

Laboratorio 1

Segunda clase de la materia

PARTE CERO

Repaso breve de la clase anterior

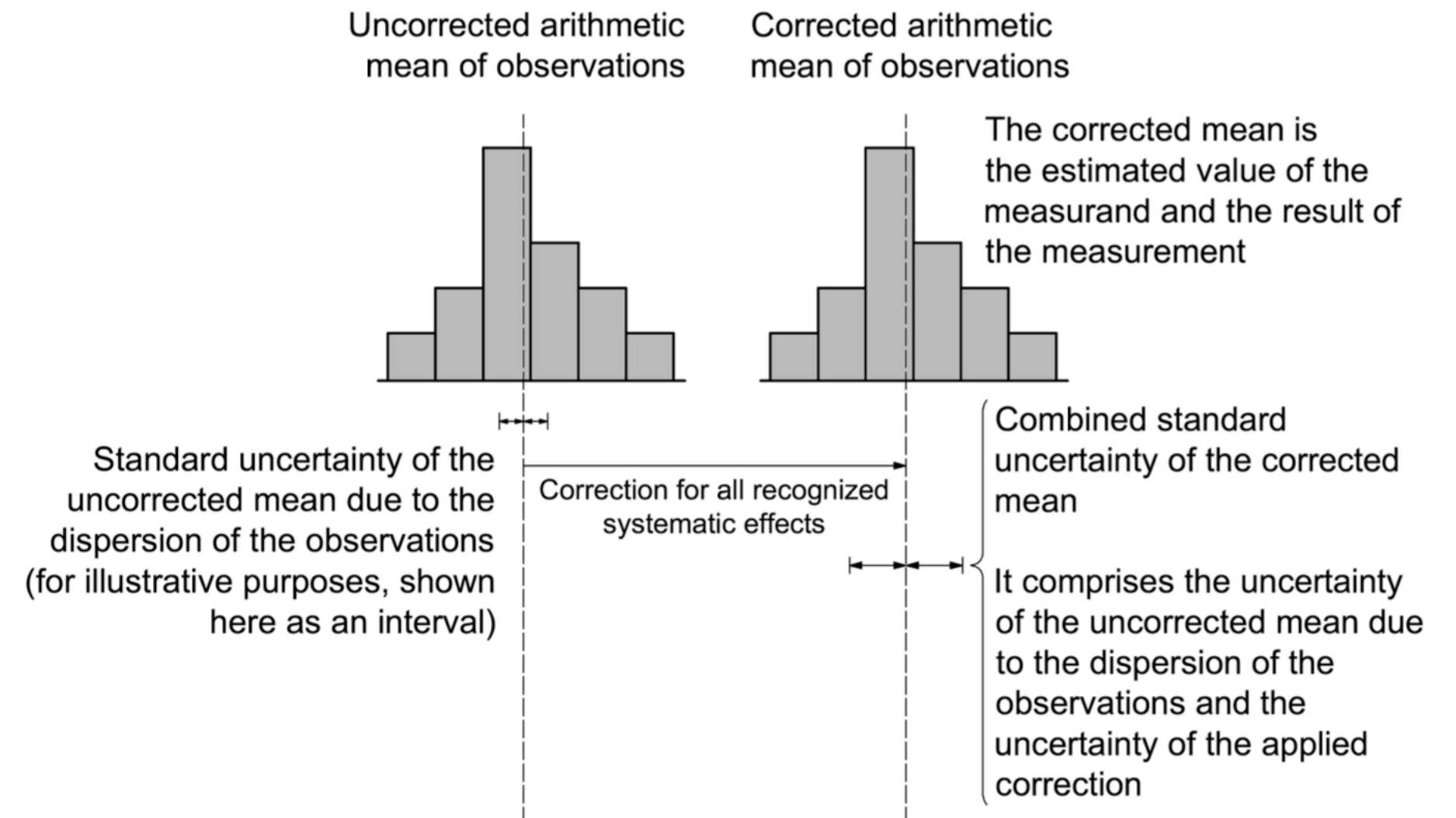
Para continuar a partir de lo que vimos

Incertezas sistemáticas, como tratarlas y el GUM

Measurement of the Higgs boson mass in the $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ decay channel using 139 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ pp collisions recorded by the ATLAS detector at the LHC

The ATLAS Collaboration

The mass of the Higgs boson is measured in the $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ decay channel. The analysis uses proton–proton collision data from the Large Hadron Collider at a centre-of-mass energy of 13 TeV recorded by the ATLAS detector between 2015 and 2018, corresponding to an integrated luminosity of 139 fb^{-1} . The measured value of the Higgs boson mass is $124.99 \pm 0.18(\text{stat.}) \pm 0.04(\text{syst.}) \text{ GeV}$ and is based on improved momentum-scale calibration for muons relative to previous publications. The measurement also employs an analytic model that takes into account the invariant-mass resolution of the four-lepton system on a per-event basis and the output of a deep neural network discriminating signal from background events. This measurement is combined with the corresponding measurement using 7 and 8 TeV pp collision data, resulting in a Higgs boson mass measurement of $124.94 \pm 0.17(\text{stat.}) \pm 0.03(\text{syst.}) \text{ GeV}$.



GUM = Guide to Uncertainty in Measurement, o redactado por el BIPM.

Todo lo vinculado con manejo de incertezas pueden leerlo en detalle allí.

PARTE UNO

Qué podemos afirmar de nuestros resultados?

(cómo estar seguros de no afirmar más de lo que podemos)

La calculadora no sabe cómo medimos

LO QUE MEDIMOS

$$L = 12,4 \text{ cm} \pm 0,1$$

$$t = 3,7 \text{ s} \pm 0,1$$

Buscamos determinar la velocidad media de un móvil.

Hacemos una única medición de L y de t.

La regla llega al milímetro; el cronómetro, a la décima.

Despreciamos los errores sistemáticos por ser muy pequeños.

LO QUE DEVUELVE PYTHON o UNA CALCULADORA

```
>>> L / t
```

```
3,35135135135135136
```

Quince dígitos que no salieron de ninguna medición!

12,4 / 3,7 da un decimal periódico y Python (o la calculadora) nos devuelve todos los que le entran en su representación.

Copiar los quince dígitos afirma conocer la velocidad con quince decimales. Con una regla al milímetro y un cronómetro de mano, una única medición. **Un resultado sólo puede afirmar lo que las mediciones garantizan.**

Cifras significativas

Qué cifras son significativas?

01 Si hay ceros a la izquierda de la coma

No son significativos: solo ubican la coma decimal.

0,0026	2
0,0619	3
0,000003	1

02 Si hay ceros a la derecha, tras la coma

Sí son significativos: informan sobre esa cifra.

21	2
21,00	4
3,4520	5
0,00600	3

03 Si hay ceros entre dígitos

Siempre significativos, estén donde estén.

9,052	4
206	3
1,0004	5

04 Si hay ceros finales sin coma

Ambiguos. La notación científica resuelve la duda.

42000	¿2? ¿5?
4,2 × 10 ⁴	2
4,200 × 10 ⁴	4
7,0 × 10 ⁻³	2

En física 9 mm y 9.0 mm son dos cosas distintas!

Cómo se informa una medición

$$x = (\bar{x} \pm \delta x) \text{ unidades}$$

Valor, incerteza (en cs) y unidad. **Nunca un número solo.**

01 El error manda

Una cifra significativa, dos como máximo. Redondear hacia arriba si la siguiente es 5 o más.

02 Mismo lugar decimal

Después de la coma, mejor estimado e incerteza llevan la misma cantidad de dígitos.

03 Sin redondeos intermedios

Guardar todos los dígitos durante la cuenta y cortar una sola vez, al escribir.

BIEN ESCRITOS

$$(320 \pm 2) \text{ m}$$

$$(321,22 \pm 0,14) \text{ m}$$

$$(325,1 \pm 2,3) \text{ m}$$

$$(4,6 \pm 0,1) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

MAL ESCRITOS

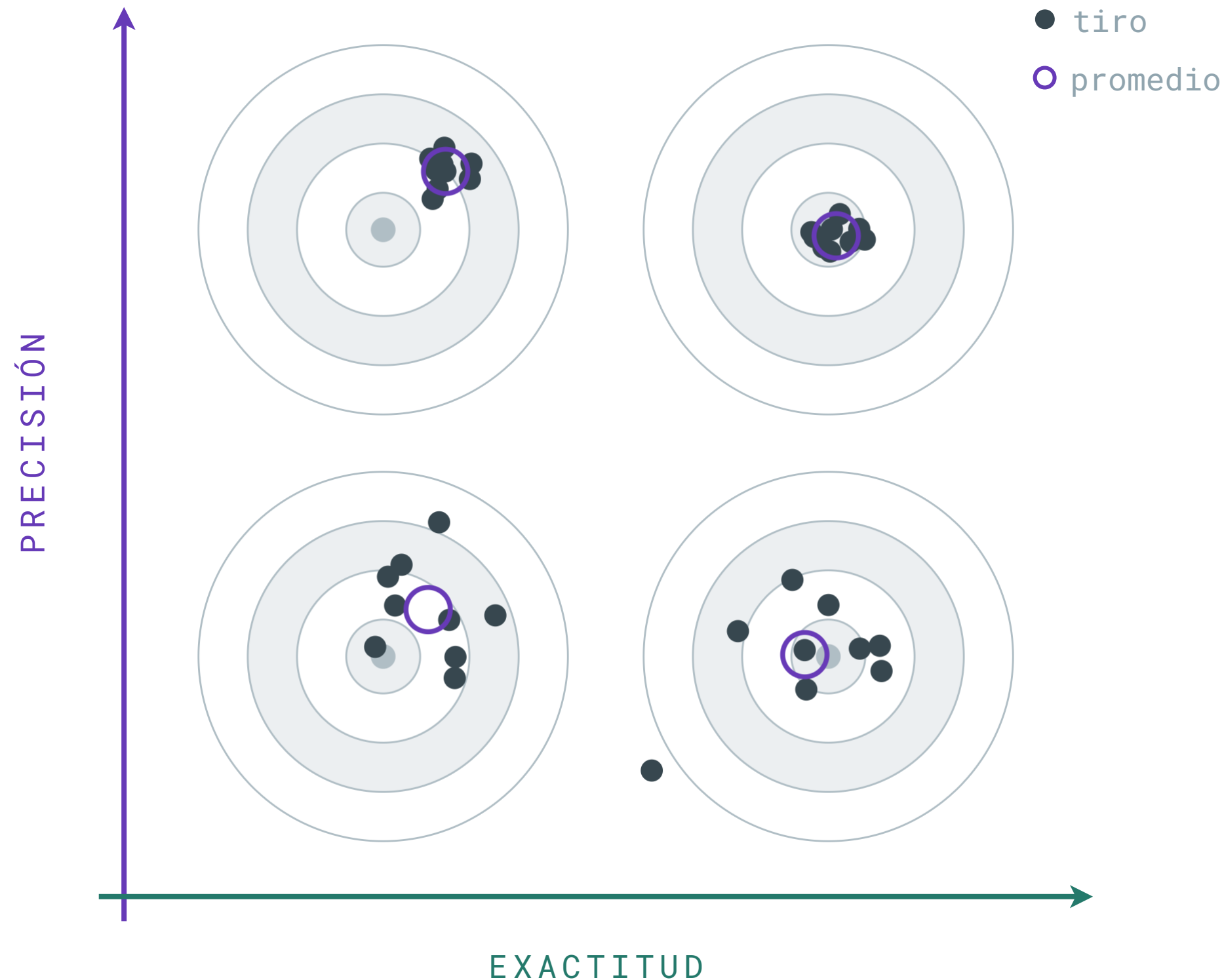
$$(1,7581 \pm 0,1123) \text{ m/s} \rightarrow (1,76 \pm 0,11) \text{ m/s}$$

$$(2 \pm 0,11) \text{ m/s} \rightarrow (2,00 \pm 0,11) \text{ m/s}$$

Precisión vs Exactitud

EN CIENCIA NO SON SINONIMOS

Precisión vs exactitud en ciencia



■ Precisión

Las mediciones tienen baja dispersión.
Baja respecto de qué?*

■ Exactitud

El promedio cae cerca del “valor verdadero”.
Cómo podemos saber si nuestro método es exacto?

■ El caso peligroso

Preciso e inexacto: baja dispersión pero valor medio lejano al que se busca determinar. **Cómo detectarlo?**

PARTE DOS

Incertezas estadísticas

Qué tienen en común los resultados de las 3 experiencias?

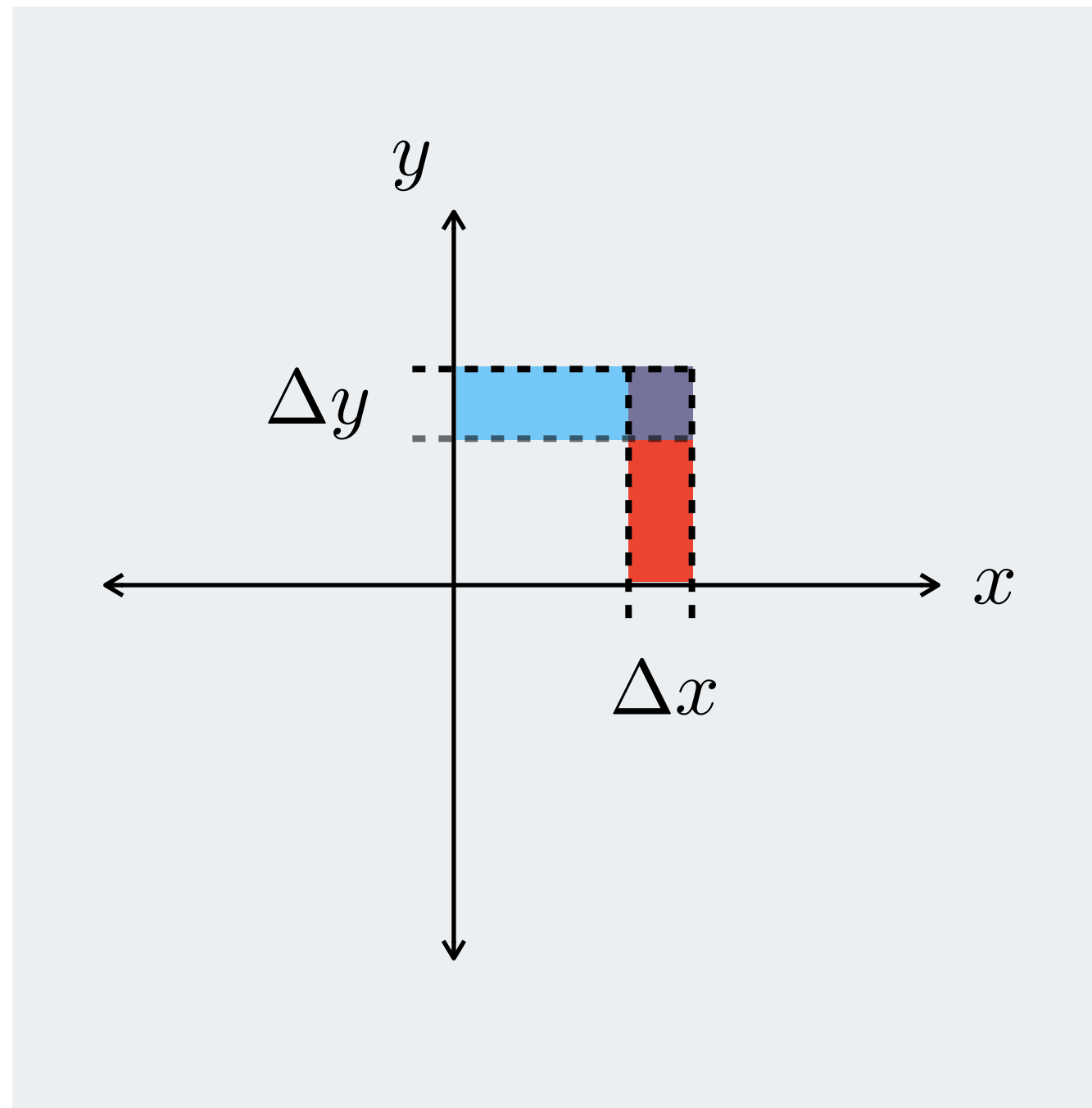
Construyamos un modelo para las fluctuaciones estadísticas



Ingredientes razonables para el modelo de incertezas estadísticas (al azar):

1. No dependen de la orientación, sólo de la distancia al blanco
2. Fluctuaciones en las direcciones perpendiculares son independientes entre sí
3. Fluctuaciones grandes son menos probables que fluctuaciones pequeñas

Construyamos un modelo para las fluctuaciones estadísticas

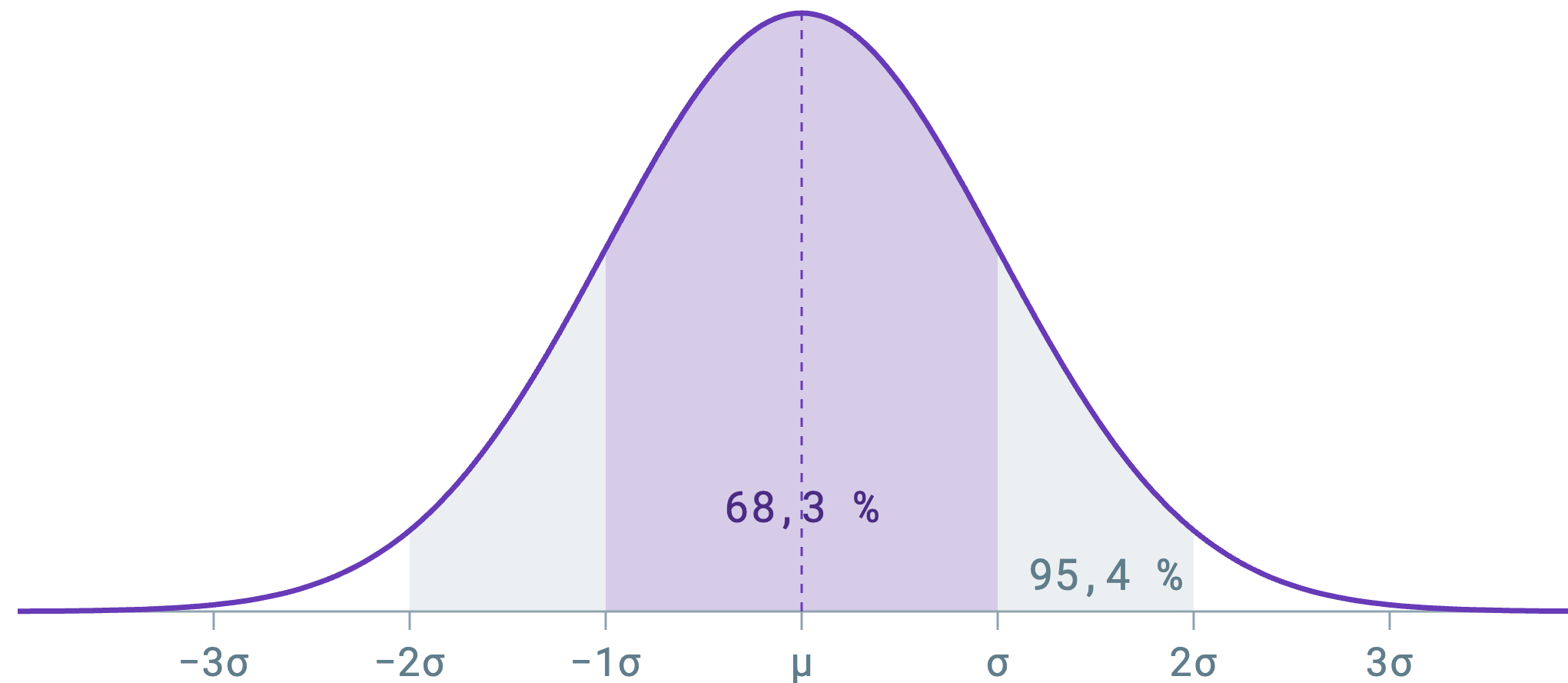


Ingredientes razonables

para el modelo de incertezas estadísticas (al azar):

1. No dependen de la orientación, sólo de la distancia al blanco
2. Fluctuaciones en las direcciones perpendiculares son independientes entre sí
3. Fluctuaciones grandes son menos probables que fluctuaciones pequeñas

La distribución gaussiana



$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$

- Simétrica respecto de μ

Media, mediana y moda coinciden. Los errores por exceso y por defecto son igual de probables.

- σ fija la escala

Si σ se duplica, la campana se ensancha y el pico cae a la mitad: el área tiene que seguir valiendo 1.

- 68 – 95 – 99,7

Es la regla que hay que tener en la cabeza al leer una barra de error.

- Cuidado! La altura no es probabilidad

La altura del pico vale $1/\sigma\sqrt{2\pi}$, no 1. Lo que suma 1 es el *área* bajo toda la curva: **la probabilidad es el bajo una región**, no la altura.

**Por qué la distribución gaussiana aparece
en las mediciones experimentales y también
en las tiradas de dados y monedas?**

PARA · PENSAR

Teorema del límite central (central limit theorem)

CUIDADO: FORMULACION NO TECNICA

Muchas pequeñas fluctuaciones de orígenes diferentes pueden producir, al sumarse, una fluctuación total aproximadamente gaussiana.

Esto no ocurre necesariamente si una fuente domina, si existen correlaciones importantes o si las distribuciones tienen colas suficientemente extremas.

- No lo demostraremos acá pero ... veámoslo funcionando!*

Y para quienes tengan curiosidad, les voy a colgar de la página de la materia una demostración sencilla (al nivel de la matemática del curso) para que puedan leerla. [De lectura opcional!]

Por qué la distribución gaussiana aparece tan frecuentemente?

Teorema de la máxima entropía de la distribución gaussiana

CUIDADO: FORMULACION NO TECNICA

Si todo lo que sabemos sobre una magnitud es su valor medio y su desviación estándar, asumir una distribución gaussiana no agrega ninguna información adicional más allá de eso: es la distribución de máxima entropía compatible con esos datos. Es la distribución más “honesta” con los datos de los que disponemos.

■ No lo vamos a demostrar!

No tenemos la matemática ni la física para hacerlo, pero lo importante es retener el resultado: no agregamos información* si asumimos distro gaussiana.

■ De dónde proviene?

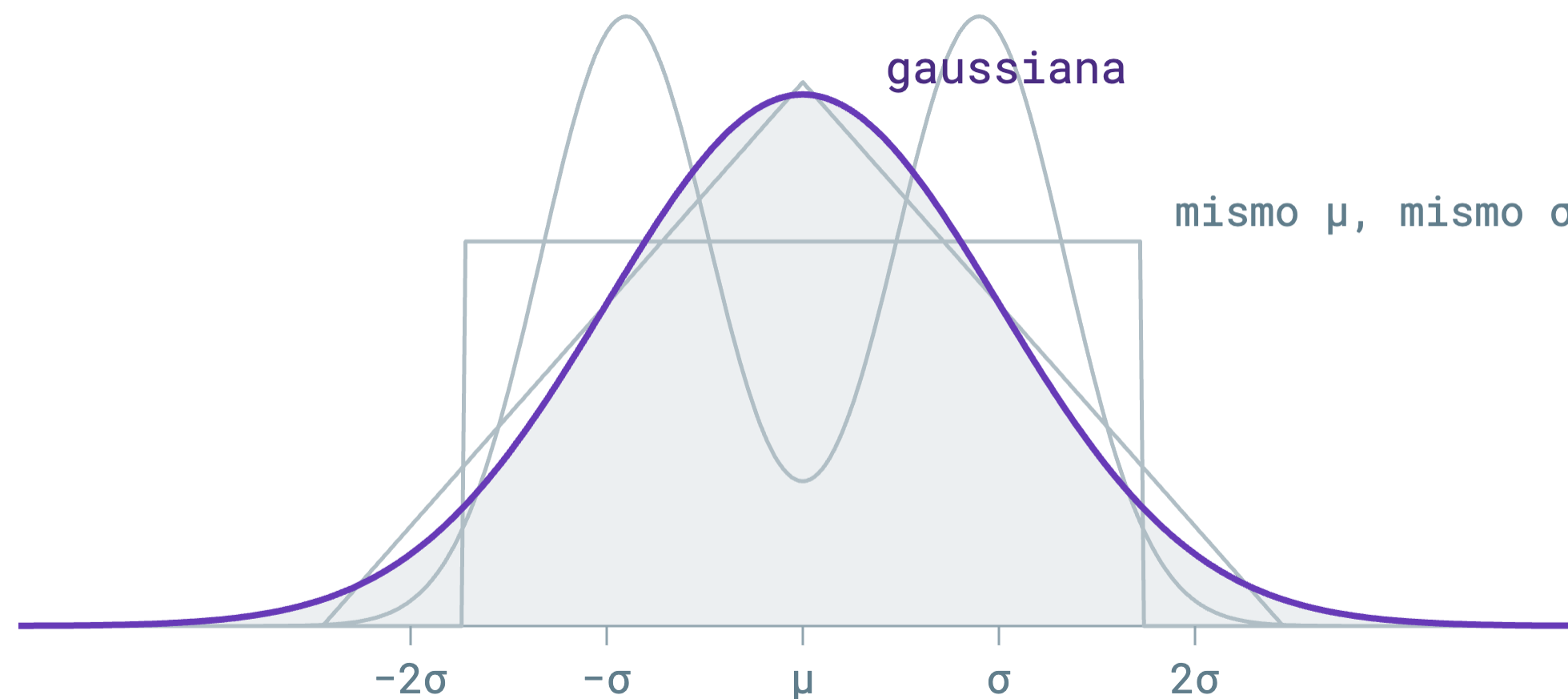
Es una formalización del principio de máxima entropía de Jaynes aplicado a la entropía de la información de Shannon.

Por qué la distribución gaussiana aparece tan frecuentemente?

Qué significa que “la gaussiana es la elección honesta”?

EN OTRAS PALABRAS

Si todo lo que sabemos de una magnitud es su valor medio y la escala de sus fluctuaciones, suponerla gaussiana **no agrega ninguna información**: es la distribución de máxima ignorancia compatible con esos datos.



La gaussiana es la más honesta

■ Todas cumplen el dato

Las cuatro curvas tienen el mismo μ y el mismo σ . Los datos no alcanzan para elegir entre ellas.

■ Las grises dicen de más

La uniforme afirma que más allá de cierto punto la probabilidad es exactamente cero; la bimodal, que hay dos valores preferidos. Nadie midió eso.

■ La violeta no supone nada adicional

Máxima entropía es máxima ignorancia: la única que no mete una hipótesis que no está en los datos.

PARTE CUATRO

Mediciones propuestas para hoy

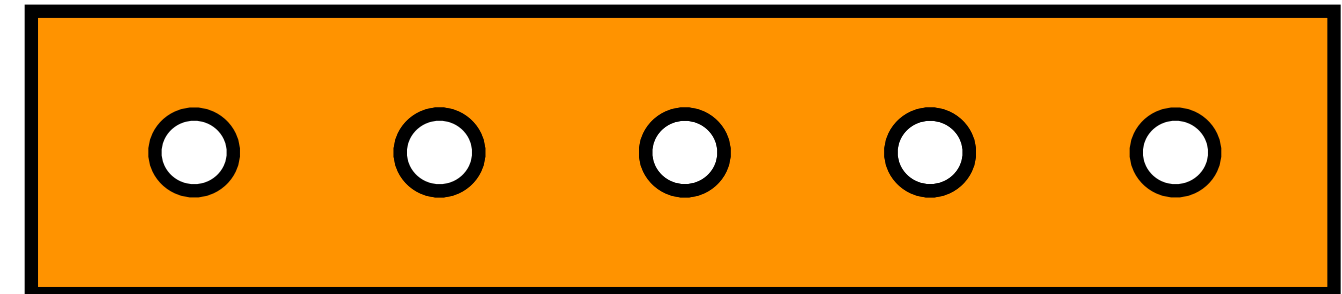
Mediciones con regla construida a mano

Cómo mediríamos de forma “ortodoxa” con nuestra regla?

objeto cuyo lado mayor buscamos medir

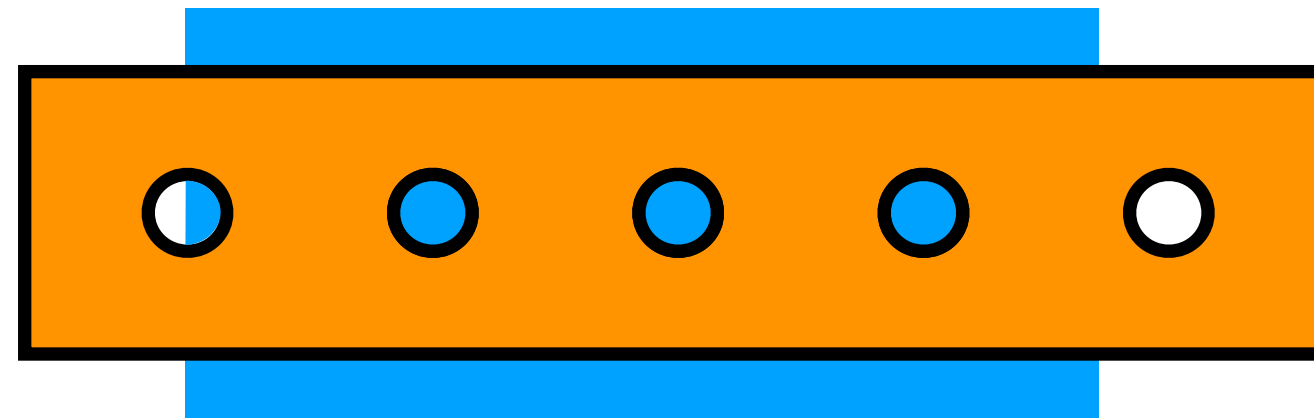


regla construida a mano



Cómo mediríamos de forma “ortodoxa” con nuestra regla?

objeto cuyo lado mayor buscamos medir



notemos que esto introduce un error sistemático de truncación

sólo podemos afirmar
que la longitud del objeto se encuentra comprendida
entre el último agujero cubierto y el primero que aparece libre

Cómo evitar la incerteza sistemática?

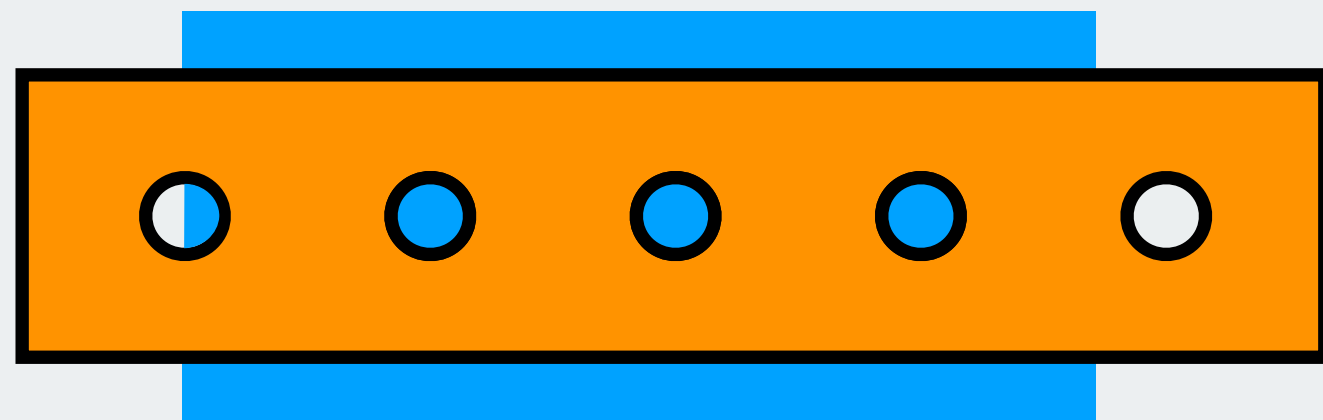
Medición “heterodoxa”

dejemos caer la regla al azar sobre el objeto a medir
convirtiendo el error sistemático en estadístico

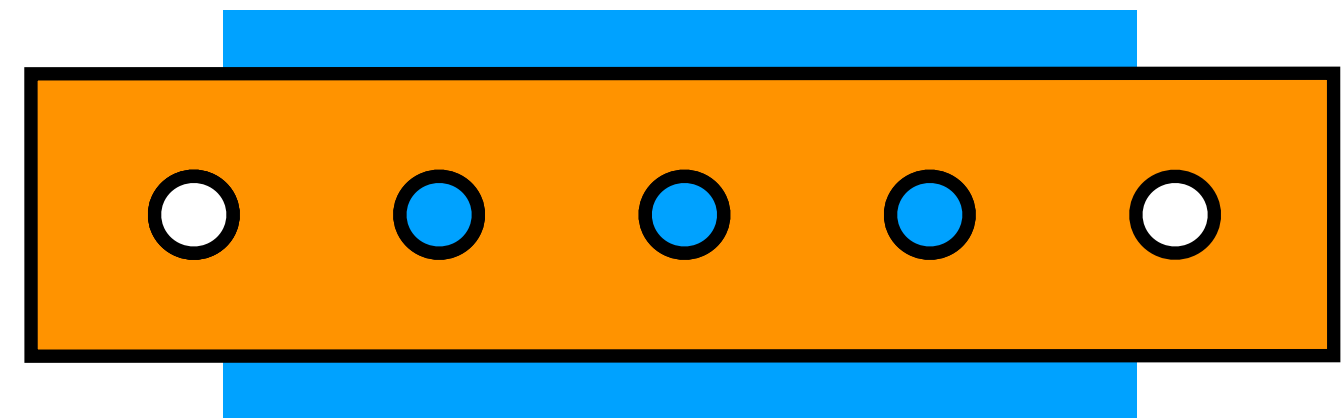
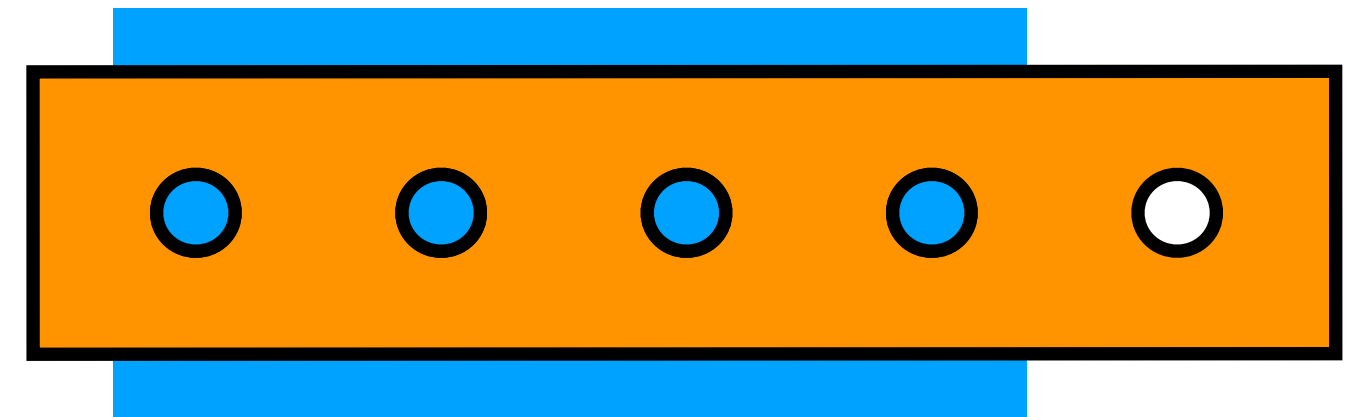
NOTAR:
ESTAMOS CAMBIANDO EL SISTEMA / PROTOCOLO DE MEDICION

Más configuraciones posibles como resultado

medición ortodoxa



medición heterodoxa



Propuesta de mediciones para hoy

- Arrojar la regla 100 veces sin hacer puntería (1 por grupo)
(dejarla caer desde una altura superior a la de los ojos)
- Determinar la longitud del objeto y su incerteza (piense en las posibles fuentes de incerteza)
- Medir la longitud del objeto con la regla que emplearon para construir la regla de agujeros
(expresar valor e incerteza de esa medida)
- Comparar los valores obtenidos por ambos métodos
- Qué pueden afirmar al comparar los resultados obtenidos para las dos reglas utilizadas?

PARTE TRES

Tarea para la próxima

Análisis de resultados anteriores

La idea es traer, para la clase del miércoles 2 de septiembre los resultados del estudio que les proponemos a continuación

Con sus datos de la clase anterior (período, datos, monedas)

EN PYTHON

- 01 Partir las 100 mediciones en 20 grupos de 5, sin repetir ningún dato.
- 02 Calcular el promedio de cada grupo: quedan 20 promedios.
- 03 Calcular el promedio de esos promedios y su desviación estándar.
- 04 Repetir todo con 10 grupos de 10 datos.
- 05 Comparar las dos desviaciones estándar y los dos promedios de promedios..
¿Qué cambió y qué no?

PREGUNTAS A DISCUTIR EN EL GRUPO

Cambia el centro de la distribución? Cambia la dispersión?
Si cambian, ¿en qué factor(es)?

Los mismos 100 datos, agrupados de dos maneras distintas.

20 grupos de 5



20 promedios

10 grupos de 10



10 promedios