

INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA EXPERIMENTAL

MEDICIÓN DE UNA MAGNITUD FÍSICA

INCERTIDUMBRES

Laboratorio 1 – 2do. Cuatrimestre de 2020

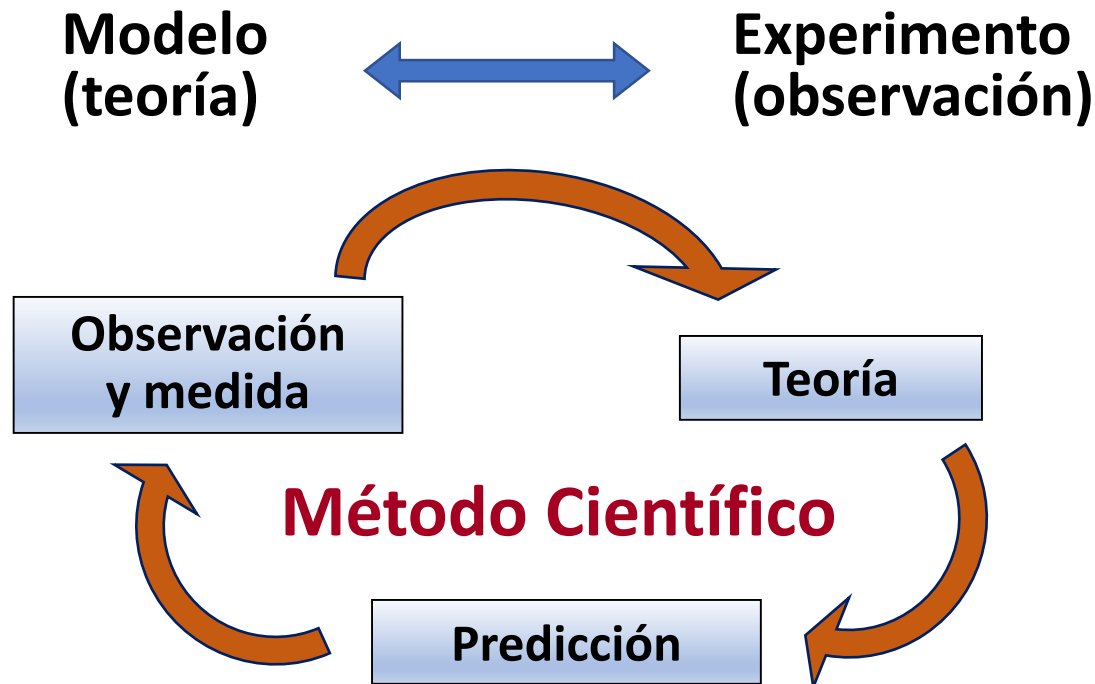
Lucía Famá - Joaquín Sacanell
Mauro Silberberg - Pedro Schmied

Departamento de Física
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

El gusto/necesidad de medir

La física se ocupa de describir y entender la naturaleza

La medición es una de sus herramientas fundamentales para hacerlo de forma objetiva



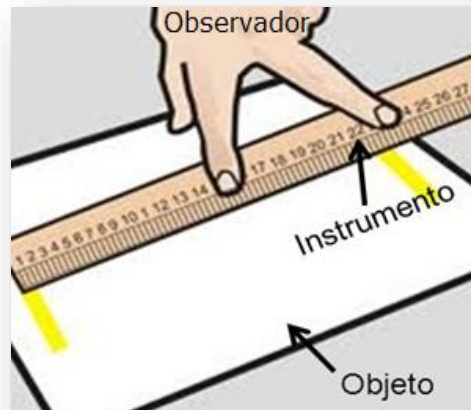
Consideraciones a tener en cuenta

Magnitud Física (MF): Atributo de un cuerpo, fenómeno o sustancia que puede ser cuantificada (ej. masa, longitud, velocidad ...)

Medir es comparar la cantidad de la MF que se desea obtener con una unidad de la misma magnitud (**patrón**)

Para llevar a cabo una medición

- Objeto/Fenómeno
- Observador
- Instrumento
- Método
- Definir un Sistema de Unidades



Sistema Internacional de Unidades (SI)



El Sistema Internacional de Unidades

En noviembre de 2018 se aprobó la mayor revisión del **Sistema Internacional de Unidades (SI)** desde su creación (1960). El principal cambio es que a partir de ahora todas las unidades se definen en base a constantes de referencia, como la velocidad de la luz para el metro y la constante de Planck para el kilogramo. La revisión entrará en vigencia el 20 de mayo de 2019.

La candela

La **candela**, cuyo símbolo es **cd**, es la unidad de intensidad luminosa del SI en una dirección dada. Se la define estableciendo el valor numérico fijo de la eficacia luminosa de una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz, K_{cd} igual a 683 cuando se expresa en las unidades lm/W , que son equivalentes a $\text{cd}\cdot\text{sr}/\text{W}$, o $\text{cd}\cdot\text{sr}/\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}$, donde el kilogramo, el metro y el segundo son definidos en términos de h , c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Magnitud de base: Intensidad luminosa (I_v)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DE LA CANDELA		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Ejercicio luminoso	lumen (lm)	$\text{cd}\cdot\text{sr}$
Luminancia	lux (lx)	lm/m^2

El mol

El **mol**, cuyo símbolo es **mol**, es la unidad de cantidad de sustancia (o materia) del SI. Un mol contiene exactamente $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entidades elementales. Esta número es el valor numérico fijo de la constante de Avogadro, N_A , cuando se expresa en unidades de mol^{-1} o $\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^3$. La cantidad de sustancia, simbolizada en un sistema de una medida del número de unidades elementales específicas, una entidad elemental puede ser un átomo, una molécula, un ion, un electrón, o cualquier otra partícula o grupo específico de partículas.

Magnitud de base: cantidad de sustancia (n)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL MOL		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Concentración	mol por metro cúbico	mol/m^3
Actividad catalítica	mol por segundo	mol/s

El kelvin

El **kelvin**, cuyo símbolo es **K**, es la unidad de temperatura termodinámica del SI. Se la define estableciendo el valor numérico fijo de la constante de Boltzmann, k , igual a $1,380\,650\,4 \times 10^{-23}$ cuando se expresa en unidades de J/K , que es igual a $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, donde el kilogramo, el metro y el segundo son definidos en términos de h , c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Magnitud de base: temperatura termodinámica (T)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL KELVIN		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Temperatura Celsius ($^{\circ}\text{C}$)	grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$)	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$
Conductividad térmica	vat por metro kelvin	$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$
Resistencia térmica superficial	metro cuadrado kelvin por vatio	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
Capacidad térmica	joule por kelvin	J/K



El kilogramo

El **kilogramo**, cuyo símbolo es **kg**, es la unidad de masa del SI. Se la define estableciendo el valor numérico fijo de la constante de Planck, h , igual a $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ cuando se expresa en unidades de $\text{J}\cdot\text{s}$, que es igual a $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$, donde el metro y el segundo son definidos en términos de c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Magnitud de base: masa (m)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL KILOGRAMO		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Peso	newton (N)	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
Presión	pascal (Pa)	N/m^2
Energía	joule (J)	$\text{N}\cdot\text{m}$
Potencia	vatio (W)	$\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}$

El metro

El **metro**, cuyo símbolo es **m**, es la unidad de longitud del SI. Se la define estableciendo el valor numérico fijo de la velocidad de la luz en el vacío, c , igual a $299\,792\,458$ cuando se expresa en unidades de m/s , donde el segundo es definido en términos de la frecuencia del cesio $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Magnitud de base: longitud (l , x , z , etc.)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL METRO		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Área superficial	metro cuadrado	m^2
Volumen	metro cúbico	m^3
Ángulo sólido	radián (rad)	m/m
Ángulo plano	radián (rad)	m/m

El segundo

El **segundo**, cuyo símbolo es **s**, es la unidad de tiempo del SI. Se la define estableciendo el valor numérico fijo de la frecuencia de cesio, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, la frecuencia de la transición entre niveles hiperfines del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133, igual a $9\,192\,631\,770$ cuando se expresa en unidades de Hz , que es igual a s^{-1} .

Magnitud de base: tiempo (t)

ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL SEGUNDO		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Frecuencia	hertz (Hz)	s^{-1}
Actividad de un radioisótopo	becquerel (Bq)	s^{-1}
Dosis equivalente	siemens (S)	m^2/s^2

El amperio

El **amperio**, cuyo símbolo es **A**, es la unidad de corriente eléctrica del SI. Se la define estableciendo el valor numérico fijo de la carga elemental e , igual a $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ cuando se expresa en unidades de C , donde el segundo es definido en términos de $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Magnitud de base: intensidad de corriente eléctrica (I)

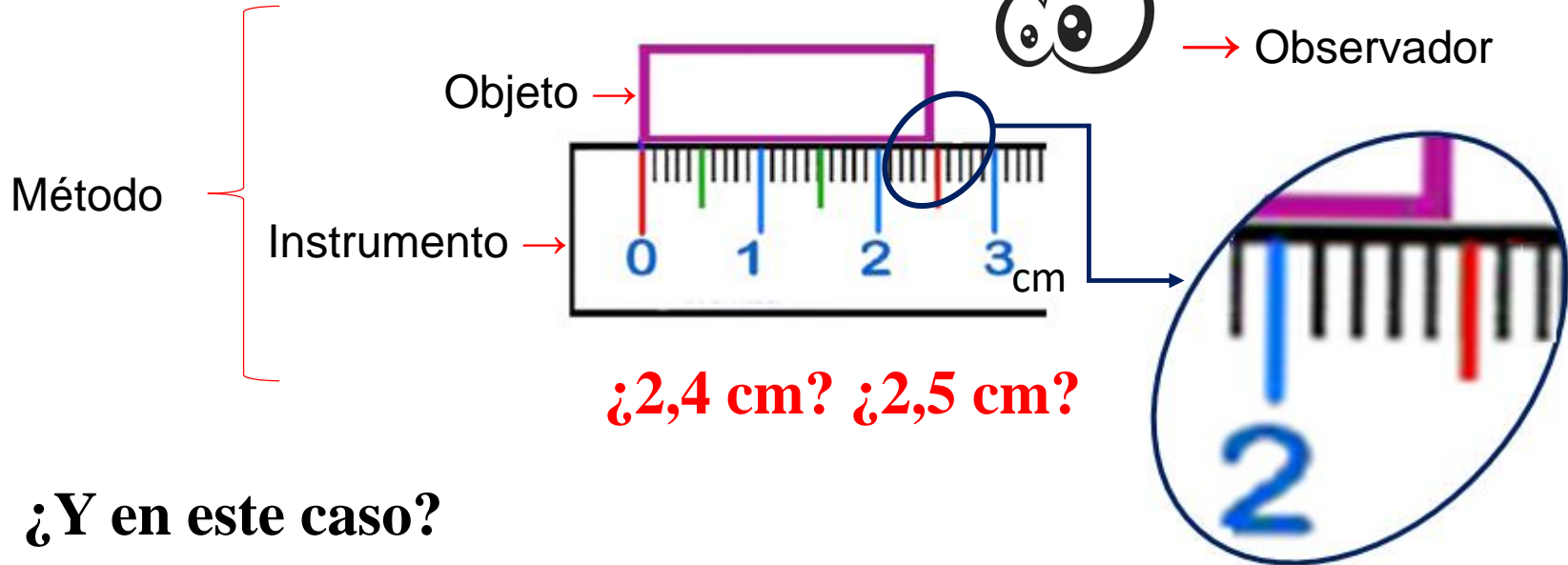
ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS DEL AMPERIO		
Magnitud	Unidad	Expresión en unidades de base
Carga eléctrica	coulomb (C)	$\text{A}\cdot\text{s}$
Tensión eléctrica	volt (V)	W/A
Resistencia eléctrica	ohm (Ω)	W/A^2
Capacidad eléctrica	farad (F)	C/V
Inductancia	henry (H)	Wb/A
Constante de flujo magnético	tesla (T)	Wb/m^2

PREFIJOS DEL SI			
Prefijo	Símbolo	Factor	Equivalencia decimal
yotta	Y	10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000
zetta	Z	10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000 000
exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000 000
peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000
tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000
giga	G	10^9	1 000 000 000
mega	M	10^6	1 000 000
kilo	k	10^3	1 000
hecto	h	10^2	100
deca	da	10^1	10
sin prefijo		1	1
deci	d	10^{-1}	0.1
centi	c	10^{-2}	0.01
mili	m	10^{-3}	0.001
micro	μ	10^{-6}	0.000 001
nano	n	10^{-9}	0.000 000 001
pico	p	10^{-12}	0.000 000 000 001
femto	f	10^{-15}	0.000 000 000 000 001
atto	a	10^{-18}	0.000 000 000 000 000 001
zepto	z	10^{-21}	0.000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	10^{-24}	0.000 000 000 000 000 000 000 001

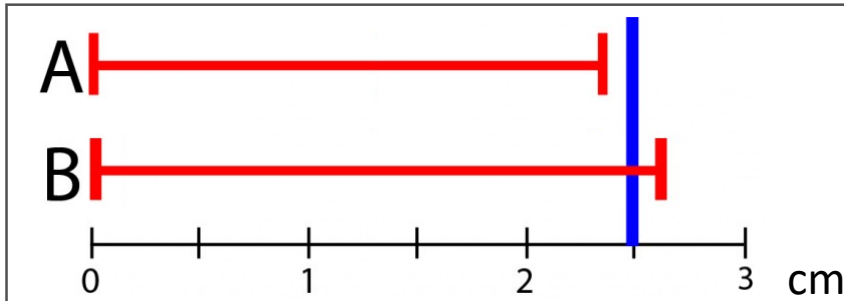
Vamos a medir!

- Objeto
- Observador
- Instrumento
- Método
- Unidades

¿Cuánto mide el largo del objeto?



¿Y en este caso?



El resultado de una medición depende de múltiples causas

Incertidumbre



¿Cómo expresamos el resultado de una medición?

El conjunto (**MF + Proceso de medición**) es lo que constituye una **Variable Aleatoria (VA)**.

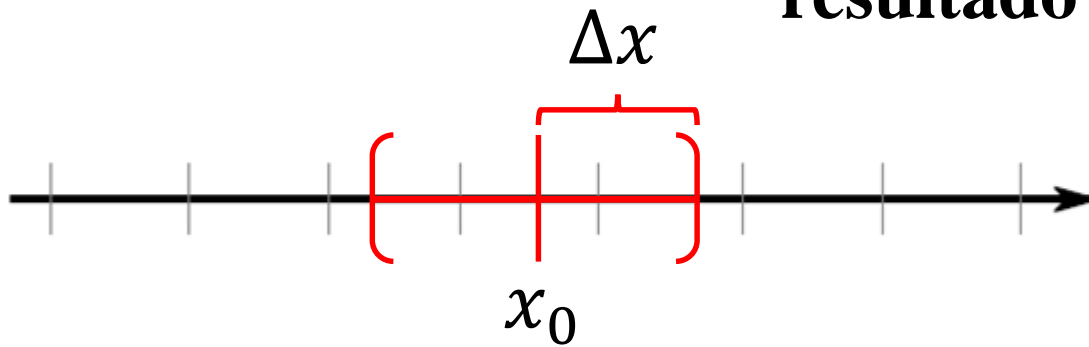
Se dice que cada vez que medimos una **MF** en condiciones controladas (experimento), estamos tomando una medición de esa **VA**.

La **Variable Aleatoria (VA)** estará conformada por el conjunto de mediciones. A partir de ellas buscamos encontrar el valor de **MF**.

La respuesta es que el **resultado de MF** se expresará como un **intervalo de confianza**



¿Cómo expresamos el resultado de una medición?



¿ x_0 ? ¿ Δx ?

Intervalo de Confianza

$$x_0 - \Delta x \leq x \leq x_0 + \Delta x$$

$$[x_0 - \Delta x, x_0 + \Delta x]$$

$x_0 \rightarrow$ Valor más representativo (\bar{x})

$\Delta x \rightarrow$ Incerteza Absoluta
Error Absoluto

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta x}{x_0} \rightarrow \text{Error Relativo}$$

$$\varepsilon_{r\%} = \varepsilon_r \times 100\% \rightarrow \text{Error Relativo porcentual}$$

RESULTADO

$$x = (x_0 \pm \Delta x) \text{ Ud.}$$

CLASES DE MEDICIONES

Directas

La medida deseada se obtiene de la lectura del instrumento

Ej.: tiempo utilizando un cronómetro.

Indirectas

La medida deseada se obtiene a partir de un proceso matemático sobre otras medidas

Ej.: superficie de un cuerpo a partir de la medida de sus lados.



MEDICIONES DIRECTAS

Directas

La medida deseada se obtiene de la lectura del instrumento

Ej.: tiempo utilizando un cronómetro.

Incertidumbres: Clasificación

Errores según su **ORÍGEN**

- *Introducidos por el instrumento
- *Error de interacción
- *Error por definición

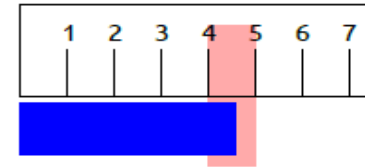
Errores según su **CARÁCTER**

- *Errores sistemáticos
- *Errores estadísticos
- *Errores ilegítimos o Espurios

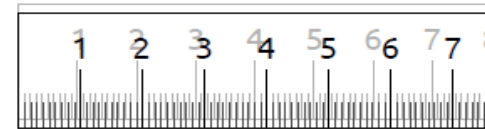
Errores según su ORÍGEN

I. Errores introducidos por el INSTRUMENTO

→ **Error de Apreciación (σ_{ap})**: mínima división que puede resolver el observador



→ **Error de Exactitud (σ_{ex})**: asociado con el error de calibración del instrumento

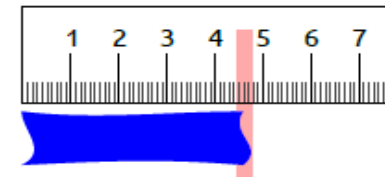


II. Error de interacción (σ_{int})

Proviene de la interacción del método con el objeto a medir

III. Error por definición (σ_{def})

Asociado con la falta de definición del objeto



Error NOMINAL (σ_N)

$$\sigma_N^2 = \sigma_{Ap}^2 + \sigma_{ex}^2 + \sigma_{int}^2 + \sigma_{def}^2$$

Errores según su CARÁCTER

Errores Sistemáticos

- ✓ Constante a lo largo de todo el proceso de medida
- ✓ Afecta a todas las medidas de un modo definido
- ✓ Aporta en un mismo sentido (mismo signo)

Ej.: error de calibrado del instrumentos; errores de paralaje o problemas visuales del observador; mala elección del método

Errores Estadísticos

Errores Estadísticos (σ_e) : errores aleatorios, producidos al azar.

- Intrínsecos (naturaleza)
- Desconocidos



Errores Ilegítimos o Espurios

Asociado con equivocaciones. Ej. anotar mal una medida, hacer mal un cálculo o pasaje de unidades, etc. Se corrigen.

Errores Sistemáticos – Errores Estadísticos

Errores sistemáticos

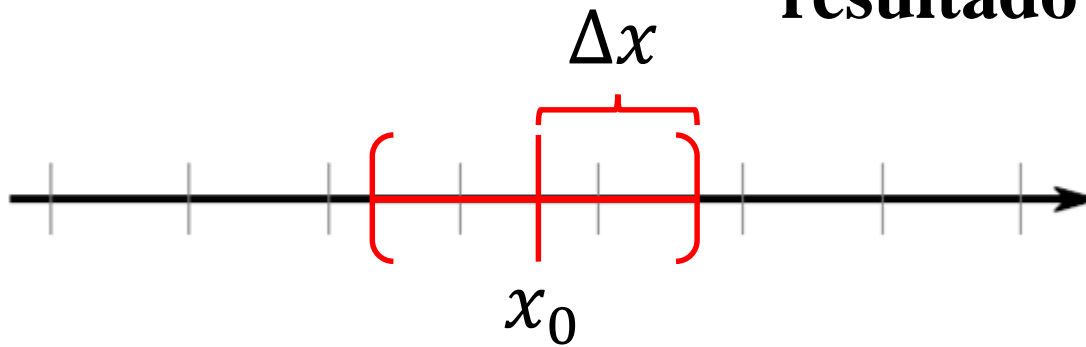
por el diseño del experimento
por problemas con los instrumentos que está utilizando
por sus propios sesgos

por variaciones impredecibles e incontrolables en el experimento
por incapacidad del experimentador para realizar la misma medición exactamente de la misma manera cada vez

Errores estadísticos



¿Cómo expresamos el resultado de una medición?



¿ x_0 ?

Intervalo de Confianza

$$x_0 - \Delta x \leq x \leq x_0 + \Delta x$$

$$[x_0 - \Delta x, x_0 + \Delta x]$$

$x_0 \rightarrow$ Valor más representativo (\bar{x})

$$\Delta x = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_e^2} \rightarrow \text{Incerteza Absoluta}$$

$$\sigma_N^2 = \sigma_{Ap}^2 + \sigma_{ex}^2 + \sigma_{int}^2 + \sigma_{def}^2$$

RESULTADO

$$x = (x_0 \pm \Delta x) \text{ Ud.}$$

¿ σ_e ?

Sólo si hay incertezas aleatorias



¿Cómo expresamos el Valor más representativo?

Si mido 1 vez



Es el valor leído x_0

Intervalo de Confianza

$$x_0 - \Delta x \leq x \leq x_0 + \Delta x$$

$$\Delta x = \sigma_N$$

RESULTADO

$$x = (x_0 \pm \Delta x) \text{ Ud.}$$

Si mido más de 1 vez



Es el valor
promedio \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{x}_i$$

Intervalo de Confianza

$$\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x$$

RESULTADO

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ Ud.}$$

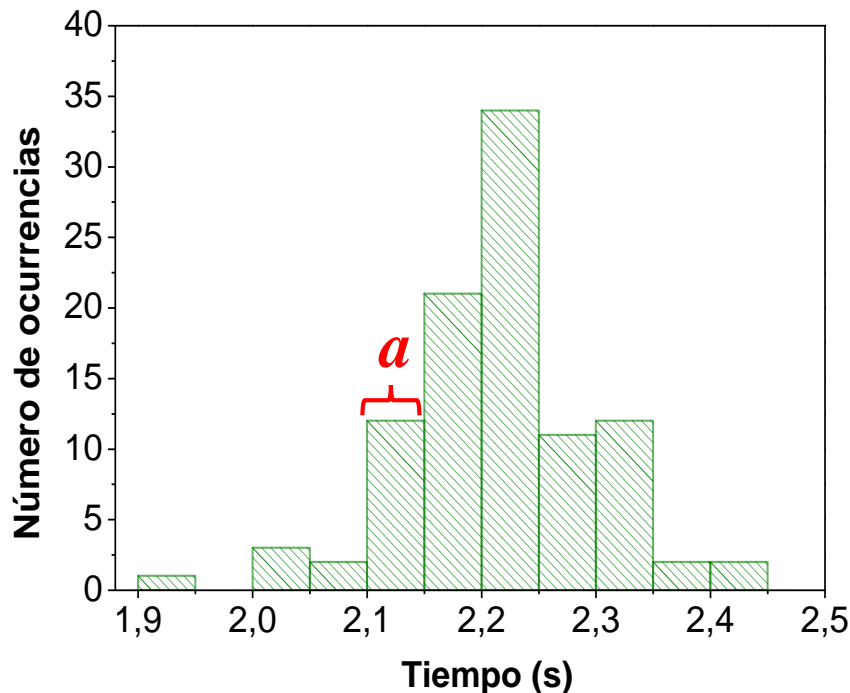
Distribución de datos

Tenemos $\{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N\}$

Supongamos que tomamos
 N mediciones de MF

¿Cómo se distribuyen los datos?

Histograma →



Representación gráfica en coordenadas cartesianas de la distribución de datos

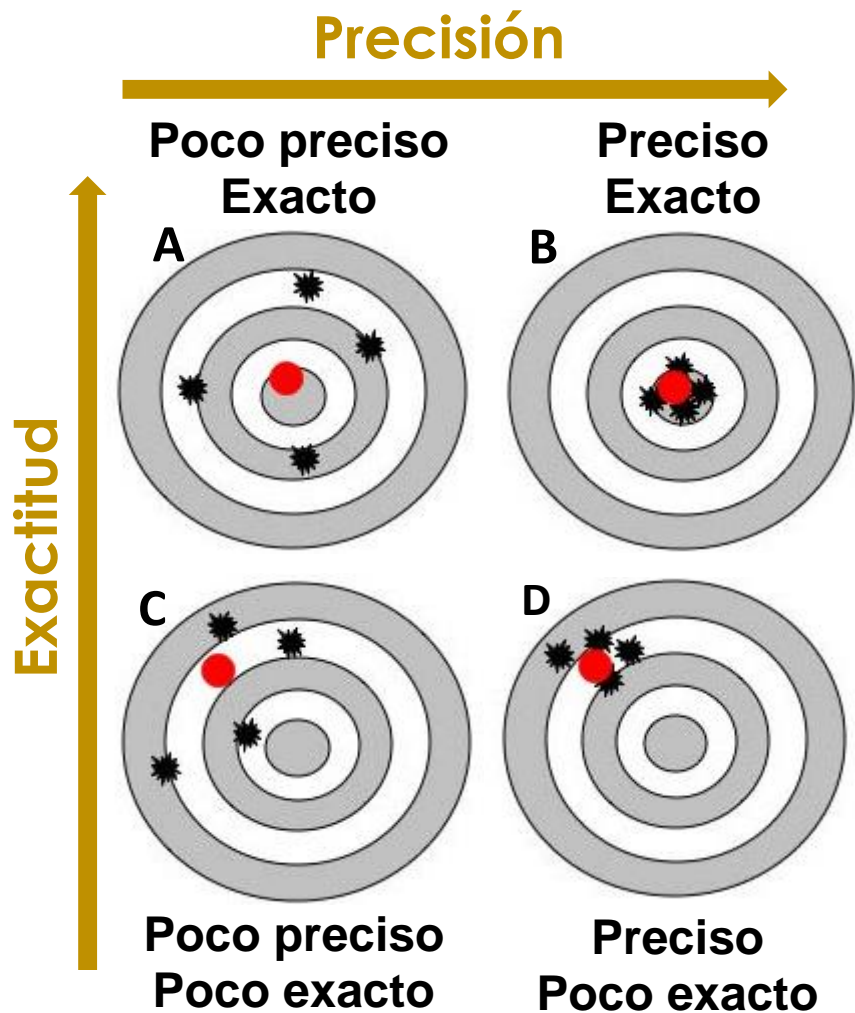
- Número total de datos: N
- Rango: $[x_{\min}, x_{\max}]$
- Intervalo de clase (bin size): a
- 1^{er} intervalo: $[x_{\min}, x_{\min+a})$
- Último intervalo: $[x_{\max-a}, x_{\max}]$

Regla de Sturges: Para estimar la cantidad (C) de intervalos de clases.

$$C = 1 + 3,322 \log N$$



Precisión y Exactitud



INSTRUMENTO


- **Precisión:** asociado con la mínima división que se puede resolver
- **Exactitud:** asociado con el error de calibración


MÉTODO o RESULTADO

- **Precisión:** asociado con el Error relativo (ε_r)
- **Exactitud:** asociado con la cercanía del valor más representativo medido al valor tabulado o valor “real”


Diferencias Significativas

MÉTODO GRÁFICO: Sirve para comparar más de 2 resultados al mismo tiempo

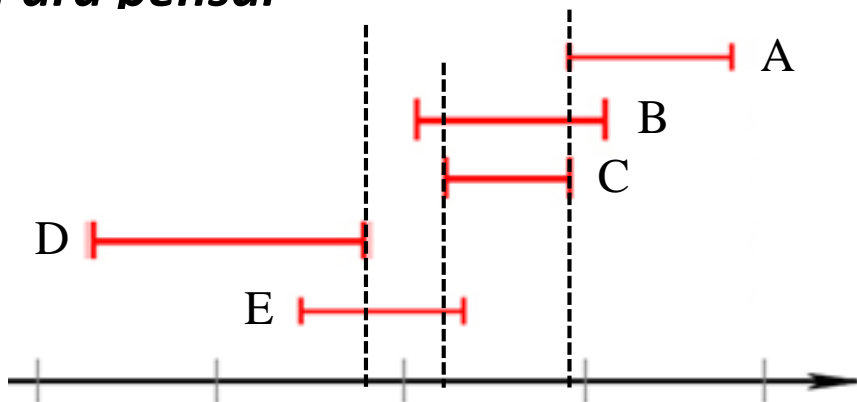
 $A = \bar{A} \pm \Delta A$

 $B = \bar{B} \pm \Delta B$

Si $A \cap B \neq \emptyset$  \Rightarrow A y B **NO PRESENTAN**
Diferencias Significativas

Si $A \cap B = \emptyset$  \Rightarrow A y B **PRESENTAN**
Diferencias Significativas

Para pensar



Comparando D con A, B y C: Presentan diferencias significativas, porque:

$$D \cap A = \emptyset, D \cap B = \emptyset \text{ y } D \cap C = \emptyset$$

¿Qué ocurre entre D y E?

¿Y entre A y B, A y C, y A y E?

¿Y entre B y C, y B y E?

Diferencias Significativas

MÉTODO CON FÓRMULA: Se puede usar de a pares de resultados

$$A = \bar{A} \pm \Delta A \quad B = \bar{B} \pm \Delta B$$

Si $|\bar{A} - \bar{B}| \leq \Delta A + \Delta B \Rightarrow$ A y B **NO PRESENTAN**
Diferencias Significativas

Para pensar

$$A = 2,278 \pm 0,023$$

$$B = 1,964 \pm 0,019$$

$$C = 2,11 \pm 0,34$$

Comparando A con B. Presentan diferencias significativas, porque:

$$|\bar{A} - \bar{B}| = 0,314 \quad \text{y} \quad \Delta A + \Delta B = 0,042$$

Como $0,314 > 0,042 \Rightarrow$ A y B presentan diferencias significativas

¿Qué ocurre entre B y C? ¿Y entre A y C?

Cifras Significativas

Para expresar un resultado se deben incluir sólo las cifras que tienen algún significado experimental → **Cifras Significativas en Δx**

4 Cifras Significativas

0,00003400

Los 0 sin un número distinto de cero delante no son significativos

Los 0 después de un número distinto de cero son significativos

Los números distintos de 0 son significativos

2 Cifras significativas: **0,000034**

1 Cifra significativa: **0,00003**

Número	Cifras Significativas
906	3
906,00	5
0,9060	4
0,90600	5
$4,5 \times 10^3$	2
$4,50 \times 10^3$	3

$$x_0 = 32,2408$$

$$\Delta x = 0,2319$$



2 Cifras significativas:

$$x_0 = 32,24$$

$$\Delta x = 0,23$$

$$x = 32,24 \pm 0,23$$



1 Cifra significativa:

$$x_0 = 32,2$$

$$\Delta x = 0,2$$

$$x = 32,2 \pm 0,2$$

Redondeo

Si el número que se suprime es **< 5** el número anterior **no cambia**



$$x_0 = 32,2408$$

$$\Delta x = 0,2319$$



$$x_0 = 32,24$$

$$\Delta x = 0,23$$

2 Cifras significativas

$$x = 32,24 \pm 0,23$$

Si el número que se suprime es **≥ 5** al número anterior **se le suma 1**



$$x_0 = 18,8561$$

$$\Delta x = 1,3802$$



$$x_0 = 18,9$$

$$\Delta x = 1,4$$

2 Cifras significativas

$$x = 18,9 \pm 1,4$$

x_0	Δx	$x_0 \pm \Delta x$
1,259	0,020381	1,260 \pm 0,020
0,26953	0,00538	0,2695 \pm 0,0054
199	1,259	199,0 \pm 1,3
199	12,59	199 \pm 13
199	125,9	199 \pm 130
29	0,2653	29,00 \pm 0,27
19625	221	19625 \pm 220



Ejemplos de reporte de Resultados con **2 Cifras significativas**

Ejercicio para fijar ideas!

Se determinó la constante gravitatoria (g) mediante 3 métodos distintos. Los resultados fueron:

$$1) g = (9,75 \pm 0,01)m/s^2 \quad 2) g = (9,807 \pm 0,191)m/s^2$$

$$3) g = (10,55 \pm 0,01)m/s^2$$

- a) Compare los resultados utilizando los criterios de precisión, exactitud y diferencias significativas (pruebe con los dos métodos).
- b) ¿Con cuántas cifras significativas está expresado cada uno de los resultados?
- c) Exprese los resultados con 2 cifras significativas.

MEDICIÓN DE LA LONGITUD DE DIFERENTES OBJETOS

¿Qué debemos tener en cuenta?

- El método que se utilizará, la importancia del operador, el instrumental, las características del objeto, etc.
- **Cómo reportar el resultado:** $x = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ Ud.}$
- Con qué clase de incertezas se cuenta para determinar Δx
- Utilizar el criterio de cifras significativas

A MEDIR!