

# OPTIMIZACIÓN DE OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE EN MERCADOS DE DIVISAS

---

Autor

Pablo Hernández Zamora

Tutor

José Ángel Capitán Gómez



# ÍNDICE

---

## 01 INTRODUCCIÓN

Mercado de divisas  
Arbitraje

## 02 OBJETIVO

## 03 CONCEPTOS BÁSICOS

Teoría de grafos  
Algoritmos de maximización de beneficio  
Procedimiento  
Obtención de datos

## 04 RESULTADOS

Análisis estadístico

## 05 CONCLUSIÓN

# INTRODUCCIÓN

---

# INTRODUCCIÓN

## **Mercado de divisas**

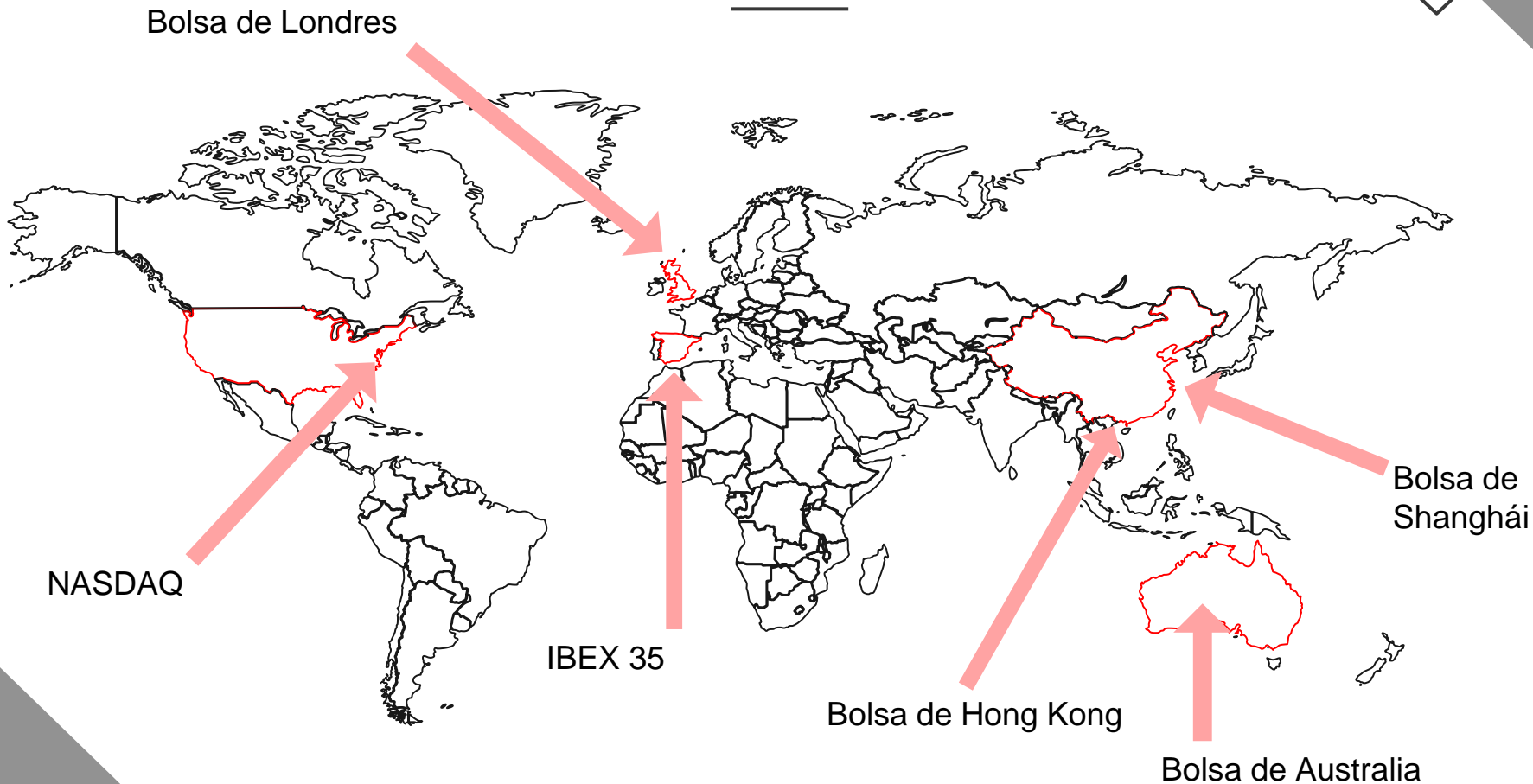
Tipo de mercado no organizado, en el cual se compra y venden las distintas monedas que hay en el mundo.

Estos mercados no poseen ni un lugar físico donde se negocien los bienes ni una cámara de compensación, evitando así la existencia de terceras partes actuando como intermediarios.

El valor numérico utilizado para transformar una divisa en otra se le conoce como tipo de cambio.

Este valor será crucial para entender todo el proceso del arbitraje

# INTRODUCCIÓN



# INTRODUCCIÓN

## **Depreciación y apreciación de divisas**

Surge cuando se produce una variación del tipo de cambio entre distintas divisas, provocando una pérdida o ganancia del valor de una moneda de un país con respecto a moneda con referencia extranjera.

## **Devaluación de divisas**

Término similar a la depreciación, con la diferencia de que el gobierno de un país informa que el valor de su divisa ha cambiado.

# INTRODUCCIÓN

## Efectos en el sector económico

- **Efectos en vendedores de exportación.** Si un negocio de un país se especializa en la exportación de un bien, una depreciación de su divisa causaría que sus productos se vuelvan más baratos para sus clientes extranjeros.
- **Efectos en compradores de exportación.** Si los consumidores de un país, compran exportaciones de otros países, una depreciación de su divisa ocasionaría que, las compras al exterior, resulten más caras que comprar en terreno local.
- **Reducción en la tasa de inflación.** Debido al abaratamiento de los servicios importados.
- **Deterioro en la actividad económica.** Provocado por un descenso en las exportaciones y al aumento en las importaciones.

# INTRODUCCIÓN

## **Arbitraje**

Método de inversión basado en la compraventa de un mismo activo en mercados diferentes, aprovechando las desigualdades monetarias, para retornar un beneficio.

La propia explotación del arbitraje produce un efecto estabilizador en los mercados, consiguiendo compensar sus diferencias y alcanzando el equilibrio que debería poseer de manera natural.



# INTRODUCCIÓN

## Tipos de arbitraje

- **Arbitraje de riesgo**

comprar acciones de una empresa que va a ser comprada por otra, mientras se venden las acciones de la empresa que va a comprar a la otra.

- **Arbitraje de dos puntos**

Comprar un activo en un mercado inicial a bajo precio (punto uno) y vender este en otro mercado donde vale más (punto dos).

- **Arbitraje de tres o más puntos o arbitraje triangular**

Dedicado exclusivamente al mercado de divisas, se basa en mover una cantidad de capital inicial entre los diferentes mercados de divisas existentes. Es más abstracto que el resto de arbitrajes.

# INTRODUCCIÓN

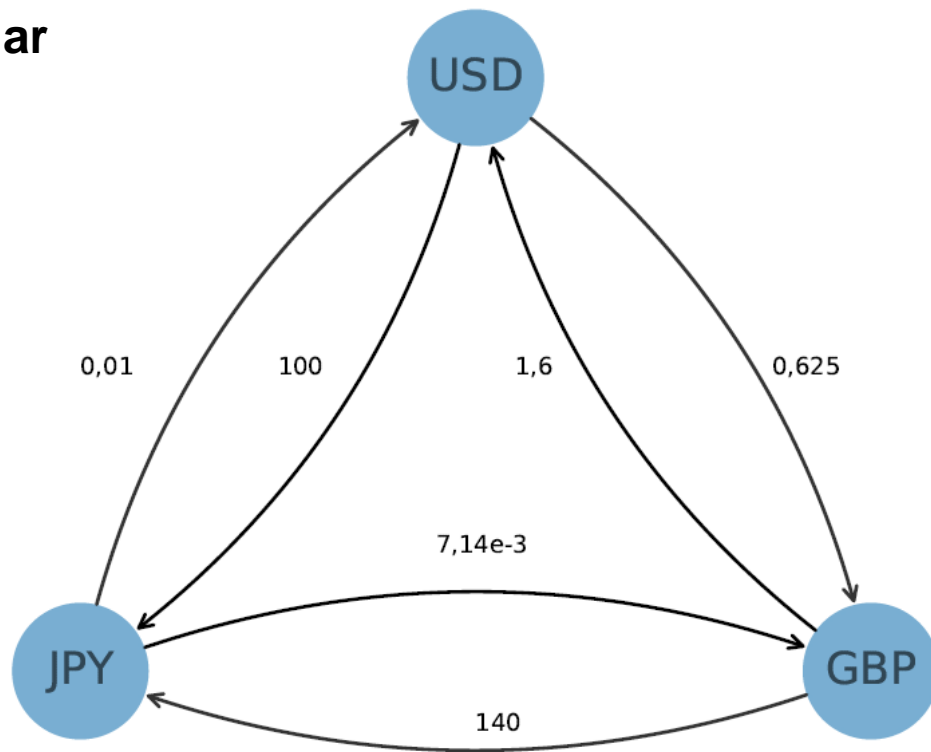
## Ejemplo de arbitraje triangular

Capital de inversión de \$1.000,00

$$\frac{USD}{JPY} = 100$$

$$\frac{GBP}{USD} = 1.60$$

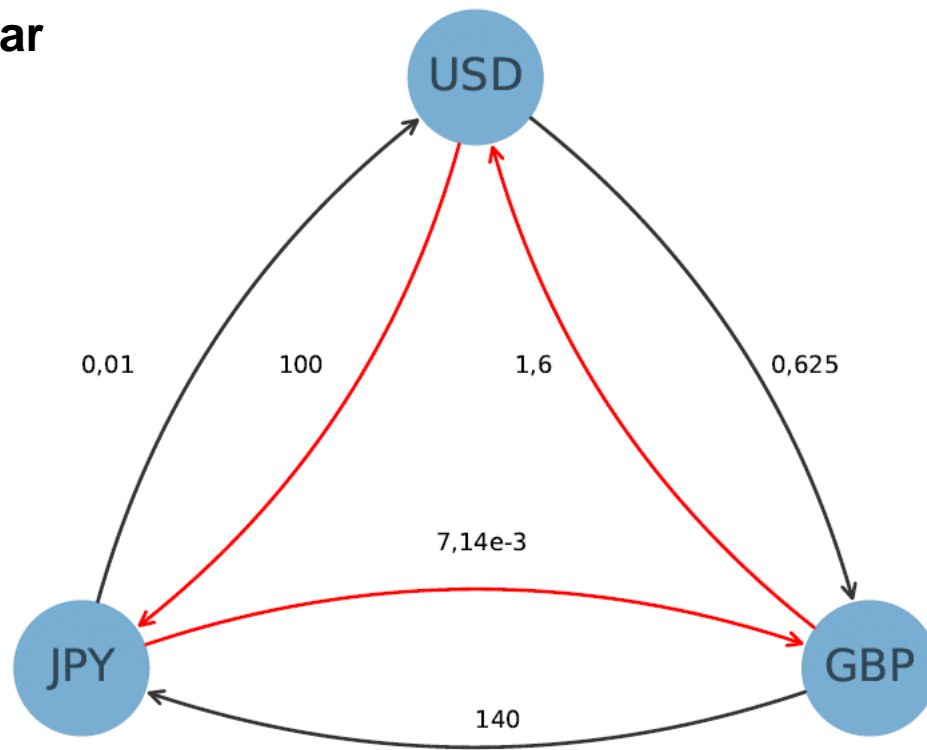
$$\frac{JPY}{GBP} = 140$$



# INTRODUCCIÓN

## Ejemplo de arbitraje triangular

- Ruta óptima  
USD > JPY > GBP > USD
- Capital de inversión **\$1.000,00**
- Capital después de la inversión **\$1.142,85**
- Beneficio 14,28%



# OBJETIVO

---

# OBJETIVO

- Estudio de un método de inversión cuyo riesgo de pérdida es prácticamente nulo.
- Observar la viabilidad del método para aplicación en un caso real.
- Estudiar el número de oportunidades de arbitraje que existen.
- Creación de un software informático enfocado a la aplicación del arbitraje.



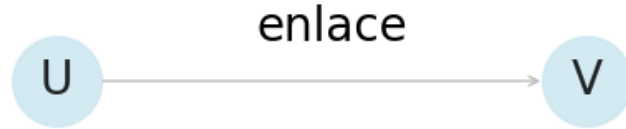
# CONCEPTO BÁSICOS

---

# CONCEPTOS BÁSICOS

## Teoría de grafos

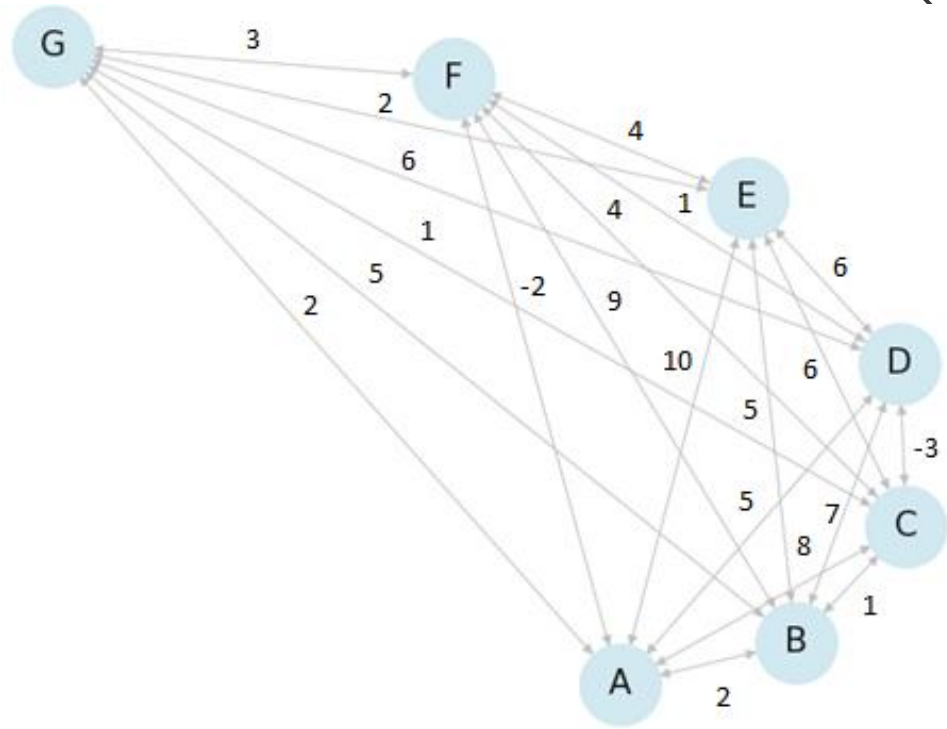
Un grafo modeliza matemáticamente relaciones binarias que existe entre los elementos que lo forman, que son conocidos como nodos, y las relaciones entre nodos se modelizan en el grafo a través de conexiones entre pares de nodos (que se llaman enlaces).



# CONCEPTOS BÁSICOS

## Tipos de grafo

- Grafo dirigido con pesos





# CONCEPTOS BÁSICOS

## Algoritmos de maximización de beneficio

- **Algoritmo de Bellman-Ford**

Se utiliza en redes las cuales cuentan con valores negativos en los pesos.

### **Procedimiento**

Dado un digrafo con pesos diferentes en los enlaces y con valor infinito en los nodos, se itera hasta conseguir reducir al mínimo posible el valor de los nodos, los cuales parten de infinito.

Se detiene cuando encuentra caminos cíclicos.

# CONCEPTOS BÁSICOS

---

## Algoritmos de maximización de beneficio

- **Aleatorización no dirigida**

Algoritmo que reorganiza los datos en el origen para cada iteración.

Es una búsqueda aleatoria que trata de explorar todo el rango de la red para encontrar el valor mínimo de la función objetivo.

# CONCEPTOS BÁSICOS

## Procedimiento

La función a maximizar se puede expresar como el producto de las tasas de cambio  $X_{ij}$  entre las divisas  $i$  y  $j$ ,  $:\prod_{i \rightarrow j} X_{ij} > 1$ , donde el producto recorre todos los nodos que forman el ciclo de cambios entre monedas.

Simplificando la función, esta se puede representar como una función a minimizar, cambiando el signo de la expresión.

$$-\sum_{i \rightarrow j} \log(X_{ij}) < 0$$

# CONCEPTOS BÁSICOS

## Procedimiento

Para conocer si tenemos o no beneficio, debemos deshacer los logaritmos previos.

$$K = e^{-\sum_{i \rightarrow j} \log(x_{ij})}$$

si  $K > 1$ , existe beneficio

si  $K < 1$ , existen pérdidas

# CONCEPTOS BÁSICOS

## Obtención de datos

Uso de API (Application Programming Interface) para obtener las 161 monedas principales que operan en más de 200 países.

Hora de captación de datos 00:00:00 UTC +0000 (Universal Time Coordinated).

Se consulta la API una única vez al día.



ExchangeRate-API

# CONCEPTOS BÁSICOS

## Obtención de datos

Almacenamiento de los tipos de cambio generando una matriz de 161x161 elementos.

Obtenemos un grafo con 161 nodos y 25.921 enlaces interconectados unos con otros.

60 días para proceder al estudio.

Para cada día, se obtienen 1000 caminos que retornan un  $K > 1$ .

# RESULTADOS

---

# RESULTADOS

---

## **Análisis estadístico**

60 días

5 realizaciones

1000 caminos por realización.

Número total de datos a analizar: 300.000 valores.

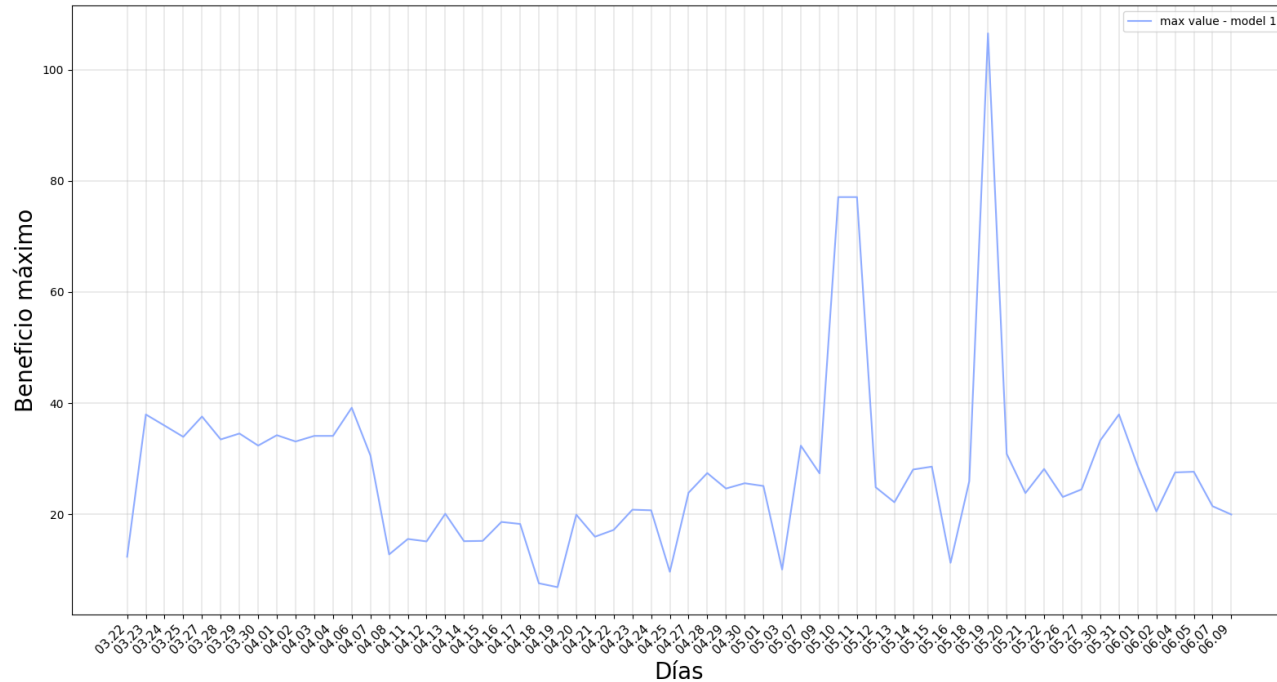


# RESULTADOS

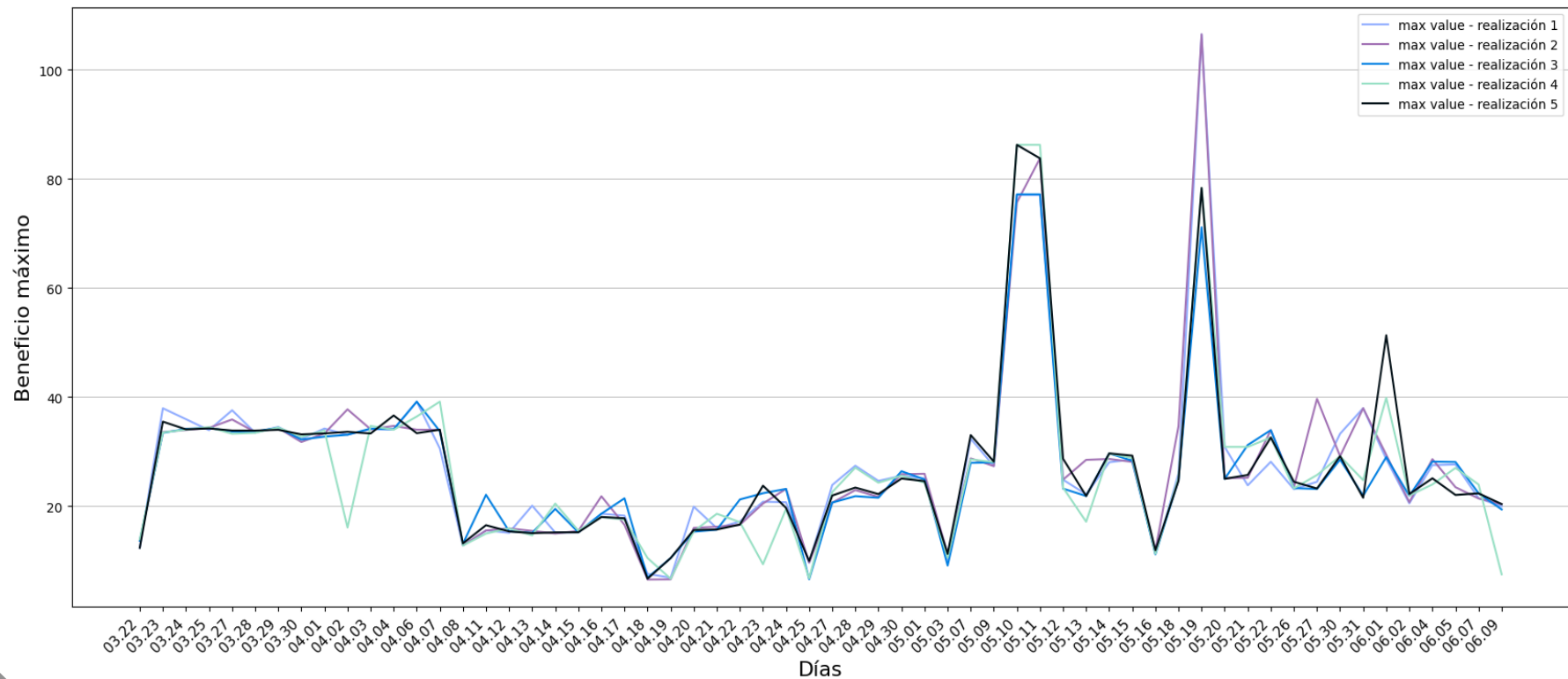
## Análisis estadístico

- Histograma de máximos beneficios**

Representación del valor máximo por cada día de estudio.



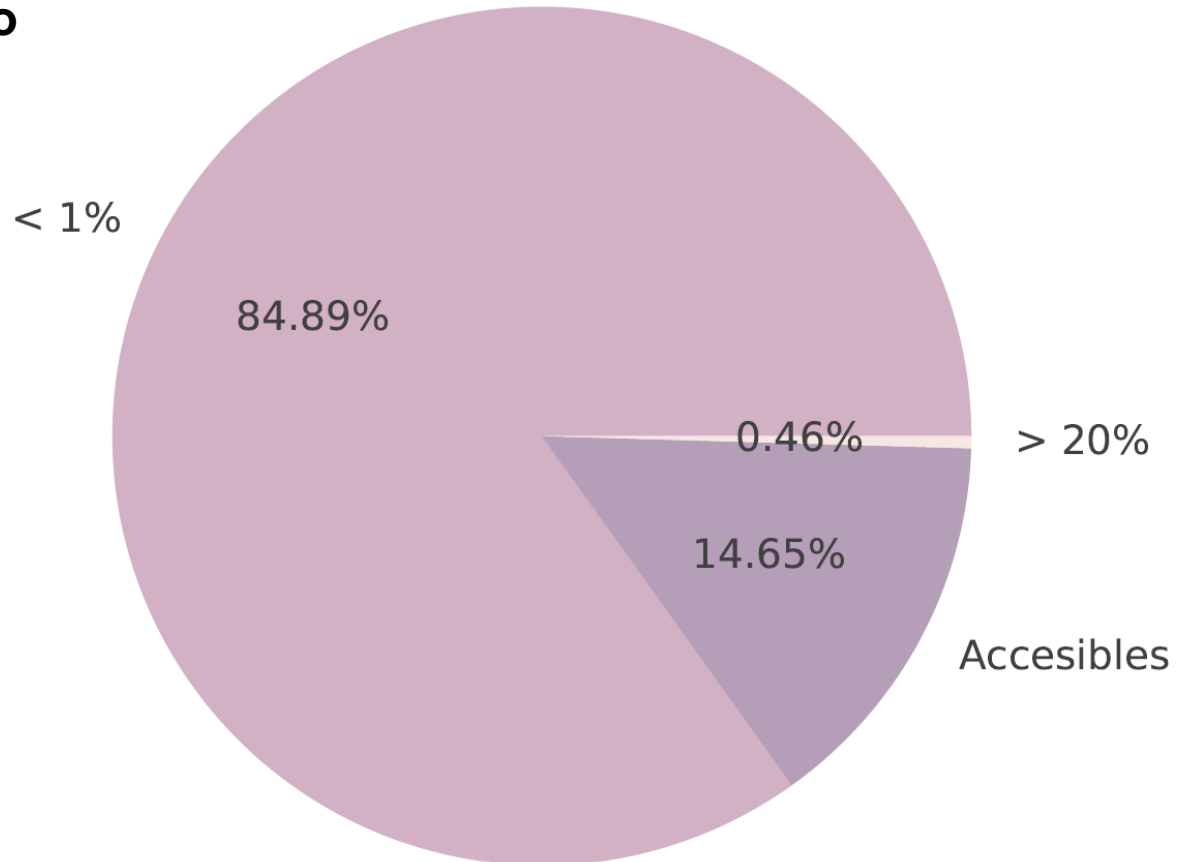
# RESULTADOS



# RESULTADOS

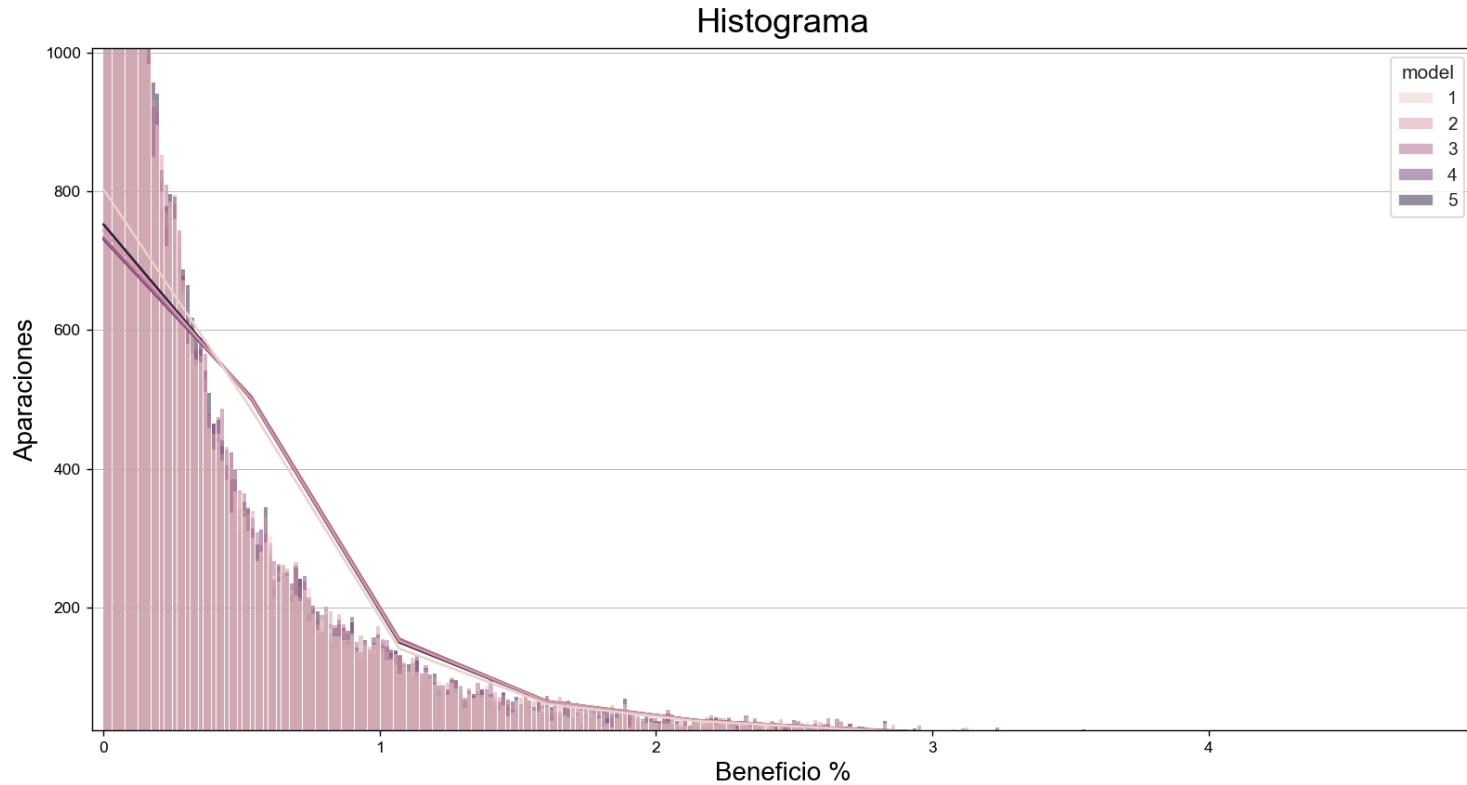
## Análisis estadístico

- Tabla de máximos



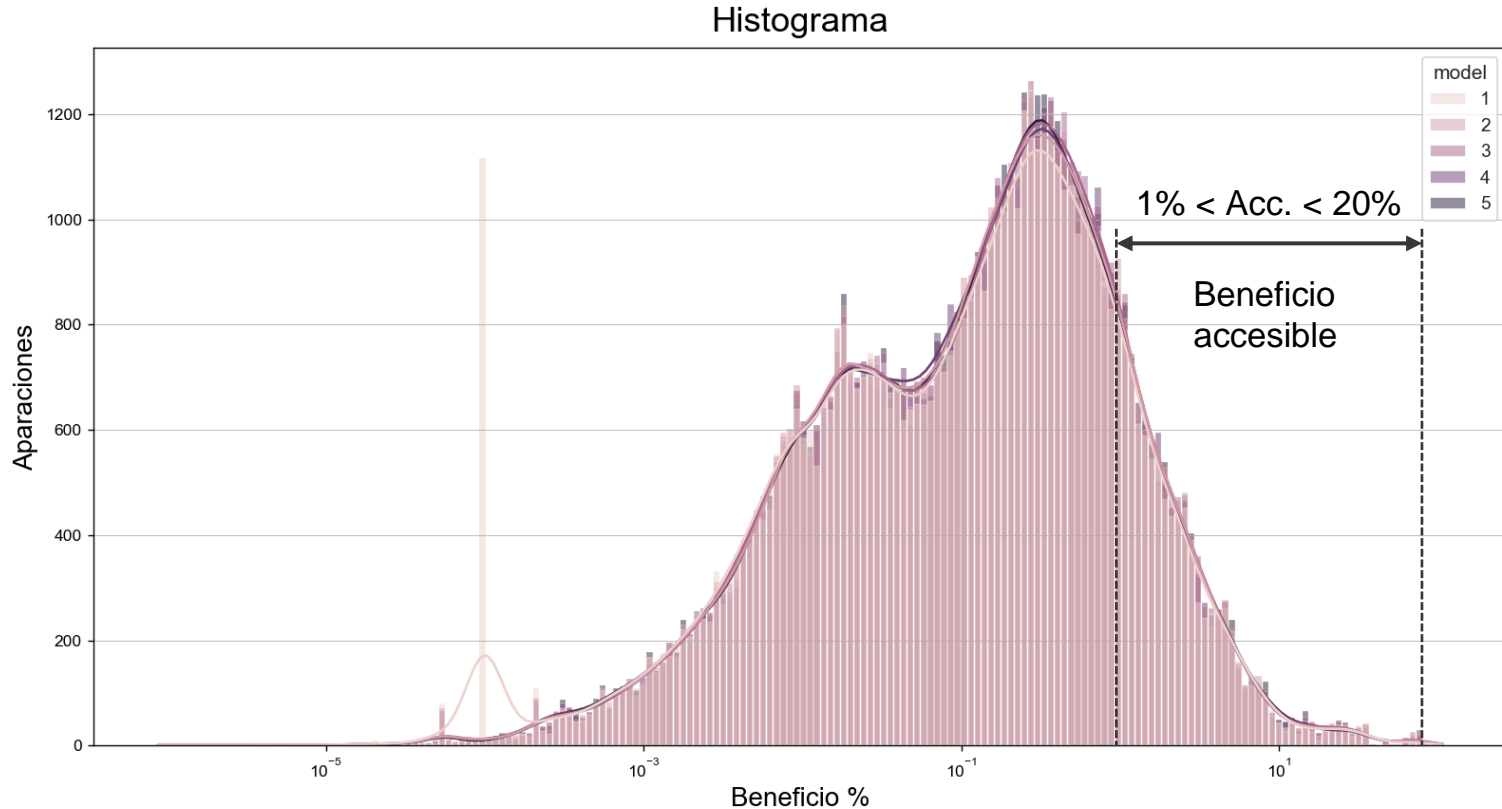
# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Histograma



# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Histograma escala logarítmica

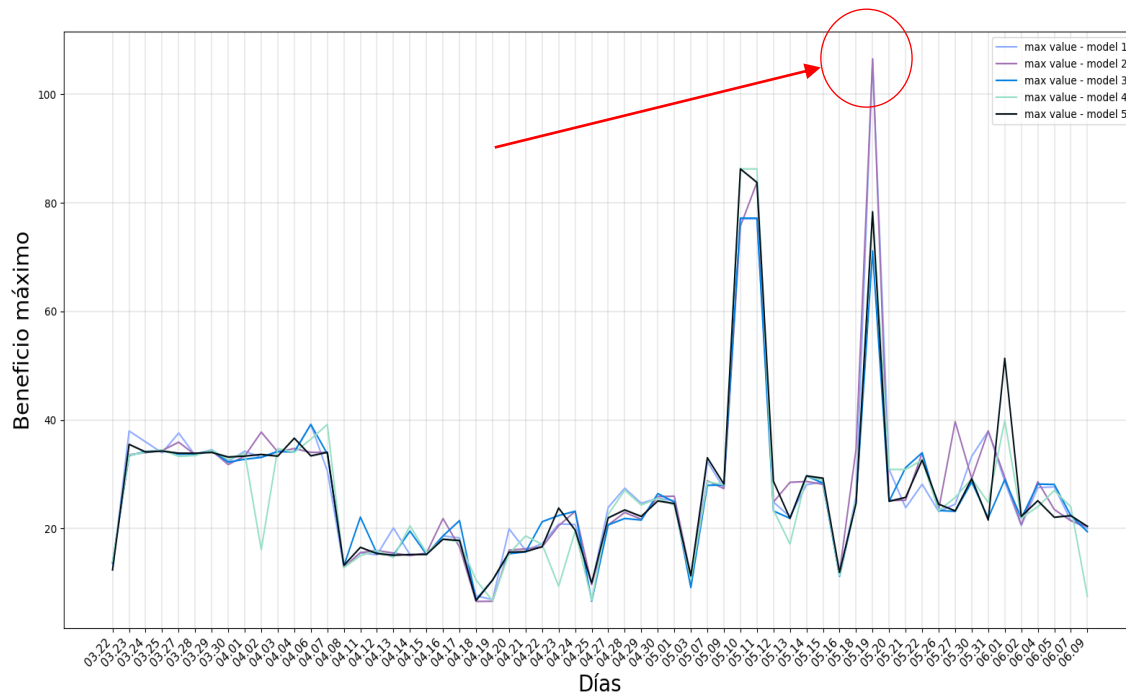


# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio

El día 19 de mayo, se observa un atípico en la realización 2.

Beneficio %	Rutas
106,53	['EUR', 'ZWL', 'BYN', 'EUR']
78,36	['EUR', 'ZWL', 'TND', 'EUR']
67,91	['EUR', 'ZWL', 'MUR', 'EUR']
67,72	['EUR', 'ZWL', 'MMK', 'EUR']
67,00	['EUR', 'ZWL', 'CDF', 'EUR']
66,45	['EUR', 'ZWL', 'SDG', 'EUR']
66,41	['EUR', 'ZWL', 'SLL', 'EUR']
66,20	['EUR', 'GBP', 'ZWL', 'FJD', 'EUR']
66,01	['EUR', 'ZWL', 'GTQ', 'EUR']
65,79	['EUR', 'ZWL', 'MDL', 'EUR']
65,43	['EUR', 'ZWL', 'ARS', 'EUR']
65,26	['EUR', 'ZWL', 'CRC', 'EUR']
64,97	['EUR', 'ZWL', 'COP', 'EUR']
62,04	['EUR', 'ZWL', 'PYG', 'EUR']
48,07	['EUR', 'GGP', 'ZWL', 'SGD', 'EUR']



# RESULTADOS

---

## **Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio**

Camino de estudio EUR → ZWL → BYN → EUR.

### **Posibles errores**

- Creación errónea de la base de datos.
- Datos corruptos en el almacenamiento.
- Fallo en la metodología del algoritmo.
- Extracción errónea de datos en la API.

# RESULTADOS

---

## **Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio**

Camino de estudio EUR → ZWL → BYN → EUR.

## **Comprobación de nuestra base de datos**

Para un capital inicial de 1€, los tipos de cambio serían:

EUR/ ZWL = 302,1648

ZWL/ BYN = 0,01968

BYN/ EUR = 0,3473

Capital final =  $1€ \times 302,1648 \times 0,01968 \times 0,3473 = 2,065€$

Beneficio = 106,52%



# RESULTADOS

## **Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio**

**Comprobación con base externa de Google**  **CUEX**

Día de la consulta 15/06/2022 para un tipo de cambio EUR/ZWL.

Mínimo 334,7274

Promedio 365,2196

Máximo 390,4095

Incremento del valor mínimo con respecto al valor promedio: 9%

Incremento del valor máximo con respecto al valor promedio: 8%

EUR/ ZWL = 302,16480

ZWL/ BYN = 0,01968

BYN/ EUR = 0,34730

# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio

Comprobación con base externa de Google  **CUEX**

EUR/ ZWL = 302,16480

ZWL/ BYN = 0,01968

BYN/ EUR = 0,34730

Día de pico de beneficio 19/05/2022 para el mismo tipo de cambio.

Mínimo - ← **302,16480 (nuestro programa)**

Promedio 339,26703

Máximo -

Tipo de cambio 13 julio

ZWL 37 = EUR 0,1140

Incremento del valor mínimo con respecto al valor promedio: 12,23%.

Diferencia del 3%.



# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio

Comprobación con base externa de Google  **CUEX**

EUR/ ZWL = 302,16480

ZWL/ BYN = 0,01968

BYN/ EUR = 0,34730



Diferencia del 5%



Diferencia del 3,4%

# RESULTADOS

EL PAÍS



## Economía

MERCADOS · VIVIENDA · FORMACIÓN · MIS DERECHOS · NEGOCIOS · CINCO DÍAS · RETINA · ÚLTIMAS NOTICIAS

OFENSIVA DE RUSIA EN UCRANIA >

### McDonald's venderá su negocio ruso a un socio siberiano

Todavía se desconocen las cifras de la operación, aunque la empresa reconoció hace días que se anotarará unas pérdidas de 1.300 millones por su marcha



Vista de uno de los restaurantes de McDonald's cerrados en Podolsk, a las afueras de Moscú, el pasado lunes. MAXIM SHIPENKOV (EFE)

**JAVIER G. CUESTA**

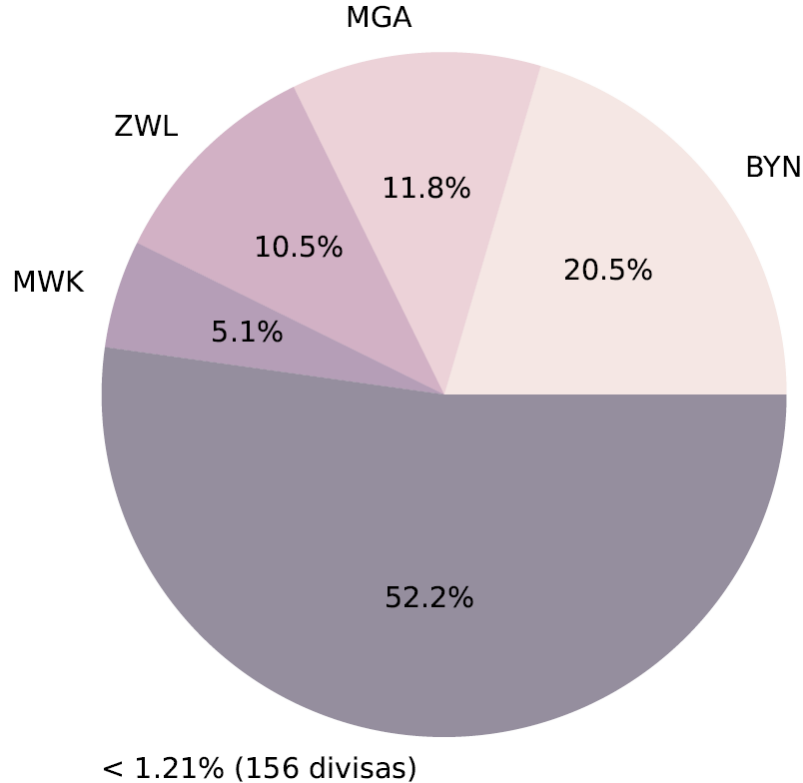
Moscú - 19 MAY 2022 - 19:01 UTC



# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Moneda que retornar el mayor beneficio

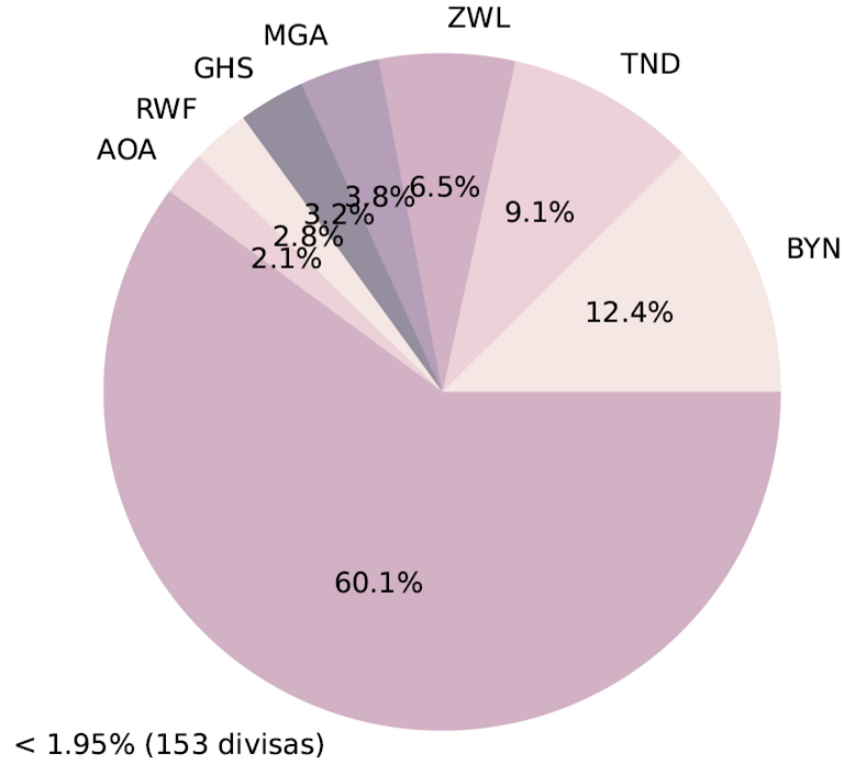
Diagrama circular para caminos que retornan beneficios > 20%.



# RESULTADOS

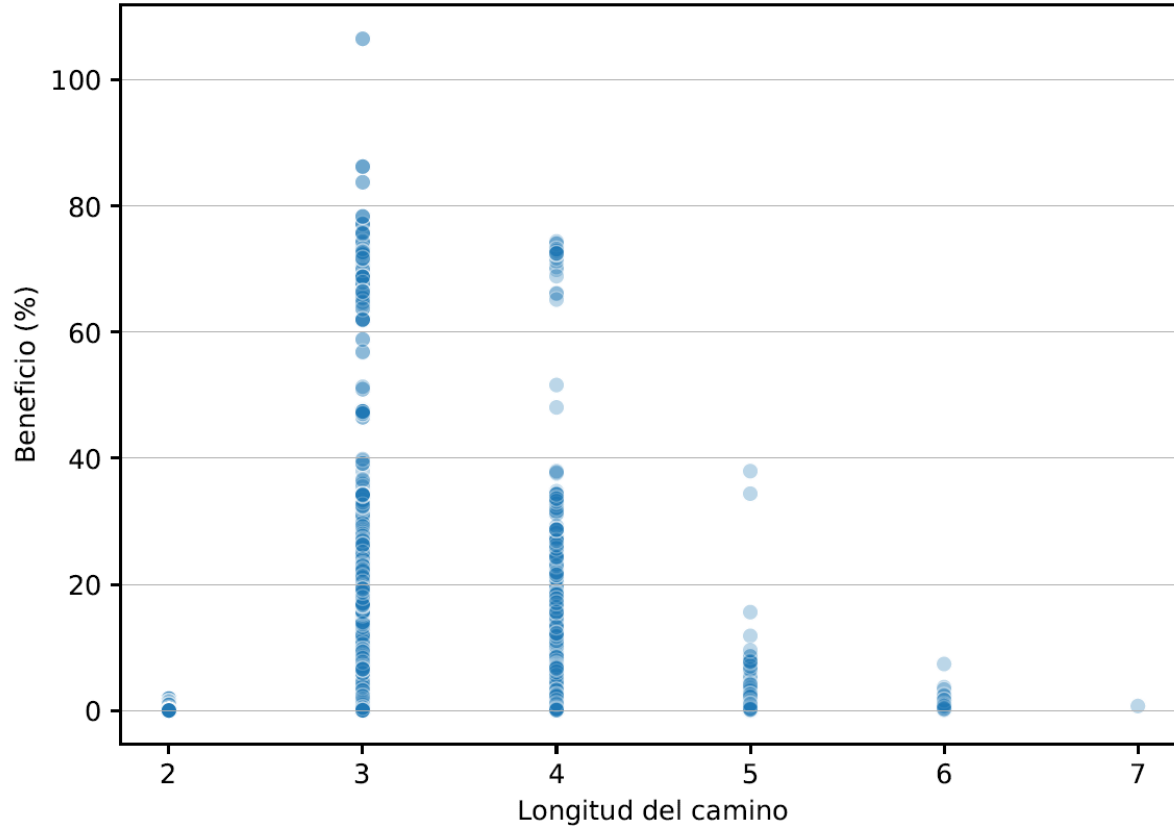
## Análisis estadístico. Moneda que retornar el mayor beneficio

Diagrama circular para caminos que retornan beneficios > 1% y < 20%.



# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Correlación entre beneficio y longitud de la ruta



# CONCLUSIÓN

---



# CONCLUSIÓN

---

- Beneficios muy volátiles, sin poder anticipar un camino rentable
- El movimiento de las divisas no se debe a procesos aleatorios, sino que existen variables correlacionadas que pueden influenciar los tipos de cambio
- Mayor probabilidad de arbitraje cuando suceden hechos a nivel macroeconómico, ya que provocan grandes movimientos en el valor de las divisas
- No por tener una longitud mayor del camino, obtenemos mejores beneficios
- Las rutas máximas encontradas están ligadas al rublo bielorruso



POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

## ¿Preguntas?

[p.hzamora@alumnos.upm.es](mailto:p.hzamora@alumnos.upm.es)

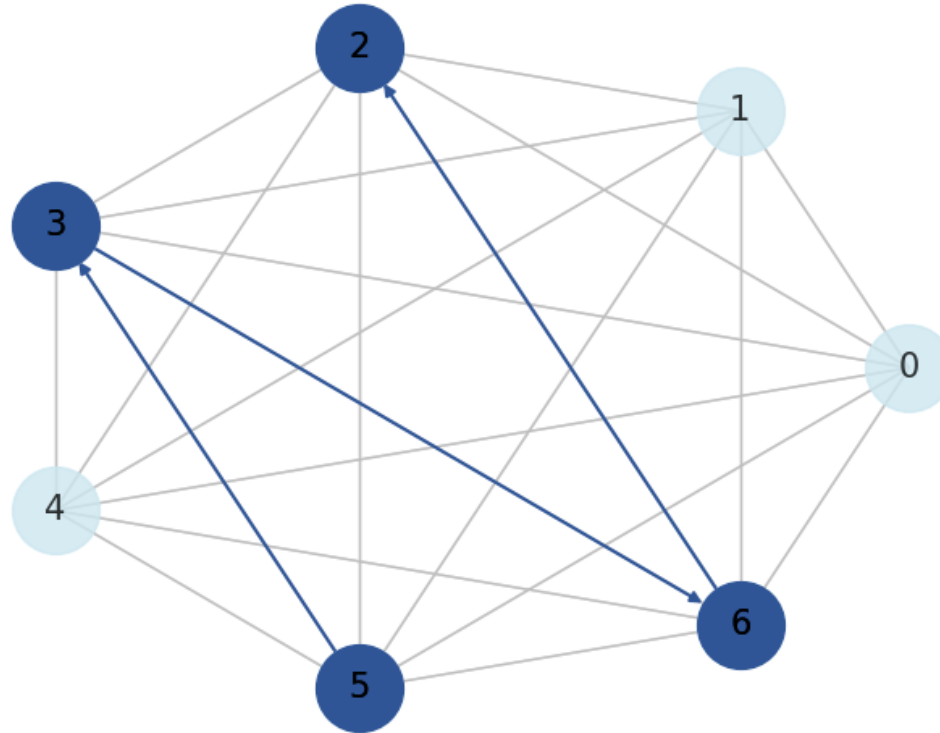
Código Python de libre uso en



# CONCEPTOS BÁSICOS

## Tipos de grafo

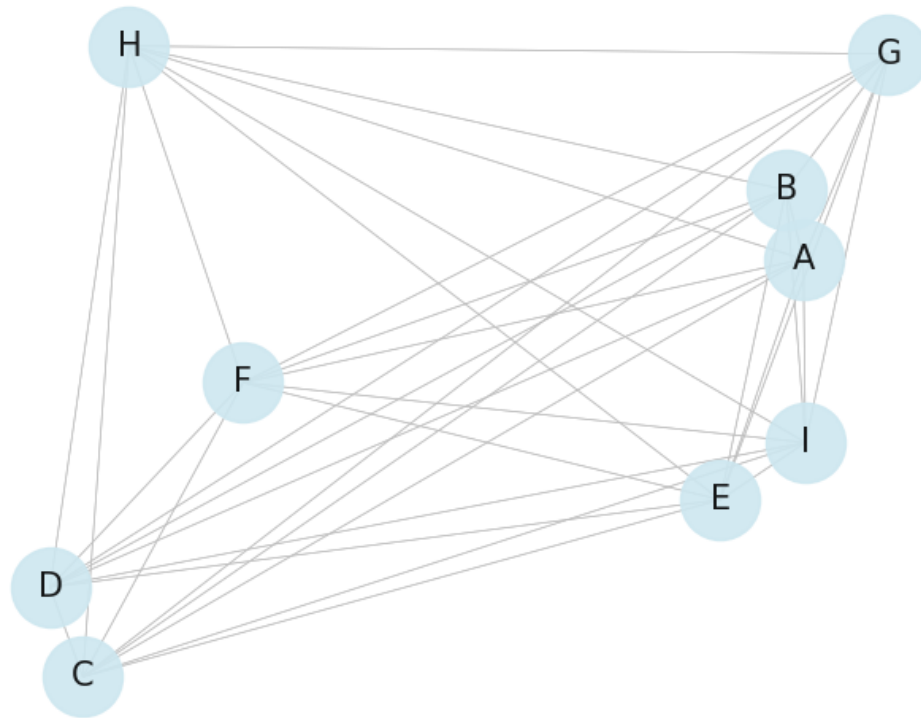
- Grafo dirigido



# CONCEPTOS BÁSICOS

## Tipos de grafo

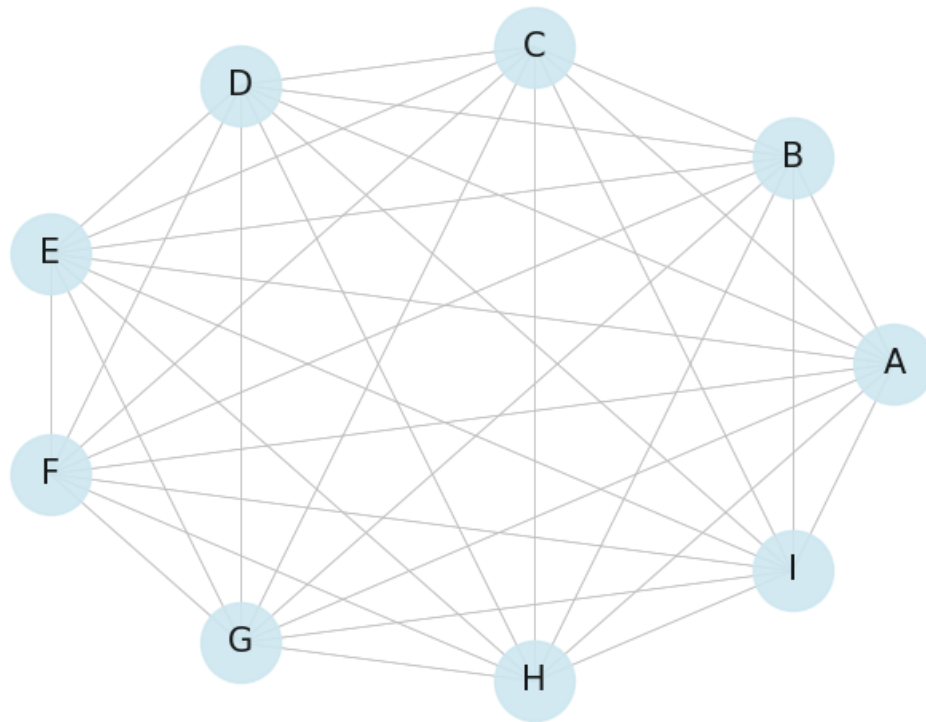
- Grafo no dirigido



# CONCEPTOS BÁSICOS

## Tipos de grafo

- Grafo no dirigido

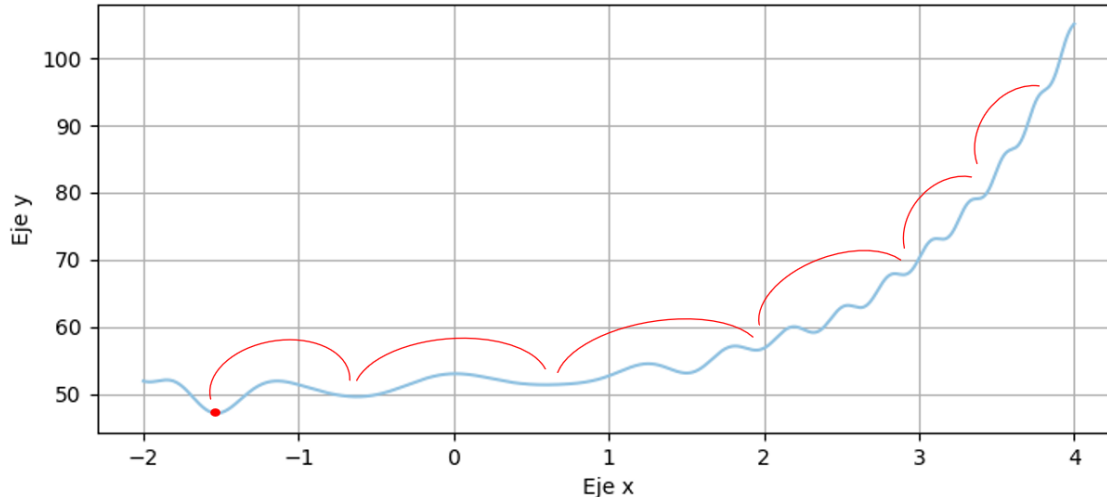


# CONCEPTOS BÁSICOS

## Algoritmos de maximización de beneficio

- Algoritmo “Simulated Annealing”

Búsqueda aleatoria, que acepta tanto cambios que mejoran la función objetivo, como cambios que la empeoran, con la intención de explorar todo el rango de posibilidades y encontrar el valor mínimo de la función.



# CONCEPTOS BÁSICOS

## Algoritmos de maximización de beneficio

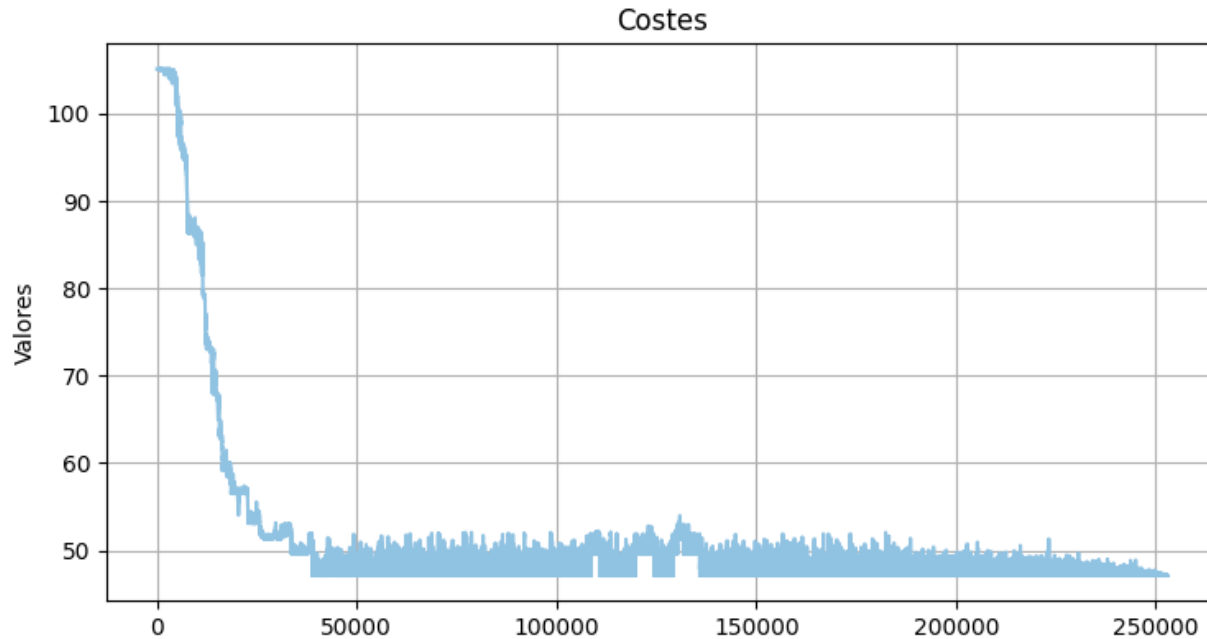
- Algoritmo “Simulated Annealing”



# CONCEPTOS BÁSICOS

## Algoritmos de maximización de beneficio

- Algoritmo “Simulated Annealing”





# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio

Comprobación con base externa de Google  **CUEX**

EUR/ ZWL = 302,16480

ZWL/ BYN = 0,01968

BYN/ EUR = 0,34730

Día de pico de beneficio 19/05/2022 para el mismo tipo de cambio.

Mínimo -

Promedio 0,01048

Máximo - ← **0,01968 (nuestro programa)**

Incremento del valor máximo con respecto al valor promedio: 12,21%.

Diferencia del 5%.



# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio

### Comprobación con base externa de Google **CUEX**

EUR/ ZWL = 302,16480

ZWL/ BYN = 0,01968

BYN/ EUR = 0,34730

Página web que recoge los valores máximos y mínimos que un determinado tipo de cambio ha conseguido en el día que se consulte

Día de la consulta 15/06/2022 para un tipo de cambio BYN/EUR.

Mínimo 0,27370

Promedio 0,30133

Máximo 0,35920

Incremento del valor máximo con respecto al valor promedio: 19%

# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Estudio de picos de beneficio

Comprobación con base externa de Google  **CUEX**

EUR/ ZWL = 302,16480

ZWL/ BYN = 0,01968

BYN/ EUR = 0,34730

Día de pico de beneficio 19/05/2022 para el mismo tipo de cambio.

Mínimo -

Promedio 0,28114

Máximo - **0,34730 (nuestro programa)**

Valor máximo aplicando la diferencia del 19%: 0,33550

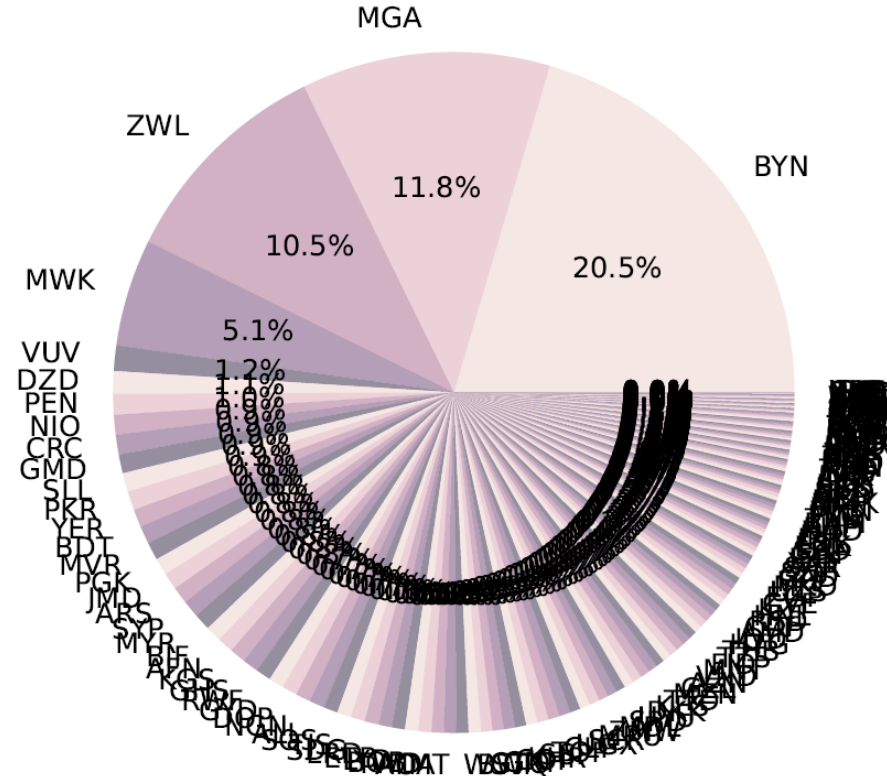
Diferencia del 3,4%



# RESULTADOS

## Análisis estadístico. Moneda que retornar el mayor beneficio

Representación del 52,2%.



# RESULTADOS

### **Análisis estadístico. Moneda que retornar el mayor beneficio**

Diagrama circular para caminos que retornan beneficios > 1%.

