

¿Es la línea recta el camino más corto entre dos puntos?

**Miguel Martín Suárez**  
Departamento de Análisis Matemático  
Instituto de Matemáticas de la UGR (IMAG)



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

## Organización del taller

## 1 Preliminaires

## 2 Formas de medir distâncias

### 3 Cuando la forma no importa

## 4 Mezclando todo

## 5 Para saber más

Las fotos y gráficos usados en este taller están sacadas de fuentes libres como:

- Wikipedia: <https://www.wikipedia.org/>
  - MacTutor history of Mathematics: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/>
  - Gráficos sencillos creados por el autor de la conferencia...

En otros casos, se incluirá referencia explícita a la fuente.

## Presentación y esquema

- Mi campo de estudio es el **Análisis Funcional en espacios de dimensión infinita.**
- Podríamos decir que estudio **distintas formas de medir distancias** en espacios de **dimensión infinita** y también las **propiedades que no dependen de la distancia concreta**.

## Presentación y esquema

- Mi campo de estudio es el **Análisis Funcional en espacios de dimensión infinita.**
- Podríamos decir que estudio **distintas formas de medir distancias** en espacios de **dimensión infinita** y también las **propiedades que no dependen de la distancia concreta**.
- **Dejaremos para otro día lo de la dimensión infinita...**

## Presentación y esquema

- Mi campo de estudio es el Análisis Funcional en espacios de dimensión infinita.
  - Podríamos decir que estudio distintas formas de medir distancias en espacios de dimensión infinita y también las propiedades que no dependen de la distancia concreta.
  - **Dejaremos para otro día lo de la dimensión infinita...**
  - Aunque pueda parecer extraño, distintos problemas pueden necesitar distintas formas de medir distancias.

## Presentación y esquema

- Mi campo de estudio es el Análisis Funcional en espacios de dimensión infinita.
  - Podríamos decir que estudio **distintas formas de medir distancias** en espacios de **dimensión infinita** y también las **propiedades** que no dependen de la **distancia concreta**.
  - **Dejaremos para otro día lo de la dimensión infinita...**
  - Aunque pueda parecer extraño, **distintos problemas** pueden necesitar **distintas formas** de medir distancias.
  - **Se darán ejemplos sencillos de distintas formas de medir distancias y sus posibles aplicaciones.**

## Presentación y esquema

- Mi campo de estudio es el **Análisis Funcional en espacios de dimensión infinita.**
- Podríamos decir que estudio **distintas formas de medir distancias** en espacios de **dimensión infinita** y también las **propiedades que no dependen de la distancia concreta**.
- **Dejaremos para otro día lo de la dimensión infinita...**
- Aunque pueda parecer extraño, **distintos problemas** pueden necesitar **distintas formas de medir distancias**.
- **Se darán ejemplos sencillos de distintas formas de medir distancias y sus posibles aplicaciones.**
- **Finalmente hablaremos de cuándo la forma o la distancia concreta no es importante, esto es, hablaremos de “topología” o “geometría de la posición”.**

Preliminares  
○○

Formas de medir distancias  
●○○○○○○

Cuando la forma no importa  
○○○○○○○○○○○○○○

Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

## “Otras” formas de medir distancias

Preliminares  
○○

Formas de medir distancias  
○●○○○○○

Cuando la forma no importa  
○○○○○○○○○○○○○○

Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

¿Por qué necesitamos otras formas de medir distancias?

## ¿Por qué necesitamos otras formas de medir distancias?

- Estamos acostumbrados a medir distancias con la medida Euclídea:

*la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta y, además, sólo hay un camino con distancia mínima.*

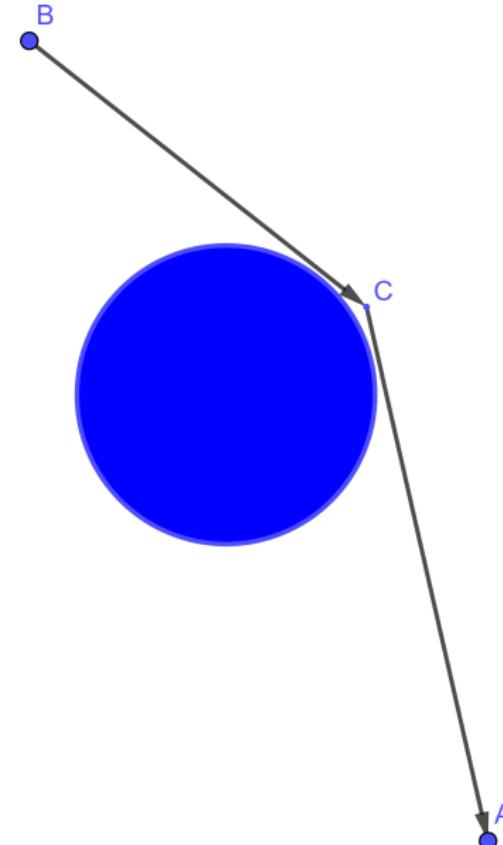


## ¿Por qué necesitamos otras formas de medir distancias?

- Estamos acostumbrados a medir distancias con la medida Euclídea:

*la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta y, además, sólo hay un camino con distancia mínima.*

- Eso, claro está,  
**si no hay obstáculos.**



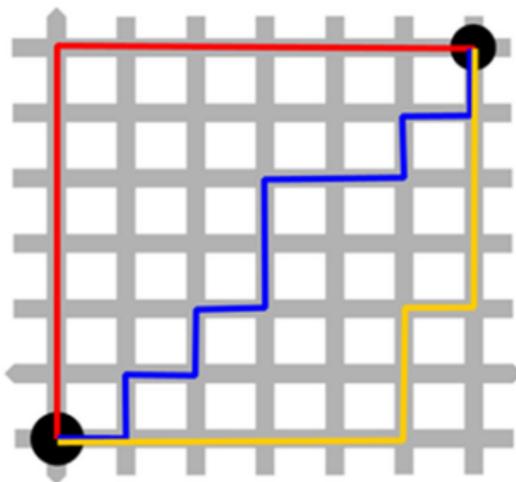
## ¿Por qué necesitamos otras formas de medir distancias?

- Estamos acostumbrados a medir distancias con la medida Euclídea:  
*la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta y, además, sólo hay un camino con distancia mínima.*
  - Eso, claro está,  
**si no hay obstáculos.**
  - ¿Qué pasa en una ciudad?
  - ... pues que no siempre podemos ir en línea recta,
  - luego tenemos que medir de otra forma.



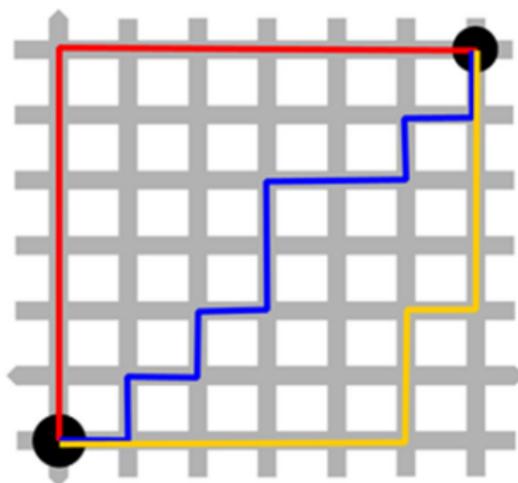
## Distancia Manhattan

- En una ciudad cuadriculada, se miden los caminos usando la llamada *distancia Manhattan* o *distancia taxi*
- consiste en sumar lo que se anda en horizontal más lo que se anda en vertical.



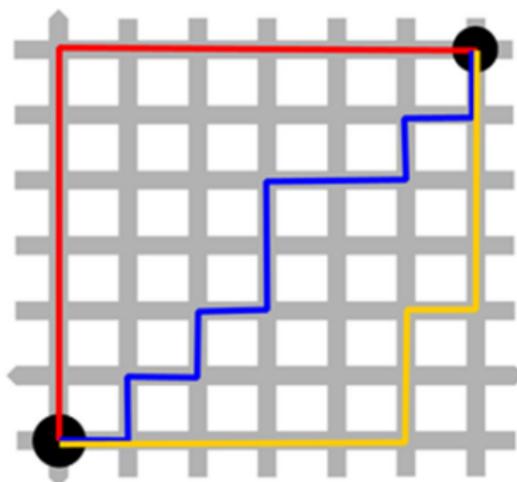
## Distancia Manhattan

- En una ciudad cuadriculada, se miden los caminos usando la llamada *distancia Manhattan* o *distancia taxi*
- consiste en sumar lo que se anda en horizontal más lo que se anda en vertical.
- Aunque no lo parezca, los caminos **amarillo**, **azul** y **rojo**, MIDEN LO MISMO.
- CUALQUIER CAMINO mide lo mismo.



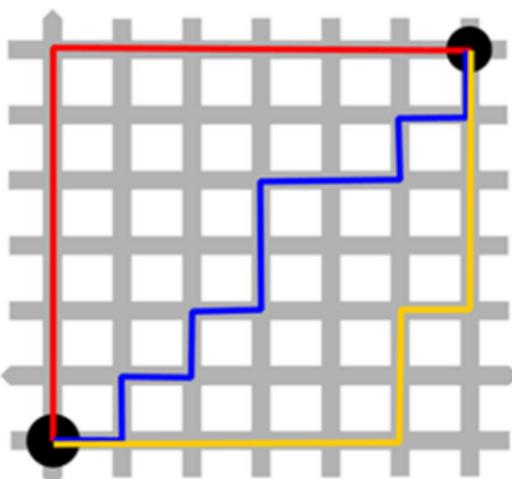
## Distancia Manhattan

- En una ciudad cuadriculada, se miden los caminos usando la llamada *distancia Manhattan* o *distancia taxi*
- consiste en sumar lo que se anda en horizontal más lo que se anda en vertical.
- Aunque no lo parezca, los caminos **amarillo**, **azul** y **rojo**, MIDEN LO MISMO.
- CUALQUIER CAMINO mide lo mismo.
- Esta es la distancia más **práctica** cuando planificamos rutas.



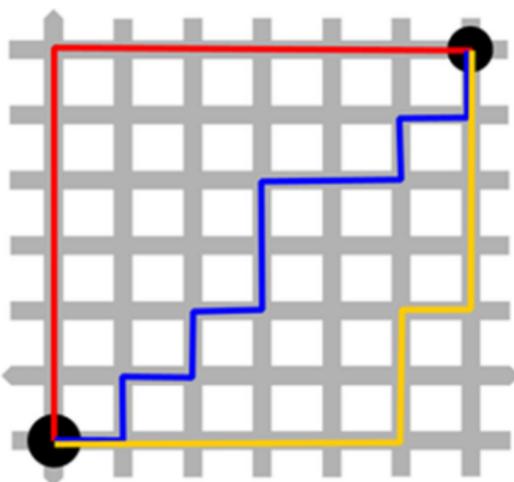
## Distancia Manhattan

- En una ciudad cuadriculada, se miden los caminos usando la llamada *distancia Manhattan* o *distancia taxi*
- consiste en sumar lo que se anda en horizontal más lo que se anda en vertical.
- Aunque no lo parezca, los caminos **amarillo**, **azul** y **rojo**, MIDEN LO MISMO.
- CUALQUIER CAMINO mide lo mismo.
- Esta es la distancia más **práctica** cuando planificamos rutas.
- Otra forma de medir es la *distancia Chebyshev* o *del máximo*.
- Consiste en tomar **el número más grande** entre el movimiento horizontal y el movimiento vertical.



## Distancia Manhattan

- En una ciudad cuadriculada, se miden los caminos usando la llamada *distancia Manhattan* o *distancia taxi*
- consiste en sumar lo que se anda en horizontal más lo que se anda en vertical.
- Aunque no lo parezca, los caminos **amarillo**, **azul** y **rojo**, MIDEN LO MISMO.
- CUALQUIER CAMINO mide lo mismo.
- Esta es la distancia más **práctica** cuando planificamos rutas.
- Otra forma de medir es la *distancia Chebyshev* o *del máximo*.
- Consiste en tomar **el número más grande** entre el movimiento horizontal y el movimiento vertical.
- Y esto... ¿de dónde viene?



Preliminares  
○○

Formas de medir distancias  
○○○●○○○

Cuando la forma no importa  
○○○○○○○○○○○○○○

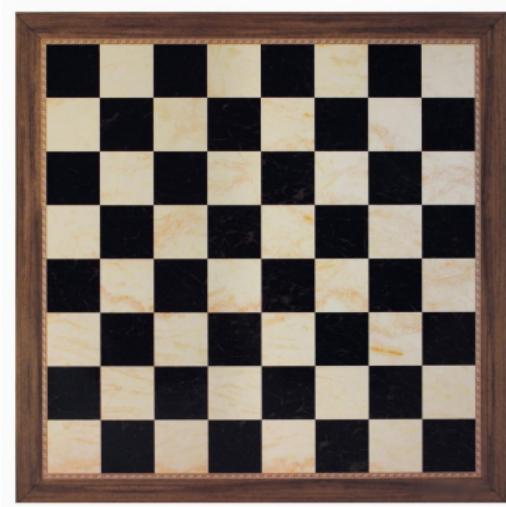
Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

## Una explicación: las piezas del ajedrez

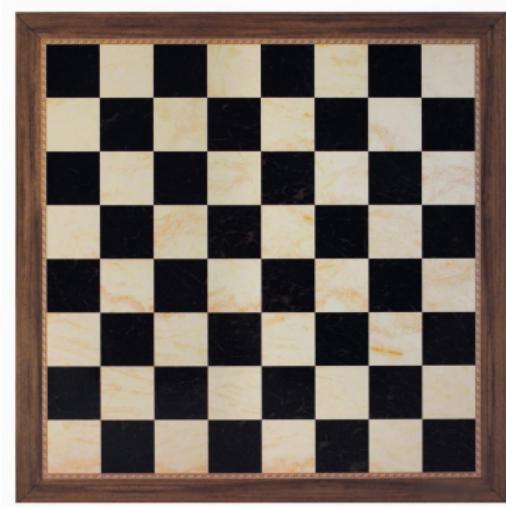
## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideraremos una tablero de ajedrez



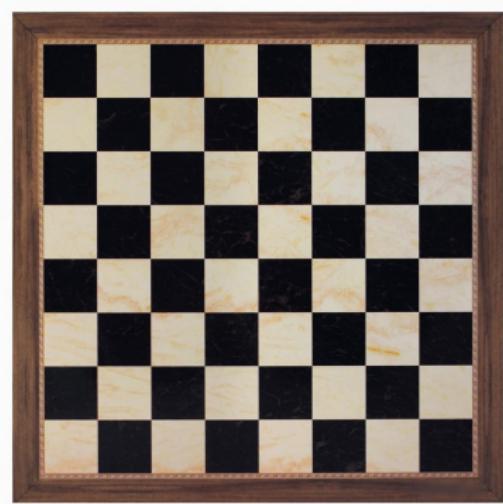
## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideraremos una tablero de ajedrez
- y veamos los distintos movimientos de las piezas:



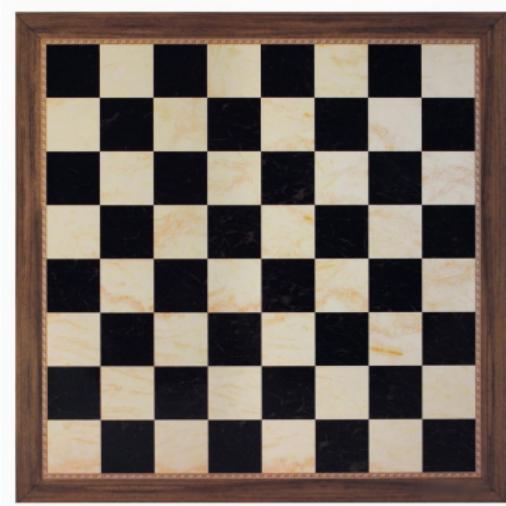
## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideraremos una tablero de ajedrez
  - y veamos los distintos movimientos de las piezas:
  - si medimos cuántas casillas tiene que recorrer **una torre** para llegar de una casilla a otra...



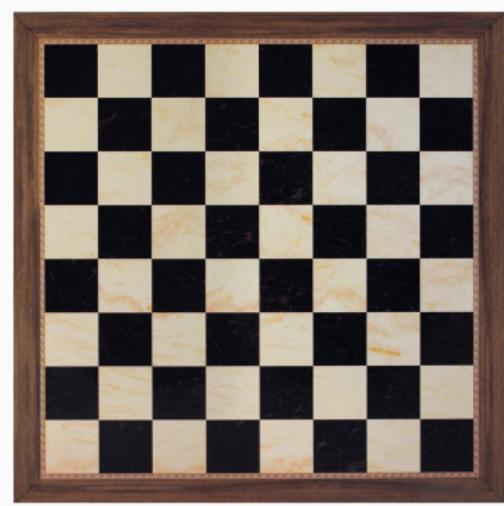
## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideremos una tablero de ajedrez
- y veamos los distintos movimientos de las piezas:
- si medimos cuántas casillas tiene que recorrer **una torre** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia Manhattan**.



## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideremos una tablero de ajedrez
- y veamos los distintos movimientos de las piezas:
- si medimos cuántas casillas tiene que recorrer **una torre** para llegar de una casilla a otra...
- **aparece la distancia Manhattan.**
- si medimos cuántos movimientos (o cuántas casillas) necesita **el rey** para llegar de una casilla a otra...



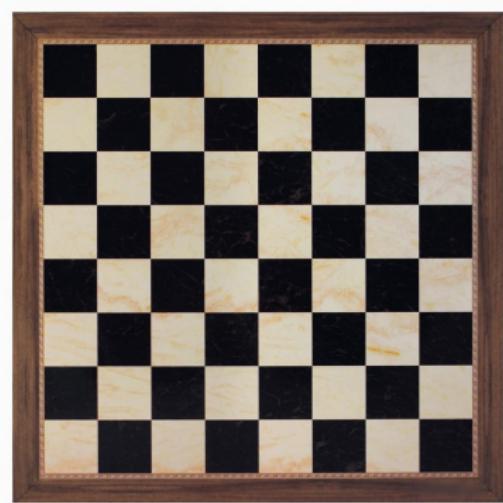
## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideremos una tablero de ajedrez
- y veamos los distintos movimientos de las piezas:
- si medimos cuántas casillas tiene que recorrer **una torre** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia Manhattan**.
- si medimos cuántos movimientos (o cuántas casillas) necesita **el rey** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia del máximo**.



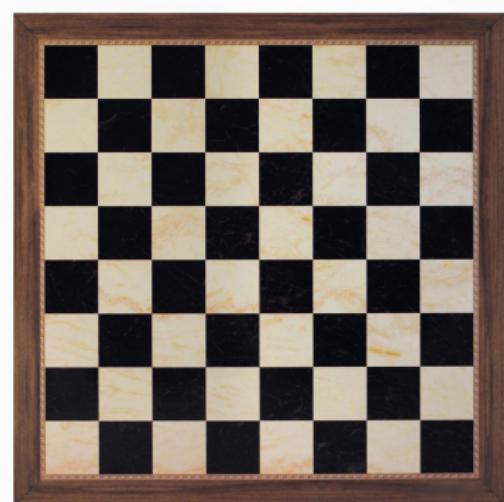
## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideremos una tablero de ajedrez
- y veamos los distintos movimientos de las piezas:
- si medimos cuántas casillas tiene que recorrer **una torre** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia Manhattan**.
- si medimos cuántos movimientos (o cuántas casillas) necesita **el rey** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia del máximo**.
- Un par de preguntas:



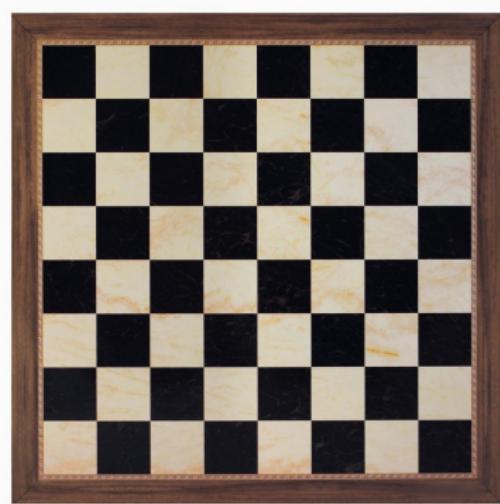
## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideremos una tablero de ajedrez
- y veamos los distintos movimientos de las piezas:
- si medimos cuántas casillas tiene que recorrer **una torre** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia Manhattan**.
- si medimos cuántos movimientos (o cuántas casillas) necesita **el rey** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia del máximo**.
- Un par de preguntas:
- ¿Qué pasa con el alfil?



## Una explicación: las piezas del ajedrez

- Consideremos una tablero de ajedrez
- y veamos los distintos movimientos de las piezas:
- si medimos cuántas casillas tiene que recorrer **una torre** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia Manhattan**.
- si medimos cuántos movimientos (o cuántas casillas) necesita **el rey** para llegar de una casilla a otra...
- aparece la **distancia del máximo**.
- Un par de preguntas:
- ¿Qué pasa con el alfil?
- ¿Cómo son las “circunferencias” para cada una de estas distancias?



Preliminares  
○○

Formas de medir distancias  
○○○○●○○

Cuando la forma no importa  
○○○○○○○○○○○○

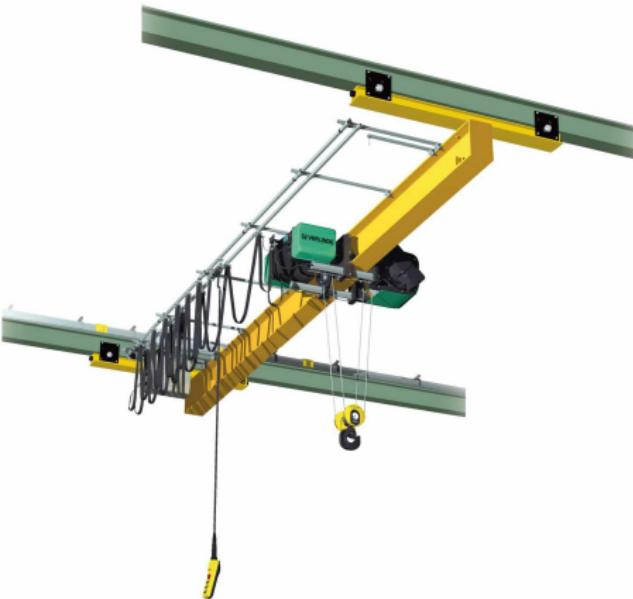
Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

## Una grúa suspendida: optimizando el tiempo o la energía

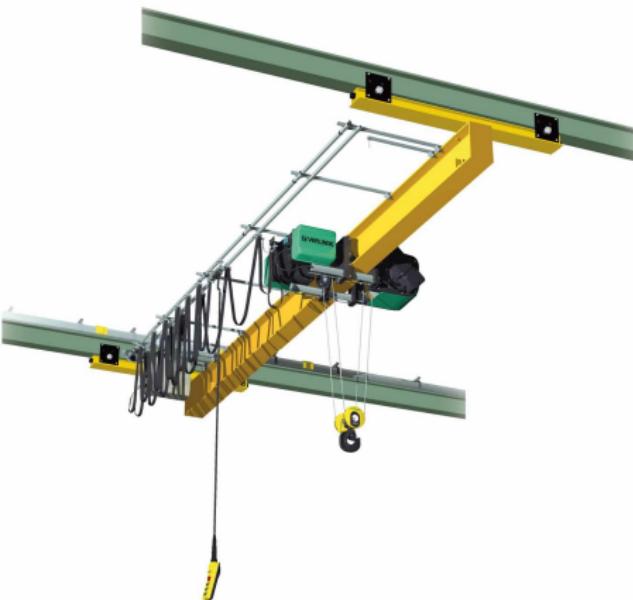
## Una grúa suspendida: optimizando el tiempo o la energía

- Consideremos una grúa suspendida...



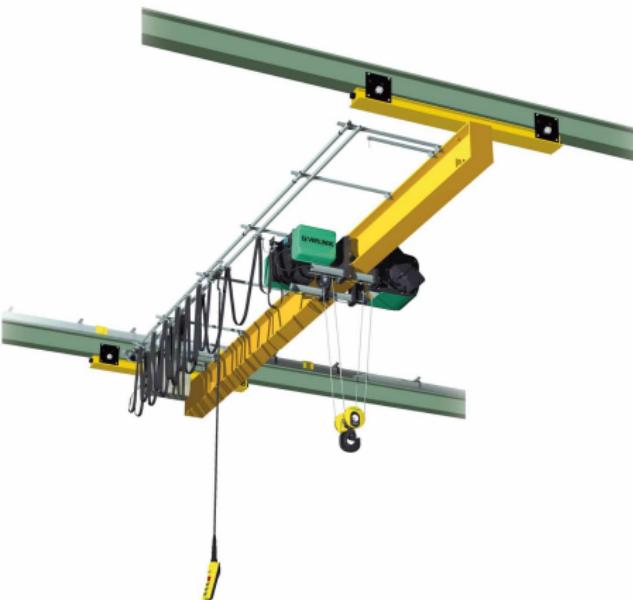
## Una grúa suspendida: optimizando el tiempo o la energía

- Consideremos una grúa suspendida...
- tiene dos posibles movimientos en el plano del techo, que pueden darse a la vez.



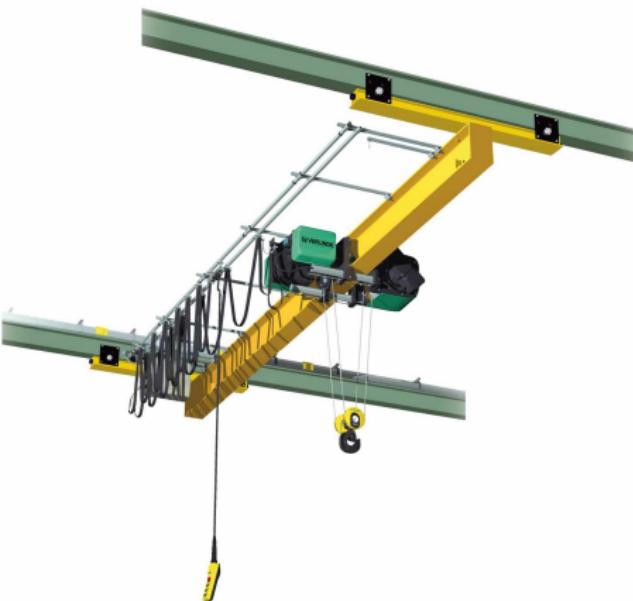
## Una grúa suspendida: optimizando el tiempo o la energía

- Consideremos una grúa suspendida . . .
- tiene dos posibles movimientos en el plano del techo, **que pueden darse a la vez.**
- Si medimos el tiempo que se tarda en llegar de un punto a otro, aparece la **distancia del máximo.**



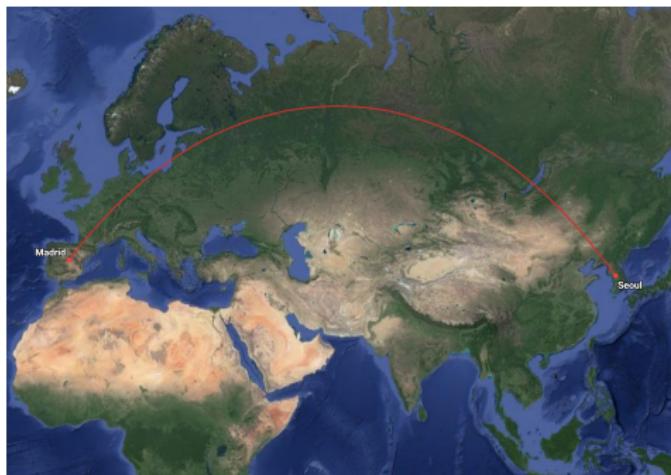
## Una grúa suspendida: optimizando el tiempo o la energía

- Consideremos una grúa suspendida . . .
- tiene dos posibles movimientos en el plano del techo, **que pueden darse a la vez.**
- Si medimos el tiempo que se tarda en llegar de un punto a otro, aparece la **distancia del máximo.**
- Si medimos el gasto de energía (producido por el movimiento de los dos motores), aparece la **distancia Manhattan.**



## Trayectorias de aviones: geodésicas en la esfera

- Veamos la ruta que sigue un avión de Madrid a Seúl (Corea del Sur):
- no sigue la línea recta del plano (que sería casi un paralelo)
- ¿Por qué será esto?



<https://www.greatcirclemap.com/>

## Trayectorias de aviones: geodésicas en la esfera

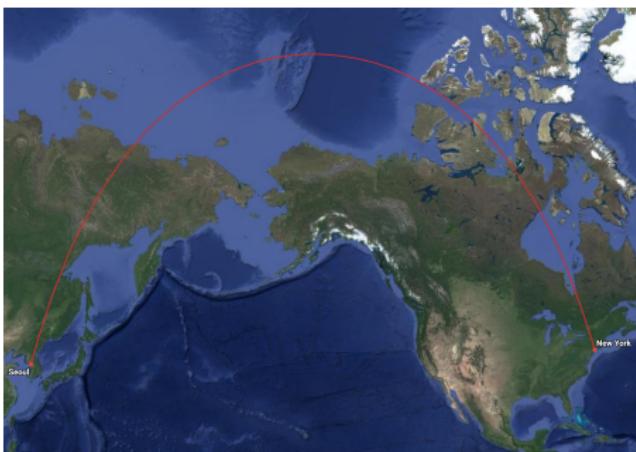
- Veamos la ruta que sigue un avión de Madrid a Seúl (Corea del Sur):
- no sigue la línea recta del plano (que sería casi un paralelo)
- ¿Por qué será esto?
- Si lo miramos en la esfera en lugar de mirarlo en el plano, obtenemos la respuesta.



<https://www.greatcirclemap.com/>

## Trayectorias de aviones: geodésicas en la esfera

- Veamos la ruta que sigue un avión de Madrid a Seúl (Corea del Sur):
- no sigue la línea recta del plano (que sería casi un paralelo)
- ¿Por qué será esto?
- Si lo miramos en la esfera en lugar de mirarlo en el plano, obtenemos la respuesta.
- Otro ejemplo más extremo: de Seúl a Nueva York: [plano](#)



<https://www.greatcirclemap.com/>

## Trayectorias de aviones: geodésicas en la esfera

- Veamos la ruta que sigue un avión de Madrid a Seúl (Corea del Sur):
- no sigue la línea recta del plano (que sería casi un paralelo)
- ¿Por qué será esto?
- Si lo miramos en la esfera en lugar de mirarlo en el plano, obtenemos la respuesta.
- Otro ejemplo más extremo: de Seúl a Nueva York: **plano** y **esfera**.



<https://www.greatcirclemap.com/>

# Trayectorias de aviones: geodésicas en la esfera

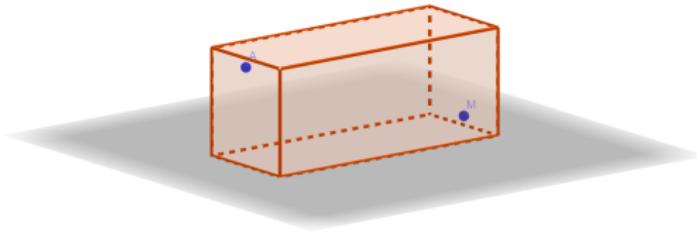
- Veamos la ruta que sigue un avión de Madrid a Seúl (Corea del Sur):
- no sigue la línea recta del plano (que sería casi un paralelo)
- ¿Por qué será esto?
- Si lo miramos en la esfera en lugar de mirarlo en el plano, obtenemos la respuesta.
- Otro ejemplo más extremo: de Seúl a Nueva York: **plano** y **esfera**.
- las curvas que hacen mínima la distancia en la esfera son los círculos máximos, que se llaman **geodésicas**.
- **Casi siempre** son únicas.



<https://www.greatcirclemap.com/>

## Un último problema sobre distancias

- Una **araña** intenta llegar a una **mosca** atrapada en su telaraña, ambas en una caja de  $30 \times 12 \times 12$ , y sólo puede andar por las paredes de la caja. La mosca está a 1cm del borde inferior y la araña a 1cm del borde superior, ambas en el medio de las respectivas caras laterales.
- ¿Cuál es el camino más rápido para cazar a la mosca?



Preliminares  
○○

Formas de medir distancias  
○○○○○○○

Cuando la forma no importa  
●○○○○○○○○○○○○○○

Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

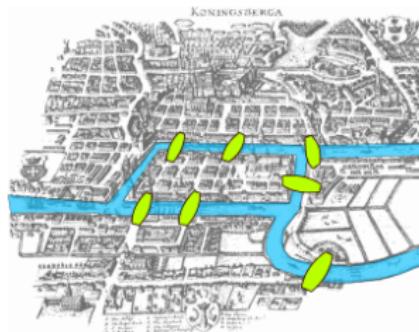
## Topología: cuando la forma no importa

# Euler y los puentes de Königsberg

## Problema

¿Se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente?

- Era un problema de entretenimiento en la corte de Federico el grande de Prusia, que resolvió Leonhard Euler en 1736.

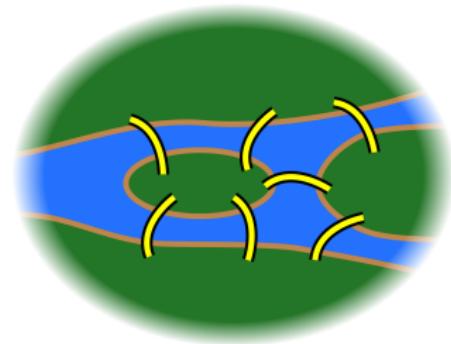


# Euler y los puentes de Königsberg

## Problema

¿Se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente?

- Era un problema de entretenimiento en la corte de Federico el grande de Prusia, que resolvió Leonhard Euler en 1736.

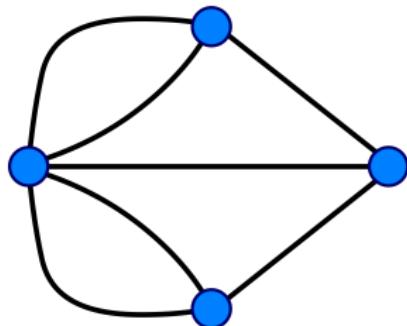
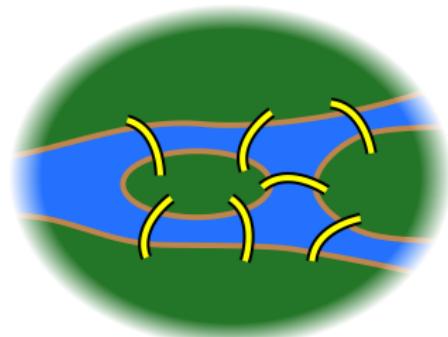


# Euler y los puentes de Königsberg

## Problema

¿Se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente?

- Era un problema de entretenimiento en la corte de Federico el grande de Prusia, que resolvió Leonhard Euler en 1736.
- Su primera observación fue que el problema no depende en absoluto de la forma de las islas o del río o de la tierra, que puede simplificarse a **nodos** y **arcos**.
- Queda entonces el siguiente gráfico:

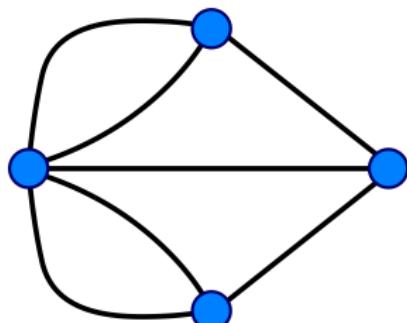
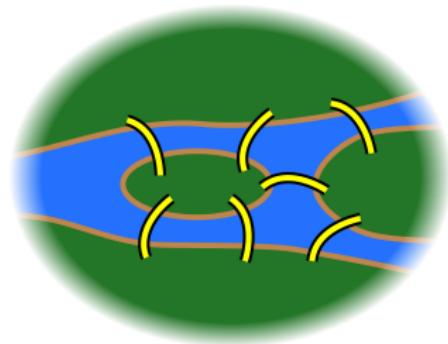


# Euler y los puentes de Königsberg

## Problema

¿Se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente?

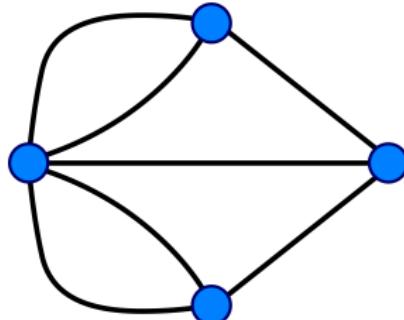
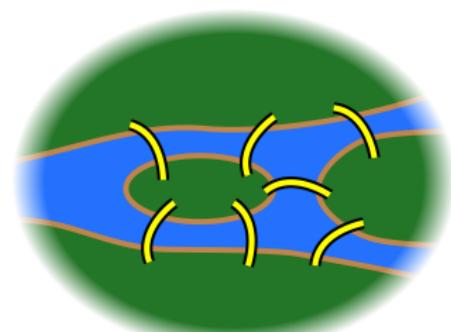
- Era un problema de entretenimiento en la corte de Federico el grande de Prusia, que resolvió Leonhard Euler en 1736.
- Su primera observación fue que el problema no depende en absoluto de la forma de las islas o del río o de la tierra, que puede simplificarse a **nodos** y **arcos**.
- Queda entonces el siguiente gráfico:
- Y la pregunta es si se puede recorrer este **“grafo”** pasando por todas las aristas o **“arcos”** una sola vez (y, por tanto, pasando por todos los vértices o **“nodos”**, aunque necesariamente más de una vez por cada uno, eso no importa).



# Euler y los puentes de Königsberg. II

## Solución (Teorema) (Euler, 1736)

NO se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente.

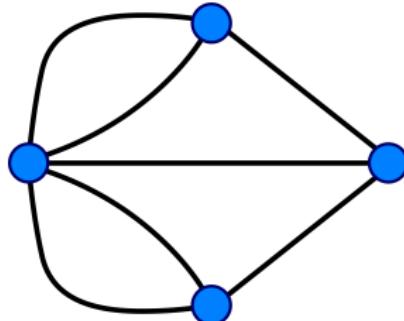
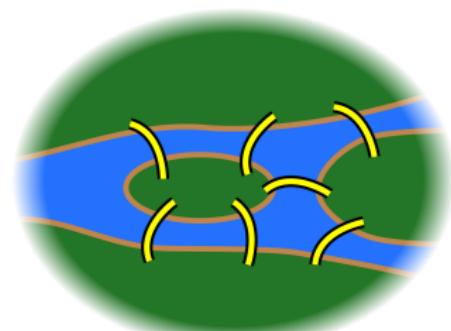


# Euler y los puentes de Königsberg. II

## Solución (Teorema) (Euler, 1736)

NO se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente.

### Explicación (Demostración):



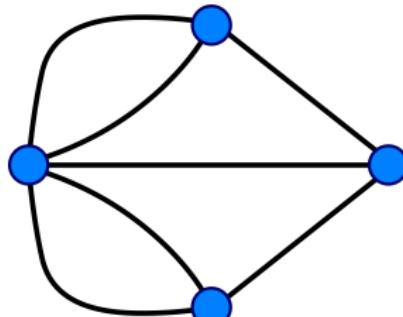
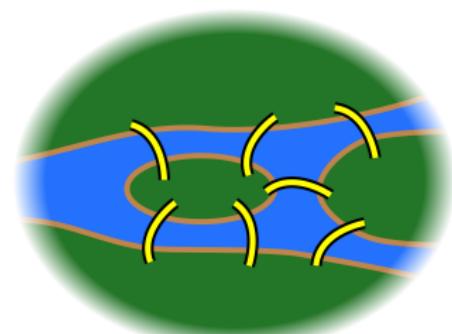
# Euler y los puentes de Königsberg. II

## Solución (Teorema) (Euler, 1736)

NO se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente.

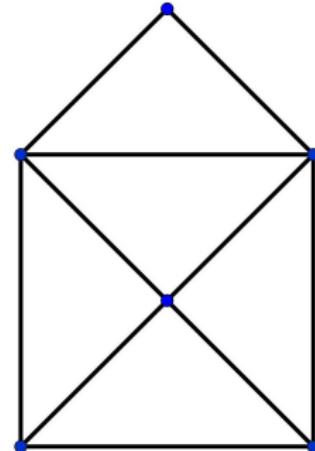
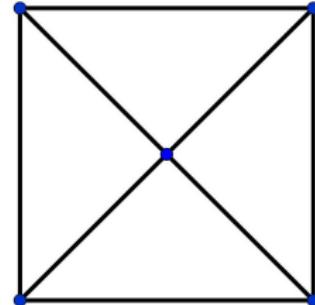
### Explicación (Demostración):

- Imaginemos un camino que recorre todos los puentes una sola vez.
- Salvo en el punto inicial y en el final, en los demás nodos tiene que haber tantos caminos que entran como caminos que salen, **distintos**.
- Por lo tanto, salvo posiblemente en dos puntos, en los demás nodos **el número de arcos que llegan tiene que ser par**.
- Eso **NO pasa** en los puentes de Königsberg.



## Dibujando caminos

- Se trata de ver **cuándo** podemos recorrer **completamente** un grafo pasando por cada arista **una sola vez**,
- esto es, “dibujando” sin levantar el lápiz, pasando una sola vez por cada arista.
- ¿Se puede o no se puede en estos dos?



## Dibujando caminos

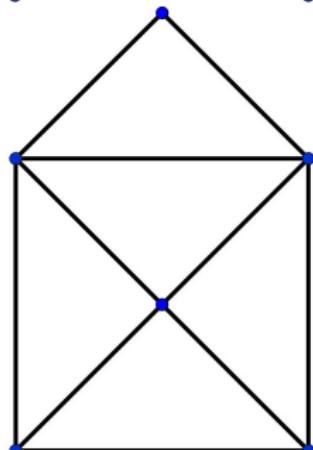
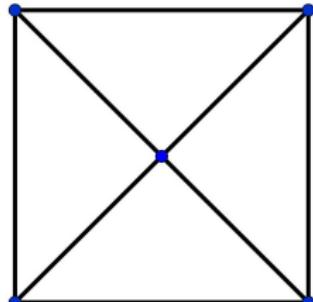
- Se trata de ver **cuándo** podemos recorrer **completamente** un grafo pasando por cada arista **una sola vez**,
- esto es, “dibujando” sin levantar el lápiz, pasando una sola vez por cada arista.
- ¿Se puede o no se puede en estos dos?

### Criterio general

Puede hacerse cuando

- o bien a todos los nodos llegan un número par de aristas,
- o bien a dos nodos llegan un número impar de aristas y a los demás un número par.

- En el primer caso podemos empezar donde queramos y acabaremos en el mismo sitio,
- En el segundo caso tenemos que empezar en un nodo al que lleguen un número impar de aristas y terminar en el otro.



Preliminares  
○○

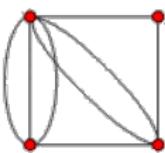
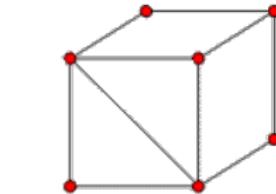
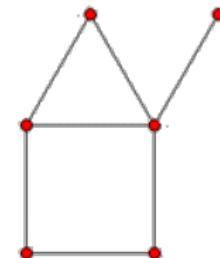
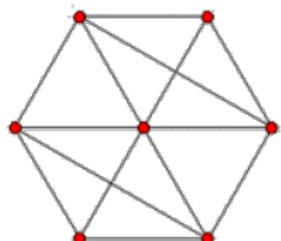
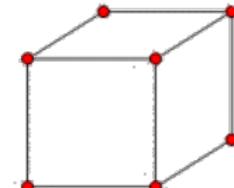
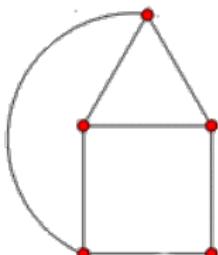
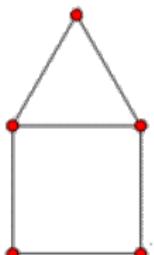
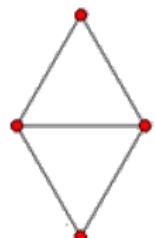
Formas de medir distancias  
○○○○○○○

Cuando la forma no importa  
○○○●○○○○○○○○

Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

## Dibujando caminos: unos ejemplos



Preliminares  
○○

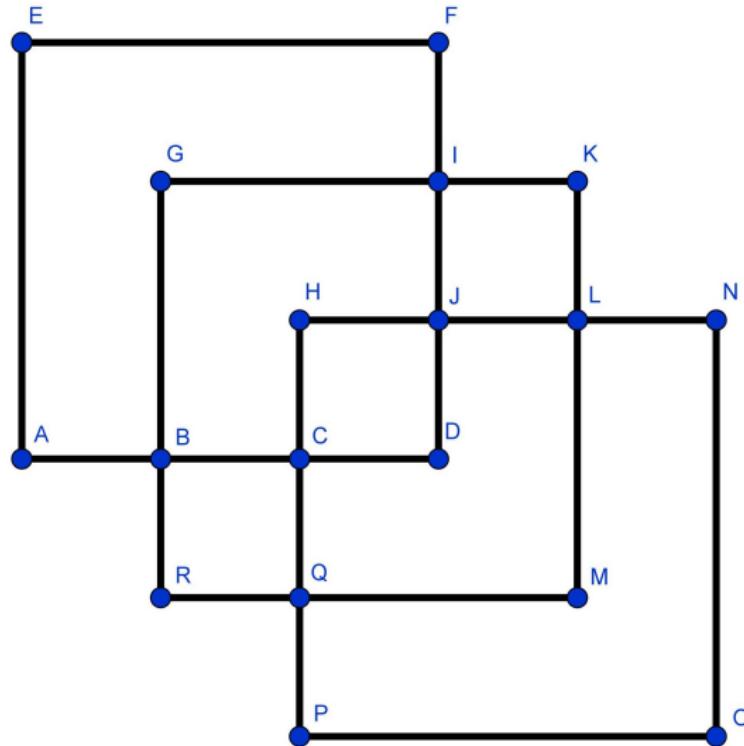
Formas de medir distancias  
○○○○○○

Cuando la forma no importa  
○○○●○○○○○○○○

Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

## Dibujando caminos: unos ejemplos



Preliminares  
○○

Formas de medir distancias  
○○○○○○○

Cuando la forma no importa  
○○○○●○○○○○○○

Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

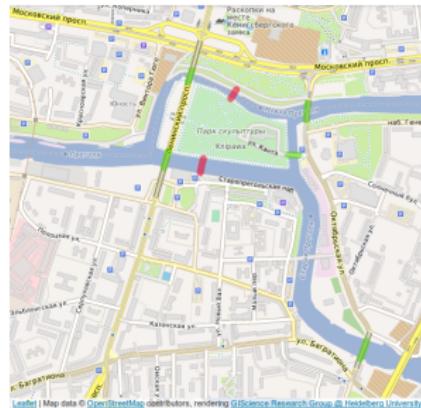
## Dibujando caminos: el ejemplo resuelto

# Euler y los puentes de Königsberg. III

## Problema

¿Se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente **en la actualidad**?

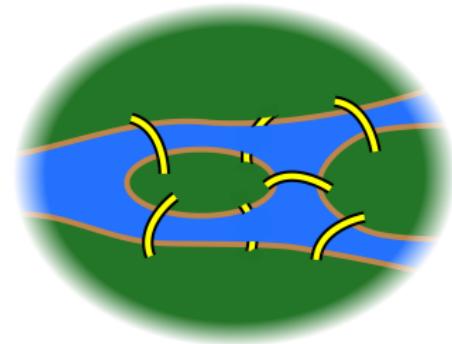
- En 1941, durante la Segunda Guerra Mundial, Stalin ordenó el bombardeo de Königsberg, quedando destruidos dos puentes que no han sido reconstruidos.



# Euler y los puentes de Königsberg. III

## Problema

¿Se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente [en la actualidad](#)?

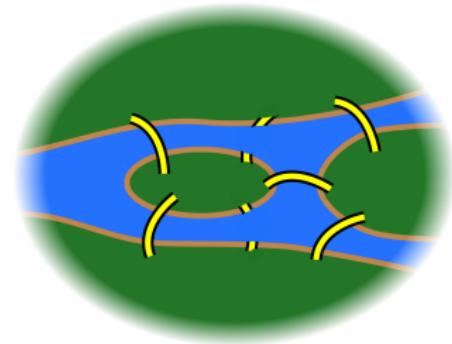


- En 1941, durante la Segunda Guerra Mundial, Stalin ordenó el bombardeo de Königsberg, quedando destruidos dos puentes que no han sido reconstruidos.
- Veámoslo de forma más esquemática...

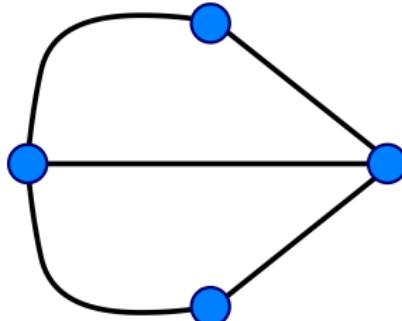
# Euler y los puentes de Königsberg. III

## Problema

¿Se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente **en la actualidad**?



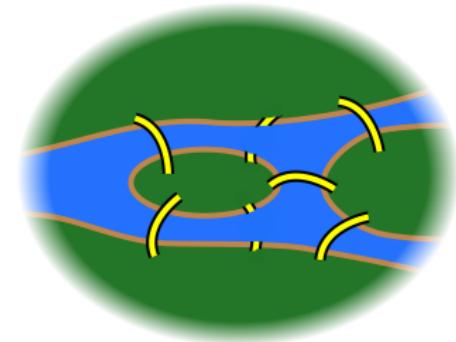
- En 1941, durante la Segunda Guerra Mundial, Stalin ordenó el bombardeo de Königsberg, quedando destruidos dos puentes que no han sido reconstruidos.
- Veámoslo de forma más esquemática...
- ...y en forma de grafo.



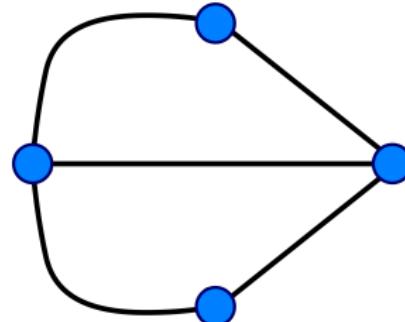
# Euler y los puentes de Königsberg. III

## Problema

¿Se pueden atravesar todos los puentes de Königsberg pasando sólo una vez por cada puente **en la actualidad**?



- En 1941, durante la Segunda Guerra Mundial, Stalin ordenó el bombardeo de Königsberg, quedando destruidos dos puentes que no han sido reconstruidos.
- Veámoslo de forma más esquemática...
- ...y en forma de grafo.
- ¿Qué ocurre ahora?  
¿Se pueden recorrer o no?



Preliminares  
○○

Formas de medir distancias  
○○○○○○○

Cuando la forma no importa  
○○○○○○●○○○○

Mezclando todo  
○○

Para saber más  
○○

## Topología

- Estas ideas de Euler dieron lugar a una nueva forma de entender algunos problemas de matemáticas,

## Topología

- Estas ideas de Euler dieron lugar a una nueva forma de entender algunos problemas de matemáticas,
- puesto que, **no siempre**, la forma concreta (la “geometría”, la forma de medir distancias) es relevante.

## Topología

- Estas ideas de Euler dieron lugar a una nueva forma de entender algunos problemas de matemáticas,
- puesto que, **no siempre**, la forma concreta (la “geometría”, la forma de medir distancias) es relevante.
- Esto es el comienzo de la [topología](#), que Euler llamó [geometría de la posición](#).

# Topología

- Estas ideas de Euler dieron lugar a una nueva forma de entender algunos problemas de matemáticas,
- puesto que, **no siempre**, la forma concreta (la “geometría”, la forma de medir distancias) es relevante.
- Esto es el comienzo de la **topología**, que Euler llamó **geometría de la posición**.
- La **topología** estudia las propiedades de los cuerpos geométricos que no dependen de la forma concreta, si no que se conservan si doblamos, estiramos, encogemos, retorcemos... siempre que no rompamos ni separemos el objeto.

## Topología en nuestro día a día

- La idea de que ciertos problemas o cierta información no dependen de la forma concreta de los objetos la usamos constantemente...

## Topología en nuestro día a día

- La idea de que ciertos problemas o cierta información no dependen de la forma concreta de los objetos la usamos constantemente...
- ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo?

## Topología en nuestro día a día. II

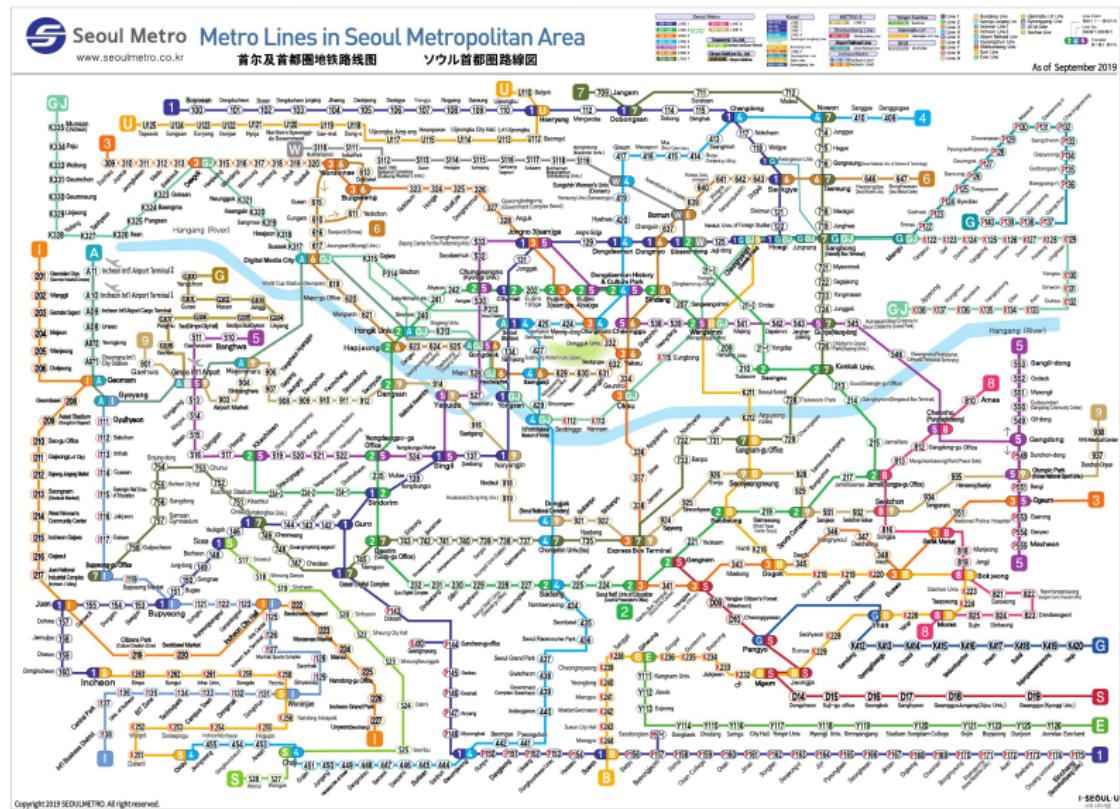


<https://planometromadrid.com.es/>

# Topología en nuestro día a día. II



Topología en nuestro día a día. II



# Topología en nuestro día a día. II

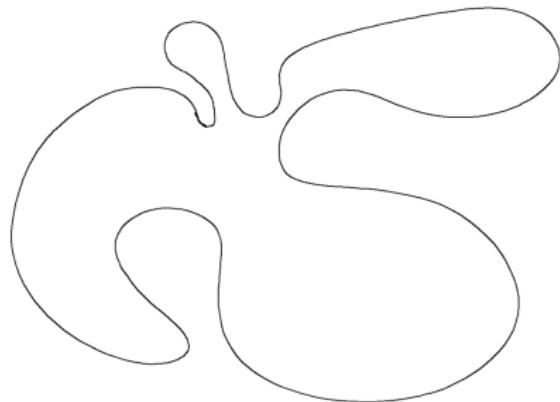


<https://ecomovilidad.net/granada/plano-metro-de-granada/>

# El Teorema de la curva de Jordan

## Teorema de la curva de Jordan (Veblen, 1905)

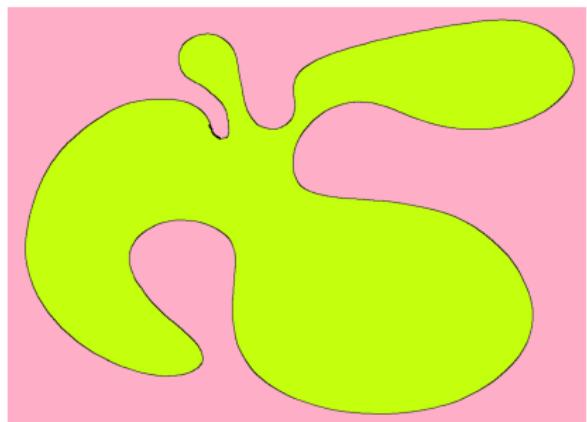
Si dibujamos una curva cerrada sin que se corte a si misma y sin levantar el lápiz del papel,



# El Teorema de la curva de Jordan

## Teorema de la curva de Jordan (Veblen, 1905)

Si dibujamos una curva cerrada sin que se corte a si misma y sin levantar el lápiz del papel, entonces dividimos el plano en dos regiones: **la de dentro y la de fuera**.

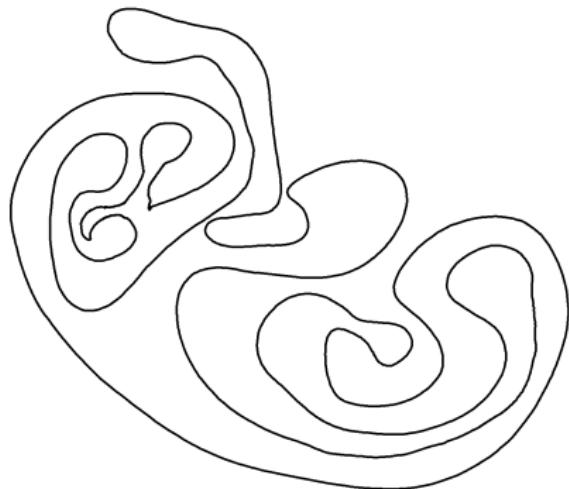


# El Teorema de la curva de Jordan

## Teorema de la curva de Jordan (Veblen, 1905)

Si dibujamos una curva cerrada sin que se corte a si misma y sin levantar el lápiz del papel, entonces dividimos el plano en dos regiones: **la de dentro y la de fuera**.

- No siempre es tan fácil de ver...

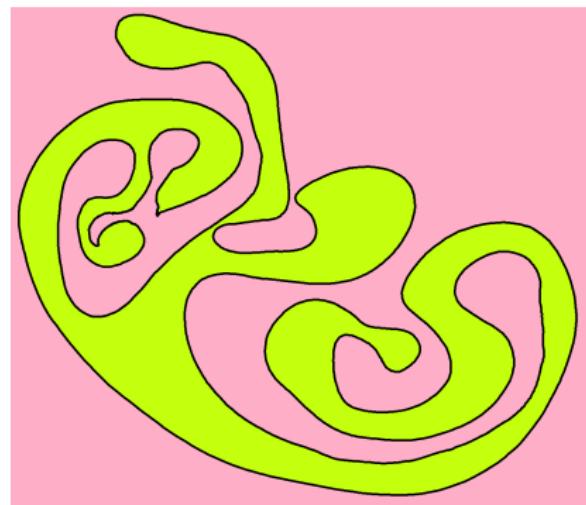


# El Teorema de la curva de Jordan

## Teorema de la curva de Jordan (Veblen, 1905)

Si dibujamos una curva cerrada sin que se corte a si misma y sin levantar el lápiz del papel, entonces dividimos el plano en dos regiones: **la de dentro y la de fuera**.

- No siempre es tan fácil de ver...

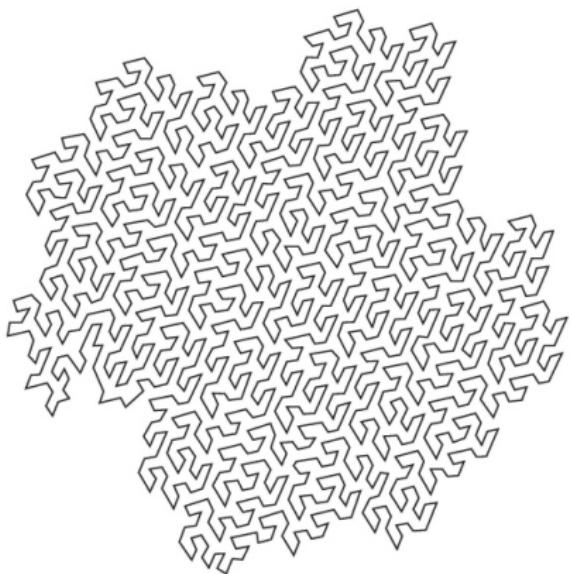


# El Teorema de la curva de Jordan

## Teorema de la curva de Jordan (Veblen, 1905)

Si dibujamos una curva cerrada sin que se corte a si misma y sin levantar el lápiz del papel, entonces dividimos el plano en dos regiones: **la de dentro y la de fuera**.

- No siempre es tan fácil de ver...
- E incluso parece que podría ser mentira...

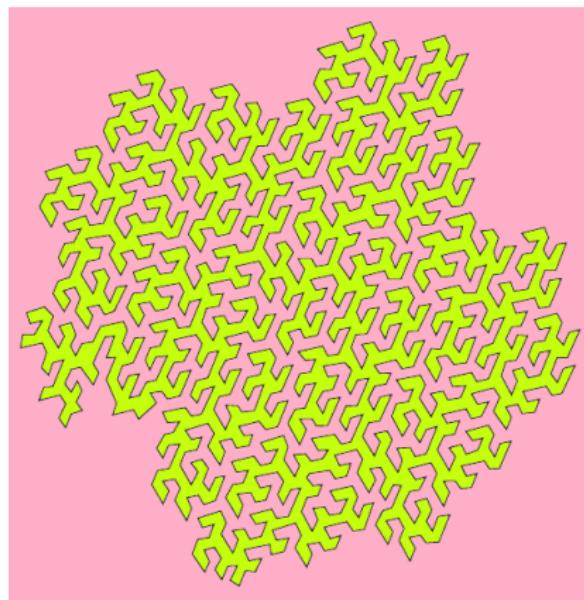


# El Teorema de la curva de Jordan

## Teorema de la curva de Jordan (Veblen, 1905)

Si dibujamos una curva cerrada sin que se corte a si misma y sin levantar el lápiz del papel, entonces dividimos el plano en dos regiones: **la de dentro y la de fuera**.

- No siempre es tan fácil de ver...
- E incluso parece que podría ser mentira... pero no



# El Teorema de la curva de Jordan

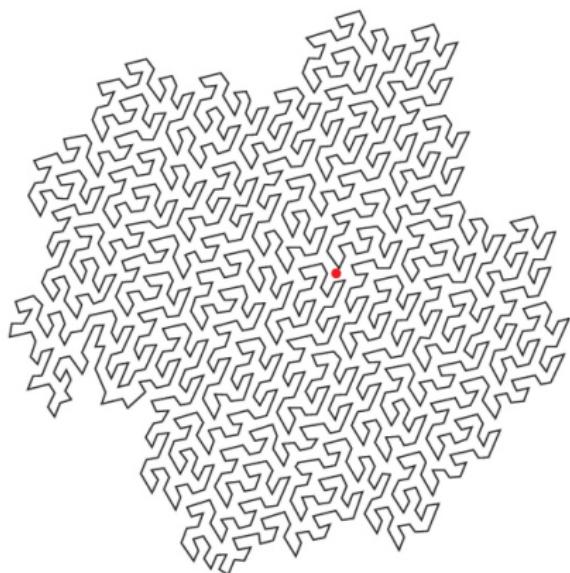
## Teorema de la curva de Jordan (Veblen, 1905)

Si dibujamos una curva cerrada sin que se corte a si misma y sin levantar el lápiz del papel, entonces dividimos el plano en dos regiones: **la de dentro y la de fuera**.

- No siempre es tan fácil de ver...
- E incluso parece que podría ser mentira... pero no

### Pregunta

¿Cómo se puede saber si un punto está dentro o está fuera?



# El Teorema de la curva de Jordan

## Teorema de la curva de Jordan (Veblen, 1905)

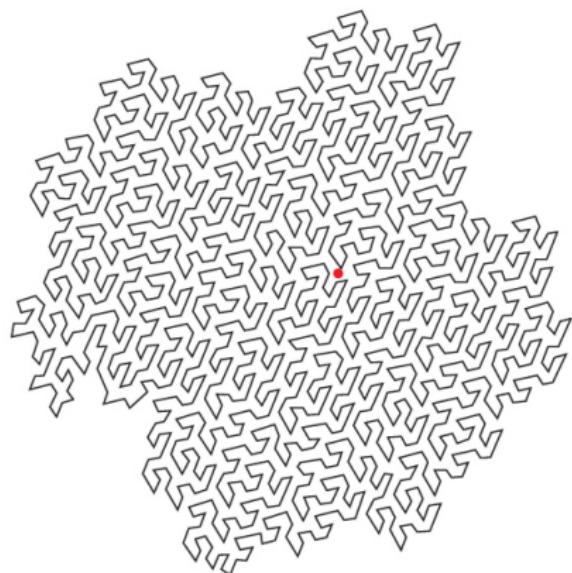
Si dibujamos una curva cerrada sin que se corte a si misma y sin levantar el lápiz del papel, entonces dividimos el plano en dos regiones: **la de dentro y la de fuera**.

- No siempre es tan fácil de ver...
- E incluso parece que podría ser mentira... pero no

### Pregunta

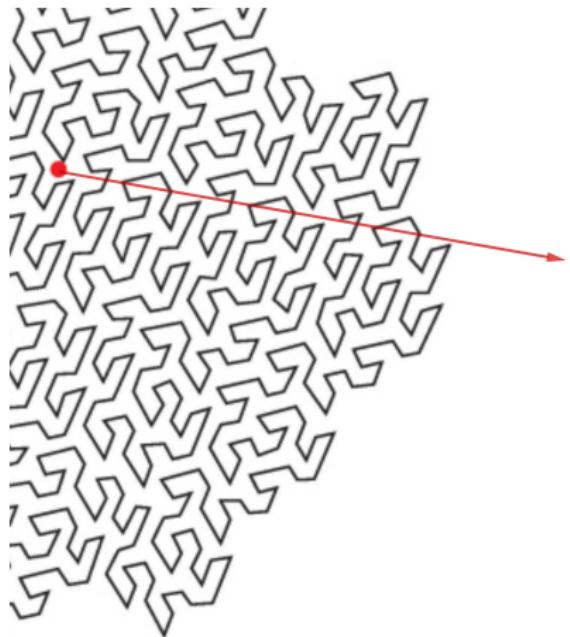
¿Cómo se puede saber si un punto está dentro o está fuera?

- ¡Contando!



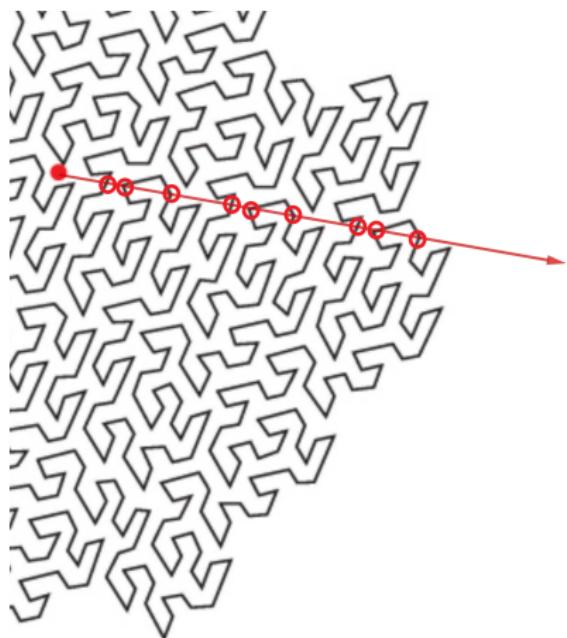
## El Teorema de la curva de Jordan. II

Trazamos una semirrecta que salga del punto y **contamos** cuantas veces corta a la curva



## El Teorema de la curva de Jordan. II

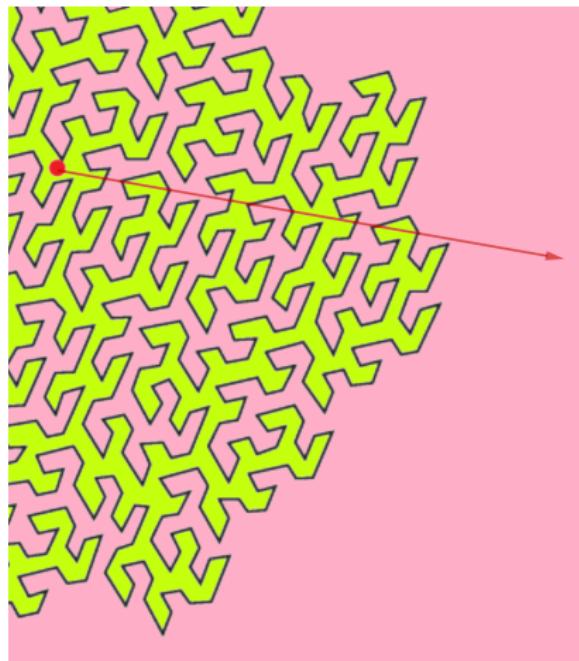
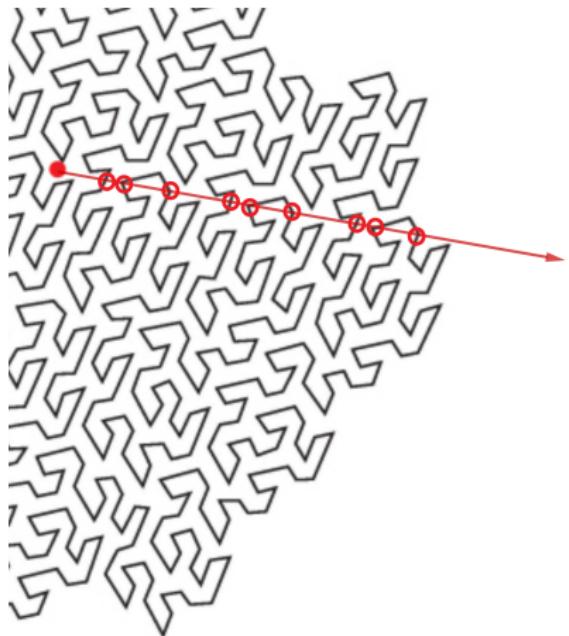
Trazamos una semirrecta que salga del punto y **contamos** cuantas veces corta a la curva



Si sale **ímpar, dentro**; si sale **par, fuera**.

## El Teorema de la curva de Jordan. II

Trazamos una semirrecta que salga del punto y **contamos** cuantas veces corta a la curva



Si sale **ímpar**, **dentro**; si sale **par**, **fuera**.

Preliminares  
OO

Formas de medir distancias  
OOOOOOO

Cuando la forma no importa  
OOOOOOOOOOOOO

Mezclando todo  
●○

Para saber más  
OO

## Un sitio en el que se mezcla todo



- En Google Maps© se mezcla todo lo que hemos contado:



- En Google Maps© se mezcla todo lo que hemos contado:
- Se mide usando distintas distancias, porque cada trayecto (y cada medio de transporte) necesita una forma de medir,



- En Google Maps© se mezcla todo lo que hemos contado:
- Se mide usando distintas distancias, porque cada trayecto (y cada medio de transporte) necesita una forma de medir,
- algunas veces las representaciones son geométricas, respetan la forma de la realidad, porque necesitamos orientarnos,
- pero, otras veces da igual y se representa como un camino dentro de un grafo.



- En Google Maps© se mezcla todo lo que hemos contado:
- Se mide usando distintas distancias, porque cada trayecto (y cada medio de transporte) necesita una forma de medir,
- algunas veces las representaciones son geométricas, respetan la forma de la realidad, porque necesitamos orientarnos,
- pero, otras veces da igual y se representa como un camino dentro de un grafo.
- De hecho, si pensamos en cómo funciona Google Maps© por dentro, parece claro que el motor de búsqueda no mira mapas, más bien convierte todas las posibles rutas en un grafo,
- y luego calcula la mejor ruta.



- En Google Maps© se mezcla todo lo que hemos contado:
- Se mide usando distintas distancias, porque cada trayecto (y cada medio de transporte) necesita una forma de medir,
- algunas veces las representaciones son geométricas, respetan la forma de la realidad, porque necesitamos orientarnos,
- pero, otras veces da igual y se representa como un camino dentro de un grafo.
- De hecho, si pensamos en cómo funciona Google Maps© por dentro, parece claro que el motor de búsqueda no mira mapas, más bien convierte todas las posibles rutas en un grafo,
- y luego calcula la mejor ruta.
- ¡Pero esto no se hace por fuerza bruta!
- Se usan algoritmos de búsqueda del camino más corto.



- En Google Maps© se mezcla todo lo que hemos contado:
- Se mide usando distintas distancias, porque cada trayecto (y cada medio de transporte) necesita una forma de medir,
- algunas veces las representaciones son geométricas, respetan la forma de la realidad, porque necesitamos orientarnos,
- pero, otras veces da igual y se representa como un camino dentro de un grafo.
- De hecho, si pensamos en cómo funciona Google Maps© por dentro, parece claro que el motor de búsqueda no mira mapas, más bien convierte todas las posibles rutas en un grafo,
- y luego calcula la mejor ruta.
- ¡Pero esto no se hace por fuerza bruta!
- Se usan algoritmos de búsqueda del camino más corto.
- ¡Hay muuuuuuuucha matemática detrás!

Preliminares  
○○

Formas de medir distancias  
○○○○○○○

Cuando la forma no importa  
○○○○○○○○○○○○○○

Mezclando todo  
○○

Para saber más  
●○

## Para saber más

## Para saber más...



**Gaussianos**

<http://gaussianos.com/>



**Tocamates matemáticas y creatividad**

<http://www.tocamates.com/>



**Hans Enzensberger**

**El diablo de los números**

Ediciones Siruela, 1998



**Santi García Cremades**

**Un número perfecto**

Anaya Multimedia, 2017



**José Ángel Murcia**

**Y me llevo una**

Nórdica, 2019



**Adrián Paenza**

**Matemática... ¿Estás ahí?**

Siglo veintiuno editores, 2005

Muchos libros gratis en <http://cms.dm.uba.ar/material/paenza/>