CTE II: Errores, Propagación de Errores y Gráficos log-log, semi-log

Cecilia Mateu

Instituto de Física, Facultad de Ciencias
Universidad de la República

Bibliografía

- Errores:
  - Cap 1: Guía de Laboratorio de Física I - Universidad Simón Bolívar
- Gráficos:
  - Cap 4: Guía de Laboratorio de Física I - Universidad Simón Bolívar

Clase de hoy

- Promedio y desviación estándar
- Error de la Media
- Gaussiana: 1-sigma -> 68.3% de probabilidad
- Exactitud y Precisión
- **Propagación de errores**
- Cifras significativas y redondeo (leer)

Promedio y Desviación Estándar

- Promedio o media aritmética de N medidas:

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

- Desviación estándar: desviación cuadrática media (respecto al promedio)

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

- si tenemos una serie de N medidas x_i de una cierta cantidad, la desviación estándar es un buen estimado del error aleatorio de cada medida. Así conviene reportar cada medida x_i tomando σ como su error individual:

$$x_i \pm \sigma$$

Promedio y Desviación Estándar

- Si tenemos una serie de N medidas x_i de una cierta cantidad x:

  - La desviación estándar es un buen estimado del error aleatorio de *cada medida*. Así conviene reportar cada medida x_i tomando σ como su error individual:

$$x_i \pm \sigma$$

  - El promedio se puede tomar como un buen estimador de la cantidad x

  - ¿Cuál es el error asociado al promedio? Claramente debe ser mejor (menor) que el de las medidas individuales.

  - Se puede demostrar que el **error del promedio de N medidas** está dado por:

$$\Delta \bar{x} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

An introduction to error analysis, John R.Taylor (University Science Books, 1997)

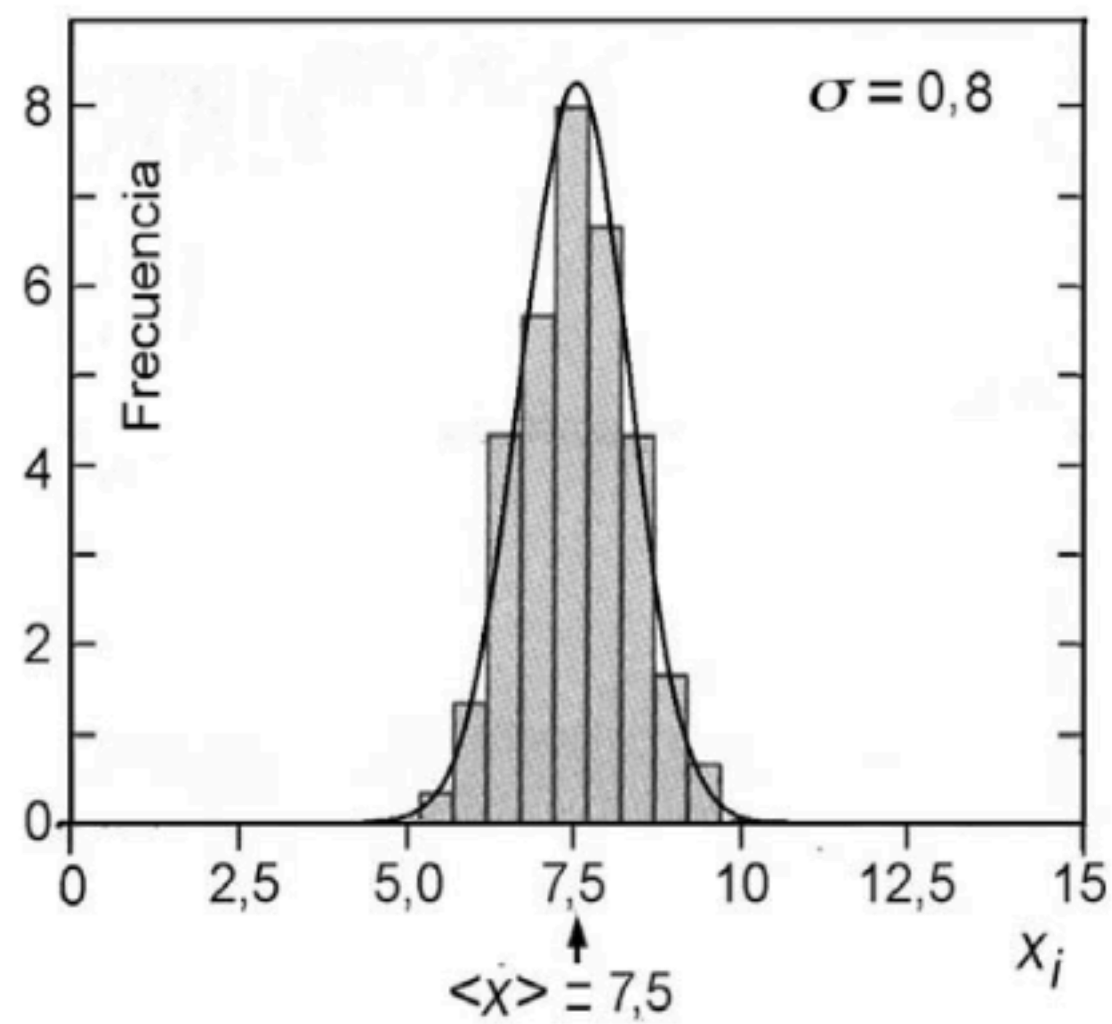
Distribución Gaussiana

- En muchos procesos físicos los errores tienen una distribución *Gaussiana, i.e.* la frecuencia con la que se repite una cierta medida x tiene una distribución de probabilidad dada por:

Media

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

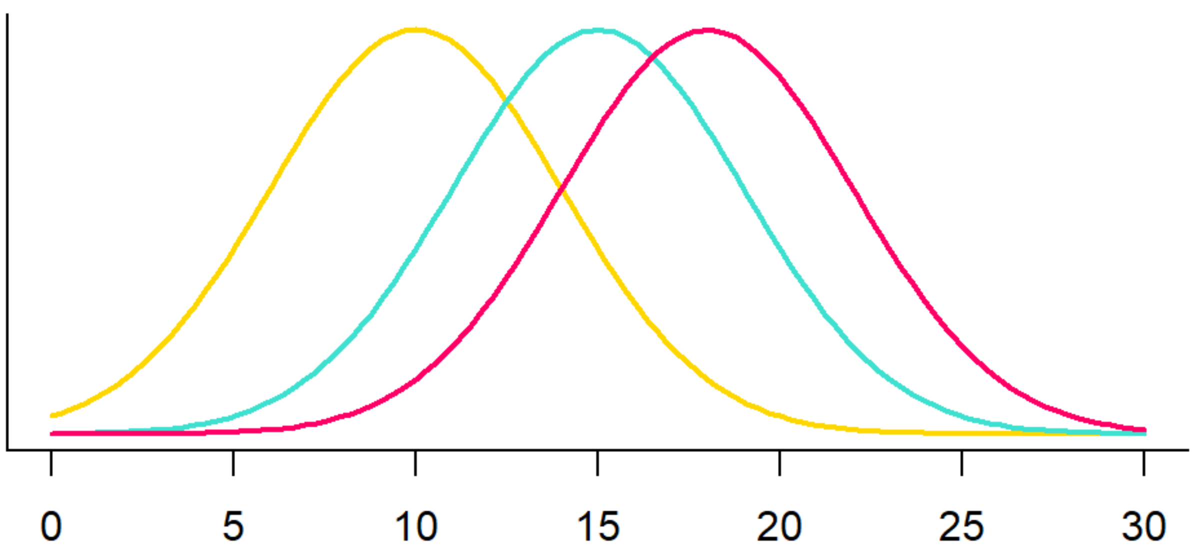
Desviación Estándar



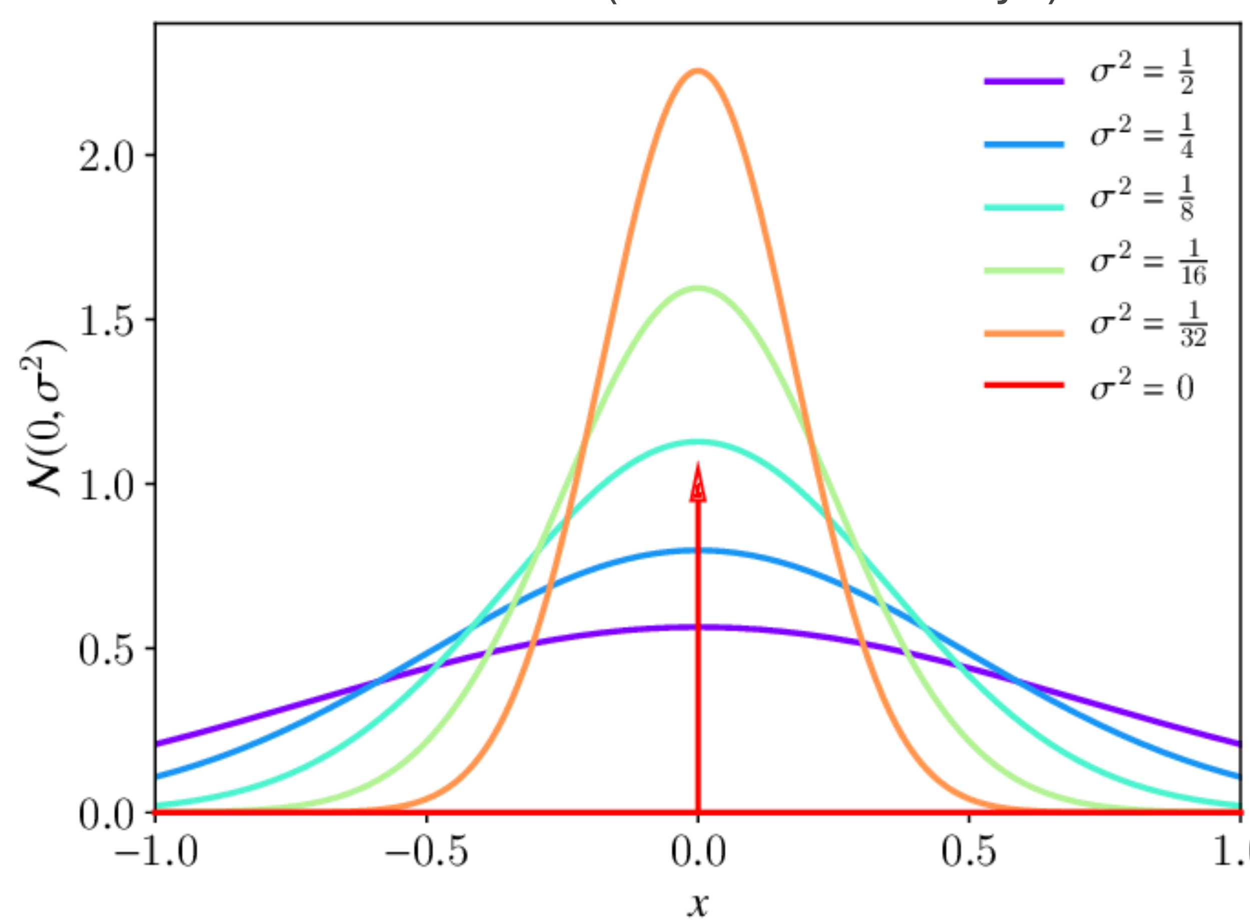
Distribución Gaussiana

- **Diferente media** (con σ fijo)

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$



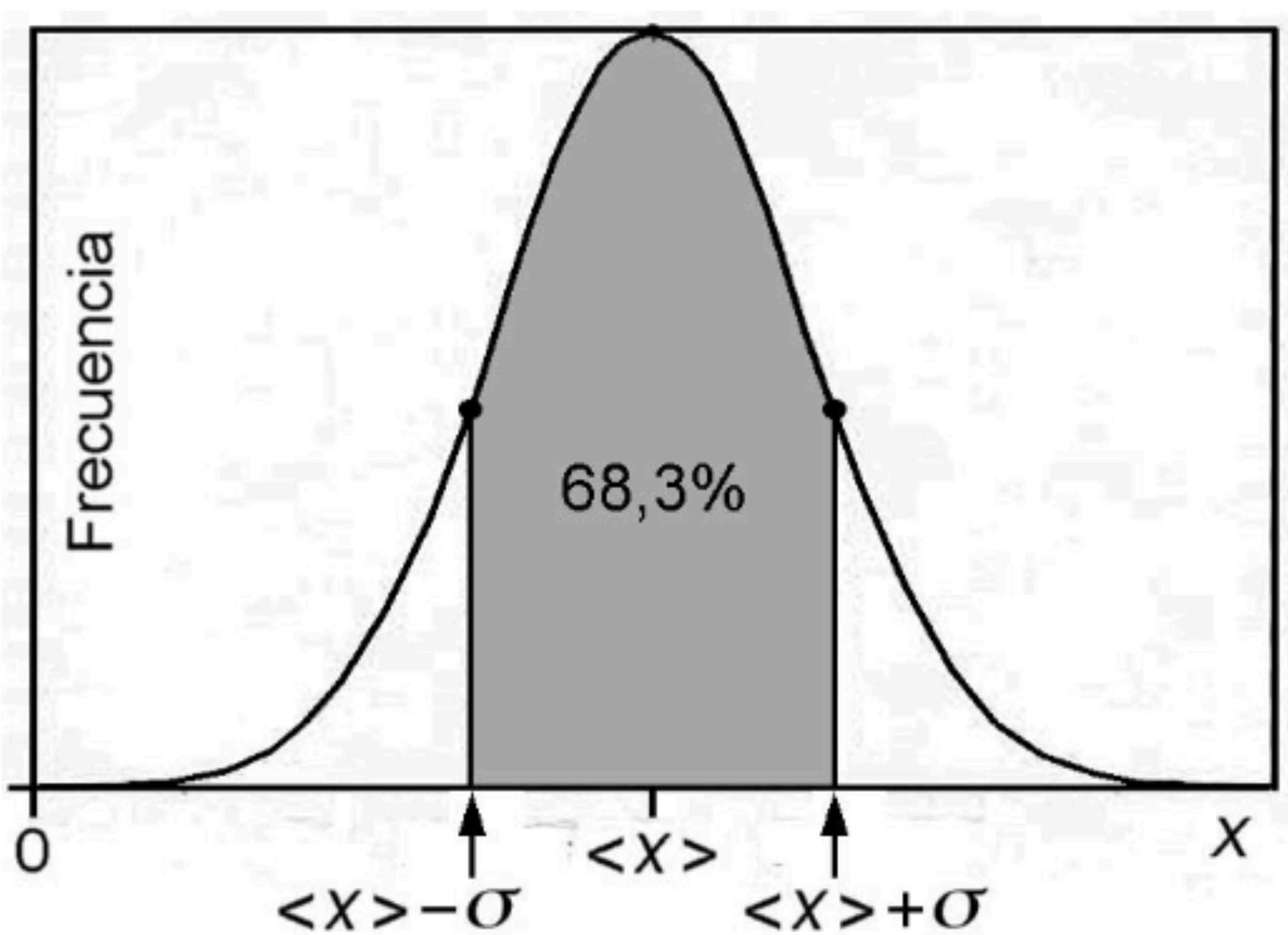
- **Diferente σ** (con media fija)



Distribución Gaussiana

- En el intervalo $[\bar{x}-\sigma, \bar{x}+\sigma]$ está contenido el 68.3% del área de la Gaussiana:

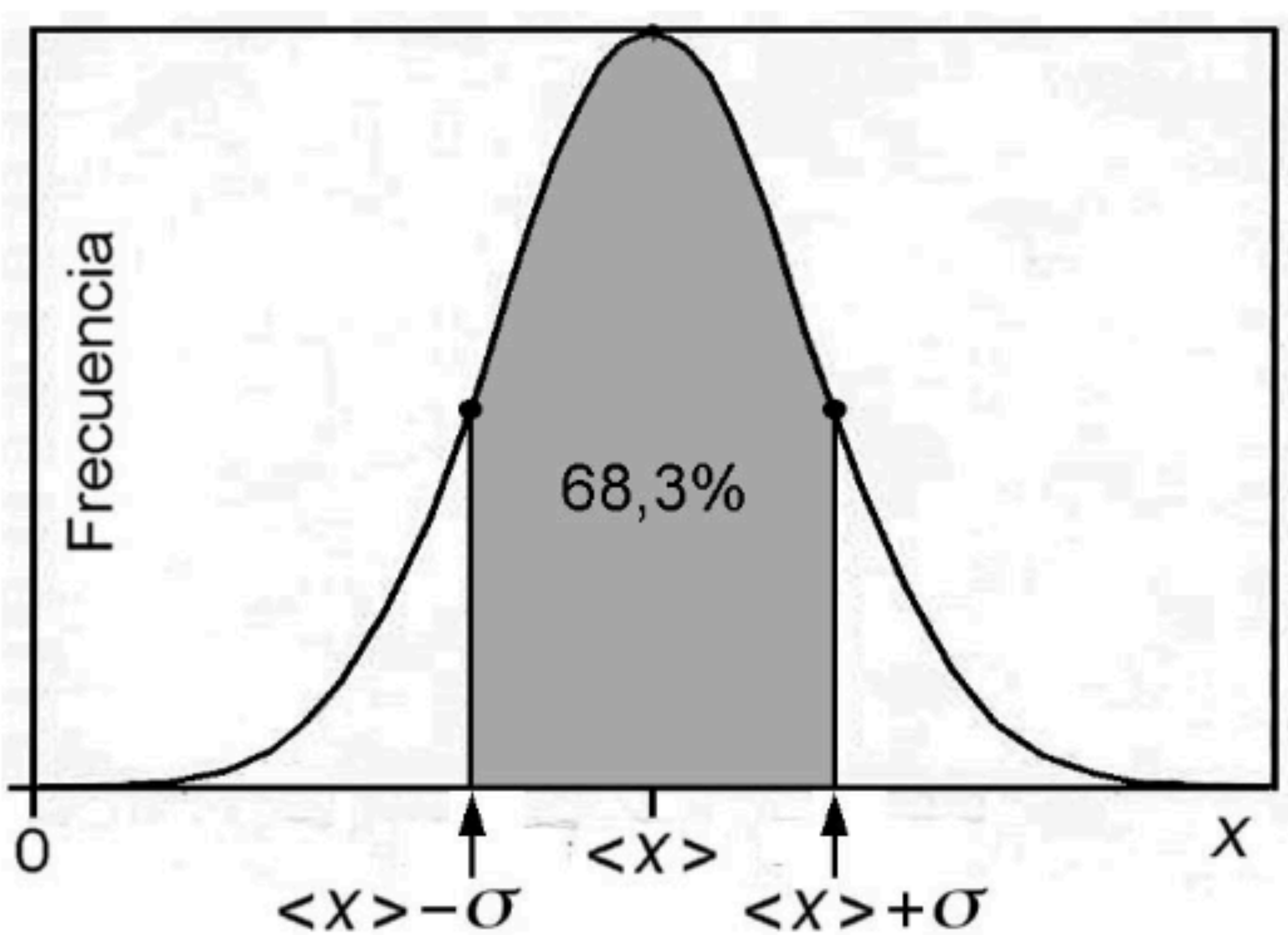
$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$



Distribución Gaussiana

- En el intervalo $[\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma]$ está contenido el 68.3% del área de la Gaussiana:
  - Cuando la distribución de medidas es Gaussiana, el 68.3% de las medidas caerá dentro de $\bar{x} \pm \sigma$

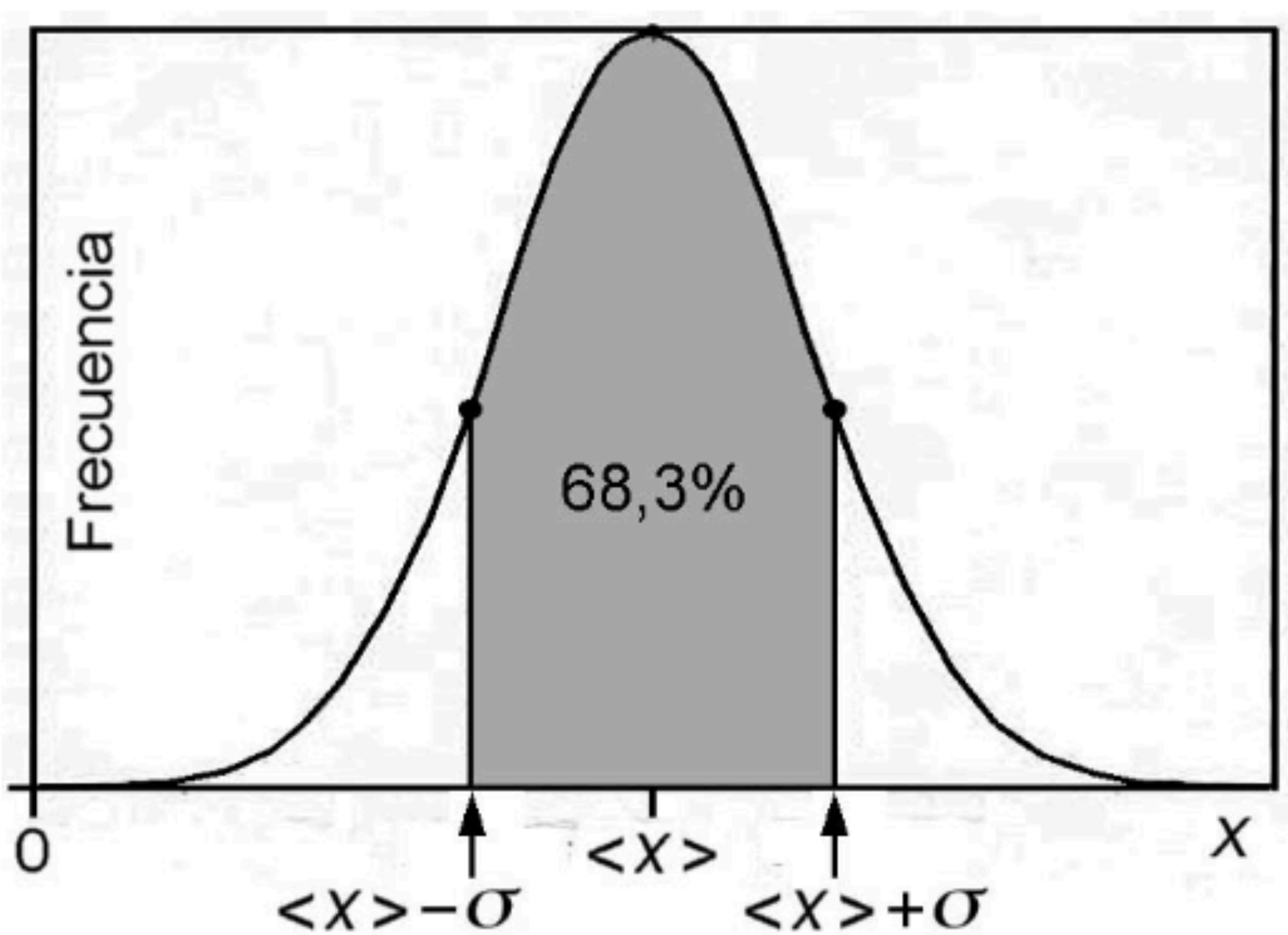
$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

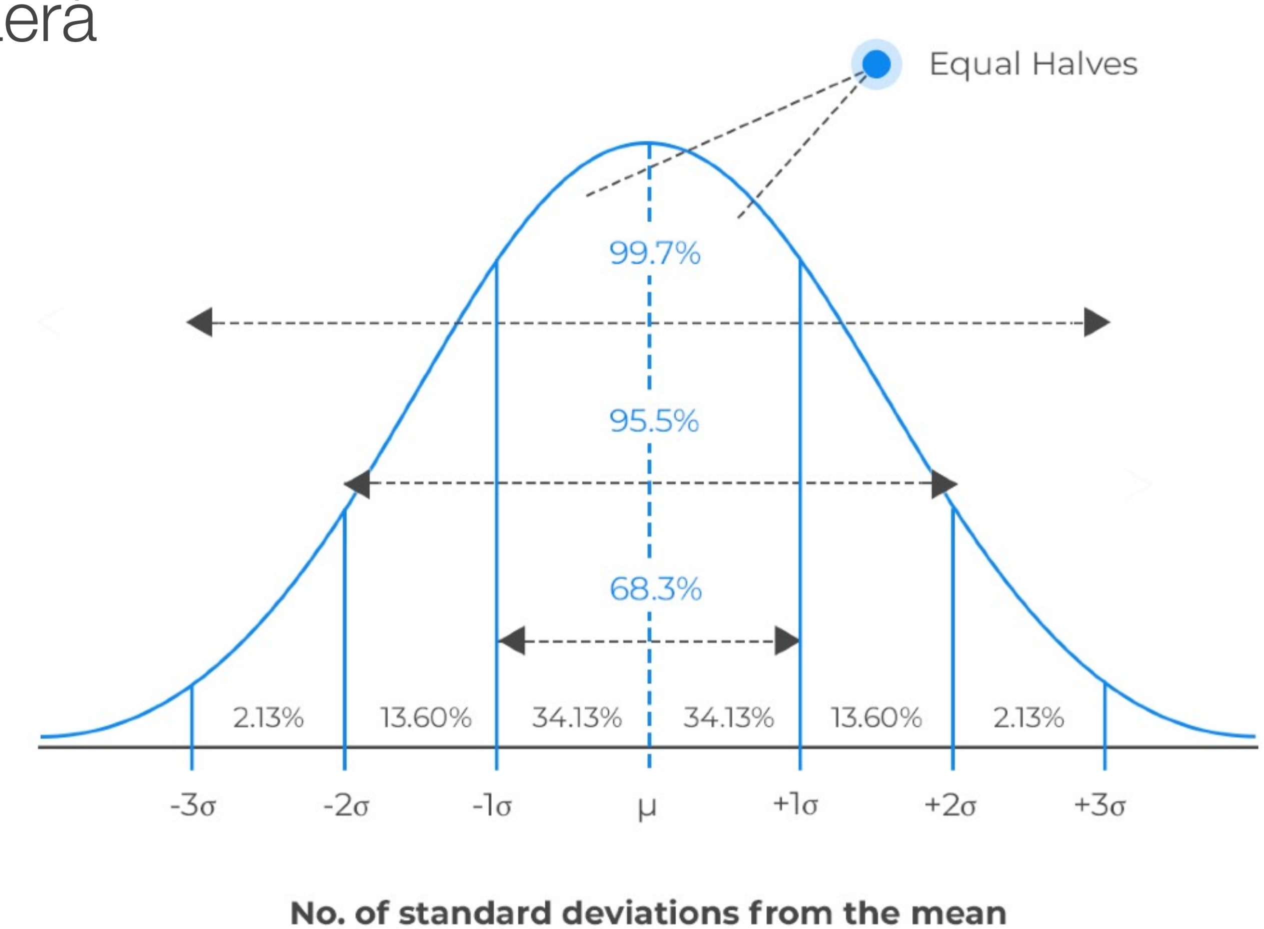


Distribución Gaussiana

- En el intervalo $[\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma]$ está contenido el 68.3% del área de la Gaussiana:
  - Cuando la distribución de medidas es Gaussiana, el 68.3% de las medidas caerá dentro de $\bar{x} \pm \sigma$

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

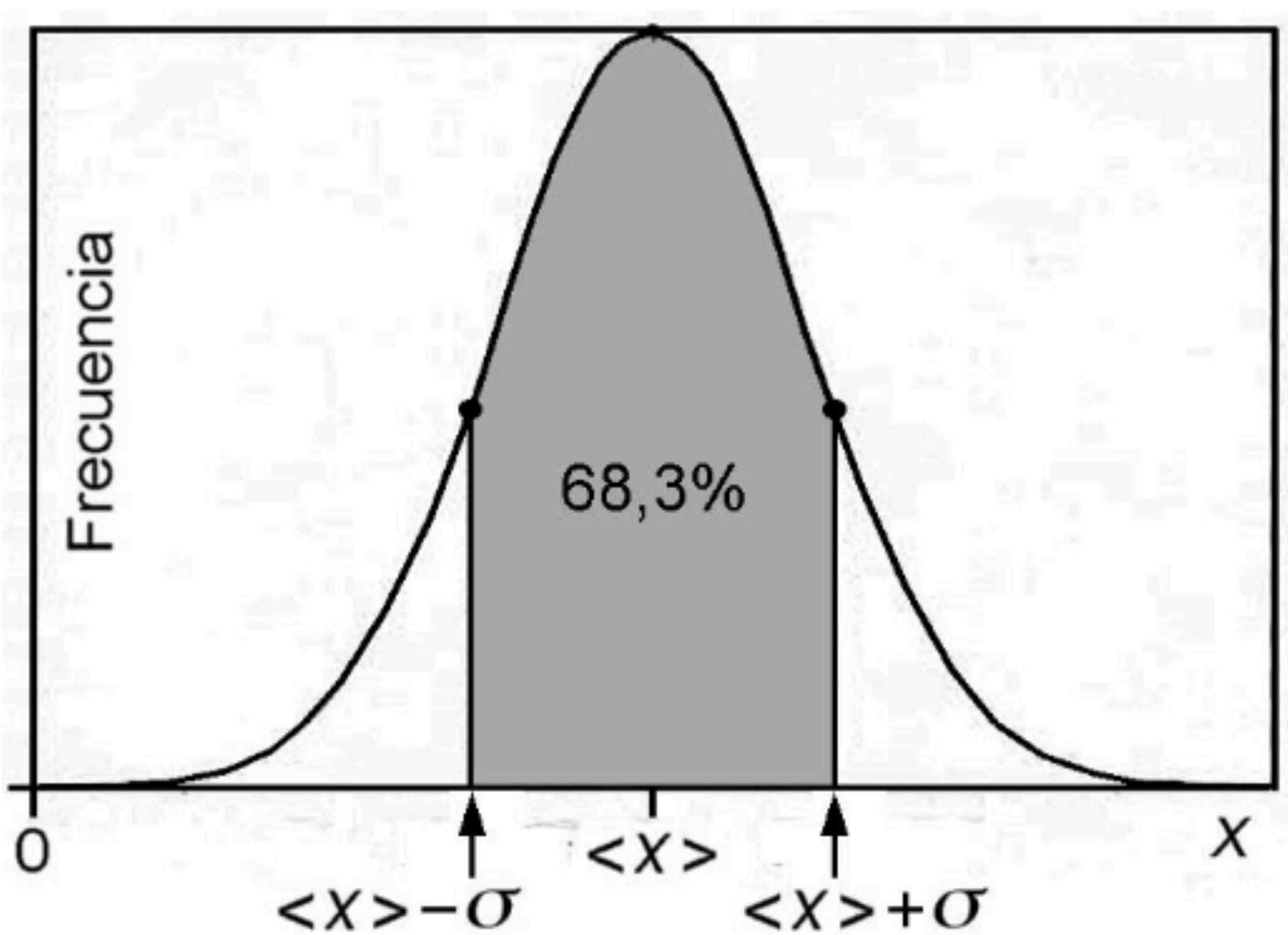


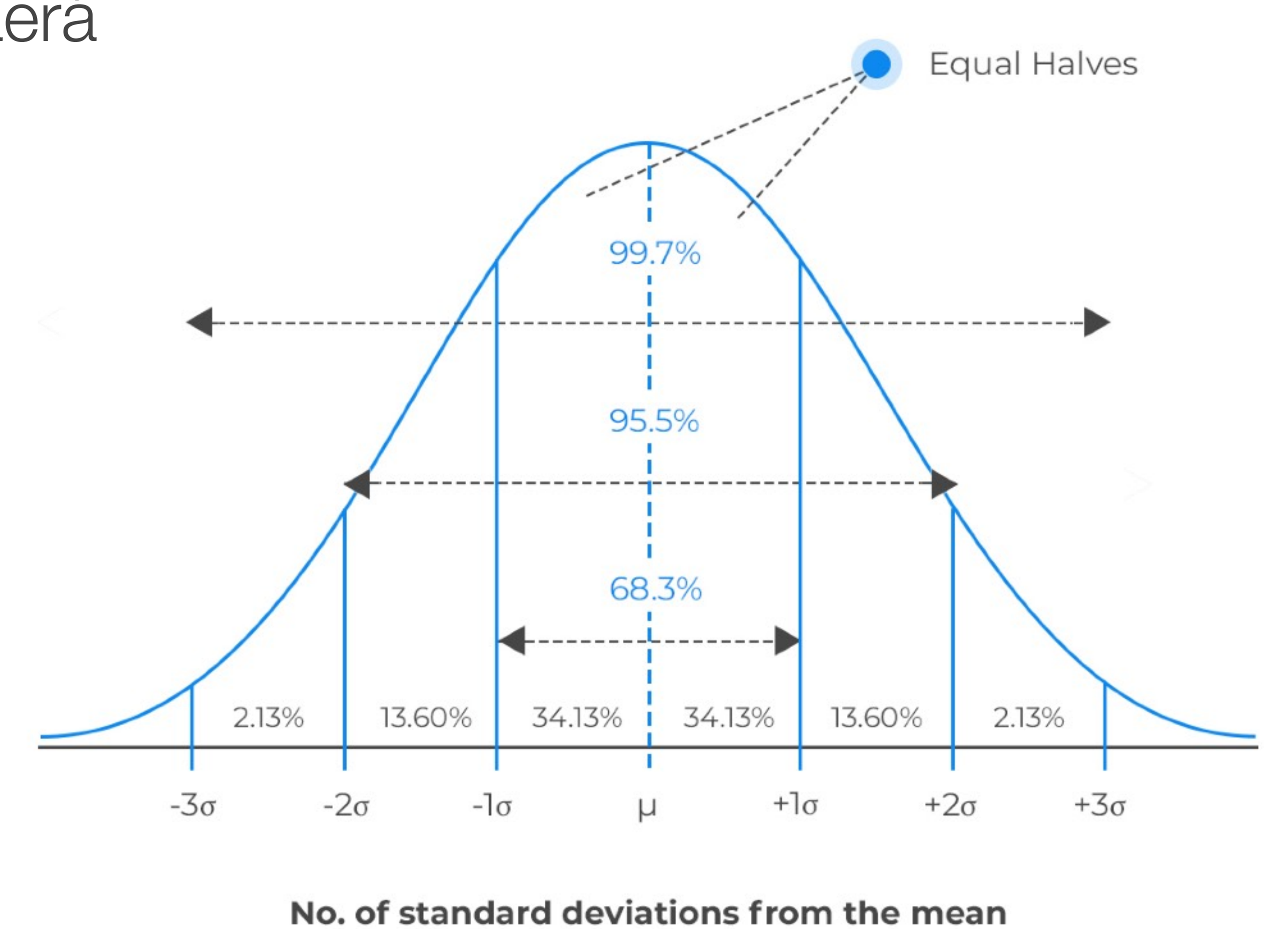


Distribución Gaussiana

- En el intervalo $[\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma]$ está contenido el 68.3% del área de la Gaussiana:
  - Cuando la distribución de medidas es Gaussiana, el 68.3% de las medidas caerá dentro de $\bar{x} \pm \sigma$

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$





- Similarmente: hay un área de 95.5% dentro de $\bar{x} \pm 2\sigma$ y 99.7% dentro de $\bar{x} \pm 3\sigma$

Exactitud y Precisión

Exactitud y Precisión

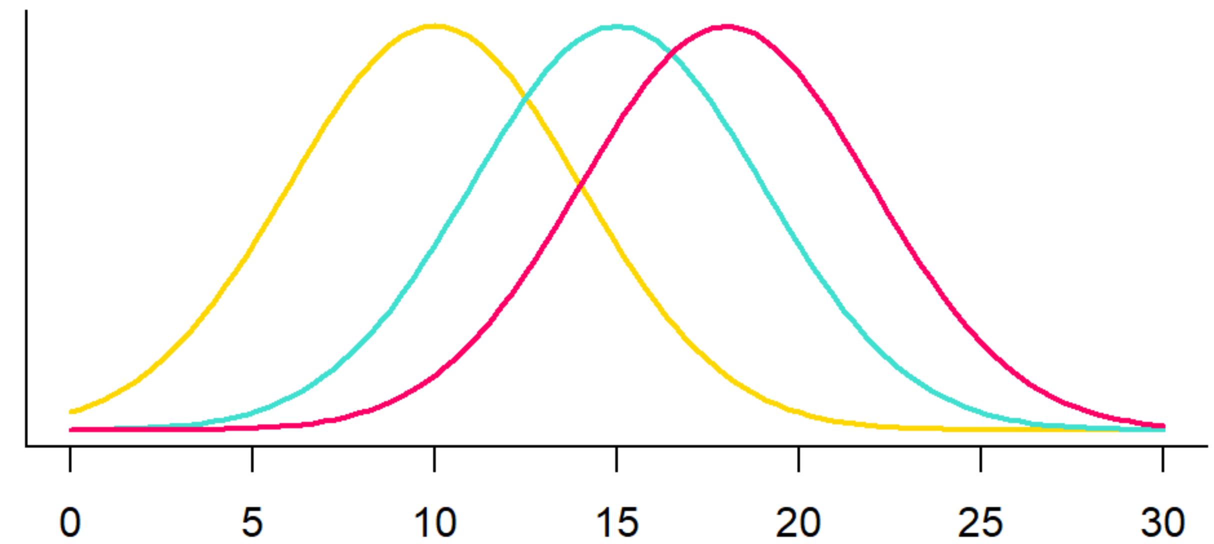
- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir

Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
    - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración

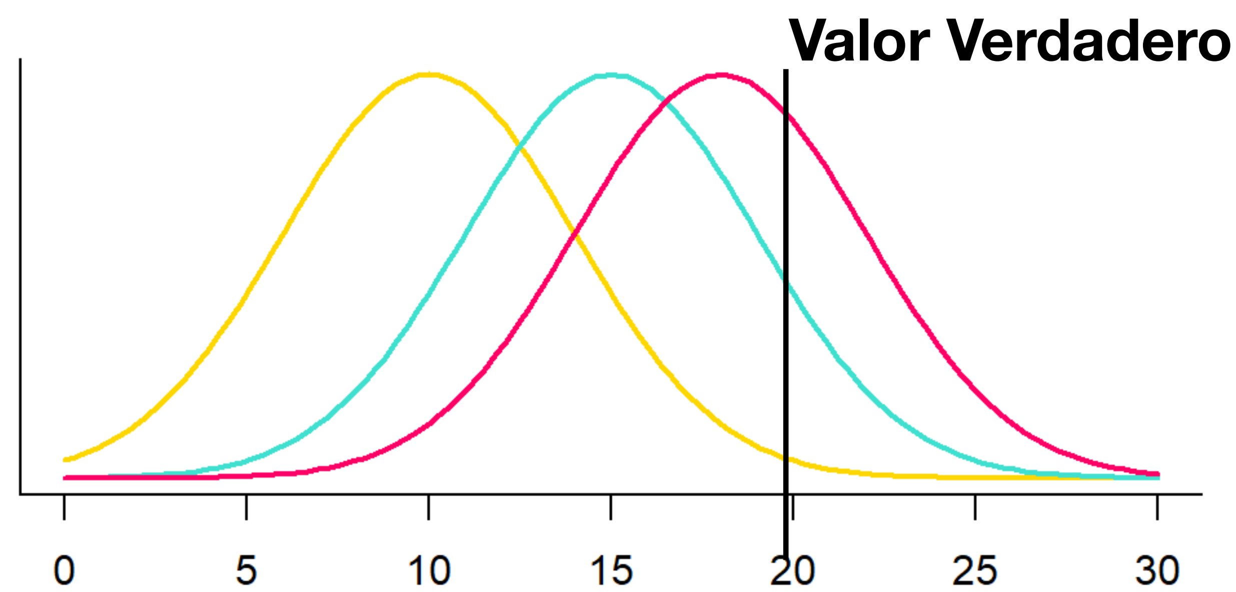
Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
  - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración



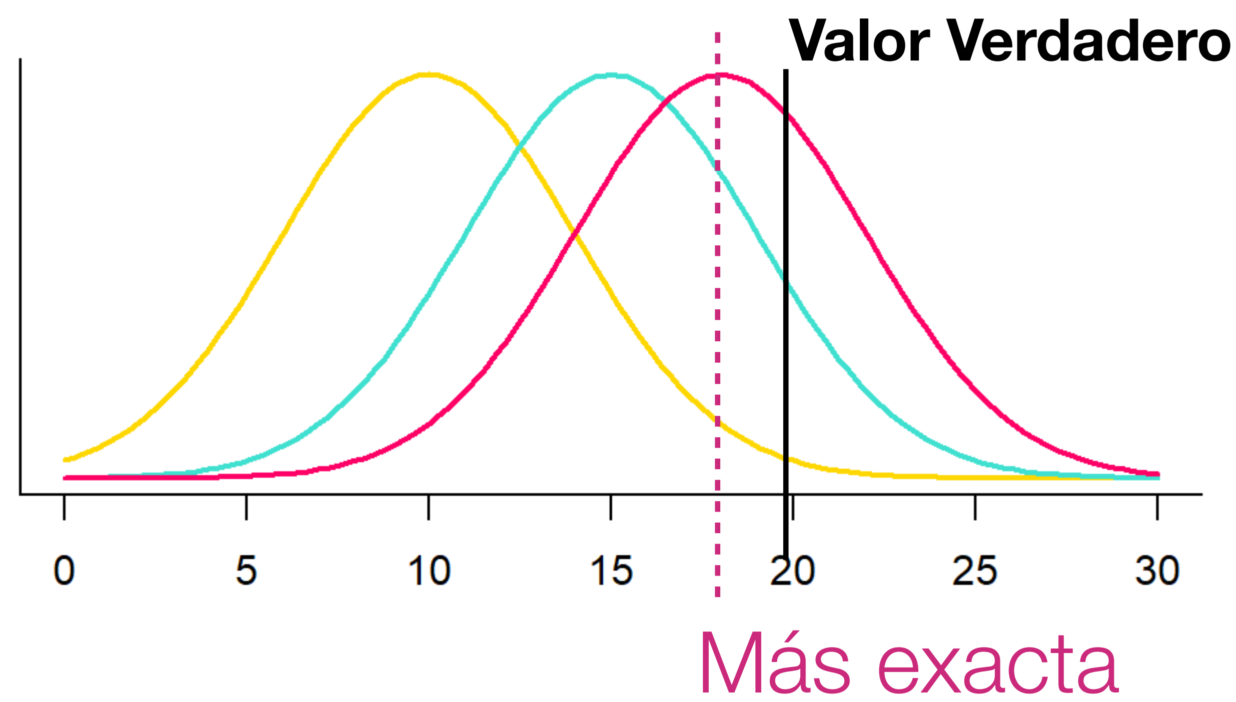
Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
    - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración



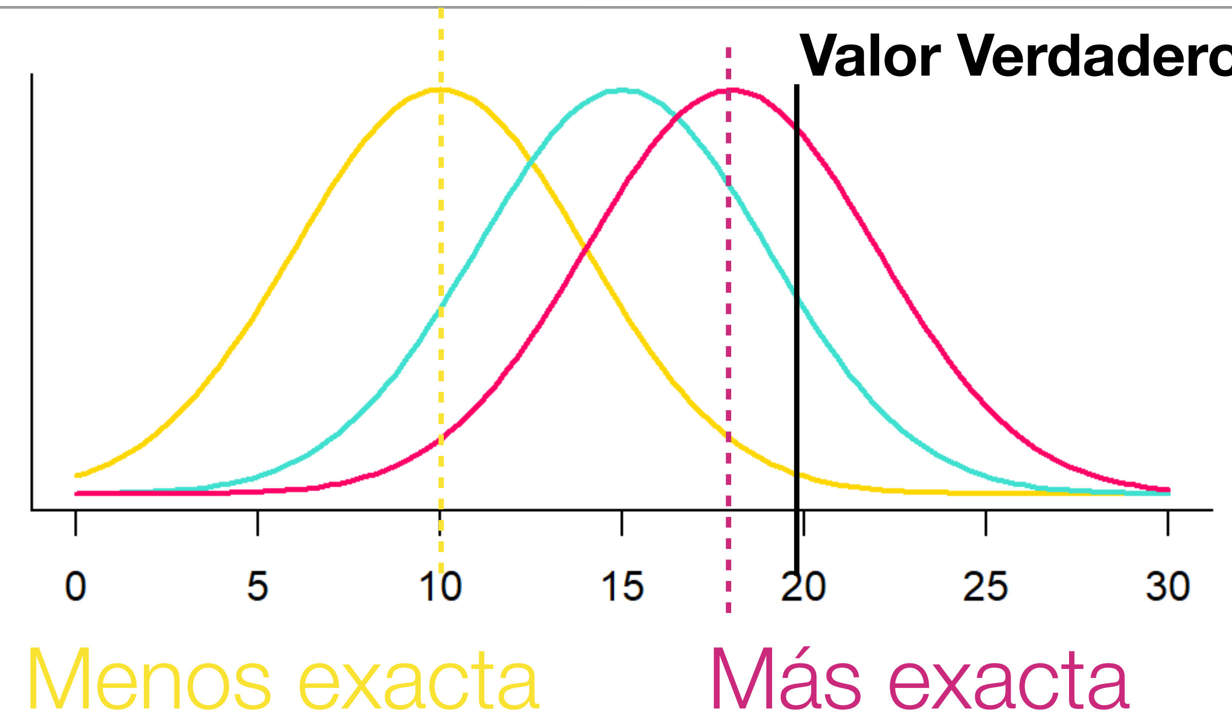
Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
    - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración



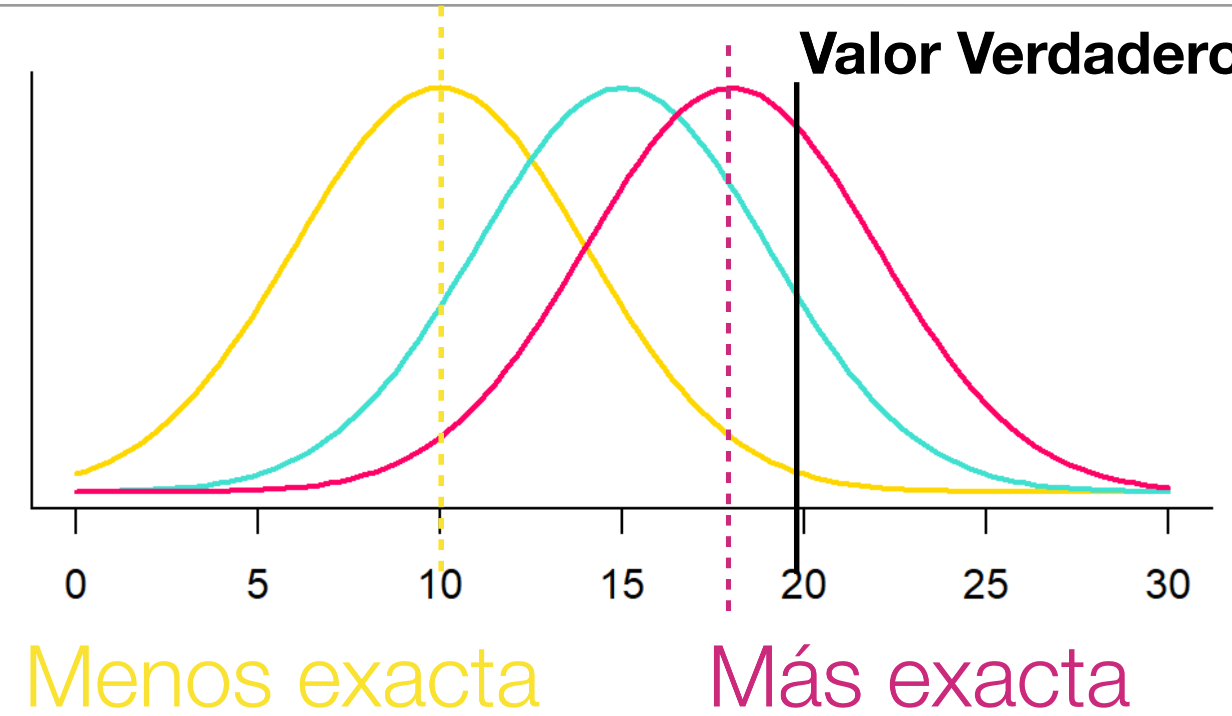
Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
  - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración



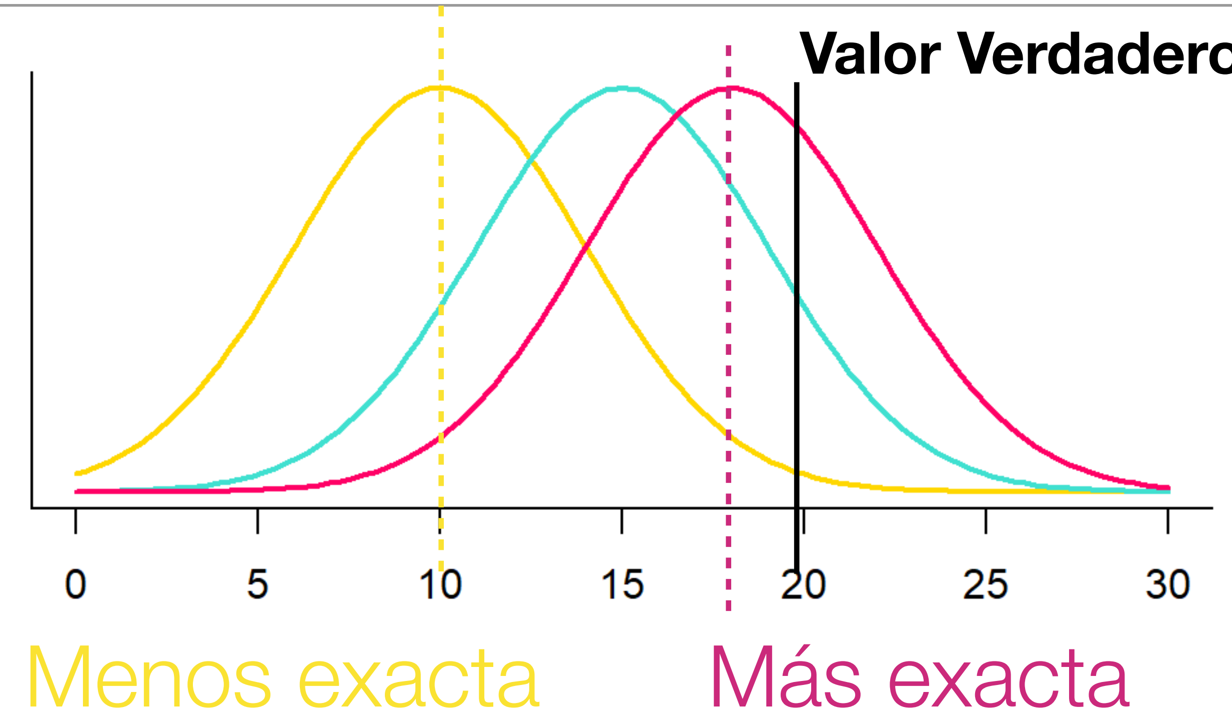
Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
    - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración
- **Precisión**: Un conjunto de medidas es más preciso cuanto menor sea su dispersión



Exactitud y Precisión

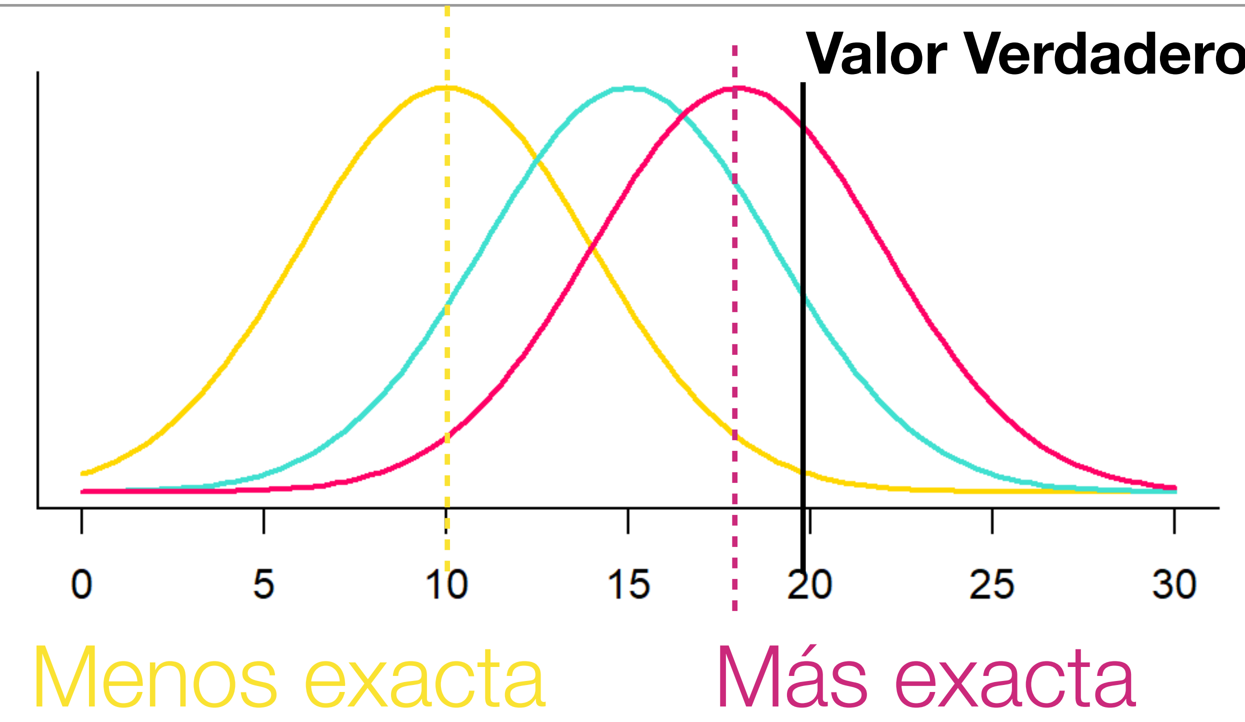
- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
    - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración



- **Precisión**: Un conjunto de medidas es más preciso cuanto menor sea su dispersión
    - Los errores *aleatorios* afectan la *precisión*

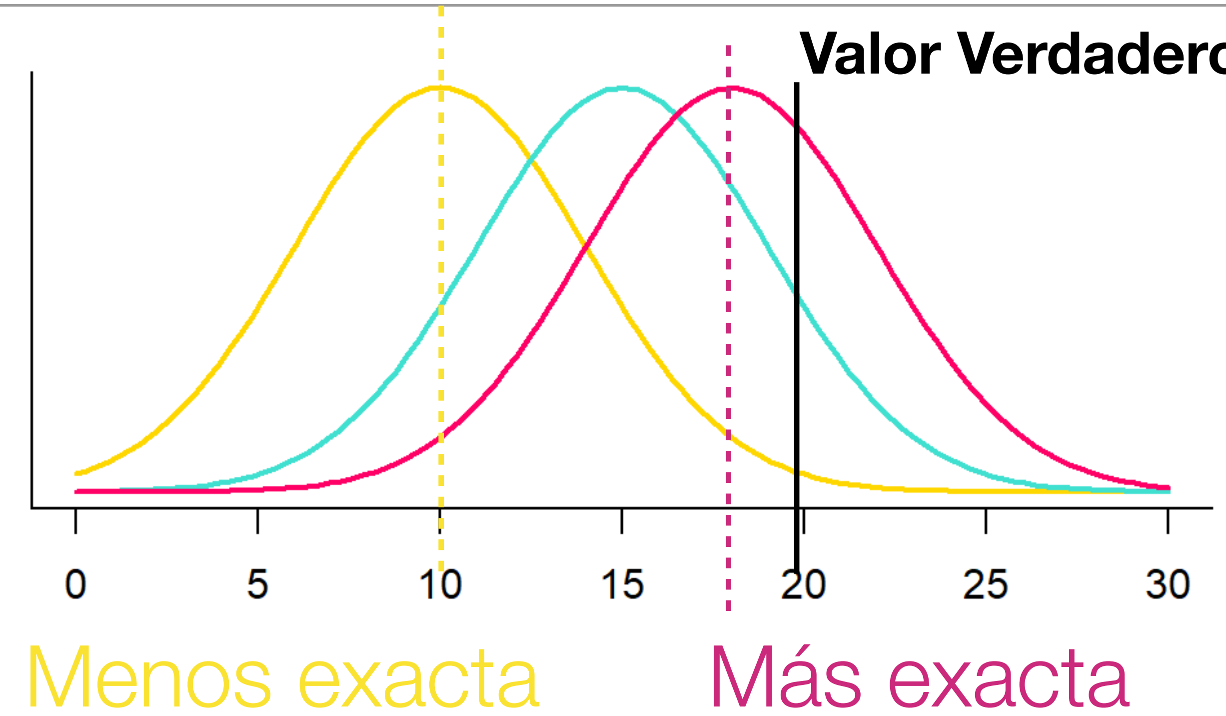
Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
  - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración
- **Precisión**: Un conjunto de medidas es más preciso cuanto menor sea su dispersión
  - Los errores *aleatorios* afectan la *precisión*
  - Cuanto mayor es la precisión más *reproducible* es la medida. Suelen estar asociados al error instrumental

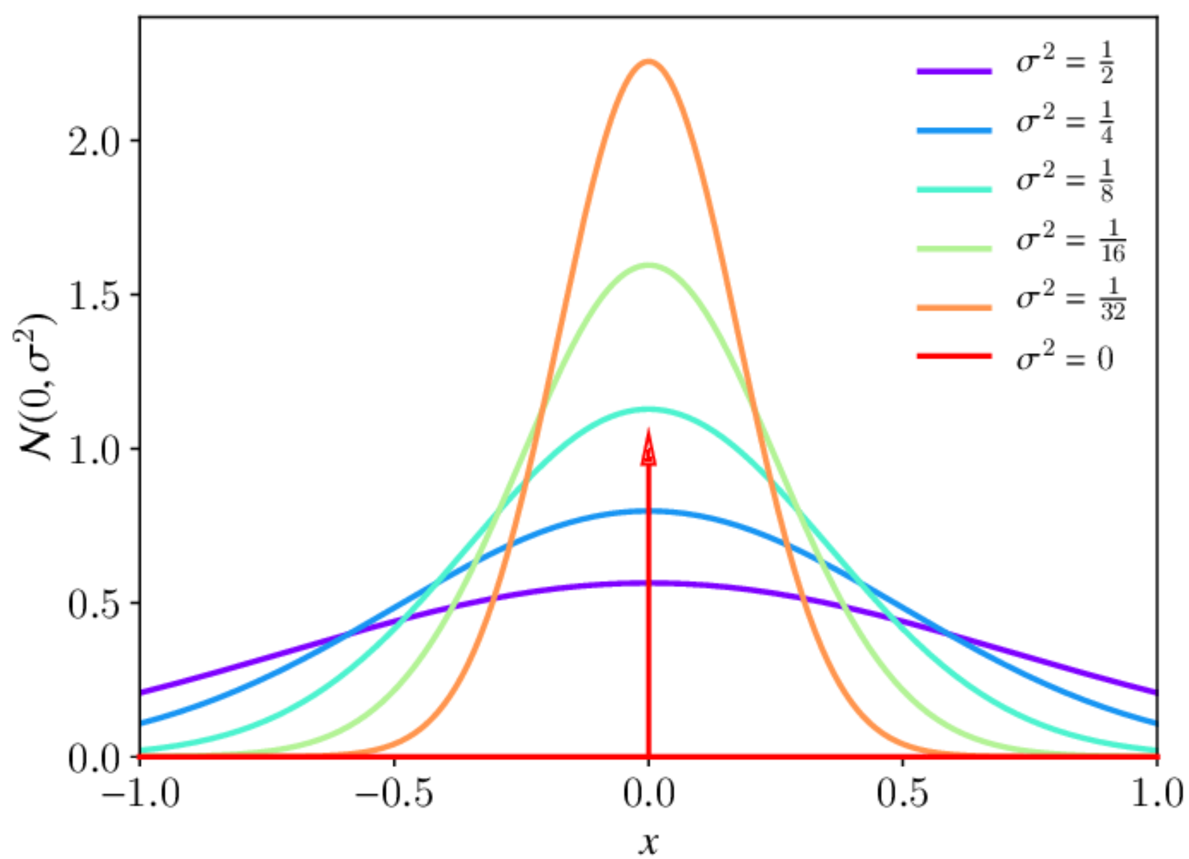


Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
  - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración

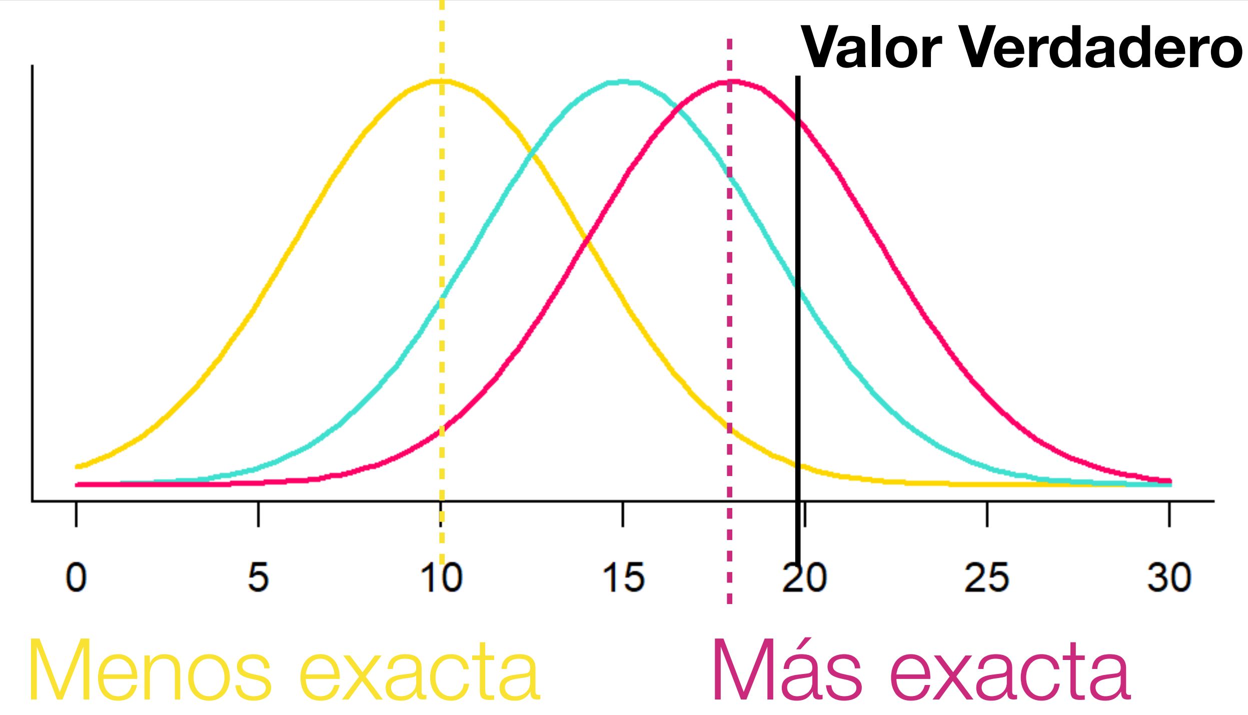


- **Precisión**: Un conjunto de medidas es más preciso cuanto menor sea su dispersión
  - Los errores *aleatorios* afectan la *precisión*
  - Cuanto mayor es la precisión más *reproducible* es la medida. Suelen estar asociados al error instrumental

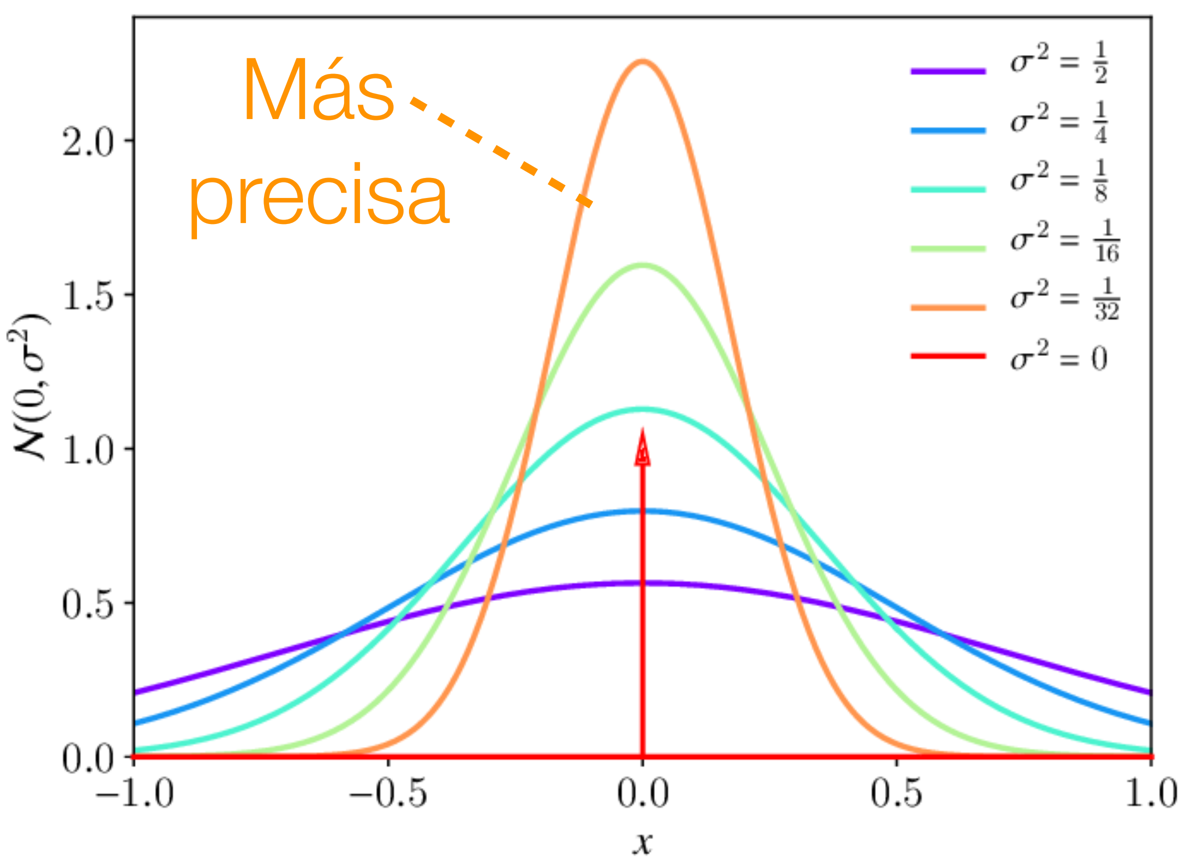


Exactitud y Precisión

- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
    - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración

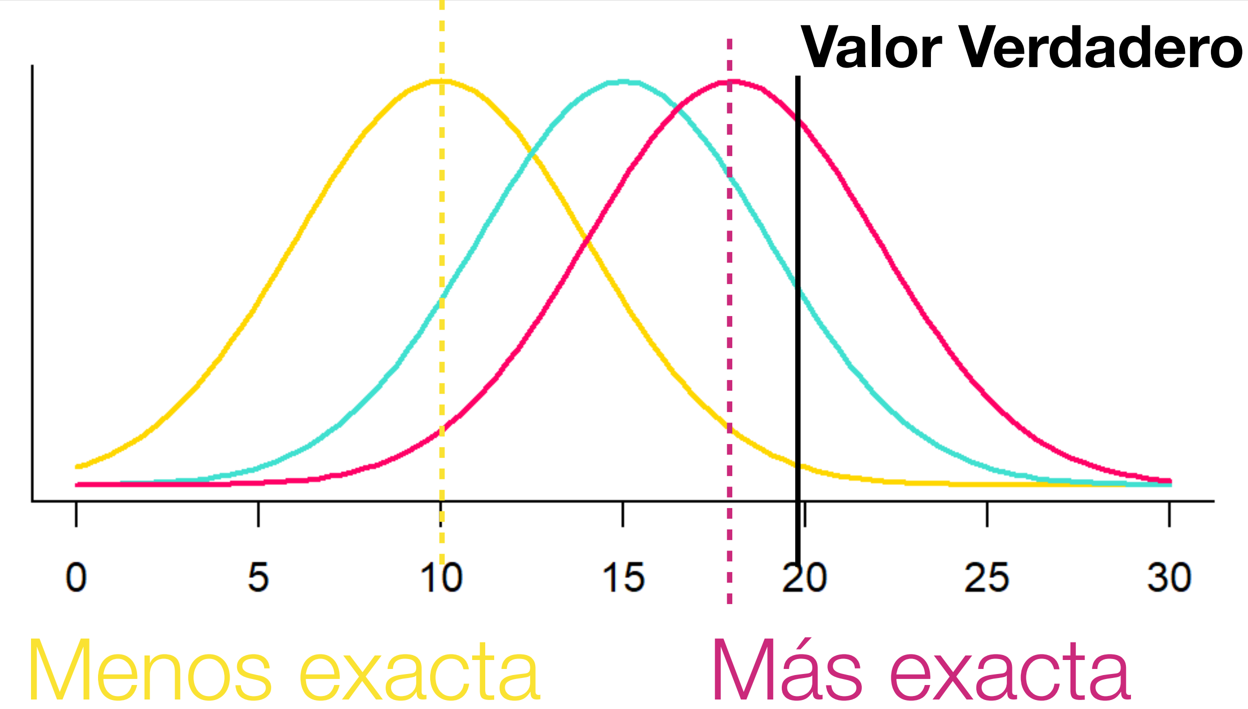


- **Precisión**: Un conjunto de medidas es más preciso cuanto menor sea su dispersión
    - Los errores *aleatorios* afectan la *precisión*
    - Cuanto mayor es la precisión más *reproducible* es la medida. Suelen estar asociados al error instrumental

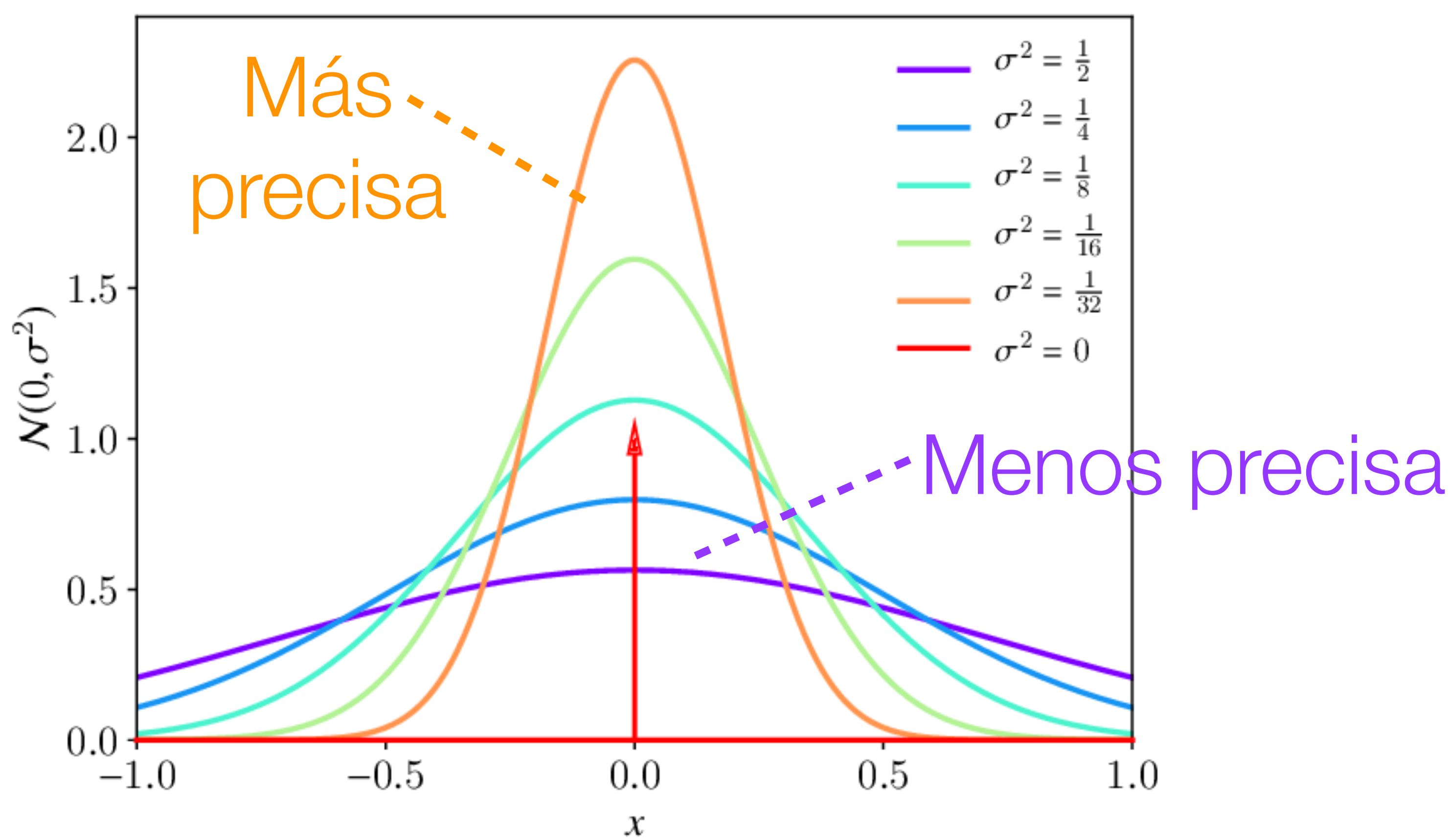


Exactitud y Precisión

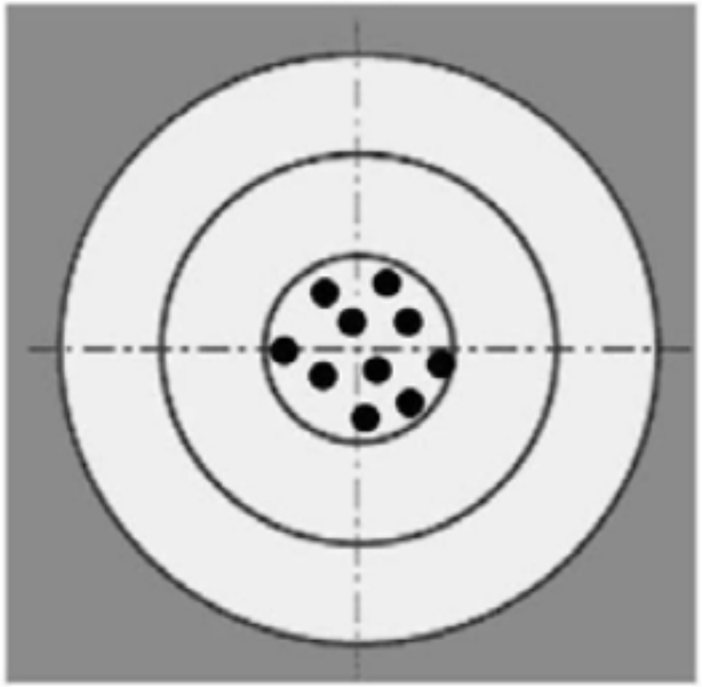
- **Exactitud**: Una medida es más exacta (o certera) cuando más cercana esté del valor verdadero que se quiere medir
  - Los errores *sistemáticos* afectan la *exactitud*. Suelen estar asociados a sesgos o a problemas de calibración



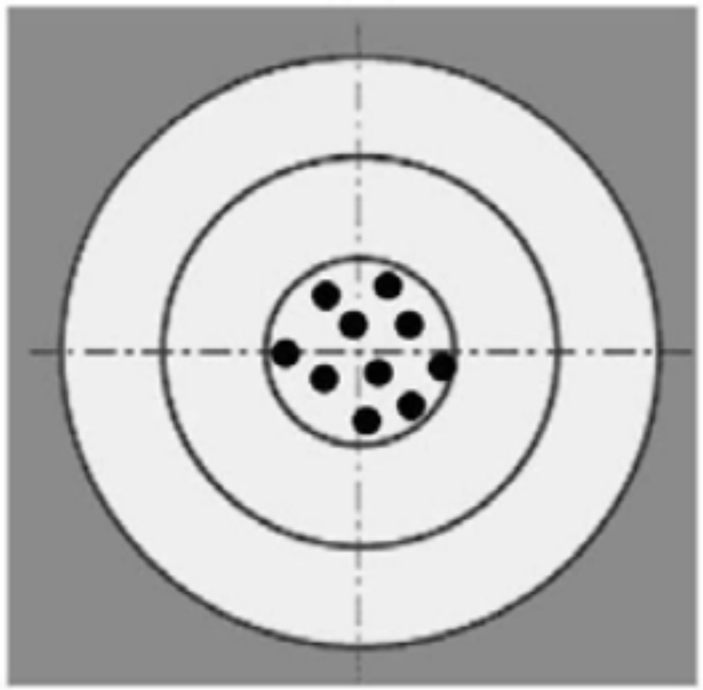
- **Precisión**: Un conjunto de medidas es más preciso cuanto menor sea su dispersión
  - Los errores *aleatorios* afectan la *precisión*
  - Cuanto mayor es la precisión más *reproducible* es la medida. Suelen estar asociados al error instrumental



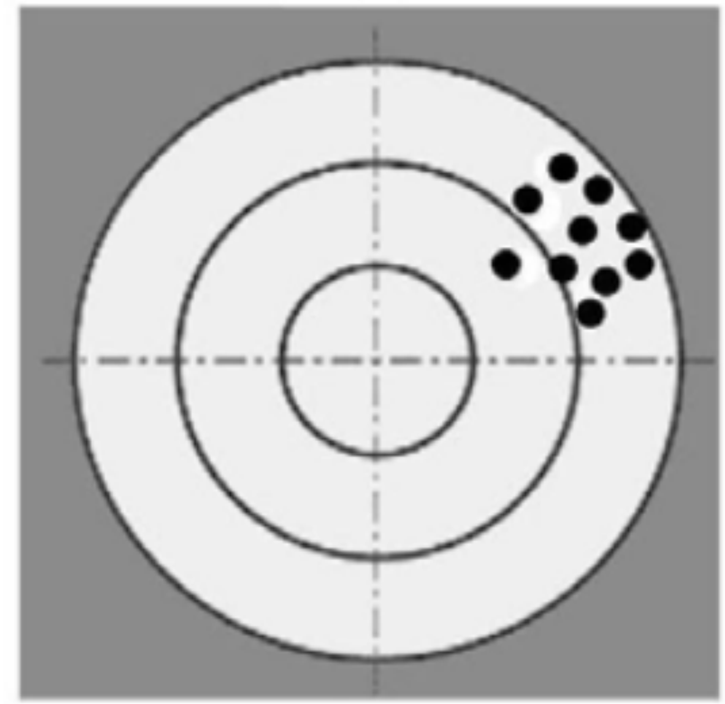
Astrophysics

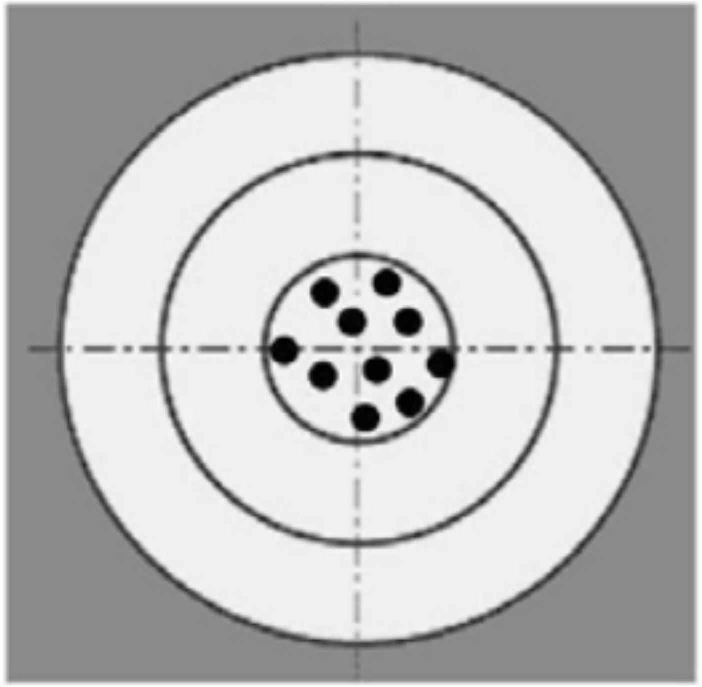


Buena Exactitud
Buena Precisión

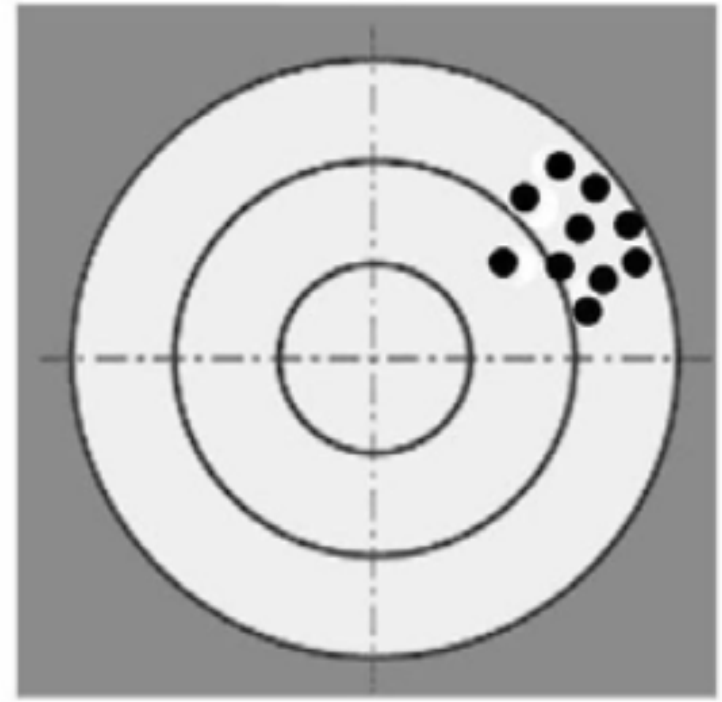


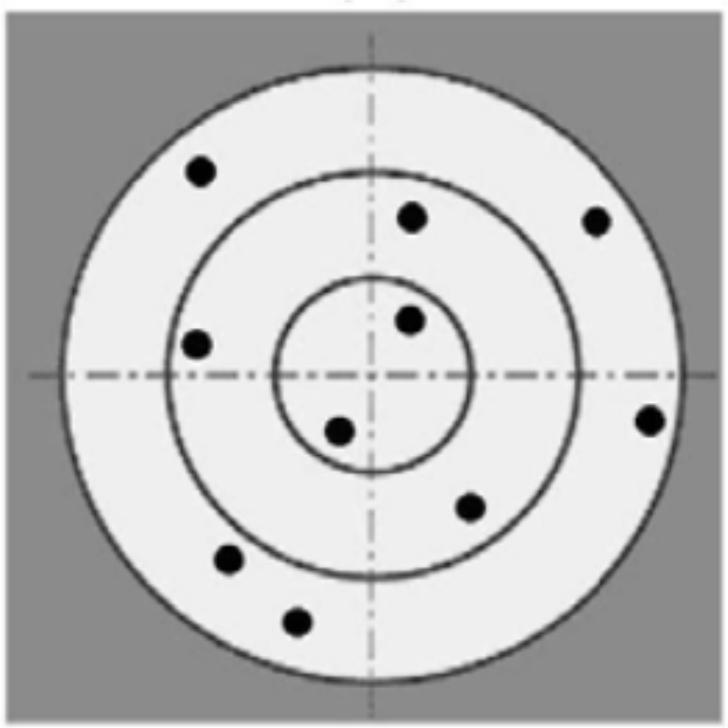
Buena Exactitud
Buena Precisión

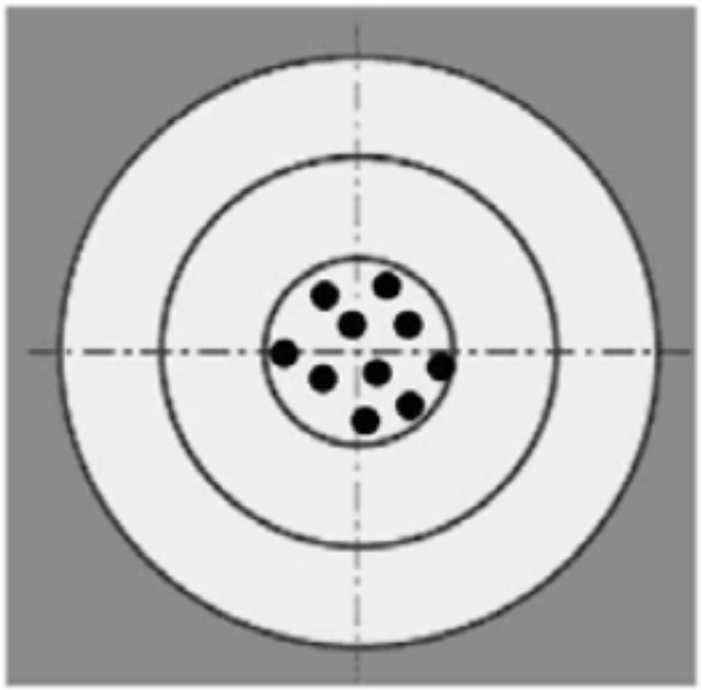




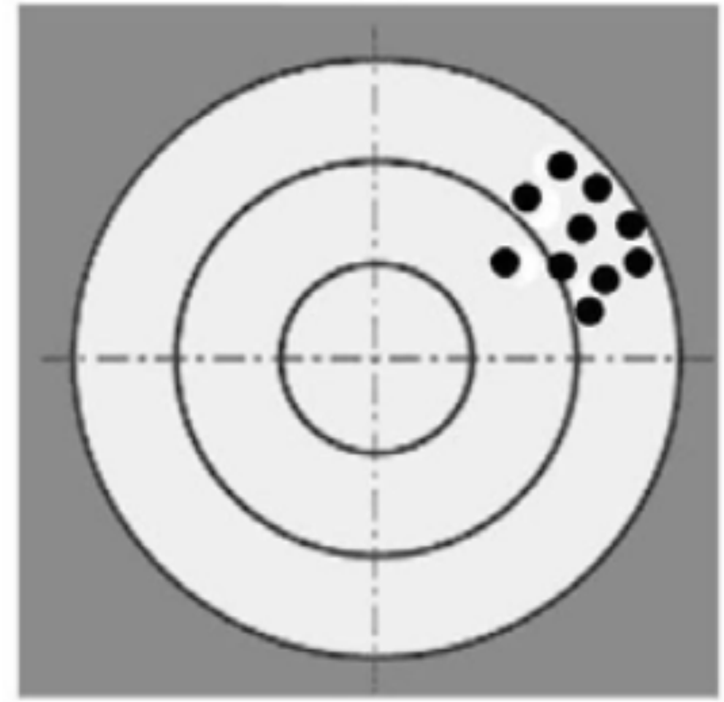
Buena Exactitud
Buena Precisión

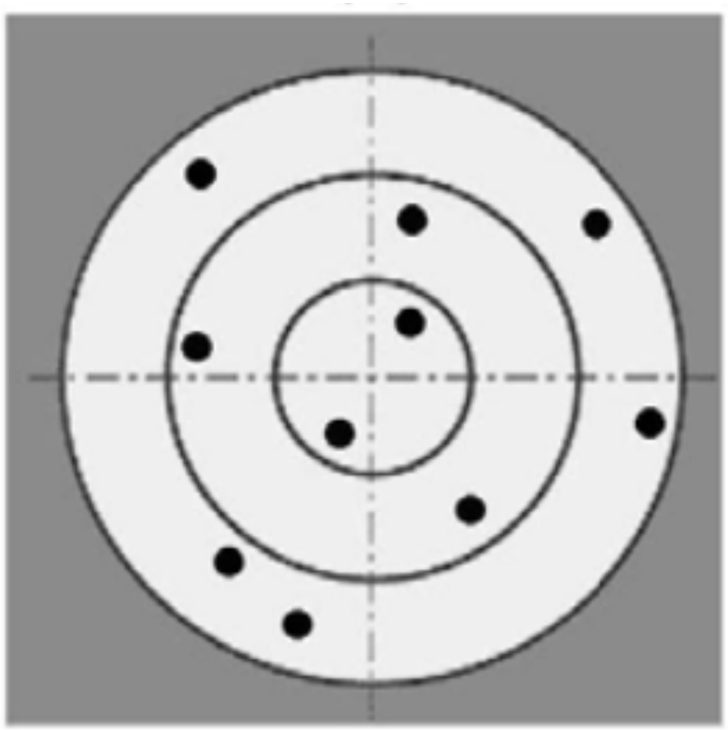


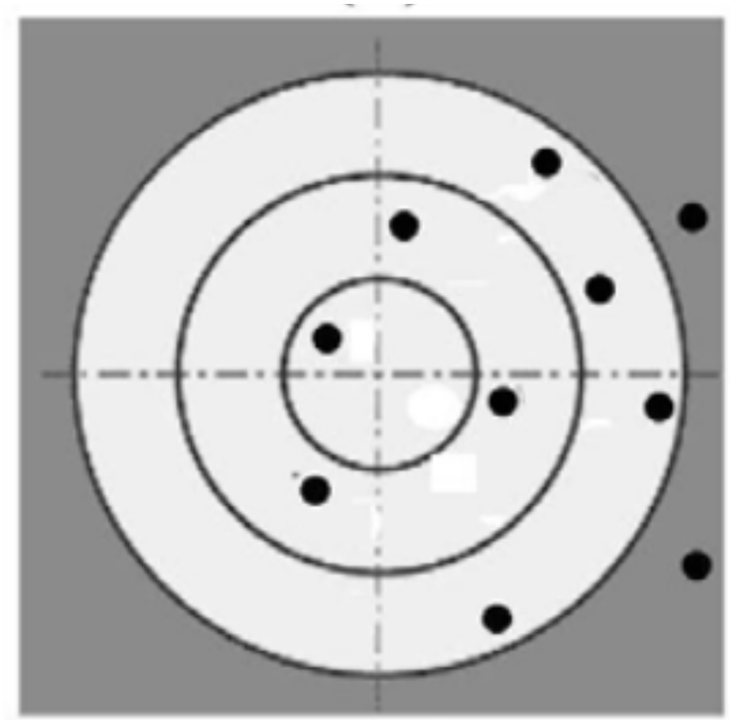


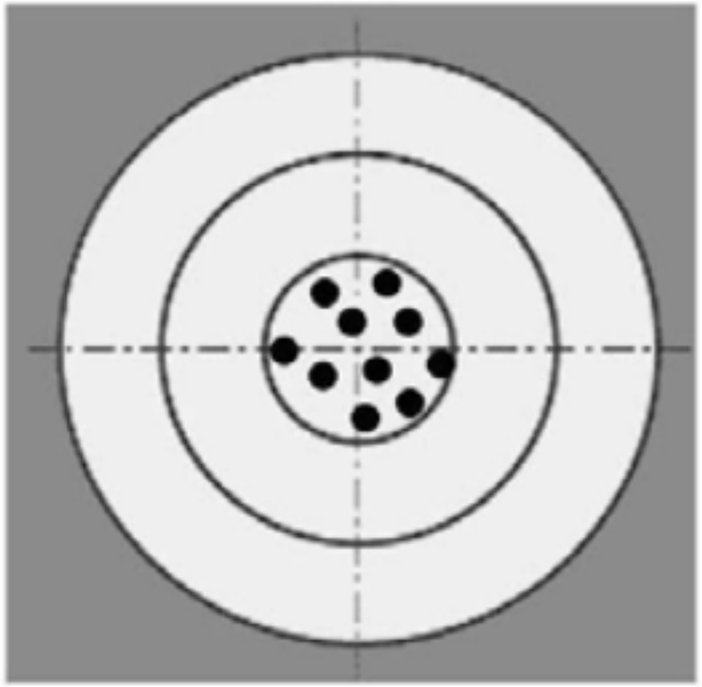


Buena Exactitud
Buena Precisión

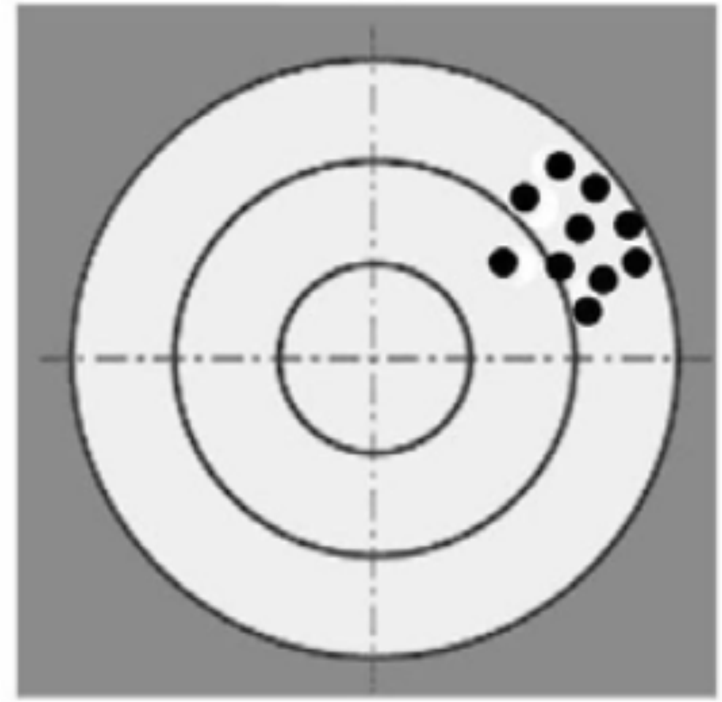




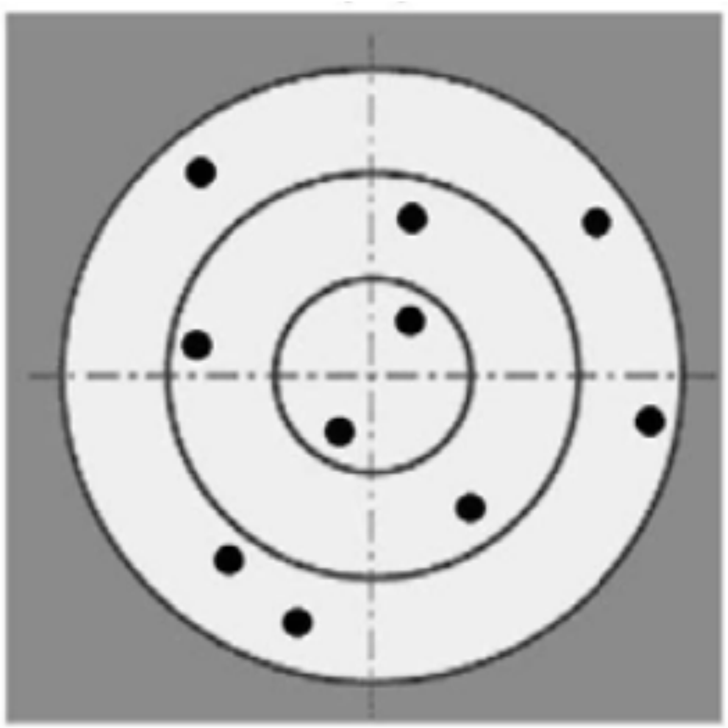




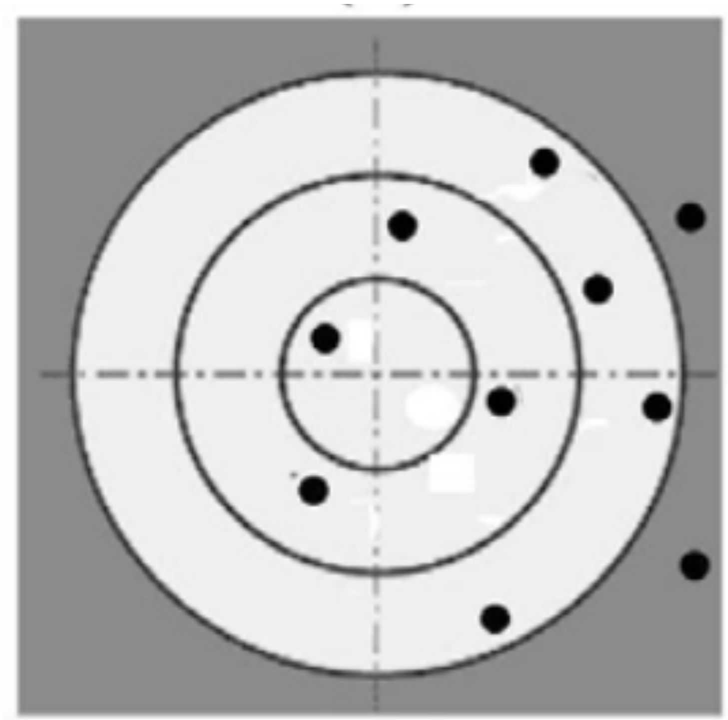
Buena Exactitud
Buena Precisión



Mala Exactitud
Buena Precisión



Buena Exactitud
Mala Precisión



Mala Exactitud
Mala Precisión

Propagación de errores

- Muchas veces la cantidad de interés físico no es directamente observable o medible, sino que debe ser calculada a partir de una (o más) que sí lo sea
- Ejemplos:
  - longitud de un péndulo -> período
  - flujo -> magnitud
  - Paralaje —> Distancia

Propagación de errores

- Se puede demostrar el error Δz de $z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$ está dado en términos de los $y_1 \ldots y_N$ y sus errores $\Delta y_1 \ldots \Delta y_N$ por:

Propagación de errores

- Se puede demostrar el error Δz de $z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$ está dado en términos de los $y_1 \ldots y_N$ y sus errores $\Delta y_1 \ldots \Delta y_N$ por:

$$(\Delta z)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial y_1}\Delta y_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y_2}\Delta y_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial y_N}\Delta y_N\right)^2$$

Propagación de errores

- Se puede demostrar el error Δz de $z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$ está dado en términos de los $y_1 \ldots y_N$ y sus errores $\Delta y_1 \ldots \Delta y_N$ por:

$$(\Delta z)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial y_1}\Delta y_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y_2}\Delta y_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial y_N}\Delta y_N\right)^2$$

  - O de forma resumida:

Propagación de errores

- Se puede demostrar el error Δz de $z = f(y_1, y_2, ..., y_N)$ está dado en términos de los $y_1 ... y_N$ y sus errores $\Delta y_1 ... \Delta y_N$ por:

$$(\Delta z)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial y_1}\Delta y_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y_2}\Delta y_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial y_N}\Delta y_N\right)^2$$

- O de forma resumida:

$$\boxed{(\Delta z)^2 = \sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\partial f}{\partial y_i}\Delta y_i\right)^2}$$

Propagación de errores

$$z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$$

— —> tiene sentido, los errores se van acumulando (propagando), no pueden disminuir

- Nota: la expresión de la suma en cuadratura es válida únicamente cuando las medidas son independientes y tienen una distribución de error Gaussiana

Propagación de errores

$$z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$$

- Notar que esa ecuación se parece a la del diferencial total de una función

— —> tiene sentido, los errores se van acumulando (propagando), no pueden disminuir

- Nota: la expresión de la suma en cuadratura es válida únicamente cuando las medidas son independientes y tienen una distribución de error Gaussiana

Propagación de errores

$z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$

- Notar que esa ecuación se parece a la del diferencial total de una función

$$df = \frac{\partial f}{\partial y_1} dy_1 + \frac{\partial f}{\partial y_2} dy_2 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial y_N} dy_N$$

— —> tiene sentido, los errores se van acumulando (propagando), no pueden disminuir

- Nota: la expresión de la suma en cuadratura es válida únicamente cuando las medidas son independientes y tienen una distribución de error Gaussiana

Propagación de errores

$z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$

- Notar que esa ecuación se parece a la del diferencial total de una función

$$df = \frac{\partial f}{\partial y_1} dy_1 + \frac{\partial f}{\partial y_2} dy_2 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial y_N} dy_N$$

- pero <u>cada término está elevado al cuadrado</u>, **esto se llama *suma en cuadratura*** y estamos suponiendo que $dy \rightarrow \Delta y$

— —> tiene sentido, los errores se van acumulando (propagando), no pueden disminuir

- Nota: la expresión de la suma en cuadratura es válida únicamente cuando las medidas son independientes y tienen una distribución de error Gaussiana

Propagación de errores

$z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$

- Notar que esa ecuación se parece a la del diferencial total de una función

$$df = \frac{\partial f}{\partial y_1} dy_1 + \frac{\partial f}{\partial y_2} dy_2 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial y_N} dy_N$$

- pero cada término está elevado al cuadrado, **esto se llama *suma en cuadratura*** y estamos suponiendo que $dy \rightarrow \Delta y$

$$(\Delta z)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial y_1} \Delta y_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y_2} \Delta y_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial y_N} \Delta y_N\right)^2$$

— —> tiene sentido, los errores se van acumulando (propagando), no pueden disminuir

- Nota: la expresión de la suma en cuadratura es válida únicamente cuando las medidas son independientes y tienen una distribución de error Gaussiana

Propagación de errores

$z = f(y_1, y_2, \ldots, y_N)$

- Notar que esa ecuación se parece a la del diferencial total de una función

$$df = \frac{\partial f}{\partial y_1} dy_1 + \frac{\partial f}{\partial y_2} dy_2 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial y_N} dy_N$$

- pero cada término está elevado al cuadrado, **esto se llama *suma en cuadratura*** y estamos suponiendo que $dy \to \Delta y$

$$(\Delta z)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial y_1} \Delta y_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y_2} \Delta y_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial y_N} \Delta y_N\right)^2$$

- Notar que, como los términos se suman en cuadratura, *el error de z siempre siempre siempre será mayor que los errores individuales* Δy_i

— —> tiene sentido, los errores se van acumulando (propagando), no pueden disminuir

- Nota: la expresión de la suma en cuadratura es válida únicamente cuando las medidas son independientes y tienen una distribución de error Gaussiana

Ejemplo: 3º Ley de Kepler

El caso del Práctico 1

3º Ley de Kepler: Cuadrado del Período proporcional al cubo del semiejemayor

$$P^2 = Ca^3 \qquad (1)$$

pizarrón…

El caso del Práctico 1

3º Ley de Kepler: Cuadrado del Período proporcional al cubo del semiejemayor

$$P^2 = Ca^3 \tag{1}$$

- El período orbital es algo que se puede medir (un observable) para cada planeta

pizarrón…

El caso del Práctico 1

3º Ley de Kepler: Cuadrado del Período proporcional al cubo del semiejemayor

$$P^2 = Ca^3 \tag{1}$$

- El período orbital es algo que se puede medir (un observable) para cada planeta

pizarrón…

El caso del Práctico 1

3º Ley de Kepler: Cuadrado del Período proporcional al cubo del semiejemayor

$$P^2 = Ca^3 \qquad (1)$$

- El período orbital es algo que se puede medir (un observable) para cada planeta

- El semieje mayor a se puede calcular a partir de P con la Ec. (1)

pizarrón…

El caso del Práctico 1

3º Ley de Kepler: Cuadrado del Período proporcional al cubo del semiejemayor

$$P^2 = Ca^3 \tag{1}$$

- El período orbital es algo que se puede medir (un observable) para cada planeta

- El semieje mayor a se puede calcular a partir de P con la Ec. (1)

pizarrón…

El caso del Práctico 1

3º Ley de Kepler: Cuadrado del Período proporcional al cubo del semiejemayor

$$P^2 = Ca^3 \tag{1}$$

- El período orbital es algo que se puede medir (un observable) para cada planeta
- El semieje mayor a se puede calcular a partir de P con la Ec. (1)
- si tenemos una medida de P con error ΔP, cuál será el error Δa del semieje mayor

pizarrón…

$$a = (P/C)^{2/3}$$

$$a = (P/C)^{2/3}$$

$$\Delta a = \frac{\partial a}{\partial P} \Delta P$$

$$a = (P/C)^{2/3}$$

$$\Delta a = \frac{\partial a}{\partial P}\Delta P$$

$$\boxed{\Delta a = \frac{1}{C^{2/3}} P^{-1/3} \Delta P}$$

Propagación de Errores: Ejemplos

$$(\Delta y)^2 =$$

$$(\Delta y)^2 = (x\Delta k)^2 + (k\Delta x)^2 + (\Delta c)^2$$

Propagación de Errores: Ejemplos

- Pongamos un caso genérico en el que se hace un ajuste lineal por mínimos cuadrados y obtiene lo siguiente: $y = kx + c$ con una pendiente $k \pm \Delta k$ y punto de corte $c \pm \Delta c$, cada uno su error respectivo

$$(\Delta y)^2 =$$

$$(\Delta y)^2 = (x\Delta k)^2 + (k\Delta x)^2 + (\Delta c)^2$$

Propagación de Errores: Ejemplos

- Pongamos un caso genérico en el que se hace un ajuste lineal por mínimos cuadrados y obtiene lo siguiente: $y = kx + c$ con una pendiente $k \pm \Delta k$ y punto de corte $c \pm \Delta c$, cada uno su error respectivo

- Supongamos que yo quiero saber, para un valor $x \pm \Delta x$ medido, qué valor espero obtener para y, incluyendo su error:

$$(\Delta y)^2 =$$

$$(\Delta y)^2 = (x\Delta k)^2 + (k\Delta x)^2 + (\Delta c)^2$$

Propagación de Errores: Ejemplos

- Pongamos un caso genérico en el que se hace un ajuste lineal por mínimos cuadrados y obtiene lo siguiente: $y = kx + c$ con una pendiente $k \pm \Delta k$ y punto de corte $c \pm \Delta c$, cada uno su error respectivo

- Supongamos que yo quiero saber, para un valor $x \pm \Delta x$ medido, qué valor espero obtener para y, incluyendo su error:

$$(\Delta y)^2 = \left|\frac{\partial y}{\partial x}\right|^2 \Delta x^2 + \left|\frac{\partial y}{\partial k}\right|^2 \Delta k^2 + \left|\frac{\partial y}{\partial c}\right|^2 \Delta c^2$$

$$(\Delta y)^2 = (x\Delta k)^2 + (k\Delta x)^2 + (\Delta c)^2$$

Propagación de Errores: Ejemplos

- Pongamos un caso genérico en el que se hace un ajuste lineal por mínimos cuadrados y obtiene lo siguiente: $y = kx + c$ con una pendiente $k \pm \Delta k$ y punto de corte $c \pm \Delta c$, cada uno su error respectivo

- Supongamos que yo quiero saber, para un valor $x \pm \Delta x$ medido, qué valor espero obtener para y, incluyendo su error:

$$(\Delta y)^2 = \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial x}\right|^2}_{k} \Delta x^2 + \left|\frac{\partial y}{\partial k}\right|^2 \Delta k^2 + \left|\frac{\partial y}{\partial c}\right|^2 \Delta c^2$$

$$(\Delta y)^2 = (x\Delta k)^2 + (k\Delta x)^2 + (\Delta c)^2$$

Propagación de Errores: Ejemplos

- Pongamos un caso genérico en el que se hace un ajuste lineal por mínimos cuadrados y obtiene lo siguiente: $y = kx + c$ con una pendiente $k \pm \Delta k$ y punto de corte $c \pm \Delta c$, cada uno su error respectivo

- Supongamos que yo quiero saber, para un valor $x \pm \Delta x$ medido, qué valor espero obtener para y, incluyendo su error:

$$(\Delta y)^2 = \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial x}\right|^2}_{k} \Delta x^2 + \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial k}\right|^2}_{x} \Delta k^2 + \left|\frac{\partial y}{\partial c}\right|^2 \Delta c^2$$

$$(\Delta y)^2 = (x\Delta k)^2 + (k\Delta x)^2 + (\Delta c)^2$$

Propagación de Errores: Ejemplos

- Pongamos un caso genérico en el que se hace un ajuste lineal por mínimos cuadrados y obtiene lo siguiente: $y = kx + c$ con una pendiente $k \pm \Delta k$ y punto de corte $c \pm \Delta c$, cada uno su error respectivo

- Supongamos que yo quiero saber, para un valor $x \pm \Delta x$ medido, qué valor espero obtener para y, incluyendo su error:

$$(\Delta y)^2 = \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial x}\right|^2}_{k} \Delta x^2 + \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial k}\right|^2}_{x} \Delta k^2 + \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial c}\right|^2}_{1} \Delta c^2$$

$$(\Delta y)^2 = (x\Delta k)^2 + (k\Delta x)^2 + (\Delta c)^2$$

Propagación de Errores: Ejemplos

- Pongamos un caso genérico en el que se hace un ajuste lineal por mínimos cuadrados y obtiene lo siguiente: $y = kx + c$ con una pendiente $k \pm \Delta k$ y punto de corte $c \pm \Delta c$, cada uno su error respectivo

- Supongamos que yo quiero saber, para un valor $x \pm \Delta x$ medido, qué valor espero obtener para y, incluyendo su error:

$$(\Delta y)^2 = \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial x}\right|^2}_{k} \Delta x^2 + \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial k}\right|^2}_{x} \Delta k^2 + \underbrace{\left|\frac{\partial y}{\partial c}\right|^2}_{1} \Delta c^2$$

- así, el error de y termina quedando como:

$$(\Delta y)^2 = (x\Delta k)^2 + (k\Delta x)^2 + (\Delta c)^2$$

Propagación de Errores: Ejemplos

$$D = (1190 \pm 310)\,\mathrm{pc}$$

- ¿A qué error relativo corresponde?

Propagación de Errores: Ejemplos

$$D = (1190 \pm 310)\,\mathrm{pc}$$

- ¿A qué error relativo corresponde?

$$\varepsilon_D = \frac{\Delta D}{D}$$

Propagación de Errores: Ejemplos

$$D = (1190 \pm 310)\,\mathrm{pc}$$

- ¿A qué error relativo corresponde?

$$\varepsilon_D = \frac{\Delta D}{D}$$

$$\varepsilon_D = \frac{310\,pc}{1190\,pc}$$

Propagación de Errores: Ejemplos

$$D = (1190 \pm 310)\,\mathrm{pc}$$

- ¿A qué error relativo corresponde?

$$\varepsilon_D = \frac{\Delta D}{D}$$

$$\varepsilon_D = \frac{310\,pc}{1190\,pc}$$

$$\boxed{\varepsilon_D = 0.26}$$

Propagación de Errores: Ejemplos

$$D = (1190 \pm 310)\,\mathrm{pc}$$

- ¿A qué error relativo corresponde?

$$\varepsilon_D = \frac{\Delta D}{D}$$

$$\varepsilon_D = \frac{310\,pc}{1190\,pc}$$

$$\boxed{\varepsilon_D = 0.26}$$

O lo que es lo mismo, un error porcentual del 26%