



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ADE

Facultad de Administración
y Dirección de Empresas /UPV

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Administración y Dirección de Empresas

La liquidez en las Finanzas Descentralizadas. El caso de la
Liquity Pool V3 y su lógica matemática

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Dirección Financiera y Fiscal

AUTOR/A: Zhou, Hailin

Tutor/a: Guijarro Martínez, Francisco

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

RESUMEN:

La liquidez es uno de los principales factores que influyen tanto en el mercado centralizado como en el descentralizado. Es una señal importante que refleja la capacidad y la estabilidad de dichos mercados. En este trabajo, nos enfocamos en resaltar la importancia de la liquidez en el mercado descentralizado, enfocándonos en el análisis del modelo "Liquidity Pool V3". Analizamos cómo este modelo estimula la liquidez en el mercado descentralizado. Además, estudiamos su lógica matemática y la curva en función del cambio del pedido.

Palabras claves: Finanzas descentralizadas; Pool de liquidez

ABSTRACT:

Liquidity, as one of the main factors influencing both centralized and decentralized market, is an important signal reflecting the capacity and stability of the corresponding market. In this work, we focus on the importance of liquidity in the decentralized market, treating the "Liquidity Pool V3" model as the object of analysis. We do analyze how it has stimulated liquidity in the decentralized market. Furthermore, its mathematical logic is studied, as well as the curve as a function of the order change.

Keywords: Decentralized finance; Liquidity pool

ÍNDICE

1.	Introducción	1
1.1	Objetivo del trabajo	1
1.2	La importancia de liquidez	2
1.3	Liquidez en Criptomonedas	3
2.	Marco teórico	5
2.1	Diferencia entre el mercado centralizado y el mercado descentralizado	5
2.1.1	Finanzas centralizadas	5
2.1.2	Participantes (oferentes, demandantes, intermediarios)	6
2.1.3	Libro de órdenes	7
2.1.4	Market Maker	9
2.1.5	CEX (Exchange centralizado)	9
2.2	Finanzas Descentralizadas	10
2.2.1	Criptomonedas	11
2.2.2	Blockchain	13
2.2.3	Tokens, plataformas, y contrato inteligente	14
2.2.4	Auto Market Makers	16
3	Desarrollo de Uniswap y base matemático de Uniswap V3	17
3.1	Introducción de Uniswap y Liquidity pool V1, V2, V3	17
3.1.1	La base de Liquidity Pool: Uniswap V1	17
3.1.2	Ampliación de intercambios: Uniswap V2	19
3.1.3	La base matemática: comparación entre Uniswap V2 y Uniswap V3	20
3.2	Los detalles del cambio matemático entre Uniswap V2 y Uniswap V3	22
4	Ejemplos de liquidez concentrada en Uniswap V3	29
4.1	Calcular la cantidad de los tokens en base de rango de ticks	29
4.2	Cálculo del rango de los ticks en base de la cantidad de los tokens	31
4.3	Calcular la cantidad de los tokens después de un cambio en el precio	33
4.4	Calcular el valor real en dólares de los tokens	34
4.5	Pérdida Impermanente (Impermanent Loss)	35
5	Conclusiones	38
6	Bibliografía	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 El nuevo organigrama de los órganos reguladores.....	6
Ilustración 2 Libro de ordenes entre BTC y USDT	8
Ilustración 3 Capitalización de mercado de criptomonedas de 2013 a 2023.....	13
Ilustración 4 Uniswap V1	18
Ilustración 5 Uniswap V2.....	19
Ilustración 6 Relación Token x y Token y en Uniswap V2	21
Ilustración 7 Tabla del significado de los caracteres.....	22
Ilustración 8 Relación entre Uniswap V2 y V3	23
Ilustración 9 Ejemplo de Liquidity V2.....	24
Ilustración 10 Ejemplo de Liquidity V3.....	25
Ilustración 11 Ejemplo de relación entre Liquidity V2 y V3.....	25
Ilustración 12 Relación de Swap (P).....	29
Ilustración 13 Resolución del caso ETH-USDC	30
Ilustración 14 Resolución del caso ETH-WBTC.....	31
Ilustración 15 Resolución del rango.....	32
Ilustración 16 Resolución de la relación entre pa-P-pb.....	32
Ilustración 17 Relación entre pa-P-pb	32
Ilustración 18 Cambio del P ETH-USDC	35
Ilustración 19 Relación entre ETH-USDC.....	35

1. Introducción

1.1 Objetivo del trabajo

El objetivo central de este trabajo es realizar un análisis profundo en el campo de las finanzas descentralizadas y las criptomonedas, con un enfoque específico en el funcionamiento de las *liquidity pools* (piscinas de liquidez, o pools de liquidez). A través de ejemplos concretos, se busca comprender cómo el Pool de Liquidez V3 (Uniswap V3) funciona y las bases matemáticas del intercambio entre dos criptomonedas.

Los ejemplos se centran en cuestiones clave relacionadas con la cantidad de tokens y el rango de ticks en el contexto de las criptomonedas, abordando los siguientes problemas:

- a. El cálculo de la cantidad de tokens basado en el rango de ticks.
- b. El cálculo del rango de ticks basado en la cantidad de tokens.
- c. La cantidad de tokens tras un cambio de precio.
- d. El impacto de la pérdida impermanente (*impermanent loss*) en los proveedores de liquidez.

Se busca abordar el principal riesgo que estos proveedores asumen al mantener su inversión inmovilizada en criptomonedas en busca de obtener ganancias: el "Impermanent Loss". En última instancia, esta investigación tiene como objetivo contribuir al conocimiento en el ámbito de las finanzas descentralizadas, ofreciendo una visión esclarecedora sobre el funcionamiento de sus mecanismos y su impacto en el ecosistema financiero contemporáneo.

La motivación detrás de esta elección radica en comprender esta nueva herramienta financiera y sus fundamentos teóricos. Aunque es posible identificar las fórmulas matemáticas utilizadas en las plataformas DEX (*decentralized exchange*), se percibe la falta de una explicación detallada y accesible sobre el funcionamiento de las piscinas de liquidez. Desde una perspectiva financiera, el objetivo de este trabajo es estudiar y analizar esta innovadora herramienta de liquidez, utilizando modelos simplificados para explicar su funcionamiento.

1.2 La importancia de liquidez

En el mercado financiero tradicional, la liquidez es fundamental. No obstante, resulta difícil definirla con precisión. Según Easley (1995), la liquidez equivale al "precio inmediato" (Easley et al., 1996); para Amihud y Mendelson (1989), la liquidez se refiere al costo de ejecutar una operación en un período determinado (Amihud & Mendelson, 1989); mientras que Massimib y Phelps (1994) la definen como la capacidad del mercado para permitir la ejecución inmediata de órdenes (inmediatez) y la ausencia de distorsiones en los precios por el impacto de órdenes pequeñas (elasticidad) (Massimb & Phelps, 1994).

Siguiendo estas definiciones, podemos entender la liquidez como la condición en la que se encuentran la demanda y la oferta en el mercado, y la capacidad que tienen los inversores para realizar transacciones de manera inmediata y a un precio adecuado. Si un mercado carece de liquidez, los inversores pueden tener dificultades para encontrar contrapartes para sus operaciones, lo que aumenta su nivel de riesgo.

Para garantizar la liquidez en un mercado, se autoriza a ciertos agentes con solvencia y credibilidad a cotizar constantemente precios de compra y venta a los inversores públicos (cotización bilateral), y a aceptar solicitudes de compra o venta a dichos precios. Estos agentes son conocidos como "*market makers*" (MM), y gracias a ellos los inversores no tienen que esperar a encontrar una contraparte para ejecutar sus operaciones, ya que el *market maker* se encarga de asumir la contraparte.

En conclusión, para mantener la liquidez en un mercado de valores, es necesario contar con la intervención de ciertos agentes que permitan mantener dinamismo y estabilidad del mercado. Sin embargo, con el surgimiento de nuevas formas de finanzas descentralizadas (DeFi- *Decentralized Finance*), el sistema tradicional podría enfrentar desafíos en su funcionamiento.

Como se ha mencionado anteriormente, en el sistema tradicional, siempre hay una entidad central que puede controlar y ajustar la liquidez según su necesidad, y así mantener un mercado constante y seguro. Pero la liquidez en los mercados de criptomonedas es más vulnerable, ya que es casi imposible que una entidad posea tantas criptomonedas para ofrecer liquidez debido a su característica "descentralizada". Antes entrar este tema, es muy necesario aproximarnos al significado de las criptomonedas y cuál es el funcionamiento de un mercado descentralizado que opera con las mismas.

La siguiente sección abordará el concepto de liquidez en criptomonedas y cómo funciona un mercado descentralizado, proporcionando una base para analizar la "*Liquidity Pool*" en el contexto de las criptomonedas y su impacto en el mercado financiero actual.

1.3 Liquidez en Criptomonedas

La irrupción de Bitcoin, la primera criptomoneda ampliamente reconocida, marcó un hito en el mundo financiero al introducir el concepto de un sistema de intercambio económico independiente de la confianza en terceros. Este sistema descentralizado, conocido como "*Blockchain*", opera bajo un esquema punto a punto (*peer-to-peer*), donde los usuarios almacenan y validan de forma automática los flujos del mercado, eliminando la necesidad de intermediarios como bancos centrales o bolsas de valores que gestionen las operaciones (CEX). (Satoshi, 2008)

Si bien las criptomonedas aún no son ampliamente aceptadas como un equivalente universal, su popularidad ha llevado a que sean transaccionadas en mercados de valores descentralizados (DEX) similares a acciones, oro o petróleo.

En un mercado descentralizado, la liquidez también juega un papel vital para mantener la estabilidad de los cambios fluctuantes. Los *Market Makers* tradicionales cumplen el rol de facilitar las transacciones y controlar las tasas de cambio entre diversas criptomonedas. Sin embargo, con la obtención de criptomonedas basada en el proceso de minería o "*mining*", los intermediarios enfrentan mayores costos al ajustar la liquidez del mercado, lo que ha llevado a la aparición de un nuevo mecanismo conocido como *Auto Market Maker* (AMM).

El AMM, impulsado por programación y la transparencia inherente al mercado de criptomonedas, satisface la necesidad de rapidez y seguridad al buscar automáticamente órdenes en tiempo real, superando la eficiencia del MM tradicional.

La diversidad de miles de criptomonedas que operan en diferentes Blockchains plantea la pregunta de cómo llevar a cabo el intercambio entre ellas. Para solventar esta cuestión, se ideó el concepto de "*Liquidity Pool*" o Pool de Liquidez. Cada nueva *Liquidity Pool* es creada por un proveedor de liquidez (LP, *Liquidity Provider*) que establece un tipo de cambio entre dos criptomonedas y aporta ambas en la proporción establecida. Conforme más capitales se suman al pool, incrementando la liquidez, los proveedores de liquidez reciben cupones (*Tokens*) basados en sus inversiones. Así, múltiples *Liquidity Pools* se dedican a cambiar tipos de cambio entre diversas

criptomonedas, y los poseedores de tokens obtienen comisiones por las compraventas realizadas en el pool. (*Pools | Uniswap*, s. f.)

A modo de ejemplo, un proveedor de liquidez puede aportar dos criptomonedas distintas a un *liquidity pool*. Otros inversores podrán acudir a dicha piscina de liquidez para intercambiar monedas, igual que cualquier persona puede ir a una entidad financiera a intercambiar euros por dólares; este intercambio de una criptomoneda por otra podrá llevarse a cabo porque, gracias a los proveedores de liquidez, existe un número elevado de dichas criptomonedas. Como consecuencia de mantener sus criptomonedas en la *liquidity pool*, los proveedores de liquidez no pueden hacer uso de las mismas, lo que para ellos representa un coste de oportunidad en primer término. El proveedor tiene que ser recompensado por ello, y esto se realiza a través del pago de una comisión precisamente en las mismas criptomonedas que ha depositado. Esta comisión es pagada, lógicamente, por los inversores que usan la piscina para intercambiar unas criptomonedas por otras. Como veremos más adelante, el proveedor de liquidez asume un segundo riesgo, y es que las criptomonedas que ha depositado en la piscina de liquidez pueden bajar de cotización. A este riesgo se le denomina *impermanent loss*, o pérdida impermanente. El adjetivo impermanente se utiliza porque la bajada de la cotización puede ser revertida en el futuro, con lo que se trataría de una pérdida potencial que no se realiza hasta que el proveedor de liquidez no retira sus criptomonedas de la piscina de liquidez. También hay que tener en cuenta que puede ocurrir lo contrario, y las criptomonedas se pueden revalorizar durante el tiempo que el proveedor las mantiene en la piscina. En cualquier caso, esta variación de su cotización tanto al alza como, sobre todo, a la baja, representa un riesgo para el proveedor de liquidez; de ahí que se le deba compensar con una comisión.

2. Marco teórico

2.1 Diferencia entre el mercado centralizado y el mercado descentralizado

En esta sección introductoria, se exploran los conceptos fundamentales relacionados tanto con el mercado centralizado como con el mercado descentralizado, sentando así una base sólida para alcanzar los objetivos establecidos en este trabajo.

2.1.1 Finanzas centralizadas

El término "centralizado", según la definición propuesta por Cummings (1995), hace referencia a un sistema donde las decisiones importantes son tomadas por una autoridad central o una entidad organizacional.(Cummings, 1995)

La centralización es una característica inherente al funcionamiento de nuestro mundo y, por consiguiente, a nuestro tradicional sistema financiero. Para ilustrar la naturaleza centralizada del sistema financiero, tomemos como ejemplo el mercado de valores en España. Este mercado se divide principalmente en tres categorías: el Mercado Bursátil, el Mercado de Derivados y el Mercado de Deuda Pública. Cada uno de estos mercados ofrece una plataforma donde los oferentes y demandantes pueden negociar diversos productos financieros, y toda la información sobre las transacciones se registra y transfiere a través de la plataforma correspondiente. Además, para mitigar el riesgo en el ámbito de la seguridad financiera, se han establecido diversas entidades gubernamentales encargadas de supervisar los mercados financieros. (Easley *et al.*, 1996).

Ilustración 1: El nuevo organigrama de los órganos reguladores



Fuente: Cinco Días (Bayón & Martín Simón, s. f.)

Sin embargo, además de los oferentes y demandantes, existe un tercer agente: los intermediarios. Estos intermediarios se encargan de ajustar y controlar el mercado, actuando como mediadores para facilitar las compraventas y resolver los problemas que surgen en los mercados.

2.1.2 Participantes (oferentes, demandantes, intermediarios)

En los mercados centralizados, se identifican tres tipos de participantes principales:

a. Los oferentes (o emisores de valores)

Estos participantes son quienes emiten valores en el mercado. Según la definición proporcionada por Viguera (2014), los oferentes pueden ser sociedades anónimas, gobiernos extranjeros, entidades públicas extranjeras, organismos multilaterales de crédito, entidades extranjeras y sucursales de entidades extranjeras, así como entidades cooperativas, entidades sin ánimo de lucro, entre otros.

b. Los intermediarios de valores

Estos actores son personas físicas o jurídicas cuya función es actuar como intermediarios entre los oferentes y los demandantes, facilitando y perfeccionando las operaciones. Además, los intermediarios también pueden realizar operaciones por cuenta propia. Según Viguera (2014), sus obligaciones frente a los emisores

consisten en informarse sobre las necesidades del emisor y las características de los servicios que ofrecen. Por otro lado, sus obligaciones frente a los demandantes incluyen proporcionar la asesoría necesaria para la ejecución del encargo.

c. Los demandantes (inversionistas)

Estos participantes son las personas que adquieren valores con el objetivo de obtener beneficios. Según la clasificación de Viguera (2014), los inversionistas se dividen en dos categorías: los inversionistas profesionales, que cuentan con sus propias experiencias y conocimientos para ejecutar operaciones y gestionar riesgos; y los clientes inversionistas, que no poseen la calidad de inversionistas profesionales. Los intermediarios tienen la obligación de clasificar a sus clientes en una de estas dos categorías (Vasquez, 2014).

En los mercados descentralizados, la estructura de participantes es diferente debido a su naturaleza descentralizada. En lugar de depender de intermediarios centralizados, los participantes pueden interactuar directamente entre sí a través de protocolos y contratos inteligentes. Los roles de oferentes y demandantes siguen siendo fundamentales, pero la intermediación se lleva a cabo de manera automatizada y descentralizada por algoritmos y mecanismos de liquidez, como se ha mencionado previamente. Esto elimina la necesidad de intermediarios humanos y proporciona un grado de transparencia y eficiencia que es característico de los mercados descentralizados.

2.1.3 Libro de órdenes

El libro de órdenes, también conocido como "*Order Book*", es una herramienta esencial en los mercados financieros, donde se registran electrónicamente las órdenes de compra (*bids*) y venta (*asks*) de un producto financiero específico. Este registro dinámico refleja la relación entre la oferta y la demanda, permitiendo a los inversores tomar decisiones informadas sobre los precios y las cantidades a las que desean comprar o vender dicho producto financiero.

La profundidad del libro de órdenes, es decir, el número de *bids* y *asks* en cada punto de precio, es un indicador clave de la liquidez del mercado. Cuanto mayor sea la profundidad, mayor será la liquidez. Esto conlleva una mayor transparencia y eficiencia en el mercado. La liquidez es esencial para garantizar que las transacciones

se puedan realizar sin afectar significativamente el precio del activo financiero. Además, contribuye a prevenir la manipulación de precios (Kenton, 2022).

A lo largo de las últimas décadas, el libro de órdenes ha sido ampliamente utilizado por los agentes del mercado con el fin de obtener el mejor precio posible en caso de ejecuciones inmediatas en los principales mercados financieros del mundo. Incluso en los mercados de criptomonedas, esta herramienta desempeña un papel fundamental al proporcionar información valiosa a los inversores (*Buy/Sell Bitcoin, Ether and Altcoins | Cryptocurrency Exchange*, s. f.).

La estructura típica del libro de órdenes comprende cuatro partes esenciales: los *bids* (órdenes de compra), los *asks* (órdenes de venta), los precios y las cantidades de las órdenes. Los *bids* representan las intenciones de compra de los inversores, mientras que los *asks* indican sus intenciones de venta. Estos elementos están organizados en una lista ordenada por precio, desde el más alto al más bajo, y reflejan la liquidez acumulativa entre los *bids* y los *asks*.

Ilustración 2 Libro de ordenes entre BTC y USDT

Order Book — BTC/USDT

Depth: 15 | Group: 2 decimals

Buy Order					Sell Order				
Side	Price (USDT)	Amount (BTC)	Total (USDT)	Sum (USDT)	Side	Price (USDT)	Amount (BTC)	Total (USDT)	Sum (USDT)
Buy 1	29.319.24	0.10824	3.173.5145376	3.173.5145376	Sell 1	29.319.25	15.35951	450.329.3135675	450.329.3135675
Buy 2	29.319.07	0.00170	49.8424190	3.223.3569566	Sell 2	29.319.74	0.02422	710.1241028	451.039.4376703
Buy 3	29.319.02	0.00138	40.4602476	3.263.8172042	Sell 3	29.319.75	0.54297	15.919.7446575	466.959.1823278
Buy 4	29.318.87	0.00133	38.9940971	3.302.8113013	Sell 4	29.319.87	0.00316	92.6507892	467.051.8331170
Buy 5	29.318.67	0.00053	15.5388951	3.318.3501964	Sell 5	29.319.96	0.00946	277.3668216	467.329.1999386
Buy 6	29.318.62	0.00040	11.7274480	3.330.0776444	Sell 6	29.320.00	0.15310	4.488.8920000	471.818.0919386
Buy 7	29.318.61	0.00035	10.2615135	3.340.3391579	Sell 7	29.320.01	0.92865	27.228.0272865	499.046.1192251
Buy 8	29.318.54	0.00906	265.6259724	3.605.9651303	Sell 8	29.320.02	0.00651	190.8733302	499.236.9925553
Buy 9	29.318.45	0.00051	14.9524095	3.620.9175398	Sell 9	29.320.05	0.00317	92.9445585	499.329.9371138
Buy 10	29.318.30	0.00092	26.9728360	3.647.8903758	Sell 10	29.320.83	0.00170	49.8454110	499.379.782527
Buy 11	29.318.27	0.00090	26.3864430	3.674.2768188	Sell 11	29.320.86	0.14931	4.377.8976066	503.757.6801314

Fuente: (*Order Book*, s. f.)

De acuerdo con los estudios realizados por Foucault *et al.* (2001), los agentes del mercado pueden clasificarse en dos categorías principales: pacientes e impacientes. Los pacientes están dispuestos a esperar más tiempo con el fin de obtener un precio más favorable, mientras que los impacientes buscan ejecutar sus órdenes de manera inmediata. La proporción entre estos dos tipos de agentes tiene un impacto significativo en la dinámica del libro de órdenes, ya que afecta tanto a la competencia entre los proveedores de liquidez como a la velocidad de consumo de la liquidez.

En resumen, el libro de órdenes se erige como una herramienta esencial en los mercados financieros al proporcionar información fundamental sobre la oferta y la demanda de productos financieros. Además, desempeña un papel crucial en la determinación de la liquidez y la eficiencia del mercado. Los inversores pueden aprovechar esta valiosa información para tomar decisiones informadas y obtener el mejor rendimiento en sus operaciones (Foucault et al., 2005).

2.1.4 Market Maker

Los *Market Makers*, también conocidos como creadores de mercado, son entidades o personas autorizadas por el administrador del mercado para facilitar la compra y venta de activos en un mercado continuo. Su función principal es garantizar la liquidez del mercado y suavizar las fluctuaciones de precios en los mercados secundarios. (Datar et al., 1998)

Estos agentes desempeñan un papel crucial al ofrecer precios de compra y venta a los compradores y vendedores, lo que crea fluidez y liquidez en el mercado. Aunque su objetivo principal no es obtener beneficios, pueden generar ganancias a través de la diferencia entre los precios de compra y venta de los productos financieros contratados. (Vigueras & Irigoyen, 2011)

Es importante destacar que los *Market Makers* deben pagar un costo fijo para participar en el mercado. Estos costos incluyen mantenerse informados sobre la empresa cuyas acciones se negocian, establecer una estructura administrativa (back office) y conectarse a una red de información. (Biais, 1993)

La presencia de los *Market Makers* es fundamental para mantener un mercado líquido y eficiente, ya que aseguran que siempre haya contrapartes dispuestas a comprar o vender activos financieros. Esto proporciona confianza a los inversores y reduce el riesgo de que los precios fluctúen bruscamente debido a la falta de liquidez.

2.1.5 CEX (Exchange centralizado)

El concepto de *Centralized Exchange* (CEX) se basa en el funcionamiento de un mercado centralizado que busca cruzar las órdenes de los usuarios de manera transparente, eficiente y centralizada, similar a mercados de bolsa o futuros como MEFF en España o NYSE en Estados Unidos. En un CEX, todas las órdenes son realizadas en un mercado central, lo que permite a todos los usuarios observar los

precios de *bids* y *asks*, así como sus cambios correspondientes. La presencia de *Market Makers* y una entidad de supervisión son indispensables para controlar la fluctuación y evitar sobre-reacciones del mercado (Biais, 1993).

El funcionamiento del CEX se basa principalmente en un libro de órdenes (LOB) electrónico y centralizado, donde se registran todas las órdenes y movimientos. Sin embargo, esta característica conlleva que el administrador del mercado cobre una comisión adicional por el mantenimiento del LOB. Además, los inversores pueden preocuparse de que sus fondos queden bloqueados por el administrador y existe el riesgo de retrasos y pérdidas debido a posibles hacking (Barbon & Ranaldo, 2023).

En pocas palabras, CEX es una forma generalizada de operar en los principales mercados del mundo, ya que ofrece ventajas como la eficiencia y competitividad en la provisión de liquidez, y el control y supervisión por parte de los administradores para asegurar un mercado ordenado. Sin embargo, no se puede ignorar las deficiencias derivadas de la centralización, lo que puede generar inconvenientes para los usuarios. Como alternativa a esto, han surgido los mercados descentralizados (DEX) que buscan abordar algunos de los problemas asociados con los CEX.

2.2 Finanzas Descentralizadas

La Finanzas Descentralizadas (DeFi) es un tema fundamental para comprender el desarrollo de las criptomonedas y su impacto en el mundo financiero. Un hito crucial en esta evolución fue la creación de Bitcoin, la criptomoneda más conocida. En 2008, Satoshi Nakamoto publicó un trabajo titulado "Bitcoin: A Peer-to-peer Electronic Cash System", donde se presentaba un revolucionario sistema de intercambio económico basado en una red punto a punto que eliminaba la necesidad de confiar en terceros. Al año siguiente, la red de Bitcoin se hizo operativa, marcando el inicio de la primera "block" o bloque de la cadena de bloques. Desde entonces, las monedas digitales han evolucionado para convertirse en productos financieros cada vez más relevantes.

Con más de una década de desarrollo, las criptomonedas ya no son una novedad. Según el Economista (García, 2021), el 9% de la población española, es decir, 4 millones de personas, poseen o utilizan criptomonedas. Según Activo (Angel Hernández, 2022), esta cifra podría llegar a alcanzar los 8 millones de personas en 2022. Es importante señalar que las monedas digitales y las criptomonedas no son conceptos idénticos. Mientras que las monedas digitales pueden ser emitidas y

controladas por bancos centrales o entidades basadas en monedas fiduciarias tradicionales, las criptomonedas operan de manera descentralizada y no pueden ser controladas por ningún gobierno o entidad (Adrian & Mancini-Griffoli, 2021). Aunque algunos países como Venezuela, El Salvador y la República Centroafricana han aceptado criptomonedas como su divisa oficial, pero la mayoría de los países aún no las reconocen como moneda de curso legal.

Las criptomonedas representan una manifestación emergente del dinero, con la intención de transformar los parámetros tradicionales del ecosistema económico al brindar mayor flexibilidad y poder a los usuarios. Entre sus ventajas destacan la rapidez en las transacciones, la transparencia en la información, el anonimato de las partes involucradas y su alcance global. Sin embargo, también enfrentan desafíos significativos, como la alta volatilidad de los precios, el riesgo de ciberataques y el hecho de estar aún en un entorno regulatorio poco definido. Otro aspecto a considerar es el elevado consumo energético asociado con algunas criptomonedas y sus sistemas de validación (Blanco Encinosa, 2021).

2.2.1 Criptomonedas

Como se mencionó anteriormente, las criptomonedas representan una nueva orientación en la economía y actualmente funcionan como productos financieros. No obstante, es fundamental indagar en la tecnología subyacente que despierta ese fervor por las criptomonedas y comprender qué son exactamente. Según la definición de Satoshi Nakamoto y su célebre trabajo "Bitcoin: A Peer-to-peer Electronic Cash System", el Bitcoin opera mediante un protocolo descentralizado que emplea criptografía y un mecanismo de consenso basado en la prueba de trabajo. La prueba de trabajo consiste en resolver problemas matemáticos que requieren un gran esfuerzo computacional, garantizando así la seguridad y validez de las transacciones. Cada bloque de transacciones resuelto se añade a una cadena pública de bloques, conocida como blockchain, que actúa como un registro histórico e inmutable de todas las operaciones realizadas con Bitcoin.

Los bitcoins se obtienen mediante un proceso llamado "minería", que implica participar en la resolución de bloques y recibir una recompensa por cada bloque resuelto. Es importante aclarar que esta "minería" no implica excavar en una mina en una montaña, sino utilizar GPUs para resolver problemas matemáticos. La recompensa se reduce a la mitad cada 210,000 bloques, aproximadamente cada cuatro años, hasta alcanzar un límite máximo de 21 millones de bitcoins. Además de

la recompensa, los mineros reciben comisiones voluntarias que pagan los usuarios para priorizar sus transacciones.

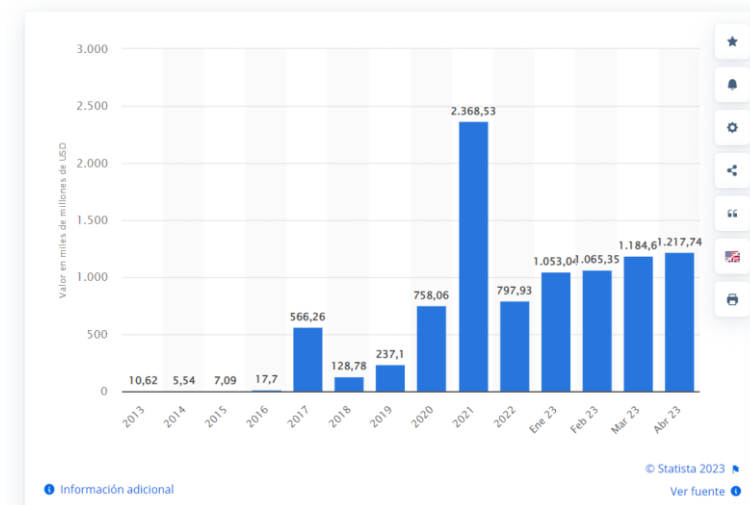
Las transferencias de bitcoins se realizan a través del uso de direcciones públicas y privadas, que son cadenas alfanuméricas generadas por algoritmos criptográficos. Cada usuario tiene una o más direcciones públicas, similares a cuentas bancarias, y una o más direcciones privadas, que funcionan como claves secretas. Para enviar bitcoins a otra persona, se requiere conocer su dirección pública y firmar la transacción con la dirección privada correspondiente. La transacción se difunde a través de la red y se verifica por los nodos antes de ser incluida en un bloque (Nakamoto, 2008).

Desde la creación del pionero Bitcoin, han surgido diversas criptomonedas basadas en su tecnología, ya que esta es completamente pública y abierta. Entre ellas se encuentra Litecoin, lanzada en 2011 por Charlie Lee como "una versión liviana de Bitcoin". Aunque su código está fuertemente inspirado en Bitcoin, existen diferencias significativas en el proyecto. Por ejemplo, mientras que Bitcoin tiene un máximo de 21 millones de unidades minadas, Litecoin aumenta esta cifra a 84 millones de tokens, lo que mantiene su precio considerablemente más bajo que el de BTC. Además, Litecoin fue diseñada para permitir confirmaciones de transacciones más rápidas que Bitcoin (Juarros, 2022). Por otro lado, Ethereum es otra criptomoneda basada en la tecnología de Bitcoin, pero está vinculada a un sistema de pago que posibilita el desarrollo de aplicaciones descentralizadas (dapps) y contratos inteligentes (*smart contracts*). A diferencia de Litecoin, que se concibe únicamente como una moneda (*Litecoin Vs Ethereum | Diferencias y Similitudes*, s. f.).

El mercado de criptomonedas ha experimentado un crecimiento dramático, con más de 10,000 tipos de criptomonedas y un valor de 2.4 billones de dólares en 2021. Aunque actualmente atraviesa un período de estancamiento, esto puede reflejar una normalización y estabilización del mercado después de un período de rápido crecimiento.

Ilustración 3 Capitalización de mercado de criptomonedas de 2013 a 2023

Capitalización de mercado de criptomonedas de 2013 a 2023
(en miles de millones de dólares)



Fuente: Statista (*Capitalización de mercado de criptomonedas en 2023*, 2023)

2.2.2 Blockchain

En la sección anterior, se explicó la teoría básica detrás de las criptomonedas. Sin embargo, para que estos activos tengan valor, es fundamental contar con la capacidad de realizar compraventas de forma segura y confiable. En este sentido, una pieza clave de la finanza descentralizada es la tecnología Blockchain, también conocida como cadena de bloques. Esta tecnología es un sistema que permite almacenar y transferir información de manera segura, descentralizada y transparente, sin depender de intermediarios o autoridades centrales. Su base reside en el uso de bloques, que son registros de información vinculados entre sí mediante firmas criptográficas, lo que da lugar a una cadena inmutable y verificable.

La historia de la tecnología Blockchain se remonta a 1991, cuando dos investigadores propusieron un sistema para sellar digitalmente documentos y evitar su manipulación. Posteriormente, en 2004, otro investigador creó un sistema llamado RPoW, que utilizaba tokens criptográficos para demostrar el trabajo realizado por una máquina.

Desde su aplicación inicial en Bitcoin, la tecnología Blockchain ha evolucionado y se ha extendido a otros ámbitos, como Ethereum, una plataforma que permite la implementación de contratos inteligentes. Estos contratos son programas que se ejecutan en la cadena de bloques y pueden automatizar transacciones o

acciones de acuerdo con condiciones predefinidas. Los contratos inteligentes también han posibilitado el desarrollo de aplicaciones descentralizadas (DApps) que ofrecen diversos servicios, como redes sociales, juegos, finanzas o identidad digital.

La principal característica de la tecnología Blockchain radica en su descentralización, lo que significa que no está controlada por una entidad centralizada. Esto implica que la información es pública, transparente y resistente a la censura o el fraude. Además, las transacciones realizadas son irreversibles y se validan a través de nodos en la red, que son computadoras o dispositivos que siguen las reglas del protocolo Blockchain.

Las funciones y utilidades de la tecnología Blockchain son variadas y dependen del tipo y diseño de cada cadena. Además de su aplicación en criptomonedas, esta tecnología se utiliza para:

- Registrar y verificar la propiedad o el historial de activos físicos o digitales, como en el caso de los tokens no fungibles (NFT).
- Facilitar la colaboración y la gobernanza entre los participantes de una red, como en el caso de las organizaciones autónomas descentralizadas (DAO).
- Mejorar la eficiencia y la seguridad de procesos o servicios existentes, como en la gestión de cadenas de suministro o la votación electrónica. (Andrés, 2020)

2.2.3 Tokens, plataformas, y contrato inteligente

¿Qué es un token? Según la definición del diccionario de Cambridge, es una pieza de papel con una cantidad específica de valor impresa en él y puede ser intercambiado por bienes (*Token*, 2023). Sin embargo, en el contexto de DeFi, los tokens son criptomonedas que también pueden ser intercambiadas. Principalmente, los tokens se refieren a todas las criptomonedas excepto Bitcoin y Ethereum, ya que estos dos últimos son proyectos más grandes y cuentan con sus propias plataformas para el desarrollo de otros productos financieros basados en ellos (*¿Qué es un token?*, 2023). Las plataformas para intercambiar tokens se asemejan a los mercados de valores donde se negocian activos físicos. Sin embargo, a diferencia de los mercados de valores que requieren una entidad centralizada para gestionar las operaciones, las plataformas de tokens dependen de dos factores cruciales: una blockchain y un contrato inteligente. Los tokens necesitan una plataforma en la cual ser desplegados y utilizados, y las blockchains creadas para las diferentes criptomonedas proporcionan

el entorno para su creación. Las características de los tokens se establecen mediante un contrato inteligente, que en esencia es código programado (De la cruz, 2022).

Hablemos ahora sobre los contratos inteligentes. Según la explicación de IBM, (*¿Qué son los contratos inteligentes en blockchain?*, s. f.) un contrato inteligente es un programa almacenado en una cadena de bloques que se ejecuta automáticamente cuando se cumplen los términos y condiciones predeterminados. Los contratos inteligentes operan de manera lógica, siguiendo una estructura condicional "si ocurre esto, entonces se produce aquello" (*Contratos inteligentes*, 2023). Estos contratos se comportan exactamente como han sido programados y no pueden ser modificados. Una forma sencilla de entender cómo funciona un contrato inteligente es comparándolo con una máquina expendedora (Pacheco, 2022). Al igual que en una máquina expendedora, un contrato inteligente tiene una lógica programada en él. Por ejemplo, si alguien inserta \$2 y luego presiona la opción B4, la máquina dispensará el paquete de galletas que se encuentra en la casilla B4.

De manera similar, un contrato inteligente ejecuta automáticamente una tarea cuando se cumplen ciertas condiciones. Por ejemplo, supongamos que existe un contrato inteligente para la venta de una casa. El contrato podría estipular que cuando el comprador transfiera el dinero acordado a la cuenta del vendedor, automáticamente se transferirá la propiedad de la casa al comprador y se le entregarán las llaves de la propiedad. Todo esto ocurriría de forma automática y sin la necesidad de intermediarios. En el caso de las criptomonedas, el usuario configura la situación que quiere comprar o vender, y el contrato se ejecuta automáticamente para él.

Nick Szabo acuñó el término "contrato inteligente" en 1994 (*Smart Contracts*, 1994), cuando presentó una introducción al concepto y, en 1996, exploró lo que estos contratos podrían lograr. Szabo imaginó un mercado digital construido sobre estos procesos automáticos y criptográficamente seguros, un lugar donde las transacciones y las operaciones comerciales pueden llevarse a cabo sin depender de la confianza en terceros intermediarios. (*Contratos inteligentes*, 2023)

Una vez que comprendemos la teoría detrás de las plataformas de tokens, podemos avanzar para clasificar los diferentes tipos de tokens. Existen varios tipos, pero todos ellos se dividen en dos categorías: los tokens fungibles y los tokens no fungibles. Los tokens fungibles son aquellos que pueden intercambiarse entre sí, ya que poseen el mismo valor. Por otro lado, los tokens no fungibles son aquellos que no pueden dividirse ni intercambiarse entre sí, ya que no poseen el mismo valor (Pérez, 2021).

2.2.4 Auto Market Makers

En el contexto de las criptomonedas, las plataformas enfrentan desafíos similares a los mercados de valores, entre ellos, el problema de la liquidez. Algunas plataformas pueden encontrarse con escasez de usuarios o con problemas relacionados al precio de ciertas criptomonedas. En estas situaciones, la participación de un *Market Maker* se vuelve indispensable para ajustar el mercado y garantizar su fluidez (Tommasi, 2022).

No obstante, debido a las características únicas de las criptomonedas, es poco probable que alguna entidad o usuario pueda aportar una gran cantidad de criptomonedas para solventar la liquidez de manera tradicional. Como solución a este desafío, estas plataformas han implementado un enfoque novedoso que involucra a todos los usuarios: el modelo "AMM" (Auto Market Maker). En este sistema, se estimula a los usuarios a suministrar sus criptomonedas a un fondo conjunto, conocido como "*Liquidity Pool*" (WMA - *The World Medical Association-Historia*, s. f.). Mediante el uso de contratos inteligentes, el precio de ejecución se ajusta en un intervalo establecido por una fórmula matemática, lo que garantiza la estabilidad y liquidez del mercado.

El concepto de AMM y los *Liquidity Pools* han demostrado ser una solución eficiente para mejorar la liquidez en el mercado de criptomonedas. Al incentivar la participación activa de los usuarios, se crea un ecosistema más dinámico y resiliente. Estos avances tecnológicos han redefinido la forma en que se aborda el desafío de la liquidez en el ámbito de las criptomonedas y han sentado las bases para un mercado más sólido y competitivo en el futuro.

3 Desarrollo de Uniswap y base matemático de Uniswap V3.

3.1 Introducción de Uniswap y Liquidity pool V1, V2, V3

Para abordar el tema de la liquidez en el mercado de criptomonedas, es de vital importancia conocer Uniswap, un protocolo de comercio descentralizado construido sobre Ethereum que permite el intercambio de tokens o criptomonedas sin la necesidad de intermediarios (Martín, 2023). Uniswap es reconocido por su papel fundamental en la facilitación del comercio automatizado de tokens en el contexto de las finanzas descentralizadas (*Precio, gráficos, capitalización de mercado de Uniswap (UNI)*, s. f.). Al servir como infraestructura crítica para las finanzas descentralizadas, Uniswap ofrece una plataforma segura y sólida para que desarrolladores, comerciantes y proveedores de liquidez participen en un mercado financiero vanguardista (*Introducing Uniswap V3*, 2021).

La plataforma de Uniswap ha revolucionado el comercio de criptomonedas, ya que permite a los usuarios realizar transacciones con diversos tipos de criptomonedas en un mismo lugar. Para lograr este objetivo, Uniswap ha creado un token llamado "ERC-20" dentro del sistema de Ethereum, el cual se utiliza para las transacciones de diferentes criptomonedas. Es importante destacar que el token "ERC-20" no es en sí una criptomoneda, sino que representa la cantidad e información de diferentes criptomonedas y es utilizado para ejecutar los contratos inteligentes (S., 2022).

Uniswap emplea lo que se conoce como *pools* de liquidez. Estos *pools* son grupos de tokens que quedan bloqueados en un contrato inteligente y se utilizan para facilitar el comercio entre activos en un intercambio descentralizado (DEX) como Uniswap (*What Is a Liquidity Pool?*, 2023). Los proveedores de liquidez (LP) son quienes aportan los tokens a estos pools y, a cambio, reciben un token que representa su participación en la liquidez proporcionada (*Pools | Uniswap*, s. f.).

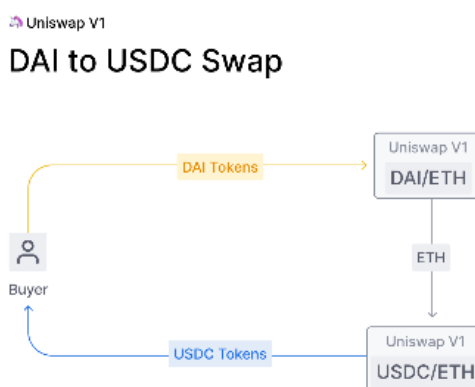
3.1.1 La base de Liquidity Pool: Uniswap V1

A lo largo del tiempo, Uniswap ha experimentado tres versiones diferentes. La primera, Uniswap V1 (Versión 1), fue lanzada en noviembre de 2018 como una prueba de concepto para los creadores de mercados automatizados (AMM), un tipo de intercambio que permite a cualquier persona agrupar activos en estrategias compartidas de creación de mercado. En esta versión, se creó y utilizó por primera

vez el token "ERC-20" (*Introducing Uniswap V3*, 2021). Este hito marcó un gran avance en el mercado de criptomonedas al eliminar intermediarios innecesarios y acelerar las transacciones entre diferentes criptomonedas.

El funcionamiento de Uniswap V1 es sencillo pero innovador. Cada token "ERC-20" representa un contrato que vincula dos diferentes criptomonedas. Sin embargo, este contrato no implica que el usuario deba comprar o vender sus criptomonedas de inmediato, sino que se crea un contrato pendiente que obliga al usuario a depositar ambas criptomonedas. Todos los usuarios que depositan ambas criptomonedas se convierten en "proveedores de liquidez" y los contratos pendientes se agrupan en una piscina llamada "*Liquidity Pool*". Cuando algún trader o usuario desea adquirir una criptomoneda, simplemente agrega una cantidad de una criptomoneda al contrato y obtiene la otra criptomoneda correspondiente. Los proveedores de liquidez pueden establecer un precio mínimo y máximo para la contrapartida debido a las fluctuaciones de las diferentes criptomonedas.

Ilustración 4 Uniswap V1



Fuente: Uniswap (*Uniswap v2 Overview*, 2020)

Es relevante destacar que la tasa de intercambio no es determinada por cada usuario, sino por una compleja fórmula matemática establecida por Uniswap. Uno de los objetivos principales de este trabajo es investigar y analizar dicha fórmula para conocer la tasa de cambio entre dos criptomonedas en el pool de liquidez.

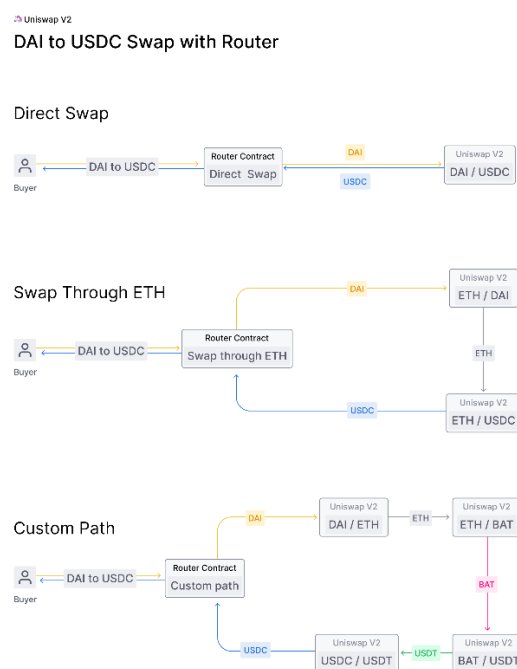
Además, el pool de liquidez cobra una pequeña comisión del 0.3% cada vez que se realiza un contrato. Esta comisión no es dirigida a una empresa o persona en

particular, sino que se agrega directamente a el pool de liquidez con el objetivo de incrementar su tamaño con cada contrato (*Overview | Uniswap, s. f.*).

3.1.2 Ampliación de intercambios: Uniswap V2

Con Uniswap V2, lanzado en mayo de 2020, se introdujeron nuevas características y optimizaciones que prepararon el escenario para un crecimiento exponencial en la adopción de AMM. Una diferencia importante con respecto a Uniswap V1 es que esta versión permite tanto intercambios con Ethereum como intercambios directos entre dos criptomonedas distintas a Ethereum. Incluso posibilita intercambios a través de un círculo de varios tipos de criptomonedas (*Uniswap v2 Overview, 2020*).

Ilustración 5 Uniswap V2



Fuente: Uniswap (*Uniswap v2 Overview, 2020*)

Con esta nueva versión, todos los proveedores de liquidez se reparten de forma proporcional las comisiones generadas al “prestar” sus monedas para que otros usuarios puedan hacer intercambios entre una criptomoneda y otra. Es decir, cada vez que un usuario acude a la piscina de liquidez para intercambiar la criptomoneda X por la Y, debe pagar una comisión. Esta comisión se acaba repartiendo entre todos los proveedores de

liquidez, de forma que quien más criptomonedas ha compartido en la piscina, se lleva una mayor comisión.

3.1.3 La base matemática: comparación entre Unswap V2 y Uniswap V3

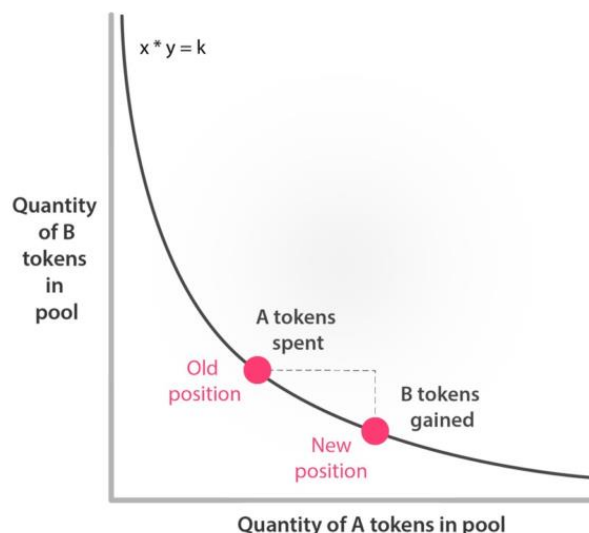
El lanzamiento de Uniswap V3 en mayo de 2021 supuso una evolución significativa al introducir características como la liquidez concentrada. Esta nueva funcionalidad permite a los proveedores de liquidez tener un mayor control sobre qué rangos de precios desean asignar su capital, además de ofrecer múltiples niveles de comisiones que les permiten ser compensados adecuadamente por asumir diferentes grados de riesgo (*Introducing Uniswap V3*, 2021).

Explicado de forma sucinta, en la versión V2 todo proveedor de liquidez prestaba sus criptomonedas y recibía una comisión, mayor conforme más grande era su participación en la piscina. Lógicamente, cuantos más usuarios emplearan esa piscina para intercambiar una criptomoneda por otra, mayor es la comisión que se acababan llevando los proveedores de liquidez. Con la nueva versión V3, los proveedores prestan sus criptomonedas para que se pueda intercambiar dentro de un rango especificado por el propio proveedor. Esto es, si alguien deja las criptomonedas X e Y para que se puedan intercambiar dentro del rango $[0,8; 0,9]$, significa que mientras el par X/Y esté dentro de ese rango, sus criptomonedas pueden ser utilizadas por otros usuarios para intercambiarlas entre sí. Pero en el momento en que el par salga del rango, por ejemplo, con un valor 0,91, las criptomonedas del proveedor ya no se podrán utilizar. Esto no significa que se le devuelvan al proveedor de liquidez, simplemente que ya no se emplean para proveer de liquidez al mercado. Lógicamente, el proveedor de liquidez sólo recibirá las comisiones cuando el par X/Y esté dentro del rango que él ha estipulado. En cuanto se salga, ni se podrá comerciar con ellas ni se le recompensará en forma de comisión. De ahí la denominación de liquidez *concentrada*, porque sólo aportan liquidez dentro de un rango determinado.

Para comprender mejor la liquidez concentrada, consideremos el ejemplo de las criptomonedas DAI y USDC. En esta situación, la mayoría de los intercambios ocurren en un intervalo muy cercano a $1 \text{ DAI} = 1 \text{ USDC}$, ya que los usuarios pueden obtener mayores ganancias en otros intercambios si la tasa de cambio se desvía significativamente de este valor. Sin embargo, cuando la tasa de cambio se desvía demasiado, entran en juego más traders que llevan el mercado de vuelta a su intervalo original.

En contraste, en Uniswap V2, la curva de precios sigue la ecuación $X * Y = K$, donde X e Y representan las dos criptomonedas involucradas en el intercambio, y K es una constante. Esto resulta en una curva ilustrada gráficamente que presenta espacios inutilizados en el pool de liquidez, y todos los usuarios comparten una misma estimulación (a través de las comisiones) sin tener en cuenta los diferentes riesgos que asumen (Workshop, 2021).

Ilustración 6 Relación Token x y Token y en Uniswap V2



Fuente: MVP WORKSHOP (Workshop, 2021)

En Uniswap V3, por otro lado, la curva de intercambio se diseña de manera personalizable, lo que significa que los proveedores de liquidez pueden ajustarla según sus preferencias y tolerancia al riesgo. Esto permite una asignación más precisa del capital en diferentes rangos de precios, lo que maximiza la eficiencia de la liquidez proporcionada.

En la siguiente parte de este trabajo, se llevará a cabo una investigación detallada sobre el pool de liquidez de Uniswap V3, se explicarán las fórmulas matemáticas basadas en diversos documentos oficiales de Uniswap, y se tratará de visualizar la curva resultante. Además, se buscará calcular la mejor estrategia posible para optimizar la gestión de este Pool de Liquidez.

Este enfoque en Uniswap V3 y la liquidez concentrada representa un avance significativo en el campo de las finanzas descentralizadas, y su estudio es fundamental para comprender las implicaciones y posibilidades que ofrece esta plataforma en constante evolución.

3.2 Los detalles del cambio matemático entre Uniswap V2 y Uniswap V3.

En Uniswap V3, la implementación de la liquidez concentrada introduce cambios significativos en la distribución de la liquidez a lo largo de la curva de precios. A diferencia de Uniswap V2, donde las liquideces se distribuyen uniformemente a lo largo de la curva:

$$xy = k \quad [1]$$

las cuales se pueden añadir libremente en cualquier área en la curva. En Uniswap V2, como se mencionó anteriormente, cada posición de Token X que un proveedor de liquidez aporta corresponde a otra posición de Token Y. En otras palabras, no existe un límite de precio para los tokens en Uniswap V2, como se muestra en la ilustración 6.

Sin embargo, en Uniswap V3, la curva no limitada (ilustración 6) no reflejaría la relación real de los dos tokens debido a la implementación de la liquidez concentrada.

Como se explicó brevemente en el apartado anterior, la liquidez concentrada tiene como objetivo aprovechar de manera más eficiente el pool de liquidez. Por lo tanto, se ha movido la curva hacia el origen de coordenadas. Su fórmula se puede derivar de la ecuación [1] de la siguiente manera:

$$\left(x + \frac{L}{\sqrt{p_b}}\right)(y + L\sqrt{p_a}) = L^2 \quad [2]$$

Donde cada carácter tiene significado según esta tabla:

Ilustración 7 Tabla del significado de los caracteres

Symbol name	Whitepaper	Uniswap code	Notes
Price	P	<code>sqrRatioX96</code>	Code tracks \sqrt{P} for efficiency reasons
Lower bound of a price range	p_a	<code>sqrRatioAX96</code>	Code tracks $\sqrt{p_a}$
Upper bound of a price range	p_b	<code>sqrRatioBX96</code>	Code tracks $\sqrt{p_b}$
The first asset	X	<code>token0</code>	
The second asset	Y	<code>token1</code>	
Amount of the first asset	x	<code>amount0</code>	
Amount of the second asset	y	<code>amount1</code>	
Virtual liquidity	L	<code>liquidity,</code> <code>amount</code>	

Fuente: Atis Elsts (Elsts, 2021)

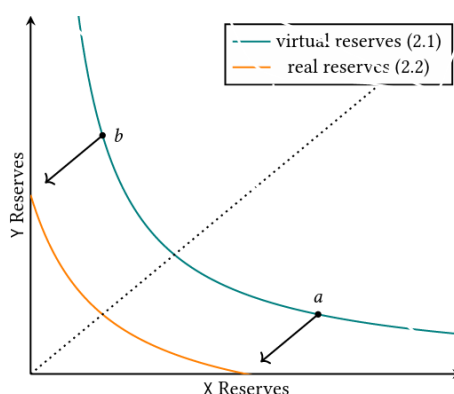
En la transición de Uniswap V2 a la versión V3, no abandonamos el concepto subyacente de la curva $x \cdot y = k$. Esta ecuación sigue siendo relevante y refleja la situación de posibles cambios cuando los "ticks" (un concepto que se explicará en el próximo párrafo) superan las delimitaciones de la liquidez concentrada. Por lo tanto, a esta ecuación $x \cdot y = k$ la llamamos "reserva virtual", ya que refleja las posibles variaciones y tendencias en el mercado.

Por otro lado, introducimos una nueva curva en Uniswap V3, que se expresa como: $\left(x + \frac{L}{\sqrt{P_b}}\right) \left(y + L\sqrt{P_a}\right) = L^2$ y la llamamos "reserva real". Esta curva representa las reservas que siempre están disponibles en el mercado.

Es importante destacar que la liquidez virtual en Uniswap V3 permite que los proveedores de liquidez concentren sus fondos en rangos de precios específicos, lo que, a su vez, mejora la eficiencia de la asignación de su capital y optimiza su participación en el pool de liquidez. Por otro lado, la liquidez real refleja la liquidez efectiva disponible en el pool en un momento dado.

La Ecuación [2] (Liquidez Real) se deriva de la Ecuación [1] (Liquidez Virtual) con el propósito de desplazar la línea hacia el origen de coordenadas en el sistema de coordenadas. En la ecuación de liquidez real, L^2 representa k de liquidez virtual. Y $\sqrt{P_b}$ $\sqrt{P_a}$ son los ticks que el Liquidity Provider apuesta.

Ilustración 8 Relación entre Uniswap V2 y V3



Fuente: (Hayden et al., 2021)

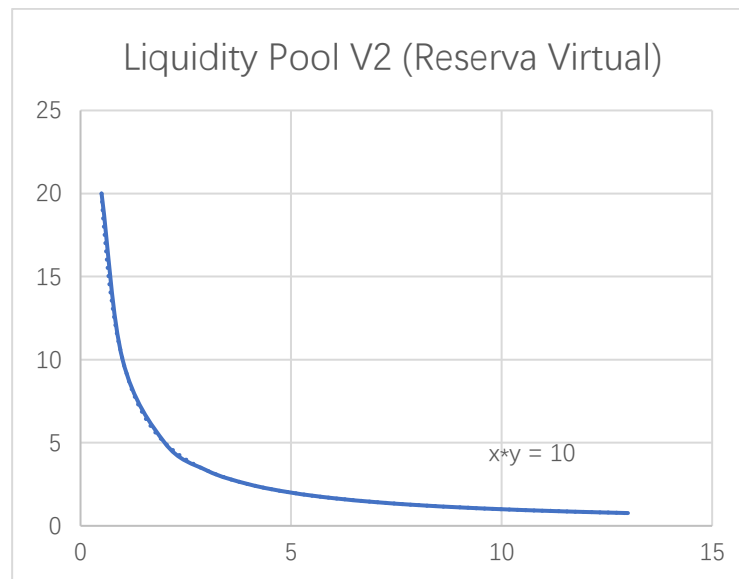
Para una comprensión más clara de las diferencias, consideremos la siguiente situación: Tenemos una Liquidity Pool V2 y una Liquidity Pool V3 que contienen los mismos dos tokens, x e y. Sus ecuaciones matemáticas son las siguientes:

$$V2: xy = k$$

$$V3: \left(x + \frac{L}{\sqrt{P_b}}\right)(y + L\sqrt{P_a}) = L^2$$

Entre ellos, $k = L^2 = 10$, puede resultar un gráfico de V2

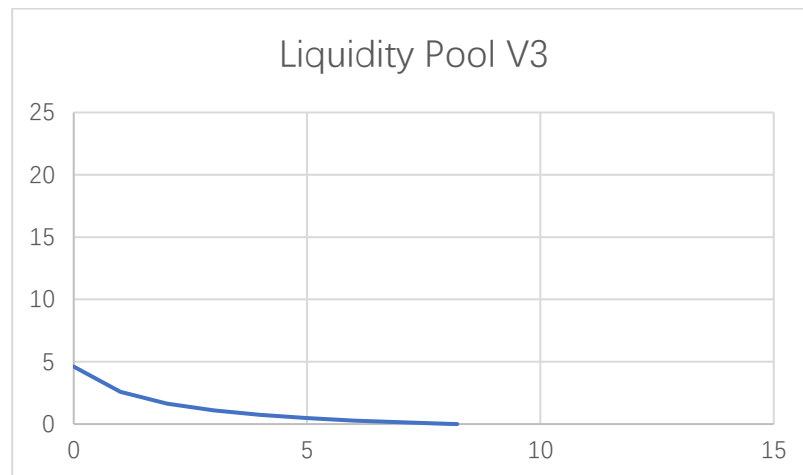
Ilustración 9 Ejemplo de Liquidity V2



Fuente: Elaboración Propia

Después de entender la Liquidity Pool V3, ha decidido apostar en el rango desde el tick inferior de 0.1 hasta el tick superior de 9.9 (" $P_a = 0,1 P_b = 9,9$ "). De esta forma se ha obtenido un nuevo gráfico de la liquidez Real (Liquidity V3):

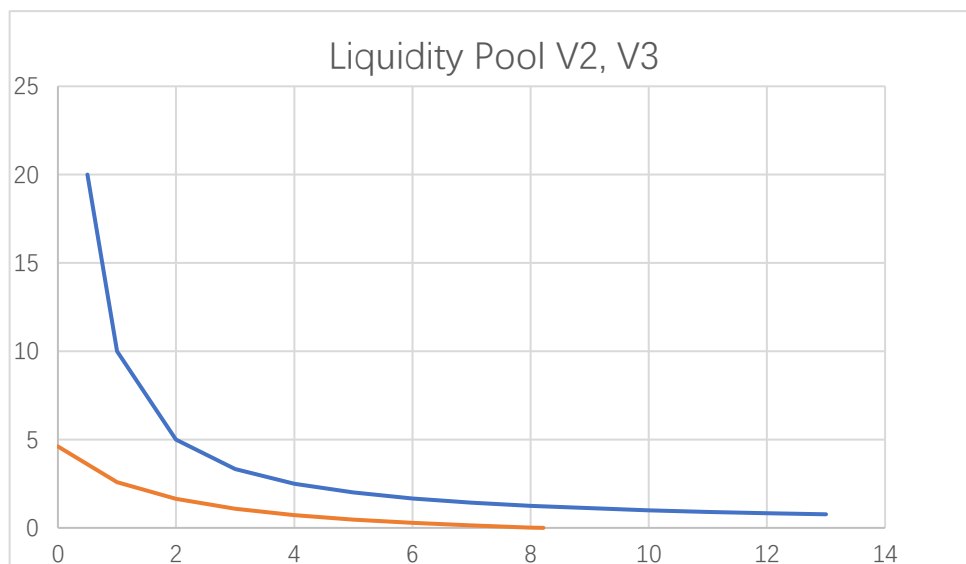
Ilustración 10 Ejemplo de Liquidity V3



Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico, se puede observar que la posición máxima de “token X” es 8,2172465 cuando la posición de “token y” es 0. De igual forma, la posición máxima de “token Y” es 4,6093017 cuando la posición de “token X” es 0. Si comparamos ambos gráficos, podemos concluir que la Liquidity Pool V3 se deriva de la V2.

Ilustración 11 Ejemplo de relación entre Liquidity V2 y V3



Fuente: Elaboración Propia

Podemos analizar el anterior ejemplo desde otra perspectiva. En la versión V2, el proveedor de liquidez aporta dos criptomonedas a la piscina de liquidez, y la “inversión” aportada varía conforme cambia la cotización de ambas criptomonedas.

¿Qué ocurre si X aumenta su cotización, mientras que Y la mantiene constante? En este caso la piscina de liquidez hace que se compense el número de criptomonedas aportadas por el proveedor, de forma que algunas criptomonedas X se conviertan en criptomonedas Y. Pero por mucho que suba la cotización de X, el proveedor de liquidez siempre tendrá alguna criptomoneda X. Sin embargo, en la versión concentrada de V3, llegará un momento en que todas las criptomonedas X se habrán convertido en criptomonedas Y. Justamente cuando X haya alcanzado uno de los extremos marcados por el proveedor en su liquidez concentrada. En ese momento, y aunque el proveedor había depositado tanto criptomonedas X como Y, todas las criptomonedas serán Y. Habrá obtenidos comisiones, pero como contrapartida se ha quedado con la criptomoneda “más barata”.

En base al ejemplo de comparación de V2 y V3, podemos observar que la principal diferencia entre ellas radica en la existencia de los ticks, también conocido como “Liquidez concentrada”. Según la introducción “Uniswap V3 core” (Hayden et al., 2021) publicado por Uniswap, la liquidez concentrada (concentrated Liquidity) se define mediante ticks discretos, donde el proveedor de liquidez puede proporcionar liquidez entre dos ticks específicos. Cada rango de precios se puede especificar mediante dos ticks, uno que delimita el precio inferior (i_l) y otro que delimita el precio superior (i_u).

Así, si el pool no tiene los ticks que el proveedor de liquidez demanda, los ticks van a ser añadidos al pool, mediante un proceso denominado “inicializado” (initialized). Cuando el precio cruza el tick inicializado, será añadido a la liquidez virtual.

A diferencia de Uniswap v2, cada Pool sigue la reserva actual del pool, en Uniswap v3, los contratos pueden ser considerado como teniendo reservas virtuales que describen el comportamiento de los contratos en los ticks delimitados. Sin embargo, en Uniswap V3, el pool no sigue las reservas virtuales, sino que se enfoca en la liquidez (L), es decir, la reserva real:

$$L = \sqrt{xy} \quad [3]$$

y el *sqrtPrice* (raíz cuadrada del precio), que se obtiene como:

$$\sqrt{P} = \sqrt{\frac{y}{x}} \quad [4]$$

Donde P hace referencia a la cotización del par X/Y. En base de las dos fórmulas, obtenemos la relación entre x, y, L, y P :

$$x = \frac{L}{\sqrt{P}} \quad [5]$$

$$y = L * \sqrt{P} \quad [6]$$

(Hayden et al., 2021)

Para llegar a nuestro objetivo de comprender el "Liquidity Pool V3", Atis Elsts (Elsts, 2021) propone varias situaciones y soluciones matemáticas para facilitar el trabajo. Las exponemos a continuación de forma detallada:

1. Cálculo de liquidez y cantidad real de tokens.

Según Elsts, es imposible calcular la cantidad de los tokens directamente por la fórmula, sino hay que asumir tres situaciones y solucionarlas en base de la ecuación [2]:

$$\left(x + \frac{L}{\sqrt{P_b}}\right)(y + L\sqrt{P_a}) = L^2$$

a. Cuando " $P \leq p_a$ ", significa toda la posición está en "token X", por tanto, " $y=0$ ". Esto es, el proveedor de liquidez aportó sus criptomonedas, pero sólo para que se utilizaran dentro del rango $[P_a, P_b]$. Si el precio del par (P) ha salido por el límite inferior del rango, entonces toda la posición del proveedor de liquidez está ahora en la criptomoneda X, y no le queda nada de Y. Por así decirlo, la piscina de liquidez ha transformado todas sus criptomonedas Y en criptomonedas X. Bajo este supuesto ($Y=0$), llegamos a la siguiente ecuación:

$$\left(x + \frac{L}{\sqrt{P_b}}\right)(y + L\sqrt{P_a}) = L^2 \leftrightarrow \left(x + \frac{L}{\sqrt{P_b}}\right)(L\sqrt{P_a}) = L^2 \leftrightarrow xL\sqrt{P_a} + \frac{L^2\sqrt{P_a}}{\sqrt{P_b}} = L^2$$

Si reorganizamos términos:

$$x\sqrt{P_a} + L\frac{\sqrt{P_a}}{\sqrt{P_b}} = L \quad [7]$$

$$x = \frac{L}{\sqrt{P_a}} - \frac{L}{\sqrt{P_b}} \quad [8]$$

$$x = L \frac{\sqrt{Pb} - \sqrt{Pa}}{\sqrt{Pa} \cdot \sqrt{Pb}} \quad [9]$$

Y la liquidez en esta situación equivale a:

$$L = x \cdot \left(\frac{\sqrt{Pa} \cdot \sqrt{Pb}}{\sqrt{Pb} - \sqrt{Pa}} \right) \quad [10]$$

Donde x es el número de criptomonedas de X que depositamos, y L el valor de las mismas.

b. Cuando " $P \geq pb$ ", es decir, toda la posición está en "token Y". En este caso, el precio del par (P) ha salido por el límite superior del rango. Por tanto, toda la posición del proveedor de liquidez está en la criptomoneda Y, y no le queda X.

$$\frac{L}{\sqrt{Pb}} \cdot (y + L\sqrt{Pa}) = L^2 \quad [11]$$

$$\frac{y}{\sqrt{Pb}} + L \frac{\sqrt{Pa}}{\sqrt{Pb}} = L \quad [12]$$

$$y = L(\sqrt{Pa} - \sqrt{Pb}) \quad [13]$$

Y la liquidez en esta situación es:

$$L = \frac{y}{\sqrt{Pb} - \sqrt{Pa}} \quad [14]$$

c. La última situación es cuando $pa < P < pb$, en una situación óptima, ya que ambos tokens contribuirán igualmente a la liquidez y, por lo tanto, el proveedor de liquidez continuará recibiendo comisiones por haber depositado las criptomonedas en la piscina. Podemos hacer equivalentes las ecuaciones [10] y [14], y esta situación " $L_x(P, pb) = L_y(pa, P)$ ". Por tanto, se puede obtener:

$$x\sqrt{P} \cdot \frac{\sqrt{Pb}}{\sqrt{Pb} - \sqrt{P}} = \frac{y}{\sqrt{P} - \sqrt{Pa}} \quad [15]$$

Y las correspondientes cantidades son:

$$x = L \frac{\sqrt{Pb} - \sqrt{P}}{\sqrt{P} \cdot \sqrt{Pb}} \quad [16]$$

$$y = L(\sqrt{P} - \sqrt{Pa}) \quad [17]$$

1. Cálculo del rango del precio según la cantidad de los tokens.

Con las fórmulas [16] y [17], se puede derivar el "sqrtprice" de "token A" y "token B". Esto es, en función del número de tokens que aportamos a la piscina, y de la

cotización actual entre X e Y, podemos calcular automáticamente el rango de precios de nuestra liquidez concentrada:

$$\sqrt{Pa} = \frac{y}{\sqrt{Pb \cdot x}} + \sqrt{P} - \frac{y}{\sqrt{Pa \cdot x}} \quad [18]$$

$$\sqrt{Pb} = \frac{\sqrt{Py}}{\sqrt{Pa \sqrt{Px} - \sqrt{Px+y}}} \quad [19]$$

4 Ejemplos de liquidez concentrada en Uniswap V3

A continuación, vamos a investigar tres tokens y sus respectivos pools: ETH, WBTC y USDC. Este trabajo continuará con el cálculo de los procesos matemáticos utilizando los datos proporcionados.

Para desarrollar este tema, lo primero que debemos hacer es determinar P, que representa el precio de intercambio entre los tres tokens: ETH, WBTC y USDC.

Según los datos registrados a las 00:00 del 21 de julio de 2023, hemos supuesto las relaciones de precio entre los tres tokens de la siguiente manera en los siguientes casos:

Ilustración 12 Relación de Swap (P)

	USDC	WBTH	ETH
USDC	1		
WBTC	29877,4	1	
ETH	1890,61	0,063212	1

Fuente: Elaboración propia

4.1 Calcular la cantidad de los tokens en base de rango de ticks

El primer paso consiste en calcular la cantidad de tokens en función del rango de ticks. Supongamos la siguiente situación: un usuario posee 3 ETH y desea proporcionar liquidez en el pool “ETH/USDC” o “ETH/WBTC”.

Supongamos que el precio de 1 ETH es “P = 1890.61 USDC” o “P = 0.063212 WBTC”. Además, el rango de precio se establece entre “Pa = 1500USDC” y “Pb =

2200USDC” o “Pa = 0.05WBTC” y “Pb = 0.07WBTC”. Ahora, vamos a calcular la cantidad de tokens que el usuario debe aportar en cada caso.

¿Cuánto se necesita de USDC o WBTC para añadir la posición a la piscina de liquidez?

En caso de ETH-USDC, suponemos ETH es el token X, y USDC es el token Y. Si partimos de que x=3, la pregunta será cuál será la cantidad de y. Podemos usar la ecuación [17]

$$y = L(\sqrt{P} - \sqrt{Pa})$$

Ya tenemos “P= 1890,61USDC”, “Pa= 1500USDC” y “Pb=2200USDC”. Nos falta la “L” para obtener y (cantidad de USDC). Dado que el “P” está situado en el rango de “pa” y “pb”, podemos usar la ecuación [16] y hacer un cambio.

$$x = L \frac{\sqrt{Pb} - \sqrt{P}}{\sqrt{P} \cdot \sqrt{Pb}}$$

$$L = x * \frac{\sqrt{Pa} \cdot \sqrt{Pb}}{\sqrt{Pb} - \sqrt{Pa}}$$

Resulta que:

$$L = 1787,413838$$

$$y = 8492,56$$

Cuando invertimos 3 ETH en el Pool de ETH-USDC, se necesita 8492,56 USDC correspondientemente en el Pool.

Ilustración 13 Resolución del caso ETH-USDC

P	1890,61		
pa	1500		
pb	2200		
x	3	$x = L \frac{\sqrt{pb} - \sqrt{P}}{\sqrt{P} \cdot \sqrt{pb}}$	
L	1787,414	$L_x = x \frac{\sqrt{P} \cdot \sqrt{pb}}{\sqrt{pb} - \sqrt{P}}$	
y	8492,561	$y = L(\sqrt{P} - \sqrt{pa})$	

Fuente: Elaboración propia

Con las mismas ecuaciones, podemos saber la relación entre ETH-WBTC.

$$Pa = 0.05$$

$$Pb = 0.07 \text{ WBTC}$$

Si necesita 3 ETH y 0.063212 WBTC en el Pool de ETH-WBTC.

Ilustración 14 Resolución del caso ETH-WBTC

P	0,063212	
pa	0,05	
pb	0,07	
x	3	$x = L \frac{\sqrt{pb} - \sqrt{P}}{\sqrt{P} \cdot \sqrt{pb}}$
L	15,16959	$L_x = x \frac{\sqrt{P} \cdot \sqrt{pb}}{\sqrt{pb} - \sqrt{P}}$
y	0,421914	$y = L(\sqrt{P} - \sqrt{pa})$

Fuente: Elaboración propia

4.2 Cálculo del rango de los ticks en base de la cantidad de los tokens

El siguiente paso se enfoca en calcular el rango de los ticks en función de la cantidad de los tokens. Supongamos la siguiente situación: un usuario posee 3 ETH y 6000 USDC. Desea utilizar 2500 USDC como el rango de precio superior para cada ETH. ¿Cuál es el rango de precio inferior que puede asegurar para la posición utilizando toda la cantidad de su fondo de tokens?

En este caso, nuestro objetivo es obtener el valor de "Pa". Para lograrlo, podemos utilizar la ecuación [18].

$$\sqrt{Pa} = \frac{y}{\sqrt{Pb} \cdot x} + \sqrt{P} - \frac{y}{\sqrt{Pa} \cdot x}$$

$$\sqrt{Pa} = \frac{6.000}{\sqrt{2.500} \cdot 3} + \sqrt{1.890,61} - \frac{6.000}{\sqrt{Pa} \cdot 3}$$

Con la ecuación mencionada, podemos calcular que $\sqrt{pa}=1405,06502$

Ilustración 15 Resolución del rango

x	3		
y	6000		
P	1890,61		
pb	2500		
		$\sqrt{P_a} = \frac{y}{\sqrt{P_b \cdot x}} + \sqrt{P} - \frac{y}{\sqrt{P \cdot x}}$	
pa	1405,06502		

Fuente: Elaboración propia

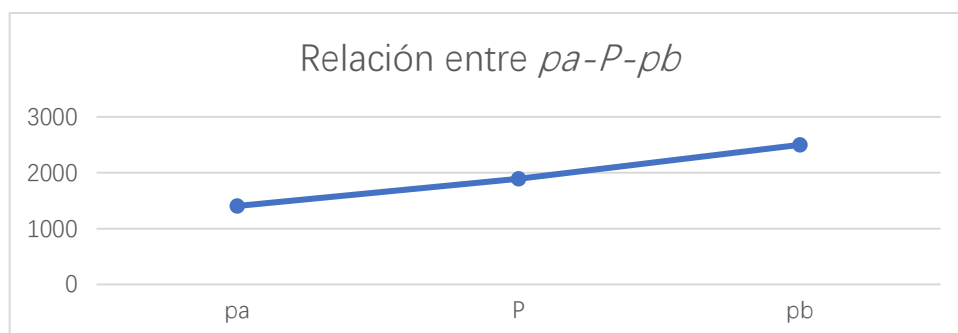
Es posible deducir que la relación entre "Pa", "P" y "Pb" es proporcional, dado que, al comenzar la posición en el pool de liquidez, el valor de los dos tokens debería ser igual. Podemos obtener la relación de la siguiente tabla:

Ilustración 16 Resolución de la relación entre pa-P-pb

	Valor	proporción con P
Pa	1405,06502	0,743180782
P	1890,61	
Pb	2500	0,756244

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17 Relación entre pa-P-pb



Fuente: Elaboración propia

4.3 Calcular la cantidad de los tokens después de un cambio en el precio

Finalmente, el último problema que abordamos es calcular la cantidad de los tokens después del cambio del precio: supongamos la siguiente situación:

Con la condición anterior de problema b, si el precio se ha cambiado a “P= 2000 ETH/USDC”, ¿cuál es la nueva cantidad de ambos tokens?

En este caso, queremos conocer la cantidad de token x y token y en la situación de que se cambia el precio. Se puede usar las ecuaciones [16] y [17]:

$$x = L \frac{\sqrt{Pb} - \sqrt{P}}{\sqrt{P} \cdot \sqrt{Pb}}$$
$$y = L(\sqrt{P} - \sqrt{Pa})$$

No obstante, nos enfrentará un problema: ¿L debería ser Lx o Ly?

Si vemos el caso a, nos indica una ecuación de resolver L:

$$Lx = \frac{\sqrt{Pa} \cdot \sqrt{Pb}}{\sqrt{Pb} - \sqrt{Pa}}$$

Sin embargo, con la misma manera, si escogemos (12), también podemos obtener la siguiente ecuación:

$$Ly = \frac{y}{\sqrt{P} - \sqrt{Pa}} \quad [20]$$

Con los datos del caso b, obtendremos:

$$Lx=1000,50885318639$$

$$Ly=1000,50885318639$$

Son iguales, debido a que en el caso b, la cantidad de token x y token y tienen mismo valor, y ofrecer misma liquidez a el pool.

Ahora, cambiamos al P=2000 y con las ecuaciones arribas, obtenemos la Cantidad después de cambio : “x” y “y”

$$x' = 2,4$$

$$y' = 4723,762029$$

4.4 Calcular el valor real en dólares de los tokens

Hasta ahora, estamos considerando como P en valor de la cantidad de los tokens. Sin embargo, no podemos ignorar que las criptomonedas solo tienen sentido como un producto financiero. Por tanto, ahora debemos analizar el pool de liquidez desde una perspectiva de su "valor real" en dólares. Dado que los valores de las criptomonedas están siempre fluctuando, suponemos los precios en un caso ideal:

ETH: 100 \$

WBTC: 10000 \$

USDC: 1 \$

Supongamos que hay un usuario que quiere adquirir 1 ETH en el pool de liquidez de caso a. Debería añadir la cantidad correspondiente de WBTC, ¿Cuántos dólares tiene que invertir para obtener suficientes USDC o WBTC?, ¿Cuál resulta más beneficioso? Es muy fácil obtener el resultado:

$$\text{ETH-USDC: } 1 * 1890,61 * 1 = 1890.61 \$$$

$$\text{ETH-WBTC: } 1 * 0,063212 * 10000 = 632.12 \$$$

Nos ha dado que con WBTC sale más barato para obtener 1 ETH.

Ahora si observamos el estado de la liquidez en el pool, suponemos un caso muy ideal para facilitar el cálculo: ETH-USDC hay en total 1 millón de USDC y 10 miles de ETH en el pool, el rango de ticks es entre "50-200".

Dado que el precio de "*token x = Cantidad de token y / cantidad de token x*", podemos resultar según la información indicada:

$$1 \text{ ETH} = 100 \text{ USDC}$$

$$P_a = 50$$

$$P_b = 200$$

En el caso de que un usuario compra 100 ETH, debe añadir correspondientes tokens al pool para que la liquidez del pool no se cambia. La relación entre los dos tokens dentro del fonde del pool se va a cambiar después de la compra:

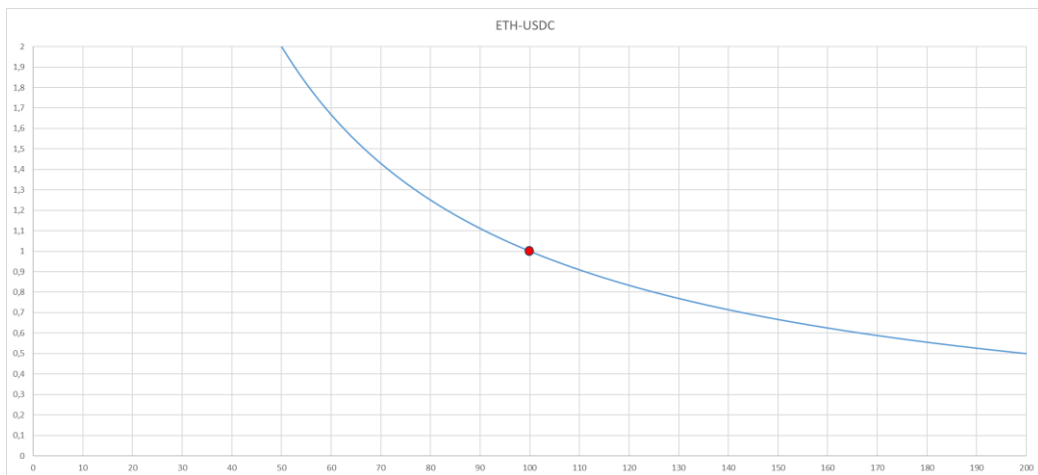
Ilustración 18 Cambio del P ETH-USDC

	Antes	Después
ETH	10000	9900
USDC	1000000	1010000
ETH/USDC	100	102,020202

Fuente: Elaboración propia

Y si queremos saber el cambio con el aumento/disminuye (compra USDC) de la compra podemos ver el cambio siguiente:

Ilustración 19 Relación entre ETH-USDC



Fuente: Elaboración Propia

4.5 Pérdida Impermanente (Impermanent Loss)

Como ya hemos comentado anteriormente, en el mecanismo del Liquidity Pool V3 es indispensable conocer los riesgos que asume el proveedor de liquidez. Además de los riesgos que hemos mencionado al principio, tales como Hacking y la profundidad del Pool, hay otro fundamental que influye las decisiones de los Liquidity providers: El "Impermanent Loss".

El "impermanent loss," o pérdida impermanente, es un concepto fundamental que los proveedores de liquidez en Pools de Liquidez deben comprender y considerar cuidadosamente. Esta pérdida se refiere a la variación temporal en el valor de los activos que un proveedor de liquidez coloca en un Pool, en comparación con simplemente mantener esos mismos activos en su billetera. En otras palabras, es la

diferencia entre la rentabilidad que un proveedor de liquidez podría haber obtenido al simplemente mantener sus criptomonedas en lugar de agregarlas a un Pool de Liquidez. (Acadamy Binance, 2023)

Para entender mejor este concepto, consideremos un escenario hipotético: un proveedor de liquidez tiene 1 ETH y 100 USDC en el pool anterior, y la tasa de cambio corresponde a "1 ETH = 100 USDC". Podemos resultar que:

$$k = 1ETH * 100USDC = 100ETH \cdot USDC$$

Dos días después, el ETH se aprecia, llegando a

$$1ETH = 200USDC$$

$$USDC = \frac{1}{200}ETH$$

Dado que los tokens están en el pool, la liquidez total (k) no se cambia, lo cual dirige los cambios de las cantidades de ETH y USDC en el Pool de Liquidez:

$$k = 100ETH \cdot USDC = 100ETH \cdot \frac{1}{200}ETH = 0,5ETH^2$$

$$X (Cantidad ETH) = \sqrt{k} = \sqrt{0,5ETH^2} = 0.70710678118 ETH$$

$$k = 100 * 200USDC \cdot USDC = 20000USDC^2$$

$$Y (Cantidad USDC) = \sqrt{k} = \sqrt{20000USDC^2} = 141,421356237USDC$$

A través de este cambio, inicialmente, este proveedor de liquidez tiene:

$$100USDC + 1 ETH = 100USDC + 100 USDC = 200 USDC$$

Y después de la apreciación de ETH, la cantidad que le queda es:

$$\begin{aligned} &141,421356237USDC + 0,70710678118 ETH \\ &= 141,421356237USDC + 0,70710678118 * 200USDC \\ &= 282,8427125USDC \end{aligned}$$

Para poder entender mejor la situación, si el proveedor de liquidez no hubiera depositado sus criptomonedas en la, el valor actual de su inversión en criptomonedas sería:

$$100USDC + 200 * 1USDC = 300USDC$$

Esta pérdida se denomina "impermanent" porque solo se materializa cuando el proveedor de liquidez decide retirar sus activos de la piscina de liquidez. Si los precios vuelven a equilibrarse, la pérdida puede mitigarse o incluso eliminarse. En el caso anterior, podemos calcular el porcentaje de Impermanent Loss:

$$\%IMP.L = \frac{Valor\ con\ LP - Valor\ sin\ LP}{Valor\ sin\ LP} = \frac{282,8427125USDC - 300USDC}{300USDC} = -5,71907\%$$

En un mercado altamente volátil, donde las criptomonedas pueden experimentar fluctuaciones significativas en cortos períodos de tiempo, el "impermanent loss" puede ser un riesgo importante.

Sin embargo, este riesgo puede ser compensado en cierto nivel. Hay que recordar que los Liquidity Providers que depositan sus criptomonedas en el Pool va a recibir comisiones cada vez hay una transacción realizada entre un comprador de criptomonedas y el Pool.

Las comisiones por transacciones, también conocidas como las tarifas de trading, son un componente esencial de la dinámica de los Pools de Liquidez. Estas tarifas se generan cada vez que alguien realiza una transacción en el Pool, ya sea comprando o vendiendo criptomonedas. Un porcentaje de estas tarifas se distribuye entre los proveedores de liquidez proporcionalmente a su contribución al Pool. Aquí es donde entra en juego la mitigación del riesgo de pérdida impermanente.

Cuando los precios de las criptomonedas suben o bajan, causando cambios en la proporción de activos en el Pool, los proveedores de liquidez pueden estar sujetos a pérdidas impermanentes. Sin embargo, a medida que las tarifas de trading se acumulan debido a la actividad de los usuarios, los proveedores pueden compensar estas pérdidas con las comisiones ganadas. En otras palabras, las tarifas de trading pueden contrarrestar en cierta medida las pérdidas causadas por cambios en la relación de precios entre los activos del Pool. (Acadamy Binance, 2023)

Es importante destacar que la efectividad de las tarifas de trading para eliminar el riesgo de pérdida impermanente depende en gran medida de la actividad del Pool. En Pools de Liquidez altamente utilizados y líquidos, las tarifas de trading pueden acumularse rápidamente, lo que puede ayudar a compensar las pérdidas impermanentes. Por otro lado, en Pools con poca actividad, las tarifas de trading pueden ser insuficientes para contrarrestar las pérdidas impermanentes.

Además, la estrategia de tarifas también juega un papel crucial. Algunos Pools de Liquidez permiten a los proveedores de liquidez establecer sus propias tarifas, lo que les brinda un mayor control sobre sus ingresos. Al ajustar las tarifas de manera estratégica, los proveedores pueden buscar maximizar sus ganancias y compensar las pérdidas potenciales. Sin embargo, establecer tarifas demasiado altas puede disuadir a los traders y reducir la actividad en el Pool, lo que a su vez afectaría la acumulación de tarifas.

5 Conclusiones

El primer objetivo específico establecido en este trabajo consistía en analizar la especial manera del funcionamiento de la liquidez en el mercado de criptomonedas. El sistema de Liquidity Pool diseñado por Uniswap se ha desarrollado en 3 versiones diferentes desde el año 2018, las cuales ha ofrecido un nuevo concepto sobre la liquidez en los mercados de finanzas descentralizadas.

El desarrollo de Uniswap y su versión más reciente, Uniswap V3, ha revolucionado el mercado financiero descentralizado al introducir el concepto innovador de liquidity pool. A través de la liquidez concentrada y la implementación de ticks discretos, Uniswap V3 ha logrado mejorar la eficiencia de las transacciones y la asignación de capital, brindando una experiencia de comercio más segura y robusta para los usuarios.

El funcionamiento de la liquidez en el tradicional mercado de valores ha estado históricamente dominado por intermediarios, lo que ha llevado a problemas como altas comisiones, falta de transparencia y lentitud en las transacciones. Además, la liquidez en los mercados tradicionales a menudo está fragmentada y no siempre está disponible en rangos de precios específicos.

En contraste, Uniswap V3 ha abordado estos desafíos al eliminar la necesidad de intermediarios y permitir que los usuarios participen directamente en el mercado de criptomonedas. Al utilizar pools de liquidez, los proveedores de liquidez pueden contribuir directamente a los rangos de precios que consideren más estratégicos, lo que mejora significativamente la eficiencia del capital y la asignación de liquidez. Esto permite que los traders tengan acceso a una mayor liquidez en los rangos de precios que más les interesan, lo que a su vez facilita una experiencia de trading más fluida y con costos reducidos.

La introducción de la liquidez concentrada en Uniswap V3 ha sido un gran avance en el mercado criptográfico, ya que permite a los proveedores de liquidez tener un mayor control sobre dónde colocar sus fondos y, al mismo tiempo, les ofrece una compensación adecuada por asumir diferentes grados de riesgo. Esta flexibilidad y capacidad de personalización en la asignación de liquidez ha atraído a más participantes al mercado, lo que ha aumentado la liquidez general y ha mejorado la experiencia de los usuarios. Como uno de los objetivos principales de este trabajo, el entendimiento del funcionamiento de Uniswap V3 y el Liquidity Pool es fundamental para adentrarse en el mercado de criptomonedas. Con las fórmulas matemáticas explicadas en una situación ideal, los inversores pueden predecir y analizar el cambio de sus criptomonedas depositadas en el Liquidity Pool, lo que les permite tomar decisiones informadas sobre sus inversiones.

Además, la utilización de los ticks discretos en Uniswap V3 ha permitido una mayor precisión en la fijación de precios y la asignación de liquidez. Al dividir los rangos de precios en intervalos discretos, Uniswap V3 asegura que la liquidez se distribuya de manera óptima, evitando el espacio inutilizado y permitiendo que los usuarios accedan a precios más competitivos en diferentes intervalos.

El novedoso sentido al mercado de valores que Uniswap V3 ha traído radica en la descentralización y la eficiencia en la asignación de liquidez. Los pools de liquidez han democratizado el acceso al mercado de criptomonedas y han permitido que cualquier usuario pueda convertirse en proveedor de liquidez, participando activamente en el funcionamiento de la plataforma y obteniendo una compensación justa por sus contribuciones.

Sin embargo, los proveedores de liquidez también deben asumir determinados riesgos por prestar sus criptomonedas en las piscinas de liquidez, tal y como el “Permanent Loss”, que surge de cambios en los precios de los activos en el pool. Aunque pueden obtener beneficios en ciertos escenarios, también pueden enfrentar

pérdidas considerables. Es fundamental utilizar las fórmulas matemáticas y análisis para tomar decisiones informadas y optimizar resultados.

6 Bibliografía

Acadamy Binance. (2023, mayo 18). *Impermanent Loss Explained*.

<https://academy.binance.com/en/articles/impermanent-loss-explained>

Adrian, T., & Mancini-Griffoli, T. (2021). *A New Era of Digital Money—IMF F&D*.

<https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2021/06/online/digital-money-new-era-adrian-mancini-griffoli.htm>

Amihud, Y., & Mendelson, H. (1989). The Effects of Beta, Bid-Ask Spread, Residual Risk, and Size on Stock Returns. *The Journal of Finance*, 44(2), 479-486.

<https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1989.tb05067.x>

Andrés, S. A. (2020, julio 1). *Blockchain—Qué es, definición y concepto | 2023 |*

Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/blockchain.html>

Angel Hernández, J. (2022, junio 15). *¿Dónde están ahora los 8 millones de inversores en criptomonedas? ¿Dónde están ahora los 8 millones de inversores en criptomonedas?*

<https://www.epe.es/es/activos/mercados/20220615/ahora-8-millones-inversores-criptomonedas-13854624>

Barbon, A., & Rinaldo, A. (2023). *On The Quality Of Cryptocurrency Markets: Centralized Versus Decentralized Exchanges* (arXiv:2112.07386). arXiv.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.07386>

Bayón, Á., & Martín Simón, P. (s. f.). *El Gobierno escinde la CNMC en dos y crea más reguladores | Empresas | Cinco Días*. Recuperado 30 de julio de 2023, de

https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/03/01/empresas/1488392200_040940.html

Biais, B. (1993). Price Formation and Equilibrium Liquidity in Fragmented and Centralized Markets. *The Journal of Finance*, 48(1), 157-185.

<https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1993.tb04705.x>

Blanco Encinosa, L. J. (2021). Criptomonedas. Breve análisis desde la perspectiva económica y financiera. *Cofin Habana*, 15(2).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2073-60612021000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Buy/Sell Bitcoin, Ether and Altcoins | Cryptocurrency Exchange. (s. f.). Binance.

Recuperado 30 de julio de 2023, de <https://www.binance.com>

Capitalización de mercado de criptomonedas en 2023. (2023). Statista.

<https://es.statista.com/estadisticas/1236436/monedas-virtuales-valor-de-capitalizacion-bursatil-a-nivel-mundial/>

Contratos inteligentes. (2023, julio 27). ethereum.org. <https://ethereum.org>

Cummings, S. (1995). Centralization and decentralization: The neverending story of separation and betrayal. *Scandinavian Journal of Management*, 11(2), 103-117. [https://doi.org/10.1016/0956-5221\(95\)00002-D](https://doi.org/10.1016/0956-5221(95)00002-D)

Datar, V. T., Y. Naik, N., & Radcliffe, R. (1998). Liquidity and stock returns: An alternative test. *Journal of Financial Markets*, 1(2), 203-219.

[https://doi.org/10.1016/S1386-4181\(97\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S1386-4181(97)00004-9)

De la cruz, I. (2022, septiembre 1). *Qué es un token y cómo funciona*—

Investing.com. <https://es.investing.com/academy/crypto/que-es-token-como-funciona/>

Easley, D., Kiefer, N. M., O'hara, M., & Paperman, J. B. (1996). Liquidity, Information, and Infrequently Traded Stocks. *The Journal of Finance*, 51(4), 1405-1436. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1996.tb04074.x>

- Elsts, A. (2021). *LIQUIDITY MATH IN UNISWAP V3*.
- Foucault, T., Kadan, O., & Kandel, E. (2005). Limit Order Book as a Market for Liquidity. *The Review of Financial Studies*, 18(4), 1171-1217.
<https://doi.org/10.1093/rfs/hhi029>
- García, N. (2021, diciembre 28). *El 9% de la población española, 4 millones de personas, ya usa o posee criptomonedas como el bitcoin*.
<https://www.eleconomista.es/economia/noticias/11542253/12/21/El-9-de-la-poblacion-espanola-4-millones-de-personas-ya-usa-o-posee-criptomonedas-como-el-bitcoin.html>
- Hayden, A., Zinsmeister, N., Moody, S., River, K., & Robinson, D. (2021). *Uniswap v3 Core*. Uniswap. <https://uniswap.org/whitepaper-v3.pdf>
- Introducing Uniswap v3*. (2021, marzo 23). Uniswap Protocol.
<https://uniswap.org/uniswap-v3>
- Juarros, S. (2022, noviembre 10). *Bitcoin, Litecoin y Ethereum, principales diferencias | Ripio*. <https://launchpad.ripio.com/blog/bitcoin-litecoin-y-ethereum-principales-diferencias>
- Kenton, W. (2022, octubre 10). *What Is an Order Book? Definition, How It Works, and Key Parts*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/o/order-book.asp>
- Litecoin Vs Ethereum | Diferencias y Similitudes*. (s. f.). BitDegree.org Crypto Learning Hub. Recuperado 30 de julio de 2023, de <https://es.bitdegree.org/crypto/tutoriales/litecoin-vs-ethereum>
- Martín, I. (2023, julio 11). *Uniswap: Cómo funciona, precios, ventajas, desventajas y opiniones | Julio 2023*. Roams.
<https://finanzas.roams.es/academia/criptomonedas/uniswap>

Massimb, M. N., & Phelps, B. D. (1994). Electronic Trading, Market Structure and Liquidity. *Financial Analysts Journal*, 50(1), 39-50.
<https://doi.org/10.2469/faj.v50.n1.39>

Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.
Order Book. (s. f.). Binance. https://www.binance.com/es/orderbook/BTC_USDT

Overview | Uniswap. (s. f.). Recuperado 30 de julio de 2023, de
<https://docs.uniswap.org//contracts/v1/overview>

Pacheco, G. (2022, septiembre 12). *10 examples of smart contracts on blockchain | TechTarget*. CIO. <https://www.techtarget.com/searchcio/feature/Examples-of-smart-contracts-on-blockchain>

Pérez, E. (2021, agosto 10). *¿QUÉ ES (realmente) un TOKEN y qué tipos hay? [GUÍA COMPLETA 2021] | Market Dynamics Trading Academy*.
<https://mdtacademy.com/que-es-realmente-un-token-y-que-tipos-hay-guia-completa-2021/>

Pools | Uniswap. (s. f.). Recuperado 30 de julio de 2023, de
<https://docs.uniswap.org//contracts/v2/concepts/core-concepts/pools>

Precio, gráficos, capitalización de mercado de Uniswap (UNI). (s. f.).
CoinMarketCap. Recuperado 30 de julio de 2023, de
<https://coinmarketcap.com/es/currencias/uniswap/>

¿Qué es un token? (2023). Coinbase. <https://www.coinbase.com/es-LA/learn/crypto-basics/what-is-a-token>

¿Qué son los contratos inteligentes en blockchain? | IBM. (s. f.). Recuperado 30 de julio de 2023, de <https://www.ibm.com/es-es/topics/smart-contracts>

S., J. (2022, septiembre 12). *¿Qué son los token ERC-20 de Ethereum y por qué son tan útiles?* <https://economia3.com/token-erc20-ethereum-que-es-criptomonedas/>

Smart Contracts. (1994).

<https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>

Token. (2023, julio 26). <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english-spanish/token>

Tommasi, M. (2022). *¿Cómo se diferencian los exchanges descentralizados contra los centralizados?* [Universidad de San Andrés].

<https://repositorio.udesa.edu.ar/jspui/bitstream/10908/19174/1/%5bP%5d%5bW%5d%20T.%20L.%20Adm.%20Tommasi,%20Mauricio.pdf>

Uniswap v2 Overview. (2020, marzo 23). Uniswap Protocol.

<https://uniswap.org/uniswap-v2>

Vasquez, R. (2014). *Guía del mercado de valores*.

https://www.academia.edu/13376787/Gu%C3%ADa_del_mercado_de_valores

Vigueras, J. M. M., & Irigoyen, G. R. (2011). *Economía financiera*. Antoni Bosch editor.

What is a liquidity pool? (2023, marzo 30). Uniswap Labs.

<https://support.uniswap.org/hc/en-us/articles/8829880740109-What-is-a-liquidity-pool->

WMA - The World Medical Association-Historia. (s. f.). Recuperado 30 de julio de 2023, de <https://www.wma.net/es/quienes-somos/historia/>

Workshop, M. V. P. (2021, abril 14). Uniswap v3 Explained—Everything You Need to Know. *MVP Workshop*. <https://mvpworkshop.co/blog/uniswap-v3-explained-all-you-need-to-know/>



**ANNEX I. RELACIÓ DEL TREBALL AMB ELS OBJECTIUS DE DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE
DE LA AGENDA 2030**

**Annex al Treball de Fi de Grau y Treball de Fi de Màster: Relació del treball amb els Objectius
de Desenvolupament Sostenible de l'agenda 2030.**

Grau de relació del treball amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS).

Objectius de Desenvolupament Sostenible	Alt	Mitjà	Baix	No Procedeix
ODS 1. Fi de la pobresa.				
ODS 2. Fam zero.				
ODS 3. Salut i benestar.				
ODS 4. Educació de qualitat.				
ODS 5. Igualtat de gènere.				
ODS 6. Aigua neta i sanejament.				
ODS 7. Energia assequible i no contaminant.				
ODS 8. Treball decent i creixement econòmic.				
ODS 9. Indústria, innovació i infraestructures.				
ODS 10. Reducció de les desigualtats.				
ODS 11. Ciutats y comunitats sostenibles.				
ODS 12. Producció i consum responsables.				
ODS 13. Acció pel clima.				
ODS 14. Vida submarina.				
ODS 15. Vida d'ecosistemes terrestres.				
ODS 16. Pau, justícia i institucions sòlides.				
ODS 17. Aliances per a aconseguir objectius.				

Descripció de l'alineació del TFG/TFM amb els ODS amb un grau de relació més alt.

***Utilitze tantes pàgines com siga necessari.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ADE

Facultat d'Administració
i Direcció d'Empreses /UPV

Annex al Treball de Fi de Grau i Treball de Fi de Màster: Relació del treball amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible de l'agenda 2030. (Numere la pàgina)