

Física Experimental / Laboratorio I

Clase #1

Los objetivos de la materia:

- (para muchos) Primer experiencia en un laboratorio,
- Método para la realización de experimentos,
- Manejo de instrumental básico,
- Obtención de datos (*llevar cuaderno de laboratorio!*),
- **Identificación y evaluación de incertezas,**
- Sistematización de los datos y relación con leyes físicas (*“Occam’s razor”*),
- Conceptos simples de mecánica, termodinámica, óptica...,
- + redacción de informes, presentación en formato de poster y charla.

Bibliografía

Y. Beers, “Introducción a la teoría de errores”

F. Cernuschi, “Teoría de errores de mediciones”

J. Roederer, “Mecánica Elemental”

J. Taylor, “An Introduction to error analysis”

... cualquiera

Errores experimentales = incertezas

Toda medición tiene incertezas, es algo **inevitable**:

mejorando la técnica podemos disminuirlas, pero **no** eliminarlas

Incertezas estadísticas, o al azar:

- fluctuaciones de las condiciones (tensión, temperatura, presión, etc...)
- fluctuaciones “fundamentales” (cuántica)
- del observador o del instrumento
- por no estar correctamente definido lo que se quiere medir

Errores experimentales = incertezas

Toda medición tiene incertezas, es algo **inevitable**:

mejorando la técnica podemos disminuirlas, pero **no** eliminarlas

Incertezas estadísticas, o al azar:

- fluctuaciones de las condiciones (tensión, temperatura, presión, etc...)
- fluctuaciones “fundamentales” (cuántica)
- del observador o del instrumento
- por no estar correctamente definido lo que se quiere medir

Errores sistemáticos:

- de calibración de los instrumentos
- condiciones diferentes a las de calibración
- suposiciones incorrectas en el método
- del observador o del set-up experimental

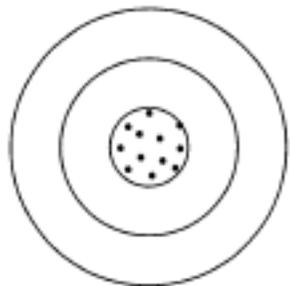
Errores del instrumento:

- especificado por fabricante

Finalmente lo que importa es preguntarse para qué?, y ser razonables

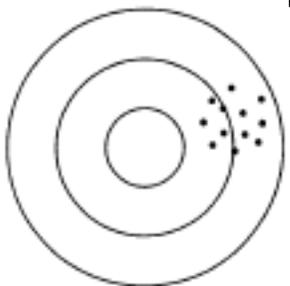
Incertezas aleatorias vs sistemáticas: precisión y exactitud

PRECISIÓN



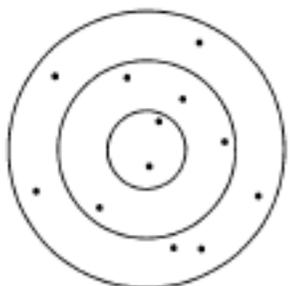
Aleatorio: chico
Sistemático: chico

(a)



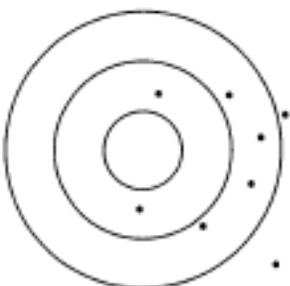
Aleatorio: chico
Sistemático: grande

(b)



Aleatorio: grande
Sistemático: chico

(c)



Aleatorio: grande
Sistemático: grande

(d)

EXACTITUD



Incertezas aleatorias vs sistemáticas: cómo es en la realidad



Aleatorio: chico
Sistemático: chico

(a)



Aleatorio: chico
Sistemático: grande

(b)



Aleatorio: grande
Sistemático: chico

(c)

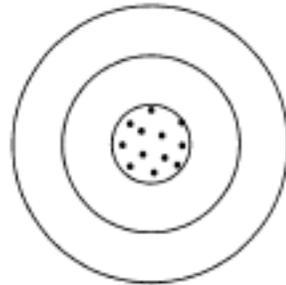


Aleatorio: grande
Sistemático: grande

(d)

Incertezas aleatorias vs sistemáticas: salvo al comparar con algo conocido

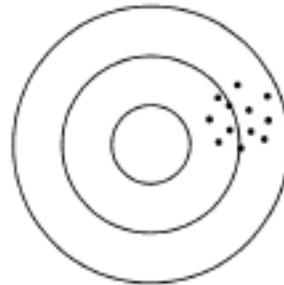
OK!!



Aleatorio: chico
Sistemático: chico

(a)

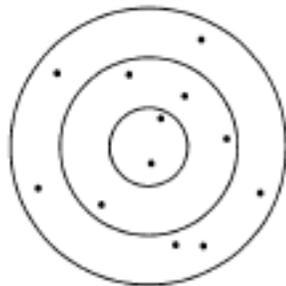
Problema?



Aleatorio: chico
Sistemático: grande

(b)

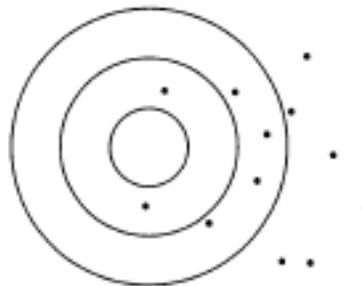
OK



Aleatorio: grande
Sistemático: chico

(c)

Incierto...

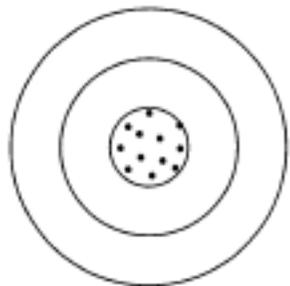


Aleatorio: grande
Sistemático: grande

(d)

Uncertainties random vs systematic: or when calibrating an instrument

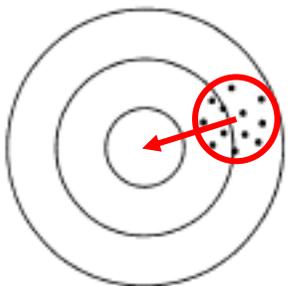
Calibrado



Aleatorio: chico
Sistemático: chico

(a)

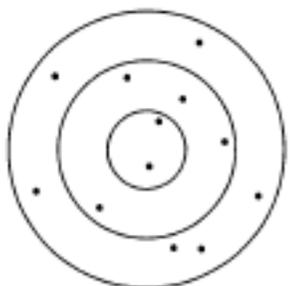
Calibrable



Aleatorio: chico
Sistemático: grande

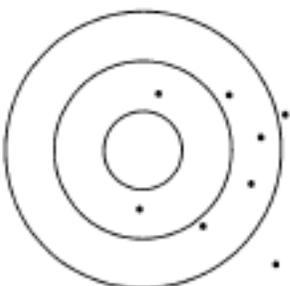
(b)

Calibrado...pero... Calibrable...pero...



Aleatorio: grande
Sistemático: chico

(c)



Aleatorio: grande
Sistemático: grande

(d)

El riesgo de los errores sistemáticos: el accidente de la silla “triple”



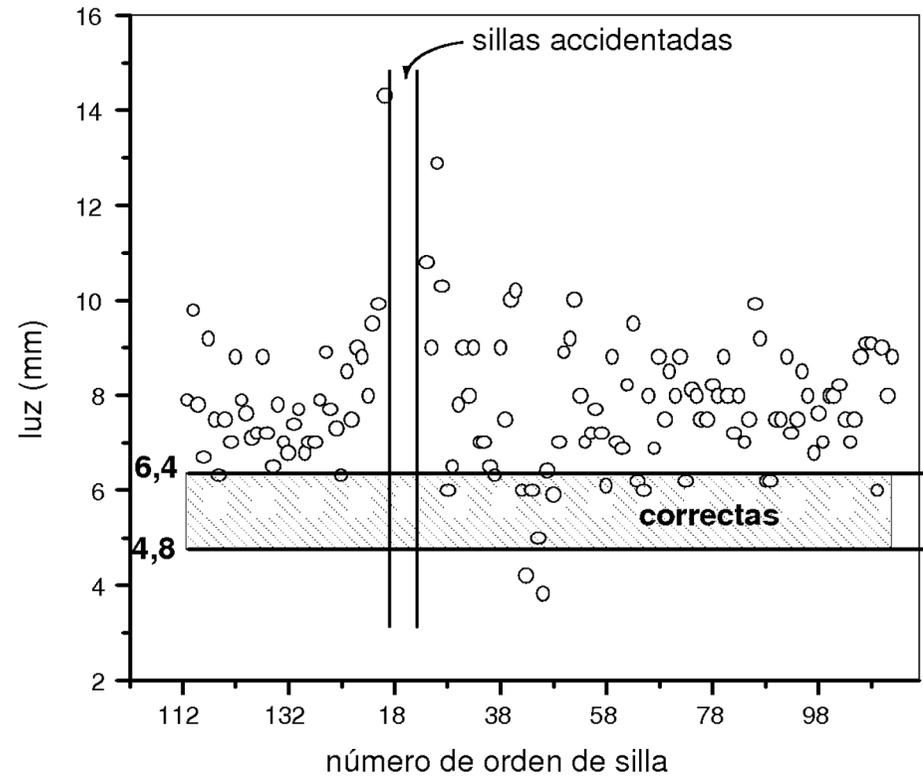
Físicos forenses: Ernesto y Willy



El riesgo de los errores sistemáticos: el accidente de la silla “triple”



Físicos forenses: Ernesto y Willy

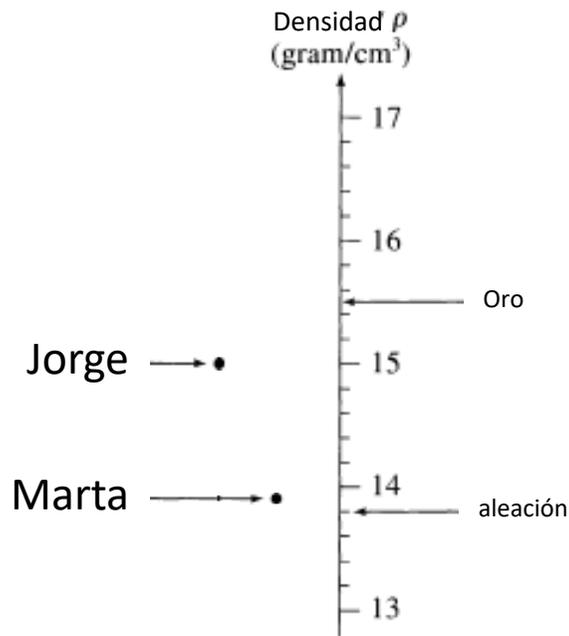


Porqué es importante establecer las incertezas?:



$$\rho_{\text{Oro}} = 15.5 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_{\text{aleación}} = 13.8 \text{ gram/cm}^3.$$



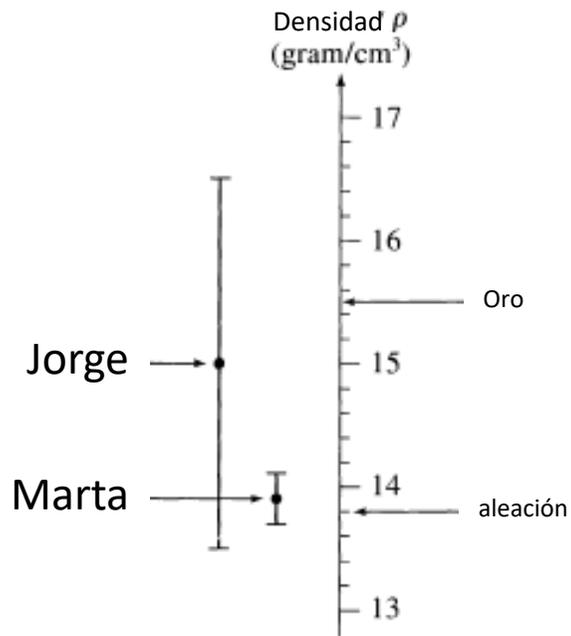
Siempre HAY que comparar con algo!

Porqué es importante establecer las incertezas?



$$\rho_{\text{Oro}} = 15.5 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_{\text{aleación}} = 13.8 \text{ gram/cm}^3$$



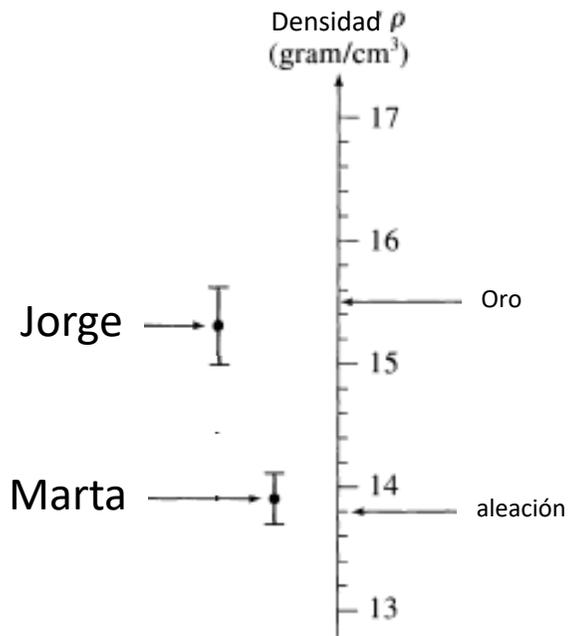
Siempre HAY que comparar con algo!

Porqué es importante establecer las incertezas?



$$\rho_{\text{Oro}} = 15.5 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_{\text{aleación}} = 13.8 \text{ gram/cm}^3.$$



Siempre HAY que comparar con algo!

Porqué es importante establecer las incertezas?: el eclipse de 1919



THE 1919 ECLIPSE RESULTS THAT VERIFIED GENERAL RELATIVITY AND THEIR LATER DETRACTORS: A STORY RE-TOLD

by

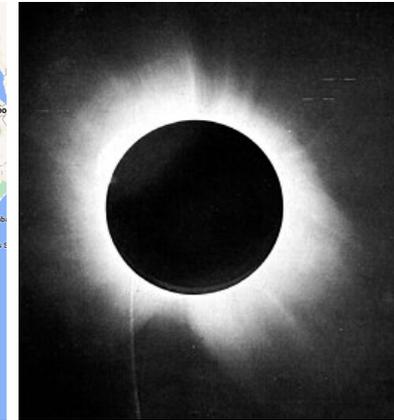
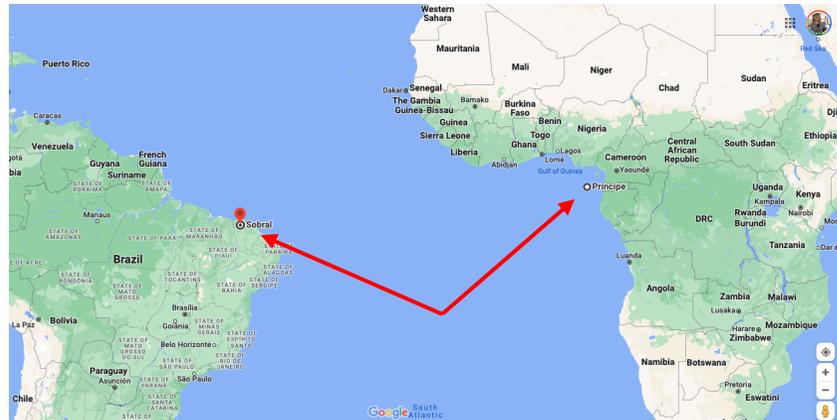
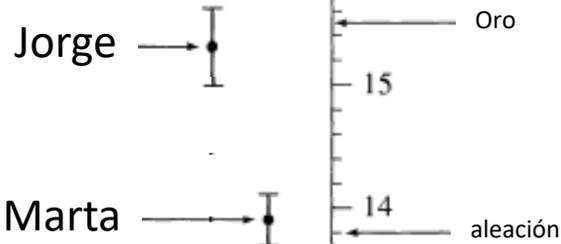
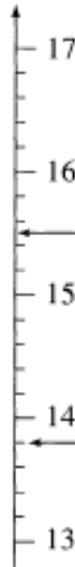
GERARD GILMORE FRS and GUDRUN TAUSCH-PEBODY*

Institute of Astronomy, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, UK

$$\rho_{\text{Oro}} = 15.5 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_{\text{aleación}} = 13.8 \text{ gram/cm}^3$$

Densidad ρ
(gram/cm³)



- Teoría General de la Relatividad: 1.75 arcsec
- Teoría “Newtoniana”: 0.87 arcsec
- Luz no interactúa con las masas: 0 arcsec

Siempre HAY que comparar con algo!

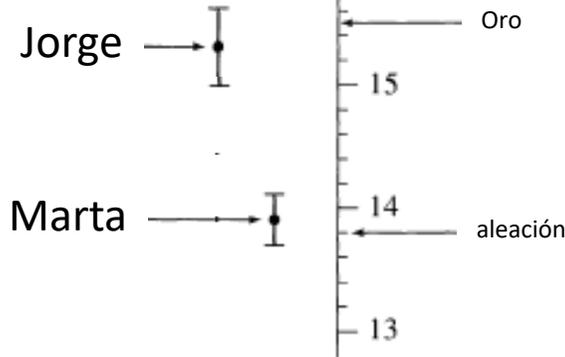
Porqué es importante establecer las incertezas?: el eclipse de 1919



$$\rho_{\text{Oro}} = 15.5 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_{\text{aleación}} = 13.8 \text{ gram/cm}^3$$

Densidad ρ
(gram/cm³)

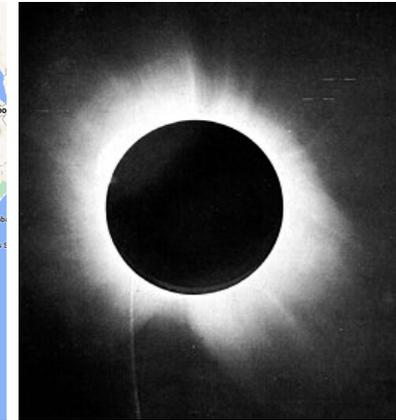
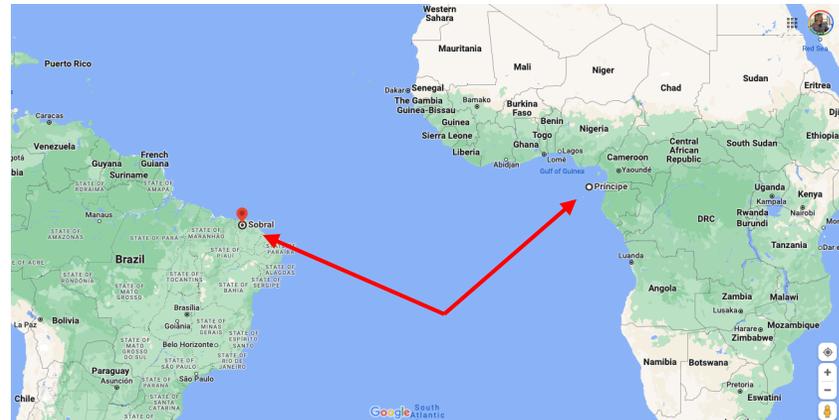


THE 1919 ECLIPSE RESULTS THAT VERIFIED GENERAL RELATIVITY AND THEIR LATER DETRACTORS: A STORY RE-TOLD

by

GERARD GILMORE FRS and GUDRUN TAUSCH-PEBODY*

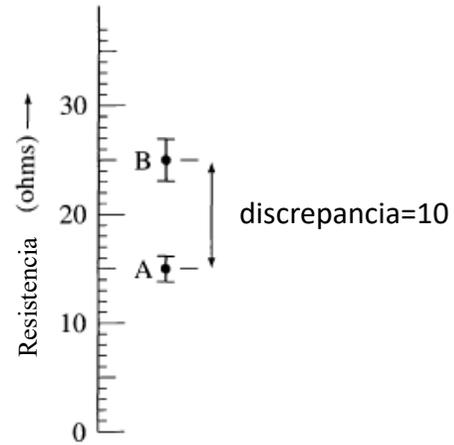
Institute of Astronomy, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, UK



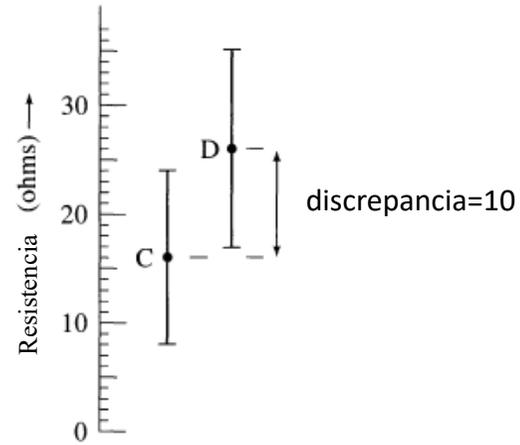
- Teoría General de la Relatividad: 1.75 arcsec
- Teoría “Newtoniana”: 0.87 arcsec
- Luz no interactúa con las masas: 0 arcsec

- Eddington en Principe: 1.61 +/- 0.45 arcsec
- Sobral 1: 1.98 +/- 0.18 arcsec
- Sobral 2: 0.93 +/- ? arcsec

Discrepancias: entre valores medidos

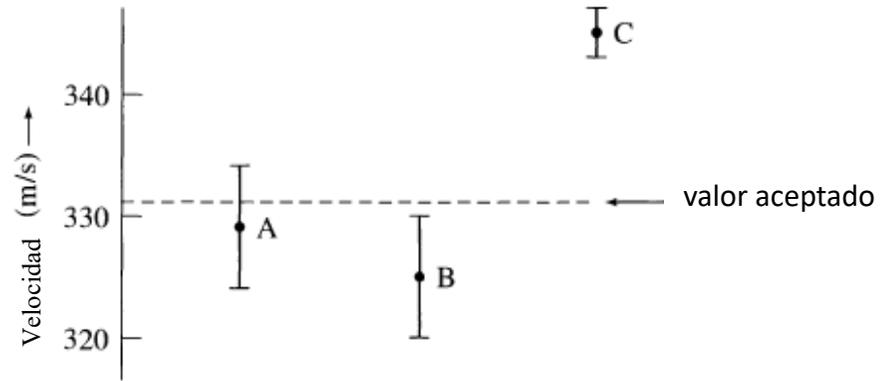


Inconsistentes

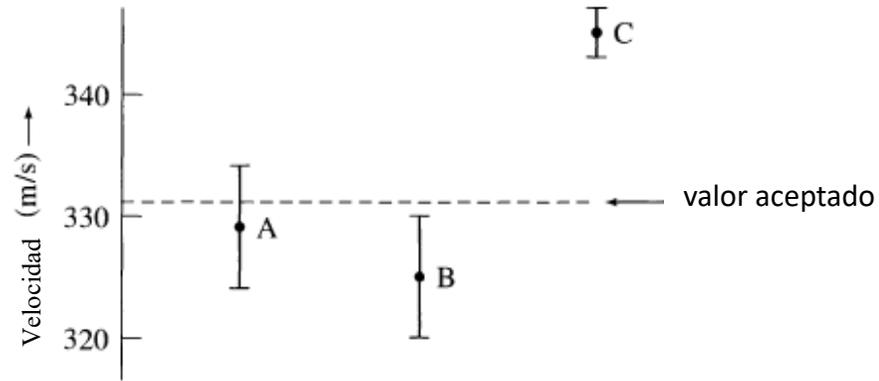


Consistentes

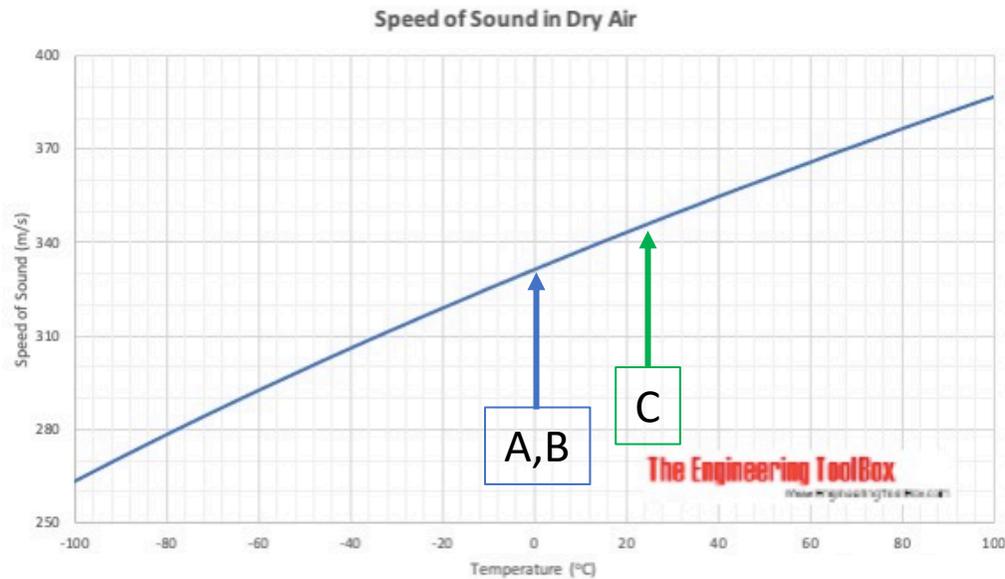
Discrepancias: con valores aceptados o “constantes”



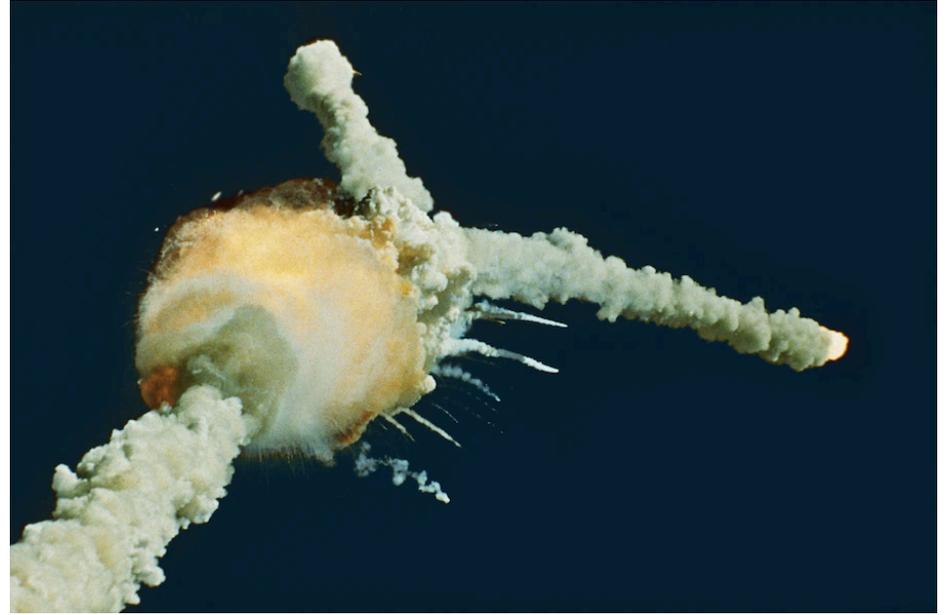
Discrepancias: con valores aceptados o “constantes”



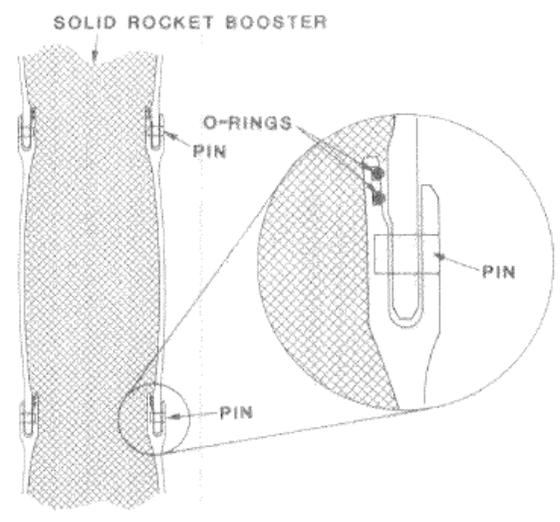
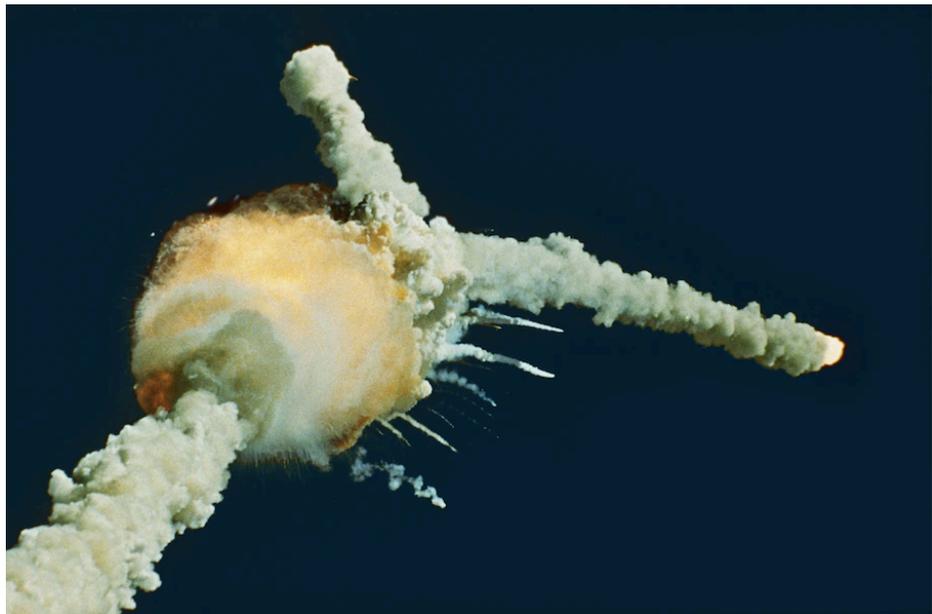
Pero estos pueden no estar unívocamente definidos!



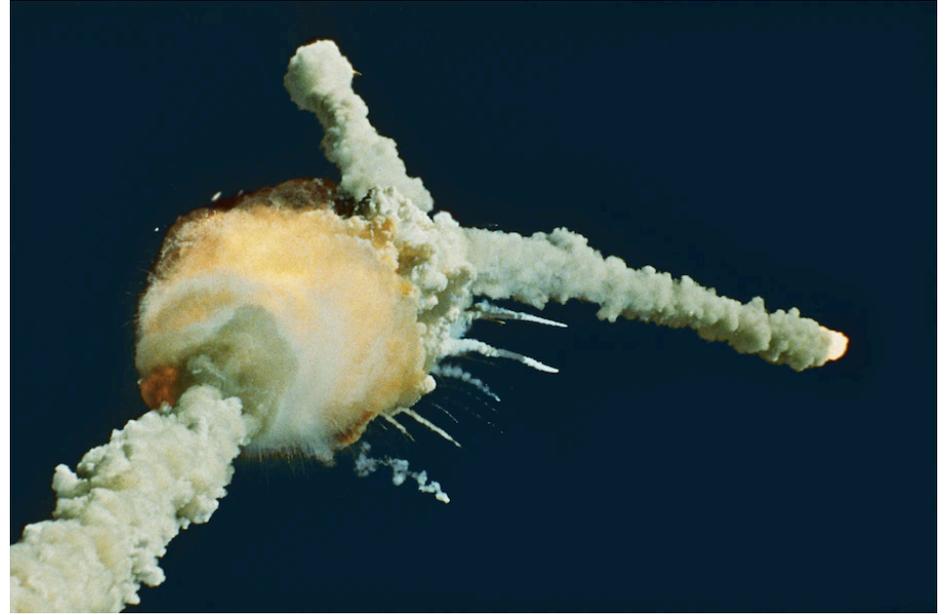
Feynman en la Comisión Rogers: reporte del desastre del Challenger (1986)



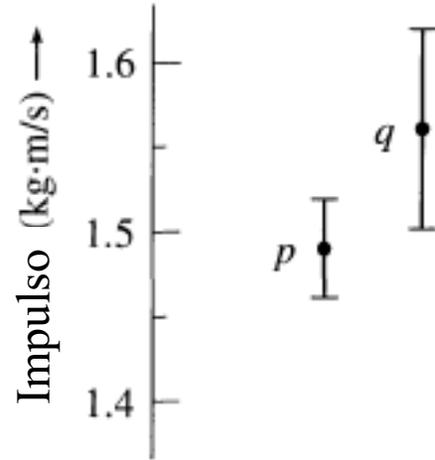
Feynman en la Comisión Rogers: reporte del desastre del Challenger (1986)



Feynman en la Comisión Rogers: reporte del desastre del Challenger (1986)

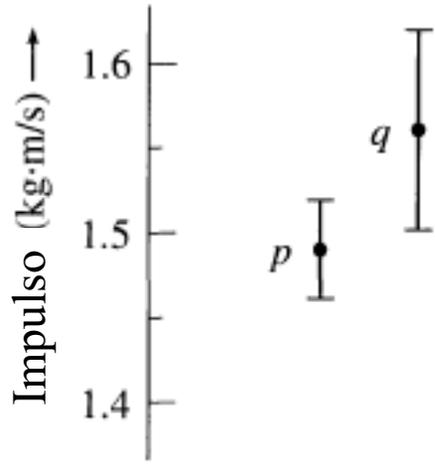


Discrepancias: entre cantidades que pueden ser “variables”

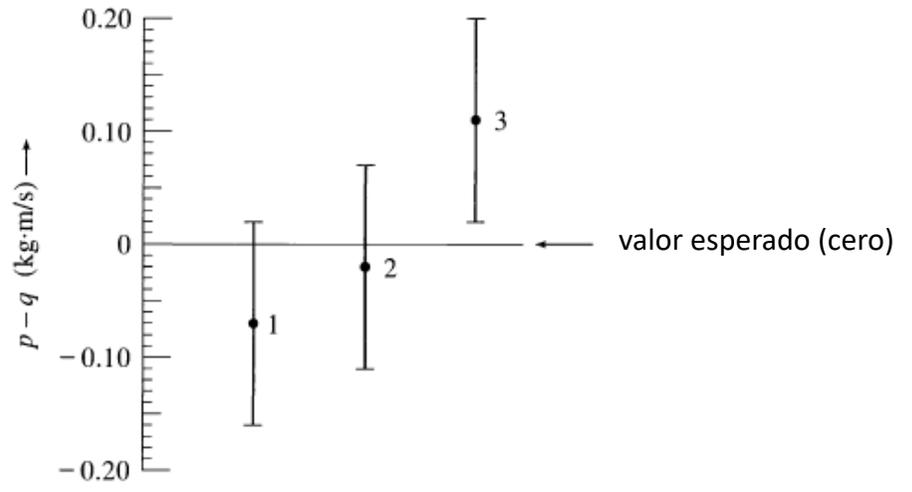


Impulso antes (p) y después (q) de una colisión

Discrepancias: entre cantidades que pueden ser “variables”



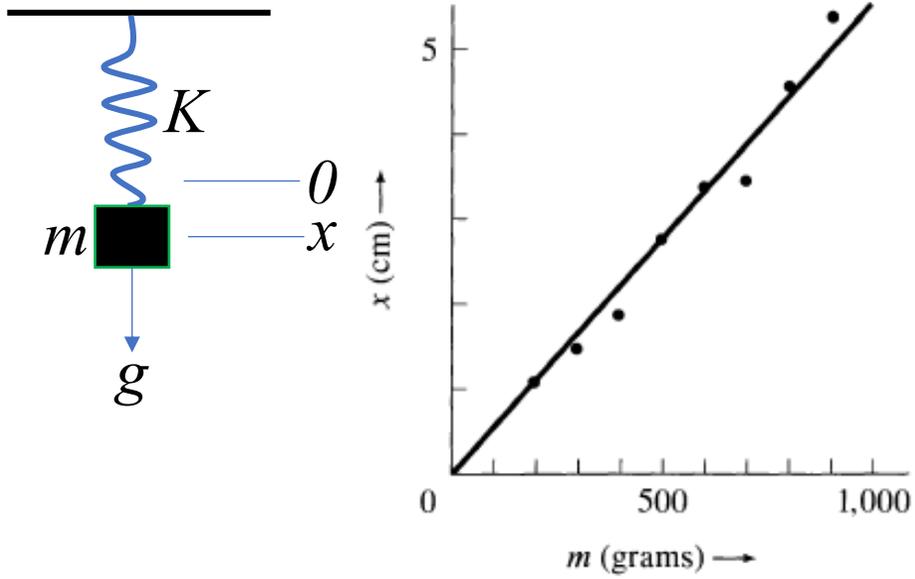
Impulso antes (p) y después (q) de una colisión



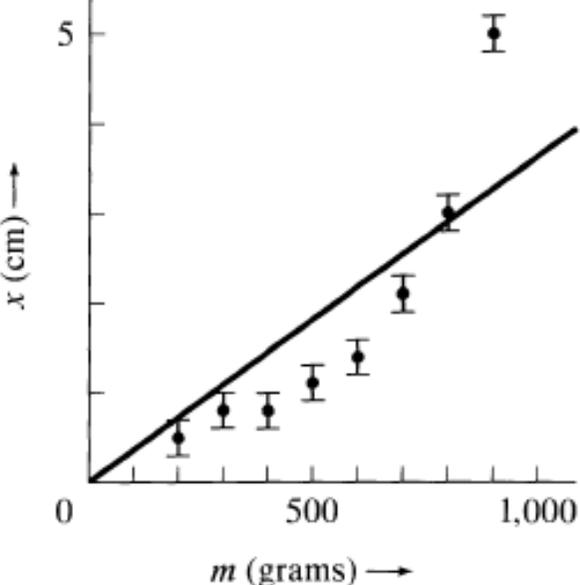
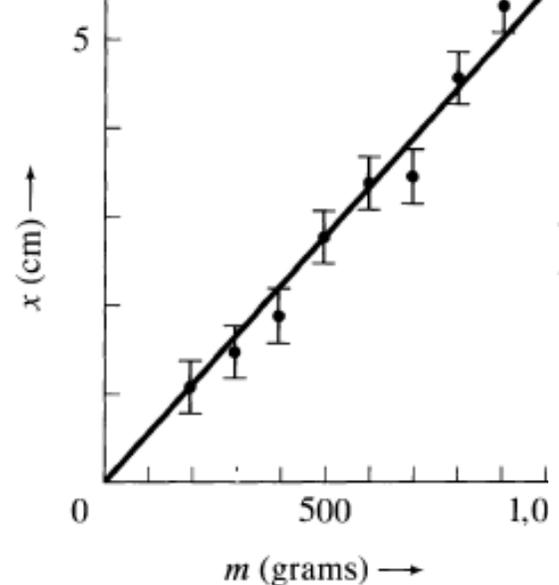
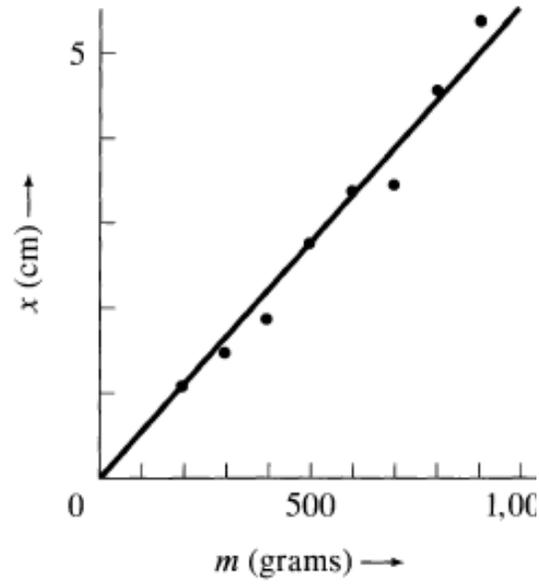
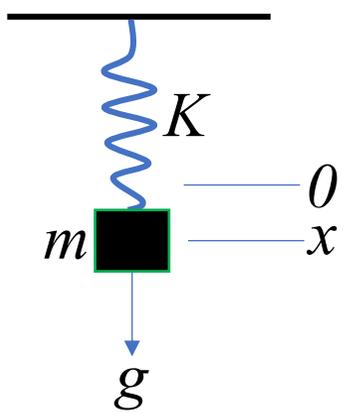
O mejor su diferencia $p - q$

Pero cómo “propagar” errores?: conozco los errores de p y q , pero cuál es el de $p - q$?

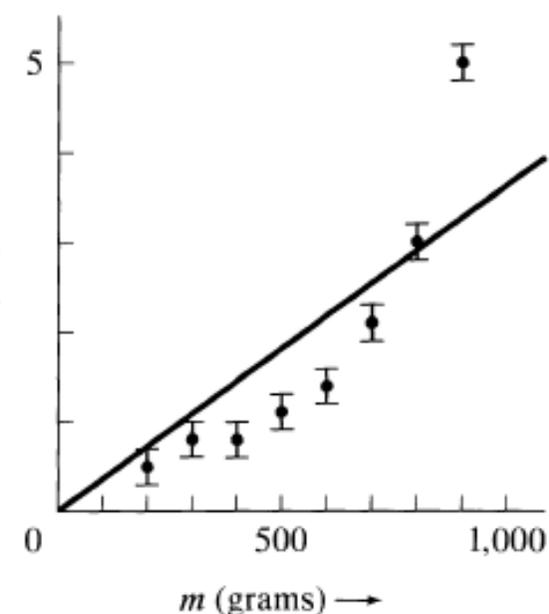
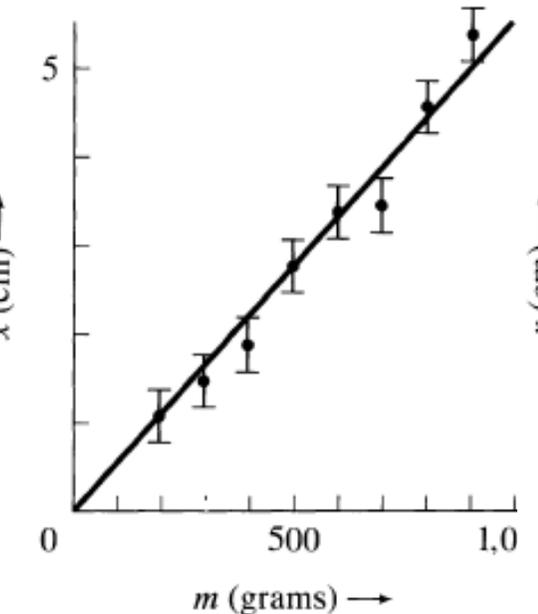
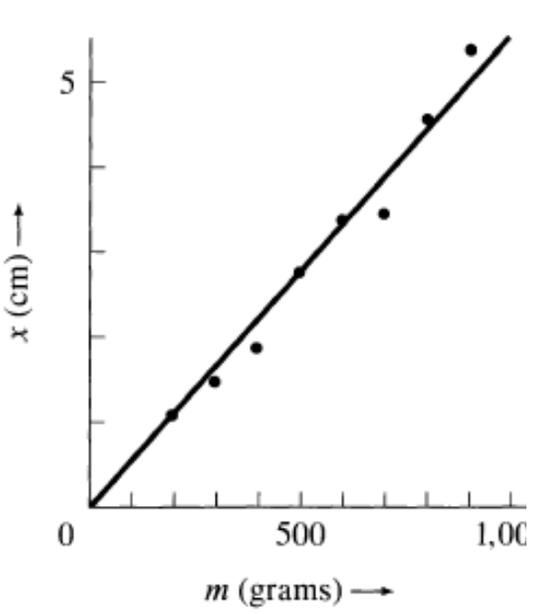
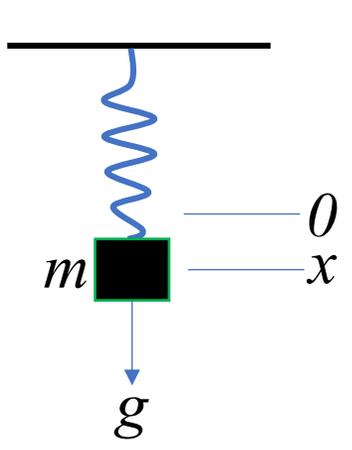
Discrepancias: comparando relaciones con gráficos



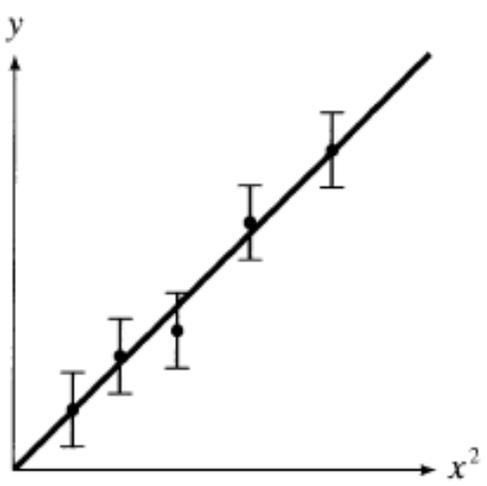
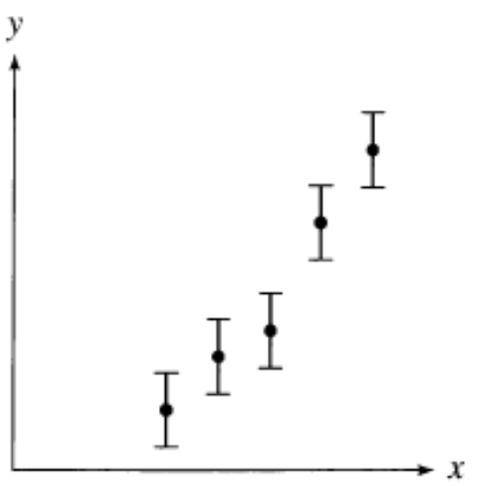
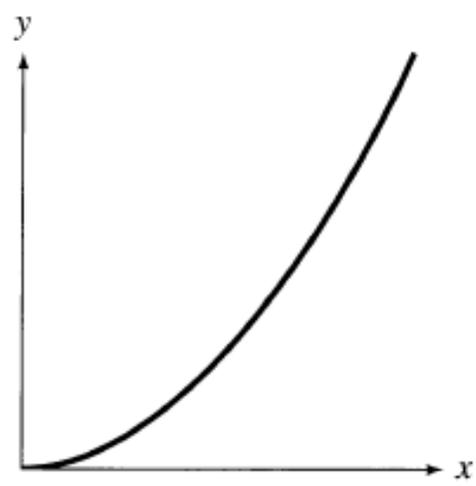
Discrepancias: comparando relaciones con gráficos



Discrepancias: comparando relaciones con gráficos



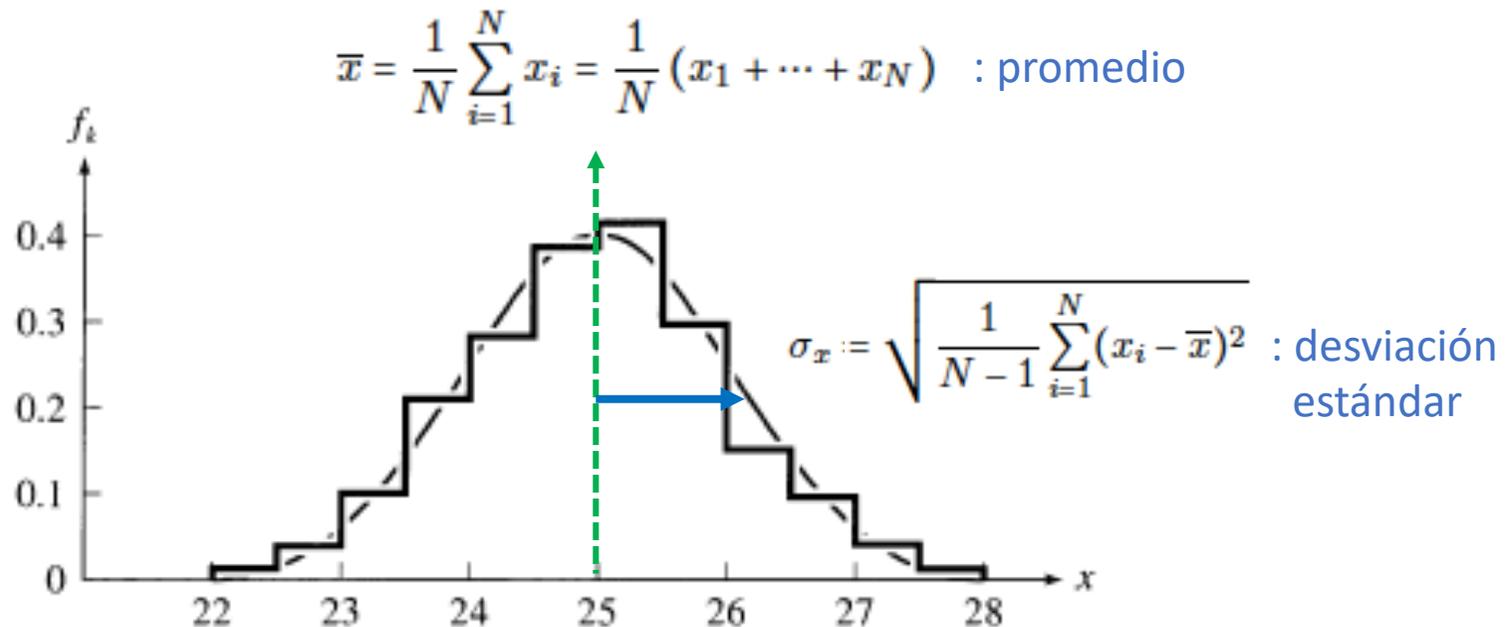
Y si el comportamiento esperable no es lineal?... Si es posible, linealizar ($y=x^n$, $y=e^x$):



Cómo se muestran los datos en mediciones repetidas?

Si son muchos datos: histogramas

Dado un conjunto de mediciones x_1, \dots, x_N de la *misma* cantidad física:



Cómo expresamos los valores medidos y sus incertezas?

En general reportaremos: $x_{\text{exp}} = (x_{\text{mejor}} \pm \delta x)[\text{unidades}]$

Pero hay otras alternativas

Indicando el error relativo: $\frac{\delta x}{|x|} = 0.2$ “error relativo del 20%”

Indicando la incerteza en ultimas cifras: $g_e = -2.002\,319\,304\,361\,18(27)$

Cómo expresamos los valores medidos y sus incertezas?

En general reportaremos:

$$x_{\text{exp}} = (x_{\text{mejor}} \pm \delta x) [\text{unidades}]$$

Pero hay otras alternativas

Indicando el error relativo:

$$\frac{\delta x}{|x|} = 0.2$$

“error relativo del 20%”

Indicando la incerteza en ultimas cifras:

$$g_e = -2.002\,319\,304\,361\,18(27)$$

Cifras significativas

Típicamente:

- 1- UNA para las incertezas, redondeando al valor inmediato **superior**, salvo que i) esté muy bien justificado poner dos cifras, o ii) la primer cifra sea un 1, y las siguientes un 1 o 2, 1.1 o 1.2 (1.3 pasa a 2)
- 2- Para el valor reportado, redondear al más cercano la cifra del mismo orden de magnitud que la incerteza
- 3- Cuando se deben hacer cálculos intermedios para llegar al valor reportado y a la incerteza, usar mayor cantidad de cifras y redondear al final para reportar

Ejemplos

$(92.8 \pm 0.3) \text{ m}$

$(93 \pm 3) \text{ m}$

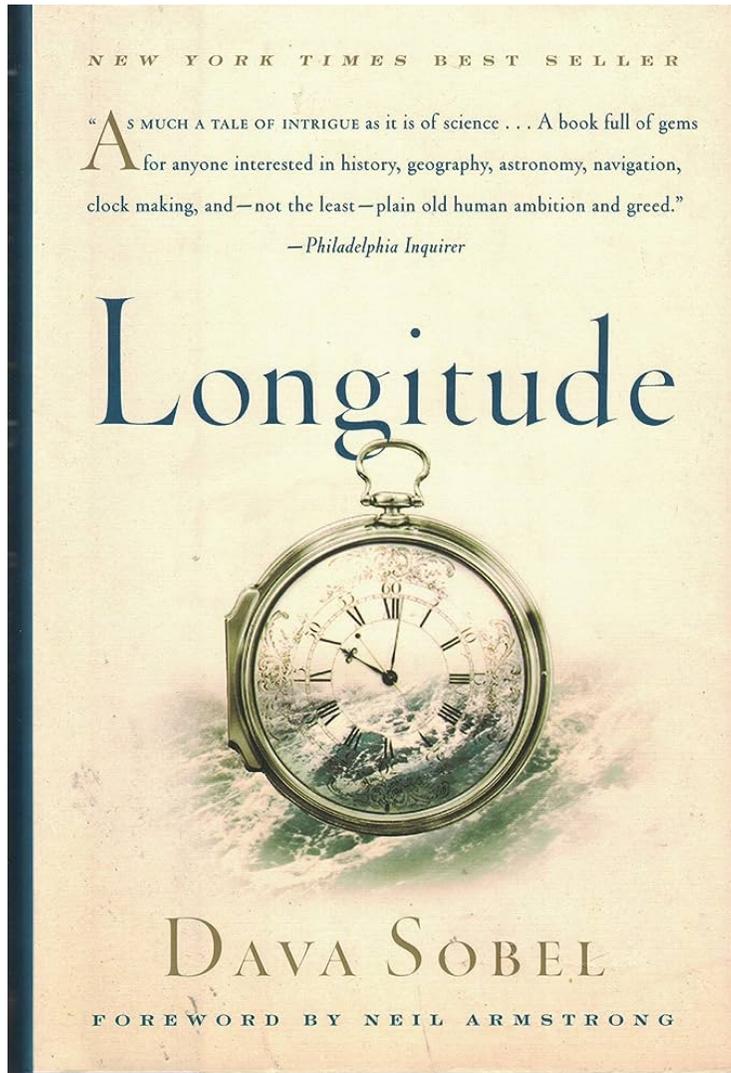
$(90 \pm 30) \text{ m}$

$(100 \pm 300) \text{ m}$

x medido	δx	x reportado
9.82154	0.02385	9.82 ± 0.03
6054.78	28.91	6050 ± 30 $(6.05 \pm 0.03) \times 10^3$
1.61218×10^{-19}	4.89×10^{-21}	$(1.61 \pm 0.05) \times 10^{-19}$
4.19834	0.1193	4.20 ± 0.12
4.19123	0.1193	4.19 ± 0.12

The Board of Longitude - 1714

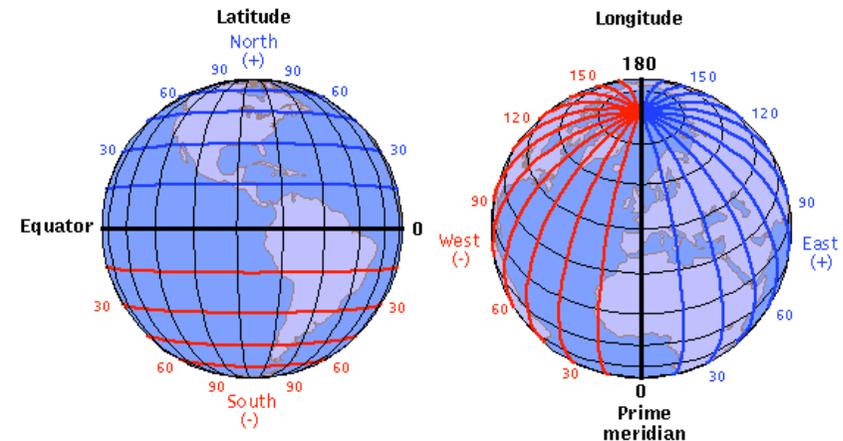
"The Discovery of the Longitude is of such Consequence to Great Britain for the safety of the Navy and Merchant Ships as well as for the improvement of Trade that for want thereof many Ships have been retarded in their voyages, and many lost..." and announced the [Longitude Prize](#) "for such person or persons as shall discover the Longitude."



Sir Cloudesley Shovell (1650–1707)

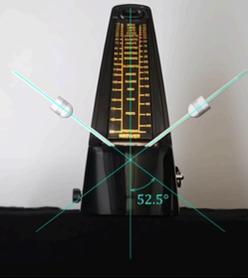


22 October 1707. Between 1,400 and 2,000 sailors lost their lives aboard the wrecked vessels,



Resolución necesaria: 2' en 40 días (~3" x día)

El "enigma" de Beethoven



Beethovens Werke. **DRITTE SYMPHONIE** (EROICA) von **L. VAN BEETHOVEN** **Allegro con brio.** $\text{♩} = 60$

Conductor	Tempo (bpm)
ROGER NORRINGTON	55 bpm
FRANS BRÜGGEN	51 bpm
DANIEL BARENBOIM	49 bpm

0:55 / 16:11

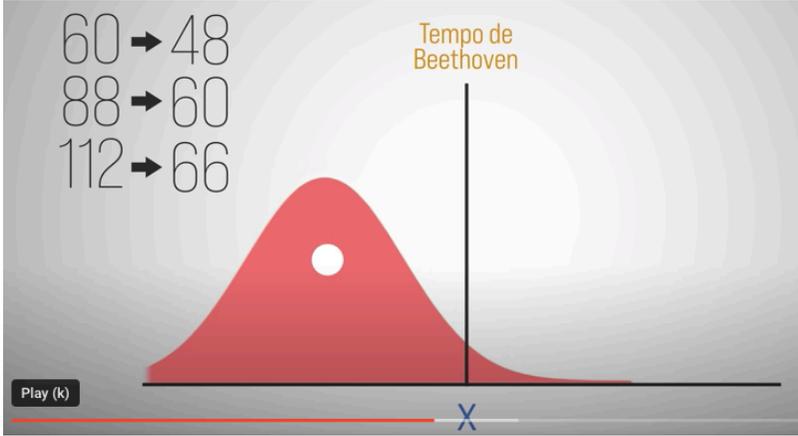
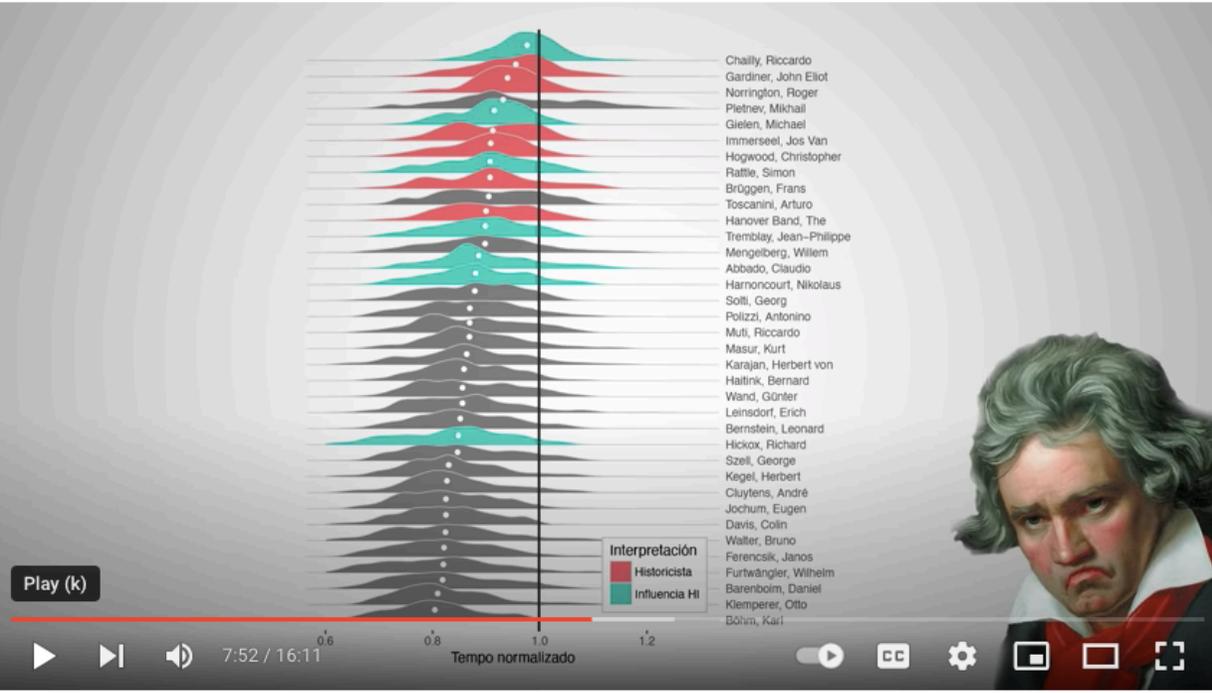
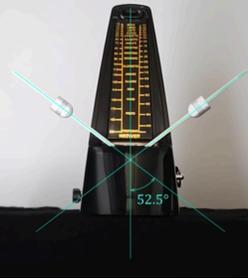
el ENIGMA del metrónomo de Beethoven... resuelto??

Jaime Altozano ✓
3.34M subscribers **Subscribe**

153K Share Download

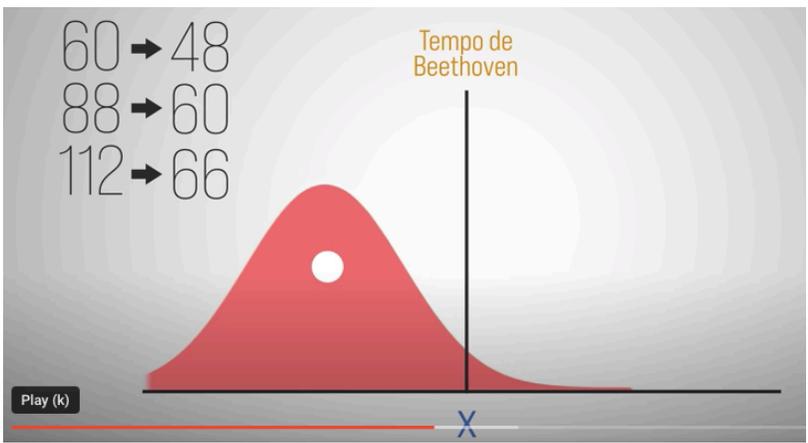
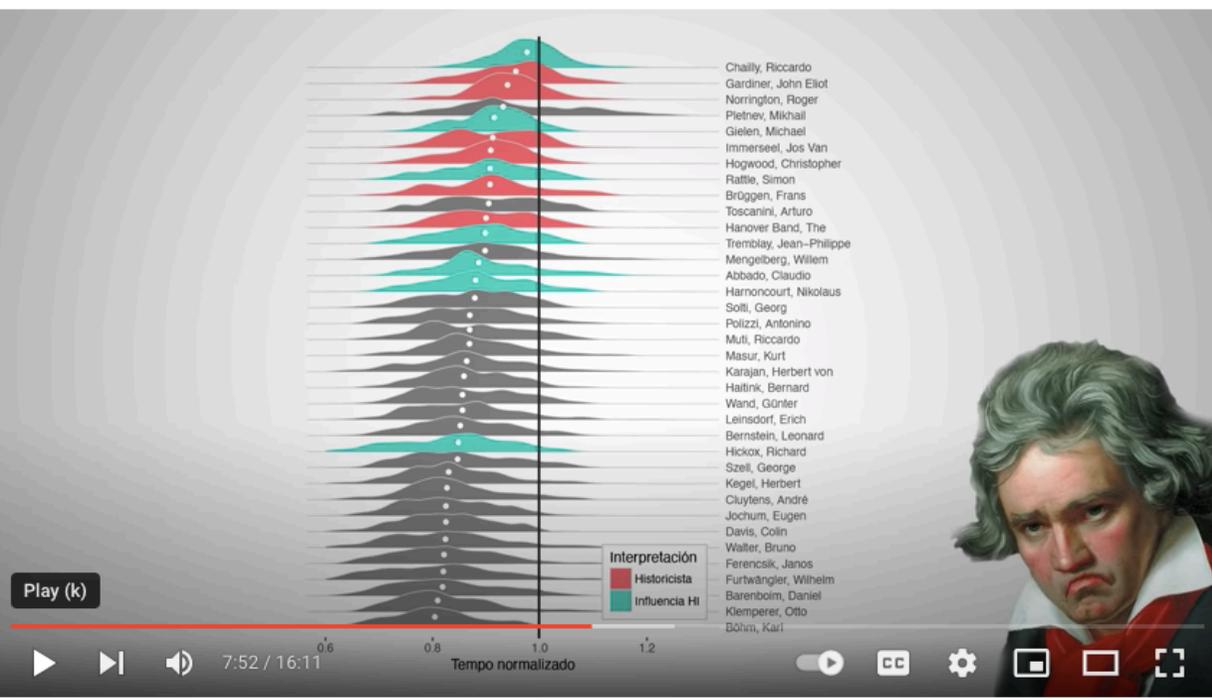
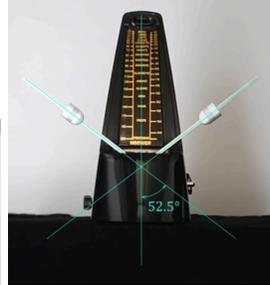
<https://www.youtube.com/watch?v=FE8HQfqWTTg>

El "enigma" de Beethoven



Diferencia "sistemática"!

El "enigma" de Beethoven



Diferencia "sistemática"!

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Conductors' tempo choices shed light over Beethoven's metronome

Almudena Martin-Castro^{1*}, Iñaki Ucar^{2**} Published: December 16, 2020

<https://francis.naukas.com/2021/01/01/la-solucion-al-misterio-del-metronomo-de-beethoven/>

<https://www.youtube.com/watch?v=FE8HQfqWTTg>