries } r_{(t)} = \ln\left(\frac{P_{t+1}}{P_t}\right)$$

On:

P_{t+1} = Preu de tancament del període t+1

P_t = Preu de tancament del període t

Així mateix, les rendibilitats logarítmiques són més utilitzades en les finances per calcular models temporals llargs i estudis de volatilitat. El principal avantatge de les rendibilitats logarítmiques diàries és que tenen la propietat de ser additives en el temps, és a dir, la

rendibilitat logarítmica acumulada de dos períodes de temps ($t=2$) és la suma de les seves rendibilitats logarítmiques diàries:

$$\text{rendiment acumulat} = r_1 + r_2 = \ln\left(\frac{P_1}{P_0}\right) + \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

D'una banda, considerarem el conjunt de preus diaris de les cotitzacions com una mostra, i no com una població. Això, és perquè representen només un conjunt de dades de cotitzacions de preu del total històric de cotitzacions.

D'altra banda, la mida de la mostra és de $n_d=1092$ elements, que seran els seus respectius preus de tancament de cadascuna.

3.1 Binomi Rendibilitat-Risc

Per representar la mitjana del rendiment de les criptomonedes s'han utilitzat dues fórmules: la mitjana aritmètica i la mitjana geomètrica. La primera d'aquestes pot ser afectada per valors atípics o extrems i pot arribar a tenir errors d'interpretació⁸. En contraposició, la mitjana geomètrica si té en compte els interessos, és a dir, si pren en consideració els rendiments al llarg del temps de l'interès compost.

Per mesurar el risc, s'ha utilitzat la desviació estàndard, que justament és la mateixa mesura que considerava el model de Markowitz. Aquesta proporciona informació sobre l'agrupació o la dispersió de les dades respecte a la mitjana.

$$\text{Mitjana aritmètica } (\bar{x}) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\text{Mitjana geomètrica } (G) = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

⁸ Si perdem un 50% del nostre capital en el període t per després guanyar un 50% en el període $t+1$, la Mitjana aritmètica és 0% però, en realitat, no ens quedem igual. És per aquest motiu que pot no arribar a representar de manera precisa el resultat.

$$\text{Variància } (\sigma_x^2) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$\text{Desviació estàndard } (\sigma_x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

On:

x_i = Valors de les dades

\bar{x} = Mitjana de les dades

n = La mida de la mostra

Aplicant les següents fórmules arribem a la següent taula:

Taula 2. Estadística descriptiva del rendiment logarítmic de les criptomonedes

	Bitcoin	Ethereum	Solana	BNB
Mitjana Aritmètica	0,0416%	0,1137%	0,3797%	0,2021%
Mitjana Geomètrica	-0,0140%	0,0175%	0,1418%	0,0814%
Variància	0,11%	0,19%	0,45%	0,24%
Desviació Estàndard	3,32%	4,34%	6,74%	4,93%

Font: Elaboració pròpia

En primer lloc, s'ha de comentar que la mitjana aritmètica de cada actiu ha estat positiva. Solana ha estat la criptomoneda amb una mitjana de rendiment diari superior, seguida per BNB, després Ethereum i, en darrer lloc, Bitcoin.

Així mateix, crida molt l'atenció com el Bitcoin té una mitjana geomètrica negativa. Com és possible si el preu entre el 2021 i 2023 va pujar de 24.165,56 € a 38.080,05 €?

Aquesta pregunta explica la naturalesa de les criptomonedes i, per què aquesta anàlisi és necessari fer-lo abans d'incloure qualsevol actiu en una cartera de valors. Que el preu del Bitcoin pugés entre 2021 i 2023 no garanteix a que la mitjana geomètrica sigui positiva. Com ja s'havia esmentat, la mitjana geomètrica té en compte la variabilitat del rendiment a llarg termini, per la qual cosa en el cas d'haver-hi fluctuacions negatives importants, això pot afectar negativament la mitjana geomètrica.

En altres paraules, Bitcoin té una naturalesa d'actiu molt volàtil. Llavors, en l'horitzó temporal estudiat, hi ha hagut dies en els quals Bitcoin ha baixat tan dràsticament de preu que aquelles pèrdues diàries han estat suficients per reduir la mitjana geomètrica a un valor reduït. Per tant, l'alta volatilitat ha tingut un aspecte negatiu que ha penalitzat l'interès compost.

Aquest fet no implica necessàriament que Bitcoin sigui una mala inversió. La mitjana aritmètica i les cotitzacions entre 2021 i 2023 han indicat que aquest actiu ha estat una bona inversió. Els inversors que hagin pogut suportar la volatilitat a curt termini, han vist un augment en el valor de la seva inversió. Tot i així, el risc d'aquesta inversió en un futur comportarà un alt risc com s'ha vist, a causa de l'elevada volatilitat.

També és destacable com a mesura que augmenta el risc de l'actiu, la seva rendibilitat augmenta proporcionalment. Solana ha estat l'actiu amb un rendiment més elevat, però això ja ens ho podíem haver imaginat, ja que el preu a l'1 de gener de 2021 era de 1,52€ mentre que al 31 de desembre de 2023 cotitzava a 96,16€. Addicionalment, també és el que té un risc d'inversió major.

3.2 Dispersió de les dades

És important conèixer el rendiment dels actius i el seu risc, variables que posteriorment farem servir en el Model de Markowitz, però també és important observar quina ha estat la seva dispersió, com es distribueixen respecte a la seva mitjana i, en definitiva, quin patró han seguit els rendiments diaris.

Taula 3. Recorregut de les rendibilitats logarítmiques diàries de les criptomonedes

	Bitcoin	Ethereum	Solana	BNB
Màxim	17,151%	22,290%	30,890%	52,704%
Mínim	-16,686%	-31,320%	-54,349%	-40,019%
Recorregut	33,837%	53,610%	85,240%	92,723%
Tercer Quartil	1,557%	2,213%	3,508%	1,895%
Primer Quartil	-1,419%	-1,716%	-3,010%	-1,538%
Recorregut Interquartílic	2,976%	3,930%	6,518%	3,433%

Font: Elaboració pròpia

La mesura més elemental per entendre la variabilitat de les dades és el recorregut. El recorregut és una mesura de dispersió que indica la diferència entre el valor màxim i el valor mínim de les rendibilitats diàries.

$$\text{Recorregut} = \text{Valor màxim} - \text{Valor mínim}$$

Aplicant aquesta fórmula a les criptomonedes trobem que el seu recorregut és excessivament gran. El màxim rendiment logarítmic diari per Bitcoin va ser de 17,15%, d'Ethereum un 22,29%, de Solana un 30,89% i de BNB un 50,7%. Aquestes dades podrien considerar-se una bona notícia per l'inversor, BNB va augmentar en un dia la meitat del preu de la cotització del dia anterior! Tanmateix, la realitat és una altra. La cara de l'altra moneda són rendibilitats logarítmiques mínimes diàries per Bitcoin d'un -16,86%, per Ethereum d'un -31,32%, en el cas de BNB d'un -40,2% i per Solana un -54,35%. L'extensió de les dades és tan elevada que molts inversors no dormirien bé amb una cartera amb una variabilitat tan elevada de rendibilitats.

Tot i això, quan es calcula el rendiment, s'ha de tenir en compte que la fórmula té certes limitacions. En primer lloc, només proporciona la diferència total entre el valor màxim i el valor mínim. En conseqüència, podem establir que el recorregut es troba afectat per valors extrems i atípics que podrien no reflectir la realitat de les rendibilitats de l'actiu. En segon lloc, la fórmula no reflecteix la dispersió dels valors centrals, sinó que només ho fa de l'extensió global de les dades.

En canvi, el recorregut interquartílic soluciona els inconvenients de la fórmula anterior, proporcionant la diferència entre el primer i el tercer quartil. Aquesta fórmula reflecteix en menor mesura la variabilitat de les dades, és menys sensible a valors extrems i proporciona el recorregut central del 50% de les rendibilitats logarítmiques diàries.

$$\text{Recorregut interquartílic} = Q3 - Q1$$

Si observem el recorregut interquartílic i el comparem amb el calculat amb anterioritat podrem apreciar diferències respecte a la interpretació que havíem fet amb Solana. Solana, la criptomoneda que tenia el recorregut més gram, és la que en realitat té el segon recorregut interquartílic més petit. Aquest fet és en conseqüència que es troba molt afectat per valors extrems. D'altra banda, Bitcoin segueix essent la criptomoneda amb una menor dispersió de les dades.

Si analitzem el coeficient d'asimetria, aquesta mesura ens indicarà com es distribueixen les rendibilitats diàries respecte a la seva mitjana. En altres paraules, identificarà si les dades estan distribuïdes de manera equitativa al voltant de la mitjana (simètriques) o si tendeixen a amuntegar-se en una cua. La seva fórmula és la següent:

$$\text{Coeficient d'Asimetria} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \mu}{\theta} \right)^3$$

On:

x_i = Valors de les dades

μ = Mitjana de les dades

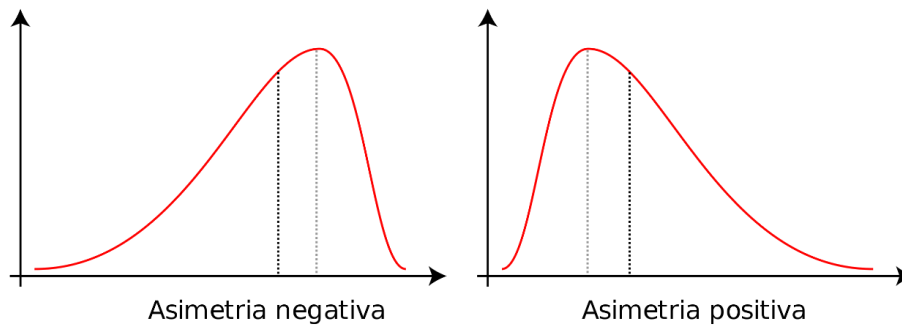
θ = Desviació Estàndard

n = La mida de la mostra

La interpretació del resultat és la següent: Si el coeficient d'asimetria és superior a 0, la cua de la distribució és més gran a la dreta. Llavors, la majoria de les dades es troben a la part esquerra de la mitjana, amb valors extrems a la dreta. Aquest és el cas de BNB.

Per contra, si el coeficient d'asimetria és inferior a 0, la cua de la distribució és més llarga a la part dreta de la distribució, és a dir, la majoria de rendiments diaris es troben a la dreta de la mitjana, però hi ha valors negatius que mouen la distribució cap a l'esquerra: Els exemples d'aquest cas són Bitcoin, Ethereum i Solana.

Il·lustració 4. Distribució de les dades entorn a la mitjana



Font: <https://www.yubrain.com/matematicas/estadistica/que-es-la-asimetria-en-las-estadisticas/>

És tan important calcular la forma de la distribució com la forma de les cues i la seva punta. Per aquest motiu, a continuació també es presenta la curtosi. La curtosi és una mesura estadística que descriu la forma d'un conjunt de dades, especialment en les cues. Mitjançant la seva fórmula obtenim les dades següents:

$$\text{Curtosis} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right)^4 - 3$$

Taula 4. Resultat dels càlculs de Coeficient d'asimetria i curtosi en les criptomonedes

	Bitcoin	Ethereum	Solana	BNB
Coeficient d'Asimetria	-0,2383	-0,47727	-0,4653	0,860946
Curtosis	3,620043	5,698749	7,841075	20,24352

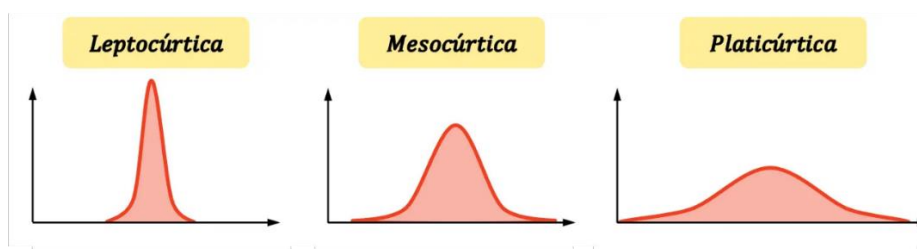
Font: Elaboració pròpia

Quan la curtosi és inferior a 0, la distribució té una punta més baixa i cues més curtes que una distribució normal. Això indica que les dades estan més disperses al voltant de la mitjana i menys concentrades en les cues i, per tant, els valors extrems són menys probables. La forma d'aquesta distribució s'anomena platicúrtica. Així mateix, aquesta

forma de gràfica no es dona en cap de les criptomonedes analitzades. Tampoc es dona la situació d'una curtosi igual a 0⁹.

La curtosi dels actius és superior a 0. Aquesta és la distribució de dades que és indicadora d'una major volatilitat i risc. Això mateix ja es va veure quan es va analitzar el recorregut. Les cues d'aquestes distribucions són molt pesades i la punta és més alta que en les distribucions anteriors.

Il·lustració 5. Concentració de les dades en les cues segons la Curtosi

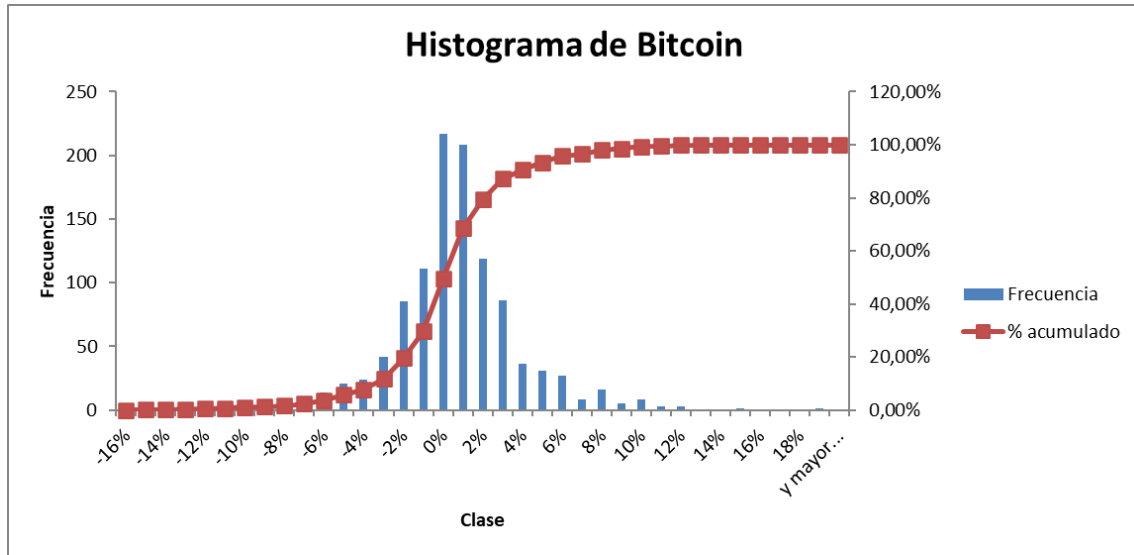


Font: <https://www.probabilidadyestadistica.net/curtosis/>

Seguidament, es mostren les distribucions de les rendibilitats logarítmiques diàries de Bitcoin, la criptomoneda amb una curtosi menor de les analitzades i la distribució de BNB, amb una curtosi de 20,24. Tant la curtosi com el coeficient d'asimetria s'ha de tenir en compte que són mesures adimensionals, és a dir, no tenen unitats.

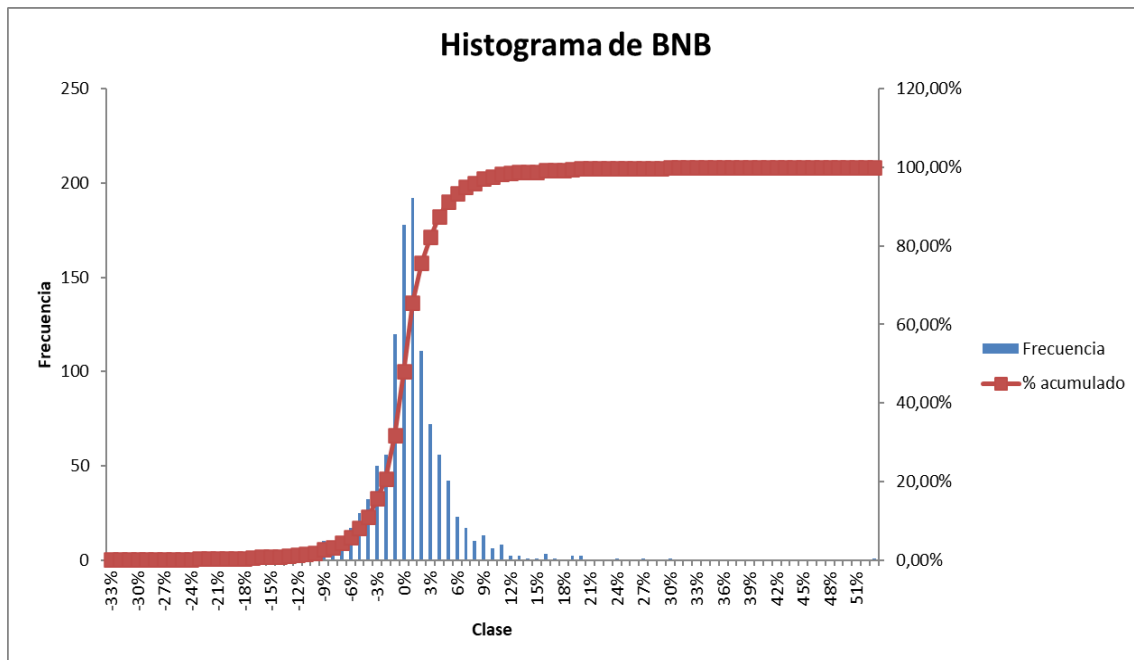
⁹ Aquesta distribució es coneix com a mesocúrtica. Quan la curtosi és igual a 0 és un indicador que les dades es distribueixen al voltant de la Mitjana i les cues segueixen un patró similar. És la distribució més semblant a una distribució normal.

Il·lustració 6. Dispersió de les rendibilitats logarítmiques diàries de Bitcoin



Font: Elaboració pròpia

Il·lustració 7. Dispersió de les rendibilitats logarítmiques diàries de BNB



Font: Elaboració pròpia

Els gràfics anteriors demostren les explicacions que ja havíem esmentat: La presència de valors extrems és molt notable i punta és força més alta que una distribució normal. Però, són aquestes característiques de les criptomonedes, d'elevada volatilitat, les mateixes que les accions? La resposta és que no.

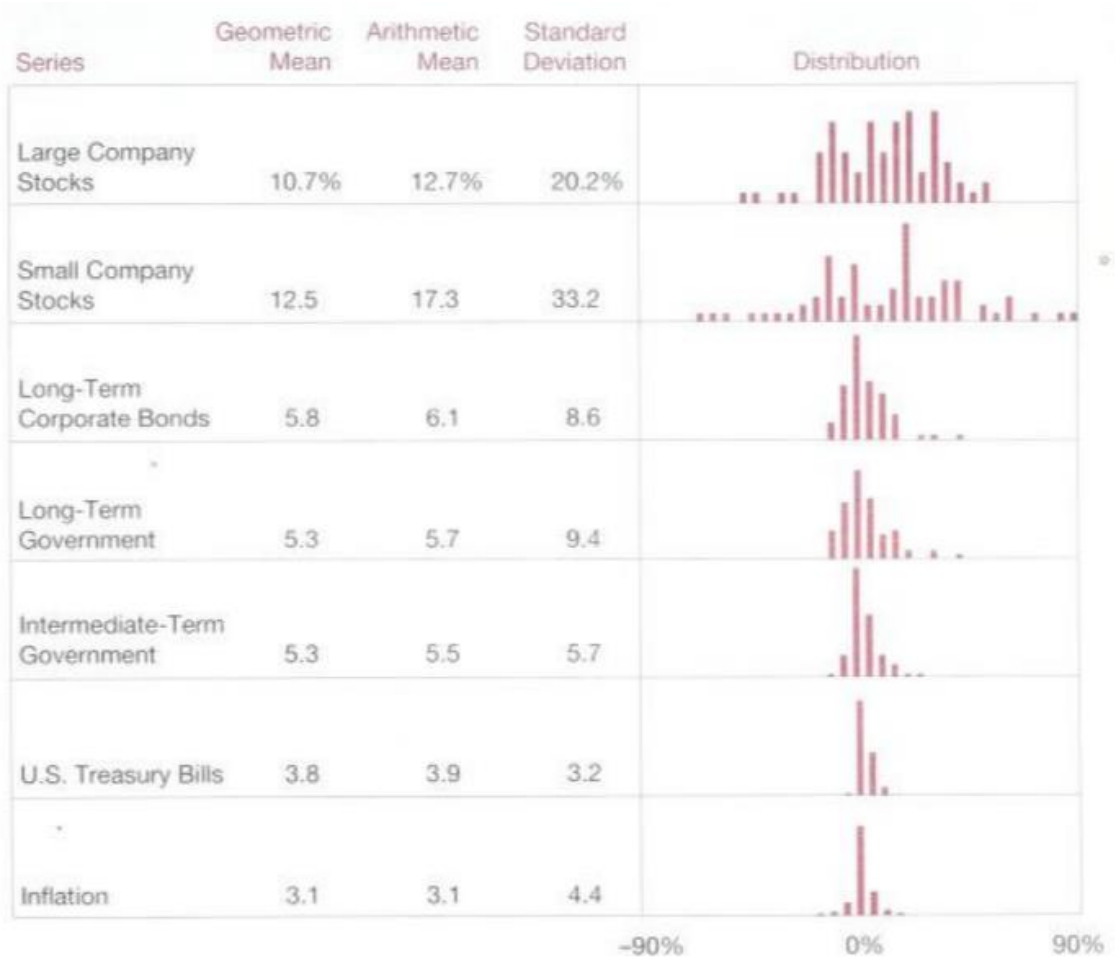
Ibbotson Associates van realitzar un estudi amb dades des del 1926 fins al 2001 on el resultat va ser el que es mostra en la taula 5. Ibbotson Associates va analitzar diferents formes d'inversió: accions, bons, lletres del tresor... i va mesurar anualment el percentatge d'augment o disminució de cascuna de les mostres. Llavors, cada rectangle o barra de referència indica el nombre d'anys en el qual es troben els rendiments anuals amb una amplada d'un 5% cadascun.

Si comparem aquestes distribucions amb les obtingudes de les criptomonedes, observem que la més semblant són les d'accions de petites empreses. Aquestes empreses també poden ser anomenades *chicharros* i són conegudes perquè les seves inversions tenen un risc elevat a conseqüència d'un poc historial de beneficis, trobar-se en sectors competitius, ser empreses amb poca capitalització... Els *chicharros* tenen un potencial de beneficis molt més elevat que les accions amb més capitalització i assentades en el mercat.

En general, aquestes característiques són les que més s'apropen a les criptomonedes.

Les accions d'empreses més grans, contràriament, tenen una dispersió de rendiments molt més semblants a una distribució platicúrtica. Només cal comparar la distribució de la taula 5 amb la il·lustració 5. Això és perquè tenen una major estabilitat i una rendibilitat consistent. En la gràfica es pot observar com els rendiments dibuixen una punta més baixa i les seves cues són més curtes que les accions d'empreses petites.

Taula 5. Distribució històrica del retorn anual de diferents actius, 1926-2001



Font: (Ibbotson Associates, 2002)

4. Aplicació del model de Markowitz

En aquest apartat s'analitzarà la introducció de criptomonedes en una cartera formada per accions de l'IBEX 35. Per suposat, l'objectiu de la introducció de criptomonedes és la de maximitzar la rendibilitat mentre minimitzem la volatilitat de la cartera d'inversió.

Partim de la següent situació: Una cartera formada per 4 actius de l'IBEX 35, de les quals les accions que formen part són:

- Mapfre: Sector de les assegurances.
- BBVA: Sector de la banca.
- Arcelormittal: Sector de la indústria i l'acer.
- Telefònica: Sector de les telecomunicacions

La selecció d'aquests actius no ha estat casualitat, aquestes accions pertanyen a sectors econòmics. Això facilitarà que les carteres amb mínima variància tinguin un risc molt més baix que si les empreses analitzades fossin del mateix sector. La reducció del risc mitjançant la diversificació d'actius s'explicarà més tard en aquest capítol.

La mitjana de rendiments diaris la volatilitat han estat els següents:

Taula 6. Rendiments diaris i volatilitat de les accions de l'IBEX 35

	MAPFRE	BBVA	ARCELORMITTA	TELEFÒNICA
Mitjana	0,0266%	0,0915%	0,0344%	0,0090%
Volatilitat	0,01346998	0,02040189	0,023979973	0,01492087

Font: Elaboració pròpia

Després d'obtenir la mitjana diària de les rendibilitats, es parteix de la hipòtesi següent: El valor esperat de la rendibilitat d'una cartera d'accions organitzada amb actius ve explicada per la proporció d'actius i la volatilitat de cadascun d'ells (Chambi Condori, 2021, p. 3). La fórmula per trobar la rendibilitat de la cartera i la volatilitat de la carteres són:

$$\text{Rendiment de la cartera, } E(R_c) = \sum_{i=1}^n W_i R_i$$

$$\text{Volatilitat de la cartera, } \theta_C = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n W_i W_j \text{cov}(R_i, R_j)}$$

On:

R_i = Rendibilitat de l'actiu i .

W_i = Proporció de l'actiu i en la cartera.

W_j = Proporció de l'actiu j en la cartera.

$\text{cov}(R_i, R_j)$ = Covariància del retorn dels actius j, i .

Pel tractament de la frontera eficient, s'utilitza el model d'optimització de rendiments de gestió de carteres, buscant minimitzar el risc. A continuació, es presenta el comportament d'una cartera organitzada que descriu Markowitz (Markowitz, 1959):

$$\text{Maximitzar } E(R_C) = \sum_{i=1}^n w_i R_i$$

Relacionant les següents restriccions:

$$\theta_C^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_i w_j \sigma_i \sigma_j \rho_{i,j} \leq \sigma_0^2$$

Amb els supòsits:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0 \text{ on } (i = 1, \dots, n)$$

Aquest model descriu el comportament d'optimització d'una cartera amb "n" actius, amb un rendiment de R_C i on w_i, w_j són els pesos de cadascun dels components de la cartera. A més, θ_C^2 representa la variància de la cartera que, posteriorment aplicant l'arrel quadràtica, descriurà la volatilitat de la cartera. El coeficient de correlació entre els actius i, j és determinat per $\rho_{i,j}$, Chambi Condori, 2021..

Finalment, σ_0^2 és la representació d'un valor de referència o límit superior d'una variància acceptable per la cartera. La desigualtat $\theta_C^2 \leq \sigma_0^2$ explica que la variància de la cartera no superi un valor de risc concret.

Els supòsits d'aquest model per a la creació de cartera són:

1. $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, és a dir, tota la riquesa disponible està invertida en la cartera. Aquest model no contempla l'efecte del palanquejament financer.
2. $w_i \geq 0$. Els pesos dels actius inclosos en la cartera han de ser positius, en altres paraules, no poden invertir-se proporcions negatives d'actius (Brun & Moreno, 2008, pp. 33–34).

Ara bé, el model descrit s'utilitza quan ja s'ha trobat la cartera amb mínima variància, que es troba en la part més inferior de la frontera eficient. Llavors, a partir de les variacions de pesos dels actius, podem aconseguir trobar diferents combinacions de R_C i θ_C^2 que permeten optimitzar el rendiment esperat per diferents nivells de risc.

Per trobar la cartera amb el mínim risc, s'expressa amb el següent model matemàtic de Markowitz, que descriu l'objectiu de minimitzar la volatilitat i maximitzar el rendiment esperat de la cartera d'inversió:

$$\text{Minimitzar } \theta_C^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_1 \sigma_2 \rho_{i,j}$$

Subjecte a les restriccions de:

$$R_C = \sum_{i=1}^n w_i R_i$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0 \text{ on } (i = 1, \dots, n)$$

Aplicant el model, obtenim que la cartera amb el mínim risc té una volatilitat de 1,15% i una rendibilitat de la cartera d'un 0,01972%. Això vol dir que la proporció en la qual reduïm al màxim el risc té unes ponderacions d'un 53,58% a MAPFRE, un 0,05% a BBVA, un 5,06% a ARCELORMITTAL i un 41,30% a TELEFÒNICA.

Taula 7. Construcció de la cartera eficient només amb accions de l'IBEX 35

Variància	Volatilitat	Rendibilitat Cartera	MAPFRE	BBVA	ARCELORMITTAL	TELEFÒNICA
0,000132224	1,150%	0,01972%	53,58%	0,05%	5,06%	41,30%
0,000132433	1,151%	0,0217%	52,34%	2,92%	4,48%	40,26%
0,000133065	1,154%	0,0237%	51,05%	5,79%	3,91%	39,25%
0,000134122	1,158%	0,0257%	49,76%	8,67%	3,34%	38,24%
0,000154023	1,241%	0,0400%	40,15%	29,05%	0,00%	30,80%
0,000181362	1,347%	0,0500%	32,12%	42,88%	0,00%	25,00%
0,00022002	1,483%	0,0600%	24,09%	56,71%	0,00%	19,20%
0,000269998	1,643%	0,0700%	16,06%	70,54%	0,00%	13,40%
0,000331296	1,820%	0,0800%	8,03%	84,37%	0,00%	7,60%
0,000403915	2,010%	0,0900%	0,00%	98,20%	0,00%	1,80%
0,020388582	2,040%	0,091%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%

Font: Elaboració pròpia

A partir d'aquesta cartera, es poden trobar altres carteres alternatives, que ens proporcionen una major rendibilitat a canvi d'un major risc. En la taula 7 es pot observar tot el conjunt de carteres eficients amb les quals es podrà dibuixar, posteriorment, la cartera eficient. D'entre totes aquestes, en funció del perfil d'aversion al risc, l'inversor decidirà quina és la seva òptima ¹⁰.

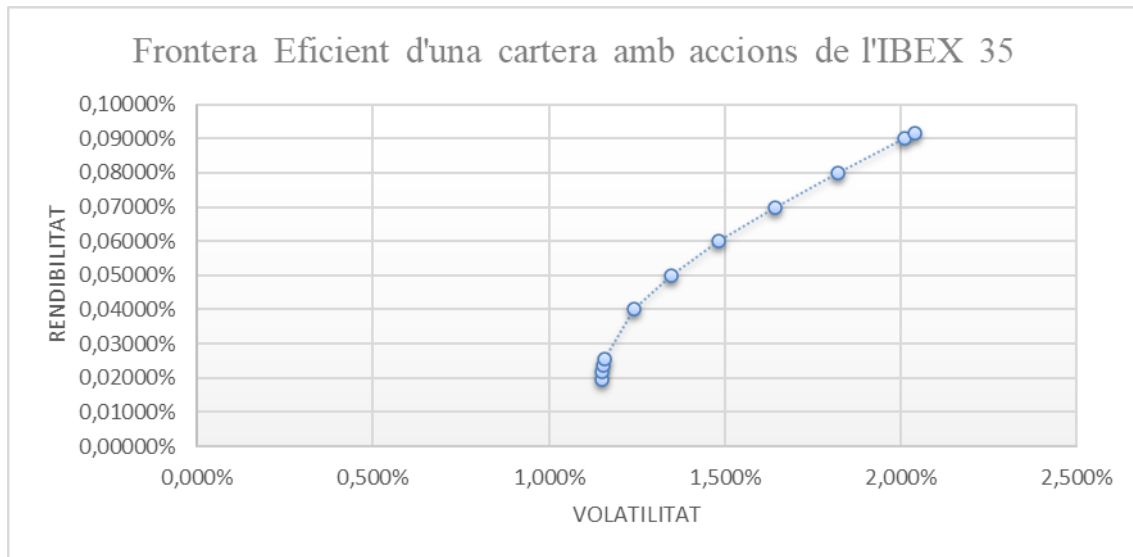
Aquesta cartera amb mínima variància serà clau per després fer comparacions quan s'hagi calculat la cartera amb accions i criptomonedes. És especialment interessant detectar com a mesura que s'augmenta el risc, TELEFÒNICA i MAPFRE, que eren els actius amb menor risc, van perdent pes mentre BBVA va guanyant-lo.

Cal destacar com ARCELORMITTAL, que té un binomi rendibilitat-risc pitjor que BBVA, en relació a què té uns rendiments diaris inferiors amb un risc d'inversió major. Això és en conseqüència de la diversificació en la cartera. Aquest concepte és tan rellevant

¹⁰ Òbviament, la cartera que escollirà es situarà sempre sobre la frontera eficient i mai per sota. Si un inversor accepta assumir un 5% de risc i hi ha varies carteres que ofereixen un 5%, 8% i 10%, resulta evident que l'inversor escollirà aquella que li proporcioni una major utilitat.

en la gestió de carteres que es mereix un apartat per estudiar la seva rellevància en la gestió del risc de les inversions. A continuació, s'analitza en el següent subcapítol.

Il·lustració 8. Dibuix de la cartera eficient amb accions de l'IBEX 35



Font: Elaboració pròpia

4.1 La reducció del risc: Diversificació d'actius

La teoria moderna de gestió de carteres de Markowitz té com a premissa que els inversors són adversos al risc. Així doncs, aquest model detalla als inversors combinacions de carteres de forma que li proporcionin el menor risc possible en relació amb el rendiment que desitgen (Malkiel, 2016, pp. 175–176). Markowitz també va descobrir que les carteres d'accions arriscades podien combinar-se amb carteres també molt volàtils de manera que, en el seu conjunt, la cartera final fos menys arriscada que qualsevol dels actius per separat.

Malkiel exemplifica la diversificació proposada per Markowitz amb un clar exemple: Suposem que en una economia existeixen dos negocis, el negoci A i el B. El primer es dedica a la venda de para-sols i el segon a la venda de paraigües. En les èpoques assolellades, el negoci A floreix, mentre que en el negoci B pràcticament no hi ha vendes. Tanmateix, la situació és la inversa quan el clima és de pluja.

Considerem les següents rendibilitats:

	Època de pluges	Època de Sol
Negoci de para-sols	-25%	50%
Negoci de paraigües	50%	-25%

Si suposem que hi ha un 50% de probabilitats que plogui o faci Sol, si apliquem una mitjana ponderada obtindríem un 12,5% de rendiment en cada actiu. Però, és clar, seria molt arriscar invertir en cadascun individualment.

Així mateix, si l'inversor considerés invertir un 50% del seu capital en cada negoci, el seu rendiment seria d'un 12,5% assegurat. En el cas que fes Sol, si decidís invertir 100 euros entre els dos negocis, guanyaria 50 euros en el negoci A i perdria 25 euros en el negoci B. Si, en comptes de fer Sol, fos una època de pluja, la rendibilitat seria la mateixa, en termes absoluts 12,5 euros (Malkiel, 2016, pp. 176–177). Aquest exemple és perfecte per explicar els efectes de la diversificació.

Malgrat això, aquesta situació no sempre succeeix en els mercats financers. El que fa possible aquest exemple és que, tot i ser empreses amb molt risc d'inversió, aquestes es veien afectades de forma diferent per la condició temporal. Per tant, sempre que no existeixi un paral·lelisme entre empreses, la diversificació reduirà el risc.

Per estudiar la correlació entre dos actius, en aquest estudi són importants dues fórmules fonamentals que s'utilitzen en el model de Markowitz:

- (i) La covariància
- (ii) El coeficient de correlació

Estudiant primer la covariància d'actius, aquesta ens informa de la dependència que existeix entre els diversos actius d'una cartera. Aquest punt és on el model de Markowitz es complica, a conseqüència del gran volum de dades i càlculs que s'han de realitzar. En el següent quadre es pot observar el nombre de variàncies i covariàncies que s'han de calcular en funció del nombre d'actius en una cartera.

Nº d'actius en una cartera	Nº rendibilitats	Nº variàncies	Nº covariàncies	Nº paràmetres a determinar
2	2	2	1	5
3	3	3	3	9
4	4	4	6	14
5	5	5	10	20
...
n	n	n	$\frac{n(n-1)}{2}$	$\frac{n^2 + 3n}{2}$

Per calcular la covariància mostral s'utilitza la següent fórmula:

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

La covariància ens permet conèixer la relació entre dos actius però no la seva intensitat. Per tant, observant la matriu de covariàncies, podrem observar si els rendiments dels actius es mouen en el mateix sentit respecte a la seva mitjana. Per exemple, les rendibilitats de TELEFÒNICA es mouen en sentit positiu respecte de la seva mitjana amb MAPFRE, BBVA I ARCELORMITTAL. Així mateix, aquestes es mouen en sentit negatiu respecte a ETHEREUM. Només hi ha tres possibles interpretacions:

- (i) $Cov(X, Y) > 0$, Quan X augmenta, Y tendeix a augmentar.
- (ii) $Cov(X, Y) = 0$, No hi ha cap relació lineal entre les variables.
- (iii) $Cov(X, Y) < 0$, Quan X augmenta, Y tendeix a disminuir.

Taula 8. Matriu de covariàncies d'una cartera amb criptomonedes

	MAPFRE	BBVA	ARCELORMITTAL	TELEFÒNICA	BITCOIN	ETHEREUM	SOLANA	BNB
MAPFRE	0,0001812	0,00015718	0,000134366	6,8293E-05	3,4413E-05	1,0575E-05	6,326E-05	5,5784E-05
BBVA	0,00015718	0,00041569	0,000255197	8,429E-05	1,9252E-05	2,6907E-05	7,5347E-05	2,9026E-05
ARCELORMITTAL	0,00013437	0,0002552	0,000574289	7,5132E-05	3,1931E-05	3,9598E-05	7,8531E-05	5,9005E-05
TELEFÒNICA	6,8293E-05	8,429E-05	7,51317E-05	0,00022234	1,6186E-05	7,8531E-05	0,00011773	2,8894E-05
BITCOIN	3,4413E-05	1,9252E-05	3,19313E-05	1,6186E-05	0,00110264	0,00117546	0,00125082	0,0010776
ETHEREUM	1,0575E-05	2,6907E-05	3,95977E-05	-6,669E-06	0,00117546	0,00188345	0,00183788	0,00145268
SOLANA	6,326E-05	7,5347E-05	7,85308E-05	0,00011773	0,00125082	0,00183788	0,00453251	0,0018789
BNB	5,5784E-05	2,9026E-05	5,90055E-05	2,8894E-05	0,0010776	0,00145268	0,0018789	0,00242446

Font: Elaboració pròpia

El coeficient de correlació, en canvi, mesura la intensitat que mancava en la covariància entre dos actius. A diferència de la covariància, aquesta estadística matemàtica té un resultat que varia entre $[-1,1]$, cosa que permet comparar la relació entre dues variables.

La interpretació i el resultat s'interpreten de la següent manera:

$$\rho_{X,Y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

- $\rho_{X,Y} = 1$, Correlació positiva perfecta. Indica que X i Y es mouen en una mateixa direcció lineal.
- $\rho_{X,Y} = 0$, No hi ha correlació lineal entre X i Y. Això significa que els moviments no estan relacionant linealment.
- $\rho_{X,Y} = -1$, Correlació negativa perfecta entre X i Y, es mouen en sentit oposat de manera lineal.

Tenint en compte les explicacions anteriors, si observem la taula 9 apreciem clares diferències entre les correlacions de les accions de l'IBEX i les criptomonedes. Si, en primer lloc, analitzem les correlacions d'accions de l'IBEX 35, la més forta és entre MAPFRE i BBVA amb un $\rho_{X,Y} = 0,573$ tot i que no arriba a considerar-se com a una associació lineal forta.

Els autors consideren una associació forta a partir de $\rho_{X,Y} > 0,7$ o si $\rho_{X,Y} < -0,7$. Tot i que no trobem cap relació lineal forta entre accions, sí que apareixen en les criptomonedes. És el cas del coeficient de correlació entre ETHEREUM i BITCOIN amb un $\rho_{X,Y} = 0,816$.

En general, aquest estudi és força interessant perquè es demostra com les criptomonedes tenen, en general, una relació lineal positiva força més intensa que no pas les accions. Hi ha una dita popular que diu que les criptomonedes es mouen en funció de la cotització de preus del BITCOIN. Si tenim en compte la taula 9, podríem arribar a confirmar que això podria ser verídic.

Taula 9. Matriu de correlacions d'una cartera amb criptomonedes

	MAPFRE	BBVA	ARCELORMITTAL	TELEFÒNICA	BITCOIN	ETHEREUM	SOLANA	BNB
MAPFRE	1,000	0,573	0,417	0,340	0,069	0,016	0,063	0,073
BBVA	0,573	1,000	0,522	0,277	0,026	0,027	0,049	0,025
ARCELORMITTAL	0,417	0,522	1,000	0,210	0,036	0,033	0,044	0,043
TELEFÒNICA	0,340	0,277	0,210	1,000	0,030	-0,009	0,106	0,034
BITCOIN	0,069	0,026	0,036	0,030	1,000	0,816	0,560	0,659
ETHEREUM	0,016	0,027	0,033	-0,009	0,816	1,000	0,629	0,680
SOLANA	0,063	0,049	0,044	0,106	0,560	0,629	1,000	0,567
BNB	0,073	0,025	0,043	0,034	0,659	0,680	0,567	1,000

Font: Elaboració pròpia

En definitiva, el coeficient de correlació és un component clau en el model de Markowitz, ja que permet entendre com interactuen dos rendiments d'actius entre si. Una correlació negativa, com la d'ETHEREUM i TELEFÒNICA suggereix que aquests actius podrien arribar a actuar com un mecanisme de cobertura entre si (tot i això, és molt petita i podríem arribar a interpretar s'apropa més a què no hi ha relació lineal entre ambdós actius).

Ara bé, Markowitz va fer una gran revelació en relació amb el coeficient de correlació. Va demostrar que la correlació negativa no era necessària per aconseguir beneficis derivats de la diversificació. Les seves investigacions van arribar a les conclusions del següent quadre, que demostra el paper fonamental del coeficient de correlació en la formació de carteres. Font: (Malkiel, 2016, p. 179).

$\rho_{X,Y}$	Efecte de la diversificació sobre el risc
+1	No és possible reduir el risc
+0,5	És possible una reducció moderada del risc
0	És possible una reducció moderable del risc
-0,5	Es pot eliminar la majoria del risc
-1	Es pot eliminar tot el risc

4.2 Resultat

Aquesta part de l'estudi pretén ensenyar el resultats extrets d'aquest estudi. Fins ara, el punt de partida era amb una cartera d'actius sense criptomonedes. Així mateix, a continuació, s'analitzarà en detall com canvia la composició de la cartera a 'incloure BITCOIN, ETHEREUM, SOLANA I BNB i quin percentatge de capital s'assigna a cada actiu. A més, es compararan les dues carteres per observar quin ha estat l'efecte de la diversificació. Finalment, s'especificaran diverses actituds de l'inversor enfront del risc i se li recomanarà la cartera òptima per aquell perfil d'inversor.

Es recorden les etapes a seguir en el model de Markowitz:

- *Etapa 1: Determinació del conjunt de carteres eficients (Frontera eficient).*
- *Etapa 2: Especificació de l'actitud de l'inversor enfront del risc.*
- *Etapa 3: Determinació de la cartera òptima.*

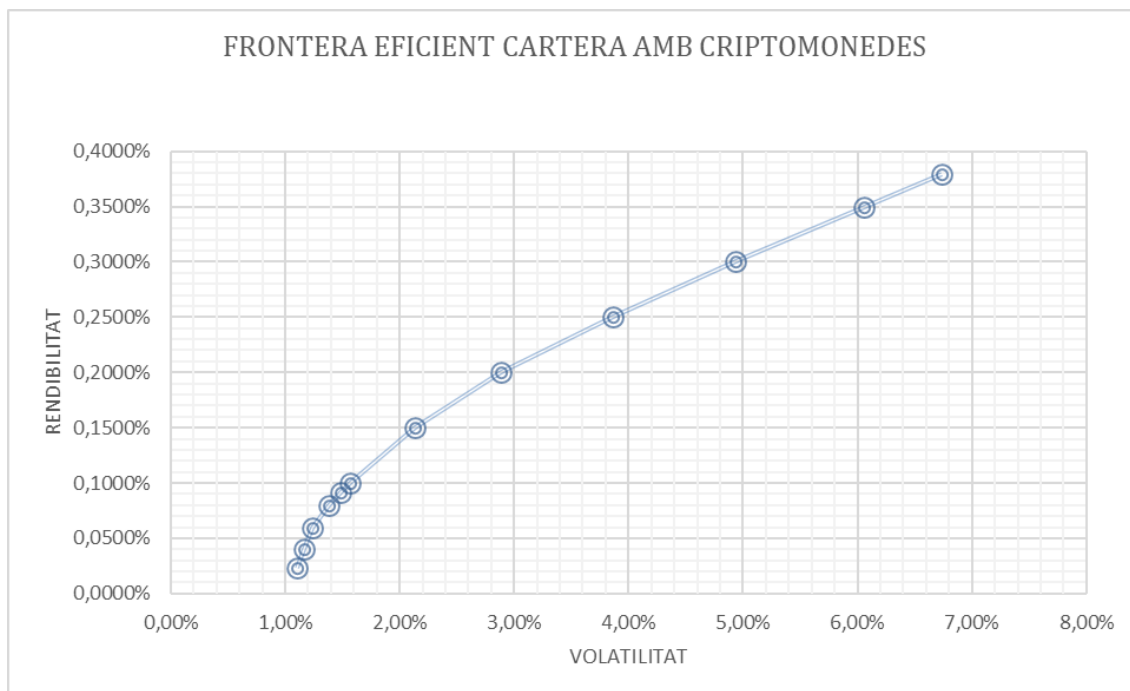
Si apliquem la fórmula matemàtica que minimitza el risc de la cartera trobem que la desviació estàndard de la cartera amb mínim risc és d'1,11%, molt menys risc en comparació amb la cartera inicial. A més, el rendiment de la cartera amb criptomonedes és considerablement superior; d'un 0,0233% envers el 0,01972% de la cartera formada només per accions de l'BEX 35. Aquestes dades són indicadores que la frontera eficient amb criptomonedes i accions de l'IBEX 35 proporcionarà una major utilitat a l'inversor, ja que la cartera es veu molt beneficiada per la diversificació en incorporar criptomonedes.

Si s'observa més exhaustivament la formació de la nova cartera, s'aprecia que només està composta per les criptomonedes de BITCOIN i ETHEREUM. Aquest fet podria ser en conseqüència que SOLANA i BNB són actius amb més rendibilitats diàries, però amb un major risc. Per tant, aquests dos actius no encaixarien en els perfils dels inversors amb més por al risc.

La composició d'aquesta cartera amb mínima variància, està composta per un 91,24% d'accions de l'IBEX 35 i un 8,763% de criptomonedes, essent el punt més baix de la frontera eficient. A mesura que s'augmenti el risc, el percentatge de criptomonedes de les carteres eficients augmentarà (Taula 10).

Aplicant el model de Markowitz, arribem a la següent frontera eficient:

Il·lustració 9. Frontera eficient d'una cartera amb criptomonedes



Font: Elaboració pròpia

Taula 10. Distribució d'actius en una cartera amb accions i criptomonedes

Variància	Volatilitat	Rendibilitat	IBEX 35	RIPTOMONEDES
0,000122511	1,11%	0,023%	91,24%	8,763%
0,000134687	1,16%	0,040%	90,40%	9,600%
0,000153761	1,24%	0,060%	88,95%	11,054%
0,000191307	1,38%	0,080%	86,07%	13,928%
0,000220219	1,48%	0,091%	83,85%	16,155%
0,000245241	1,57%	0,100%	82,19%	17,805%
0,00045381	2,13%	0,150%	72,50%	27,497%
0,000586682	2,42%	0,172%	66,63%	33,366%
0,000830839	2,88%	0,200%	58,11%	41,894%
0,001490083	3,86%	0,250%	42,82%	57,175%
0,002433999	4,93%	0,300%	27,54%	72,456%
0,003664408	6,05%	0,350%	10,31%	89,690%
0,004532508	6,73%	0,380%	0,00%	100,000%

Font.: Elaboració pròpia

Observant les següents carteres eficients, podem corroborar les expectatives que havíem tingut fins ara:

- (i) S'ha reduït el risc de la cartera inicial incorporant criptomonedes. Tot i no tenir una relació lineal negativa amb les criptomonedes, l'efecte de la incorporació d'aquestes ha aconseguit reduir el risc de la nova cartera respecte a l'antiga.
- (ii) Millora del rendiment esperat. Les criptomonedes experimenten rendiments més elevats que no pas les accions de l'IBEX 35.
- (iii) A mesura que l'inversor assumeixi més risc, incrementarà el percentatge de criptomonedes en la cartera, ja que són un actiu més rendibilitat, però també més volàtil.
- (iv) Ha augmentat l'eficiència de la cartera i, en conseqüència l'inversor veurà incrementada la seva utilitat.

Amb totes aquestes carteres eficients, ja només quedaria per analitzar quina és la cartera més òptima per a cada inversor. Tanmateix, cal recordar que aquesta és diferent per cada persona, no tothom tenim els mateixos gustos i, per aquest motiu, valorem tres escenaris:

1. Escenari 1: L'inversor és amant al risc. Aquest tipus d'inversor està més disposat a assumir elevats nivells de risc a canvi d'elevades rendibilitats. Tenint en compte que està disposat a tenir pèrdues, es recomanaria una cartera amb més ponderació de criptomonedes que d'accions. Tot i que també és un punt de la frontera eficient invertir tot el capital a SOLANA a canvi de la major rendibilitat de tots els actius assumint el màxim risc, seria recomanable preguntar-li fins a quin punt està disposat a perdre.
2. Escenari 2: L'inversor és advers al risc. La cartera més recomanable seria la cartera de mínima variància o similars.
3. Escenari 3: Inversor moderat. Aquest perfil d'inversor està disposat a assumir un risc moderat, en la recerca d'un equilibri entre rendibilitat i seguretat. En aquests casos, el més recomanable és maximitzar les carteres eficients mitjançant la ràtio de Sharpe.

La ràtio de Sharpe és una mesura que permet l'optimització de carteres eficients quantificant el rendiment ajustat per risc d'una cartera, En altres paraules, el seu càlcul consisteix en màximitzar el rendiment generat per cada unitat de risc

$$\text{Rati de Sharpe , } s_p = \frac{R_C - R_f}{\sigma_C}$$

On:

R_f = Rendibilitat de l'actiu sense risc

Normalment, els inversors més racionals a la pràctica acostumen a triar la cartera amb un millor rati de Sharpe perquè amb aquesta elecció s'asseguren que estan rebent una major compensació per cada unitat de risc (Brun & Moreno, 2008, pp. 39–42).

Per fer l'estudi de l'optimització de carteres amb la ràtio de Sharpe, s'ha agafat com a referència l'interès mitjà de les lletres del tresor a 12 mesos subhastades el 05/12/2023. Així mateix, aquesta taxa d'interès és anual i l'hem de convertir en diària mitjançant la següent conversió:

Interès mitjà = 3,305%

$$(1 + I_1) = (1 + I_{365})^{365}$$

$$\sqrt[365]{(1 + 0,0305)} - 1 = 0,00008232 = I_{365}$$

Maximitzant la ràtio de Sharpe obtenim que la cartera que maximitza el millor retorn ajustat per unitat de risc és la composta per un 66,63% d'actius de l'IBEX 35 i un 33,36% per criptomonedes. Aquesta cartera estaria formada per un 66,63% d'accions de BBVA, un 24,6% de SOLANA i un 8,76% de BNB.

Taula 11. Càlcul de la Cartera amb mínima variància

Variància	Volatilitat	Rendibilitat	MAPFRE	BBVA	ARCELORMITTAL	TELEFÒNICA	BITCOIN	ETHEREUM	SOLANA	BNB	
0,000122511	1,11%	0,0233%	48,29%	0,35%	4,35%	38,24%	6,62%	2,14%	0,00%	0,00%	0,00%
0,000134687	1,16%	0,0400%	50,01%	0,48%	6,67%	33,23%	0,00%	3,51%	2,65%	2,65%	3,44%
0,000153761	1,24%	0,0600%	38,69%	20,96%	0,00%	29,29%	0,00%	2,15%	4,21%	4,21%	4,69%
0,000191307	1,38%	0,0800%	32,18%	30,43%	0,00%	23,46%	0,00%	0,00%	7,53%	7,53%	6,40%
0,000220219	1,48%	0,0915%	27,81%	36,30%	0,00%	19,74%	0,00%	0,00%	9,28%	9,28%	6,88%
0,000245241	1,57%	0,1000%	24,57%	40,65%	0,00%	16,98%	0,00%	0,00%	10,58%	10,58%	7,23%
0,00045381	2,13%	0,1500%	5,54%	66,20%	0,00%	0,76%	0,00%	0,00%	18,20%	18,20%	9,29%
0,000830839	2,88%	0,2000%	0,00%	58,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	35,00%	35,00%	6,89%
0,001490083	3,86%	0,2500%	0,00%	42,82%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	53,64%	53,64%	3,54%
0,002433999	4,93%	0,3000%	0,00%	27,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	72,27%	72,27%	0,18%
0,003664408	6,05%	0,3500%	0,00%	10,31%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	89,69%	89,69%	0,00%
0,004532508	6,73%	0,3797%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%

Font.: Elaboració pròpia

Taula 12. Càlcul de la Cartera optimitzant Sharpe

Variància	Volatilitat	Rendibilitat	MAPFRE	BBVA	ARCELORMITTAL	TELEFÒNICA	BITCOIN	ETHEREUM	SOLANA	BNB	Sharpe
0,00012251	1,11%	0,023%	48,29%	0,35%	4,35%	38,24%	6,62%	2,14%	0,00%	0,00%	1,358%
0,00013469	1,16%	0,040%	50,01%	0,48%	6,67%	33,23%	0,00%	3,51%	2,65%	2,65%	2,737%
0,00015376	1,24%	0,060%	38,69%	20,96%	0,00%	29,29%	0,00%	2,15%	4,21%	4,21%	4,175%
0,00019131	1,38%	0,080%	32,18%	30,43%	0,00%	23,46%	0,00%	0,00%	7,53%	7,53%	5,189%
0,00022022	1,48%	0,091%	27,81%	36,30%	0,00%	19,74%	0,00%	0,00%	9,28%	9,28%	5,610%
0,00024524	1,57%	0,100%	24,57%	40,65%	0,00%	16,98%	0,00%	0,00%	10,58%	10,58%	5,860%
0,00045381	2,13%	0,150%	5,54%	66,20%	0,00%	0,76%	0,00%	0,00%	18,20%	18,20%	6,655%
0,00058668	2,42%	0,172%	0,00%	66,63%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	24,60%	8,76%	6,765%
0,00083084	2,88%	0,200%	0,00%	58,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	35,00%	35,00%	6,653%
0,00149008	3,86%	0,250%	0,00%	42,82%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	53,64%	53,64%	6,263%
0,002434	4,93%	0,300%	0,00%	27,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	72,27%	72,27%	5,914%
0,00366441	6,05%	0,350%	0,00%	10,31%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	89,69%	89,69%	5,646%
0,00453251	6,73%	0,380%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	5,518%

Font.: Elaboració pròpia.

4.3 Limitacions de l'estudi

Tot i la seva eficàcia i el seu ús en el món de la gestió de carteres, el model de Markowitz presenta una sèrie de limitacions que s'han de considerar quan s'aplica. A continuació, s'expliquen les principals limitacions:

- 1- El model suposa normalitat dels retorns. Aquesta premissa ja va ser considerada en el tercer capítol. Per calcular si les dades tenen la simetria i la curtosi d'una distribució normal s'utilitza la prova de Carlos Jarque i Anil Bera:

$$Jarque\ Bera = \frac{n}{6} \left[K_A^2 + \frac{1}{4} K_C^2 \right]$$

On:

$k_A =$ coeficient d'assimetria

$K_C =$ Curtosi

Taula 13. Càlcul de Jarque Bera

	BITCOIN	ETHEREUM	SOLANA	BNB
n	1093	1093	1093	1093
Asimetria	0,036272	-0,010078294	0,360626	2,67016
Curtosi	3,511299	4,982862177	5,013302	36,57914
Confianza 95%	5,991465	5,991464547	5,991465	5,991465
Jarque Bera	12,14549	179,0766054	208,2889	52649,69

Font: Elaboració pròpia

Per interpretar els resultats de la prova del Jarque Bera, s'ha de comparar l'estadístic amb un valor crític de la distribució Chi quadrat. Llavors, si l'estadístic de Jarque Bera excedeix el valor crític (Chi quadrat, normalment amb un 95% de confiança), es rebutja la hipòtesi nul·la. En conseqüència, voldria dir que els rendiments diaris no seguirien una distribució normal.

Finalment, això és el que succeeix per a totes les criptomonedes $JB > \chi_{2,0,05}^2$

Malgrat això, aquest resultat era esperat. La volatilitat de les criptomonedes és tan elevada i el seu recorregut és tan ample, que això dificulta força que els seus rendiments segueixin una distribució normal.

Així mateix, estudis com el Andrianto i Diuptra, que valoraven la introducció en una cartera de trading al FOREX amb divises i matèries primeres, van acceptar les limitacions de les suposicions de normalitat per simplificar les anàlisis i reconeixien que els resultats poden presentar desviacions (Andrianto & Yoda, 2017).

Altres autors com Chambi Condori, va preferir utilitzar la teoria de Markowitz, en comptes d'utilitzar altres models de gestió de carteres més complexes, per poder estudiar la diversificació d'una cartera formada exclusivament per criptomonedes (Chambi Condori, 2021). L'autor, conscient que les dades del rendiment no presentaven normalitat, va acceptar les desviacions com a part del risc inherent de les inversions en criptomonedes.

Citant a Malkiel: *“La hipòtesi de la teoria moderna de cartera és tan elemental que quasi tothom la segueix a Wall Street. Altres formes de gestió de carteres segueixen essent controvertides i generen material pels estudiants de doctorat i substanciosos salaris per classes als seus directors de tesi”*.

Amb aquest fragment es vol assenyalar que, tot i que les conclusions de la tesi puguin no ser precises, és preferible estudiar quins són els efectes aplicant el model de Markowitz abans de provar amb altres fórmules de gestió de cartera de dubtosa credibilitat. A més, Malkiel demostra també que la MPT és una bona eina per optimitzar carteres i per assenyalar la importància de la diversificació entre els diferents actius.

En conclusió, aquest estudi, tot i no tenir una precisió del 100% del resultat final respecte a la gestió de carteres amb criptomonedes, serveix per tenir una visió general de com afecten la seva introducció a una cartera amb accions.

- 2- L'horitzó temporal, de 3 anys, és fixe durant tota l'anàlisi. El model de Markowitz considera només un període d'inversió, determinat per dos moments: el període inicial i el final. Llavors, això implica que no es té en compte l'evolució dinàmica dels actius ni tampoc el que ocorre més enllà d'aquest horitzó (Brun & Moreno, 2008, p. 82).

- 3- El model de Markowitz suposa que les correlacions entre els actius són constants al llarg del termini. Malgrat això, la correlació entre els actius pot variar segons les condicions del mercat, especialment en etapes de recessió econòmica.
- 4- El model suposa que ens trobem en mercats perfectes o, com a mínim, en un mercat eficient (les característiques dels mercats eficients es troben enumerades en el subcapítol 2.1.1). Així mateix, molts autors com Gómez Bezares critiquen que l'eficiència perfecta no existeix i distingeix 3 grup d'anomalies(Gómez Bezares, 2016, pp. 45–49):
 - a. Possibilitat de predir preus o rendiments futurs; rebutja la hipòtesi del *random walk*.
 - b. Possibilitat d'utilitzar esdeveniments especials com splits, fusions, ampliacions, per provocar efectes pronosticables en els preus.
 - c. Existència d'anomalies com l'efecte gener, l'efecte cap de setmana, l'efecte octubre...
- 5- Els inversors tenen expectatives homogènies. Aquesta teoria accepta que tots els inversors tenen les mateixes expectatives en relació amb les variables macroeconòmiques i sobre les distribucions estadístiques dels actius (rendibilitat i risc). Aquesta es considera una limitació del model perquè, en realitat, cada persona pot tenir diferents expectatives i previsions, fet que pot fer que adapti la cartera amb proporcions contràries a una cartera eficient (Brun & Moreno, 2008, p. 83).
- 6- Els inversors són racionals. Això no és així perquè els inversors poden cometre errors de valoració i, molt constantment, sobrevalores o infravaloren actius. A més, el component psicològic juga un paper fonamental, de fet, la mateixa conducta humana ens du a prendre decisions “no racionals”. Exemples de biaixos cognitius són:
 - a. El comportament gregari
 - b. La il·lusió de control
 - c. Biaix de confirmació

5. Conclusions

L'estudi realitzat en el treball de recerca m'ha permès analitzar detalladament l'impacte de la integració de les criptomonedes en una cartera d'accions formada per empreses de diferents sectors de l'IBEX 35. Un cop finalitzat l'estudi, les principals conclusions que es poden extreure són:

1. La incorporació de criptomonedes sota el model de Markowitz pot proporcionar avantatges en termes de diversificació i, sobretot, de rendiment. Així mateix, també s'ha de tenir en compte que les criptomonedes es caracteritzen per comportar-se de forma molt volàtil i incerta. Per als inversors disposats assumir un risc addicional, les criptomonedes podrien considerar-se una òptima elecció d'inversió envers els actius tradicionals.
2. Les qualitats i distribucions de les rendibilitats diàries dels criptoactius són molt diferents comparades a les accions de l'IBEX 35. Amb l'agrupació d'aquests dos actius en una sola cartera, partint d'una sola només amb accions, la combinació dels dos ha aconseguit modificar la frontera eficient del model de Markowitz de manera que l'inversor trobés més utilitat en la segona.
3. D'una banda, s'ha demostrat que la correlació positiva entre actius és capaç de reduir el risc en la gestió de carteres. Cal recordar que les criptomonedes tenen una associació lineal molt intensa i forta entre elles. D'altra banda, també s'ha analitzat com a mesura que augmenta el nombre d'actius en una cartera, l'efecte de la diversificació és més present. De fet, la cartera de mínima variància estava composta per sis dels vuit actius que han estat objecte d'estudi, essent SOLANA i BNB els únics dos que no han tingut participació.

4. L'ús de la ràtio de Sharpe per maximitzar el conjunt de carteres eficients ha demostrat que, tot i que les criptomonedes poden augmentar els retorns exponencialment, és crucial mantenir un bon equilibri del binomi risc-rendibilitat. Això subratlla la importància no només de considerar els possibles rendiments futurs, sinó d'avaluar acuradament com aquests actius afecten i modifiquen el risc d'una cartera.

5. Les conclusions trobades en l'aplicació de la teoria de gestió de carteres de Markowitz es veuen limitades per dos motius. Per un costat, el model té en compte la hipòtesi del *random walk* i el supòsit de trobar-nos en un mercat amb eficiència, qualitats que els estudis demostren que no es compleixen en els mercats actuals. Per un altre costat, hi ha limitacions en la naturalesa de les criptomonedes. Aquests actius són tan volàtils que no superen amb èxit la prova de Jarque Bera. Per tant, fent una anàlisi global d'aquests fenòmens, seria profitós en futurs estudis, dur a terme proves amb models de gestions de carteres que no tinguin en compte la normalitat de les dades per fer un contrast entre els resultats obtinguts.

En conclusió, aquesta tesi posa en manifest el potencial d'integrar les criptomonedes en una cartera juntament amb altres actius. Tot i trobar avantatges significatius en relació rendibilitat-risc i beneficis en relació amb la diversificació, s'ha de tenir força prudència amb els riscos inherents dels cryptoactius. Per a futures investigacions, seria interessant explorar altres mètodes de gestió de carteres, més adaptats a la no normalitat dels seus respectius rendiments. D'aquesta forma, es podrien contrastar els resultats obtinguts amb Markowitz i precisar més en l'optimització de carteres.

BIBLIOGRAFIA

- **Llibres**

Aristoteles. (1942). *Moral a Nicómano* . Espasa Calpe.

Brun, X., & Moreno, M. (2008). *Análisis y selección de inversiones en mercados financieros* (1a ed.). Profit.

Gil, O. (1974). *Historia universal de la moneda* (Prensa Española).

Gómez Bezares, Fernando. (2016). *Gestión de carteras : eficiencia, teoría de cartera, CAPM, APT* (4ª ed.) [Book]. Desclée de Brouwer.

Ibbotson Associates, Inc. (2002). *Stocks, Bonds, Bills and Inflation : Vol. Yearbook*.

Malkiel, B. G. (2016). *Un Paseo aleatorio por Wall Street : la estrategia para invertir con éxito* (M. (Hernández D. Hernández, Ed.; Undécima edición) [Book]. Alianza Editorial.

Markowitz, H. (1959). *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. Wiley

Petitjean, M. (2005). *Guía del trader : métodos y técnicas de especulación bursátil* [Book]. Millenium Capital.

Roberts, H. V. (1967). *Statistical versus clinical prediction of the stock market* .
Universitat de Chicago .

Tharp, V. K. (2007). *Tener éxito en trading : el factor más importante de su éxito: ¡usted mismo! : la conceptualización de su sistema, comprender los elementos clave de un sistema* (M. Cabedo, Ed.) [Book]. Valor.

- **Articles**

- Andrianto, Y., & Yoda, D. (2017). The effect of cryptocurrency on Investment Portfolio Effectiveness . *Journal of Finance and Accounting*, 5(6), 229238.
- Bakry, W., Rashid, A., Al-Mohamadzy, S., & El Kanj, N. (2021). Bitcoin y la diversificación de carteras: un enfoque de optimización de carteras . *Gestión Financiera y de Riesgos* , 14(282), 1–24.
- Barriuso Varela, O. (2014). Graeber, David (2014). En deuda. Una historia alternativa de la economía. Barcelona: Ariel, 714 pp [Article]. *Las Torres de Lucca*, 5, 121–125.
- Barroilhet, A. (2019). Criptomonedas, economía y derecho. *Revista Chilena de Derecho y Tecnología* , 8(1), 29–67.
- Borrello, R., & Plasencia, A. (2010). Las monedas sociales y el debate sobre el origen y las funciones del dinero . *Revista de Ciencias Sociales*, 2(18), 121–139.
- Cabrera Soto, M., & Lage Codorniu, C. (2021). Cryptocurrencies: What They Are and What They Claim To Be? . *Economía y Desarrollo* , 166(1), 1–21.
- Chambi Condori, P. P. (2021). Diversificación de carteras de inversión con criptomonedas . *QUIPUKAMAYOC* , 29(60), 51–60.
- Domínguez Jurado, J. M., & García Ruíz, R. (2018). Blockchain i les criptomonedes: El cas Bitcoin. *Oikonomics. Revista d'economia, Empresa i Societat* , 10, 58–73.
- Fama, E. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work . *Journal of Finance* , 383–417.
- Jan Lansky. (2018). Possible State Approaches to Cryptocurrencies. *Journal of Systems Integration* , 19–31.
- Laise L.D, & Manzo-Ugas, G. (2019). Bases para la interpretación y regulación razonable de las criptomonedas: naturaleza, dificultades y desafíos constitucionales. *Cuadernos Del CENDES* , 36(100), 107–124.
- Liviu Catalin, A. (2011). *Fiat versus Representative Money under Debate, or How Right Keynes Was Once*.

Moe, B. A. (2003). Troubles and successes. In *The charter of the Massachusetts Bay Colony: a primary source investigation of the 1629 charter* (pp. 57–73). Rosen Primary Source.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, 1–9.

Quiroga Juárez, C. A. (2023). Escenarios para el mercado de criptodivisas a partir de un estudio estadístico. *Revista CEA*, 9(20).

- **Pàgines Web**

Álvarez, J. A. (2013, October). *Paseo Aleatorio*. <https://medium.com/@arbolml/Paseo-Aleatorio-7126fac71fa6>.

Benjamin Graham. (1976). Entrevista en el Financial Analysts Journal . *Financial Analysts Journal* .

Bitcoin. (2024). *Procesamiento: minería*. <https://bitcoin.org/es/como-funciona>.

Bitso Argentina. (2023). *¿Qué es la capitalización de mercado de criptomonedas? 5 claves para invertir*. <https://blog.bitso.com/es-ar/criptomonedas-ar/que-es-capitalizacion-de-mercado-criptomonedas>.

Economia3. (2024). *Bitcoin: La primera criptomoneda famosa* . <https://economia3.com/como-nacen-las-criptomonedas/>.

El Economista. (2024). *Concepte de diner* . <https://www.economista.es/diccionario-de-economia/dinero>.

La Nación. (2024). *¿De qué están hechos los billetes de los dólares?* <https://www.lanacion.com.ar/economia/dolar/de-que-estan-hechos-los-billetes-de-los-dolares-nid04122022/>.

Real Acadèmia Espanyola. (2024). *Concepte de diner*. In *RAE*. <https://www.rae.es/drae2001/dinero>.