

EL CUADERNO DE LABORATORIO

Hacer un experimento no se limita a preparar disoluciones y a realizar medidas con aparatos diversos. Cualquier científico está obligado a **elaborar un informe escrito** de las actividades que ha desarrollado en el laboratorio y de los resultados obtenidos. Estos informes se recogen en el **cuaderno de laboratorio**, que es personal e intransferible. En muchos casos, sobre todo en empresas privadas, se considera que el propietario del cuaderno de laboratorio (y de la información que contiene) es la empresa, y su contenido se considera como **confidencial**.

¿Cómo tiene que ser el cuaderno de laboratorio?



Tiene que ser un cuaderno **grande**, preferiblemente **encuadernado con tapa dura** (para resistir las duras condiciones del laboratorio), **con trama** (cuadrículado o milimetrado), para que sea más fácil dibujar gráficos o hacer tablas, y con las **páginas numeradas** (así sabrás enseguida si falta alguna página). Se recomienda:

- Dejar en blanco las dos primeras páginas para ir haciendo sobre la marcha un índice con los contenidos del cuaderno.
- Utilizar la página de la derecha para anotar los resultados crudos (tal y como salen del instrumento de medida) y los cálculos realizados con ellos. En la página de la izquierda se pueden incluir observaciones personales, detalles que haya que recordar, la interpretación de los resultados y las nuevas ideas que te sugieran.
- No apuntar nunca los resultados en hojas sueltas, servilletas de papel o en un *post-it* para luego dejarlos entre las hojas del cuaderno. Lo más probable es que se pierdan o se traspapelen. Escríbelos directamente en el cuaderno. Si se trata de grandes listas de números, de algún gráfico (un espectro, un cromatograma, una micrografía, etc.) o de un gel, es una buena idea fotocopiarlos y pegar la fotocopia en el cuaderno, guardando a buen recaudo los datos originales.

¿Cómo hago el informe de mi experimento?

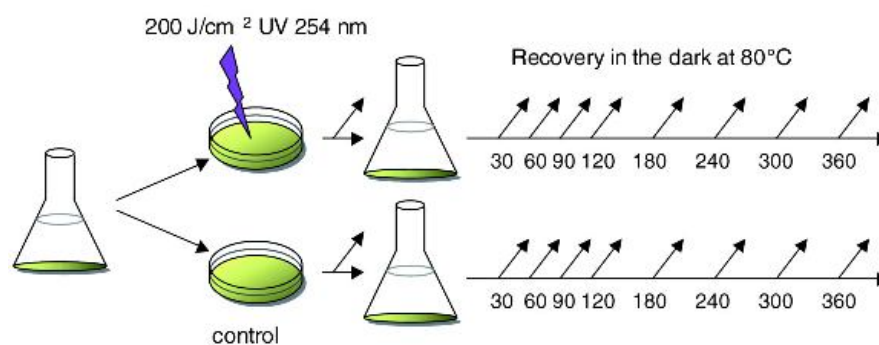
1.- Lo primero, **la fecha**

2.- La **introducción** debe contener:

- un **breve fundamento teórico** relacionado con el experimento que se va a realizar y algunos **antecedentes** relacionados con el tema de trabajo (incluso se pueden incluir **referencias**)
- se puede incluir la reacción química o bioquímica implicada en el experimento
- **objetivo del experimento**: ¿por qué lo hago? y ¿para qué lo hago? en 3 ó 4 frases
- puedo incluso **indicar el resultado esperado**

3.- Los **detalles experimentales**: ¿cómo voy a hacer el experimento?

- **Materiales**: indicar los productos que voy a utilizar, la marca, el número de referencia y el lote de fabricación (*batch*) del producto (por si tengo que reponerlo o hacer algún tipo de reclamación), el número de teléfono del distribuidor al que compro el producto.
- **Las disoluciones**: Hay que utilizar preferentemente **disoluciones recién preparadas** para evitar sorpresas. Las botellas que contengan las disoluciones deben estar **perfectamente etiquetadas**, indicando de qué sustancia se trata, el disolvente utilizado (si no es agua), la concentración, el pH, la fecha de preparación. Asegúrate, antes de iniciar el experimento, de tener **cantidad suficiente** de disolución. Si hay que utilizar volúmenes grandes de una disolución, es una buena idea prepararla más concentrada ($\times 10$) e ir diluyéndola a medida que haga falta. Lo normal es guardar las disoluciones **en la nevera**. Si se encuentra una disolución sin etiquetar, lo mejor que se puede hacer es tirarla directamente (por la fregadera si es acuosa o en el depósito de disolventes orgánicos). Es fundamental que las balanzas, pipetas automáticas y pH-metros estén **perfectamente calibrados** para preparar correctamente las disoluciones.
- **Los instrumentos**: hay que indicar qué **tipo de aparato** voy a utilizar, marca y modelo. Debo indicar las **condiciones de trabajo**: longitudes de onda utilizadas, filtros utilizados, tipo de columnas, velocidad de los eluyentes, tiempo de análisis, agitación, temperatura, pH, oscuridad, etc. para que cualquiera sea capaz de reproducir el experimento. Que no se te olvide **reservar el aparato que vayas a utilizar** con antelación.
- **Los controles**: Para que un experimento tenga éxito es fundamental diseñar los controles adecuados que me permitan sacar conclusiones a partir de los resultados. Se trata de muestras idénticas a las que voy a utilizar en el experimento pero que no son sometidas a ningún tipo de tratamiento. Así puedo **comparar directamente los resultados observados en mi muestra con el control** y cuantificar de manera precisa los cambios que se han producido.
- **Diagrama de flujo**: esquema sencillo en el que se detallan los distintos tratamientos a los que voy a someter a la muestra en el transcurso del experimento, en qué orden se van a hacer, a qué tiempos se van a tomar muestras o a hacer mediciones, etc.



4.- **Observaciones:** Es importante **anotar cualquier circunstancia inesperada** que surja durante el experimento (cambios de color, precipitaciones, aparatos que no responden, etc.) para ver si han podido afectar el desarrollo del experimento.

5.- **Datos (Resultados):** Los resultados numéricos crudos (las medidas que ofrece directamente el aparato) obtenidos a partir de la muestra y del control **se anotan directamente en el cuaderno**, así como todos **los cálculos** que se hagan a partir de ellos (restar los valores de los controles, cálculo de velocidades, de concentraciones, etc). Si hay muchos datos y ello significa hacer muchos cálculos, con que se detallen los cálculos de una tanda de resultados ya vale, siempre y cuando se siga idéntico tratamiento de cálculo con los demás datos crudos. Si los resultados son grandes listados de números, fotos o gráficos **puedo pegar en la hoja el original o una fotocopia** (y tener bien guardados y catalogados los originales). Los datos se pueden representar por medio de **gráficas** o de **tablas**, dibujadas directamente en el cuaderno o hechas por ordenador y pegadas en el cuaderno. Ten en cuenta que **hay que hacer cada experimento por lo menos dos veces**. Es importante asegurarse de que el experimento es reproducible y, además, para representar correctamente los resultados, hay que someterlos a un **tratamiento estadístico**.

6.- **Conclusiones e interpretaciones:** Esta es la parte más importante del informe. **¿Se han obtenido los resultados esperados?**

- **Si la respuesta es NO: Repite el experimento** para cerciorarte de que, efectivamente, el resultado no se ajusta a la hipótesis. **¿He hecho algo mal?** Comprueba que el material de laboratorio que has utilizado estaba limpio y los reactivos y las disoluciones en buen estado. Comprueba que no te has saltado ningún paso del protocolo experimental y que el experimento se ha hecho tal y como se había planteado. **¿Funcionaba bien el aparato?** Comprueba que el aparato de medida estaba calibrado y operativo. Comprueba que la sensibilidad del aparato era la adecuada para hacer las medidas. **¿Merece la pena repetir el experimento?** En la mayoría de los casos, la respuesta es que sí. **¿Por qué no salen las cosas como esperaba?** Puede que el experimento esté mal diseñado o, sencillamente, que la hipótesis de partida sea incorrecta. Recuerda que **un experimento nunca sale mal**. Si las cosas no han salido como esperabas, replantéate la hipótesis. Piensa más sobre los resultados obtenidos y **trata de obtener una explicación alternativa y diseñar un nuevo experimento para confirmarla**. En muchos casos, es en estos momentos cuando uno hace descubrimientos realmente interesantes.
- **Si la respuesta es SÍ: Repite el experimento** para cerciorarte de que los resultados son reproducibles y así poder asegurar que, efectivamente, el resultado se ajusta a la hipótesis. Trata de **sacar conclusiones** a partir de los resultados. Comprueba si tus resultados coinciden o no con los que hayan podido publicar otros investigadores (anotando las referencias bibliográficas correspondientes). Si hay alguna diferencia, trata de encontrar explicación. Y lo más importante: **¿qué nuevos experimentos me sugieren estos resultados?**

La importancia de escribir bien

Como, seguramente, serán muchas las personas que consulten ese informe, debe estar **escrito de forma clara** (con buena letra, sin abreviaturas que sólo tú entiendas y con sintaxis correcta), **ordenada y precisa** (sin florituras). Ten en cuenta que si has escrito bien el desarrollo del experimento en tu cuaderno de laboratorio ya has hecho gran parte del trabajo necesario para escribir el manuscrito científico que quieras mandar a publicar en una revista.

Escribir bien será muy importante a lo largo de tu carrera, ya que te hará falta para multitud de cosas (sacar mejores notas, pedir becas, escribir artículos, pedir financiación para proyectos de investigación, hacer informes, pedir trabajo, etc). Es importante esforzarse en ello desde el primer momento. Una fórmula infalible para escribir bien es **leer mucho**.

Presentación de los datos experimentales

La forma más habitual de representar los datos experimentales es mediante **gráficos o tablas**. Cada gráfico o tabla debe tener un **título** que los identifique de forma inequívoca de modo que no se tenga ninguna duda sobre lo que representan. En el caso de las gráficas, **los ejes de coordenadas** deben estar perfectamente definidos y **las escalas** tienen que ajustarse a los datos obtenidos. Tanto en los gráficos como en las tablas es muy importante indicar **las unidades de medida**. Las unidades que se utilizan normalmente son las del Sistema Internacional (SI). Dentro de este sistema se distinguen:

- las **unidades básicas**:

Fenómeno físico	Unidad básica	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Intensidad de corriente	Amperio	A
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Intensidad luminosa	Candela	cd
Cantidad de sustancia	Mol	mol

- las **unidades derivadas**:

Fenómeno físico	Unidad básica	Símbolo	Nombre
Área	Metro cuadrado	m ²	
Volumen	Metro cúbico	m ³	
Velocidad	Metro/segundo	m•s ⁻¹	
Densidad	Kilogramo/metro cúbico	kg•m ⁻³	
Fuerza	Kilogramo•metro/segundo ²	kg•m•s ⁻²	Newton
Presión	Newton /metro ²	N•m ⁻²	Pascal
Concentración	Mol/metro ³	mol•m ⁻³	

También es importante indicar si se utilizan **múltiplos o submúltiplos**:

Prefijos para indicar múltiplos y submúltiplos					
Factor	Prefijo		Factor	Prefijo	
	Nombre	Símbolo		Nombre	Símbolo
10^1	deca-	da	10^{-1}	deci-	d
10^2	hecto-	h	10^{-2}	centi-	c
10^3	kilo-	k	10^{-3}	mili-	m
10^6	mega-	M	10^{-6}	micro-	μ
10^9	giga-	G	10^{-9}	nano-	n
10^{12}	tera-	T	10^{-12}	pico-	p
10^{15}	peta-	P	10^{-15}	femto-	f
10^{18}	exa-	E	10^{-18}	atto-	a
10^{21}	zetta-	Z	10^{-21}	zepto-	z

Tablas de datos

El diseño de la tabla debe hacerse de modo que presente los datos de la forma más clara y concisa posible. Lo primero que hay que hacer es poner **un título** que permita al lector darse cuenta inmediatamente de lo que representan los datos. Hay que indicar claramente **lo que representa cada fila y cada columna**, con las **unidades** correspondientes. Veamos un ejemplo de **una tabla mal hecha**:

Absorbance values for Reaction #1 at 360, 420, and 540 nm	Absorbance values for Reaction #2 at 360, 420, and 540 nm	Absorbance values for Reaction #3 at 360, 420, and 540 nm
0.876 (360 nm)	0.885 (360 nm)	0.823 (360 nm)
0.253 (420 nm)	0.250 (420 nm)	0.244 (420 nm)
0.164 (540 nm)	0.163 (540 nm)	0.157 (540 nm)

Esta tabla no tiene título, es redundante y no permite al lector apreciar claramente las diferencias entre un experimento y otro. Veamos un ejemplo de **una tabla bien hecha**:

Table 1: Absorbance values for three trials of the experiment at 360, 420, and 540 nm.			
Trial #	A_{360}	A_{420}	A_{540}
1	0.876	0.253	0.164
2	0.885	0.250	0.163
3	0.823	0.244	0.157

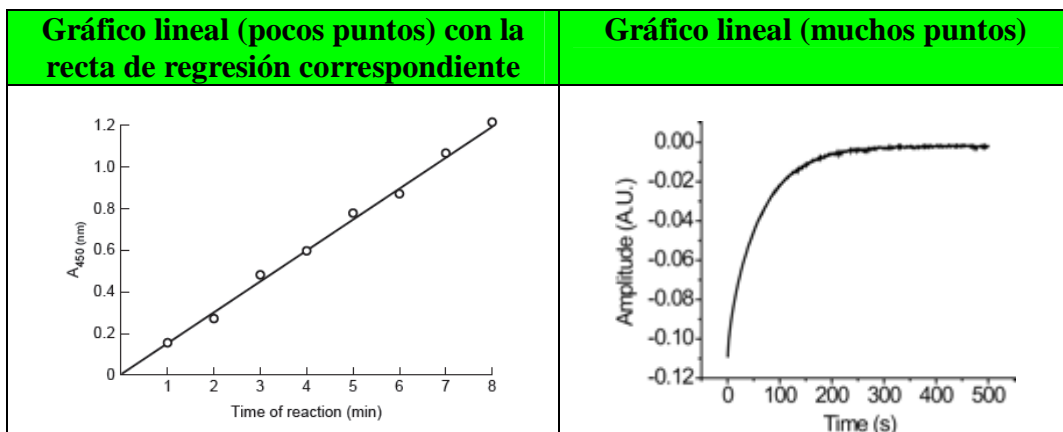
Esta tabla tiene un título que indica lo que representan los datos y la atención del lector se centra rápidamente en las diferencias entre los diversos valores.

Gráficos

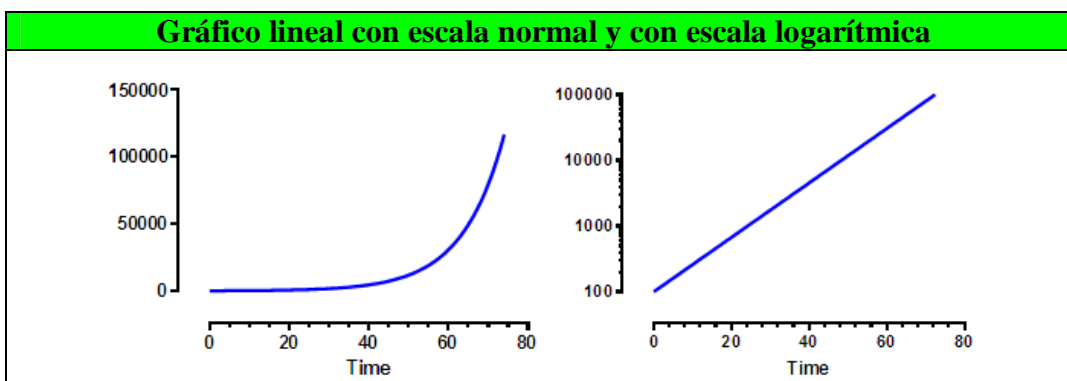
Los gráficos permiten representar gran cantidad de datos de una forma clara y concisa que permite detectar rápidamente las diferencias entre diversos experimentos. En Bioquímica se pueden utilizar diversos tipos de gráficos para representar los datos experimentales:

1.- **Gráfico lineal:** Cada resultado experimental se representa como **un punto** en el espacio bidimensional delimitado entre dos ejes cartesianos perpendiculares entre sí. El punto donde se cortan ambos ejes es el origen de coordenadas. El **eje horizontal (x)** es el eje de las **abscisas** y en él se representa la **variable independiente** (la que es controlada por el investigador: pH, temperatura, concentración, etc). El **eje vertical (y)** es el eje de las **ordenadas** y en él se representa la **variable dependiente** (la que resulta afectada por la variable independiente).

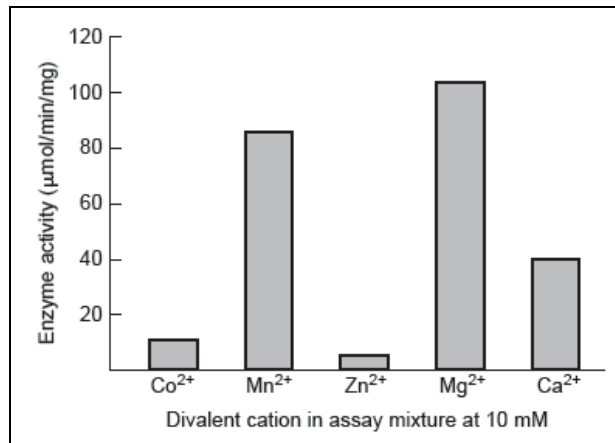
Los puntos experimentales **se pueden unir mediante una línea o no**. En algunos casos, como cuando se realiza una medida cinética, el gráfico contiene un número tan grande de puntos que parece una línea continua. Cuando los puntos experimentales se ajustan a un modelo matemático se puede incluir la gráfica correspondiente a la función matemática y el **análisis de regresión** me permite calcular los parámetros de la función (ver figuras de la tabla inferior).



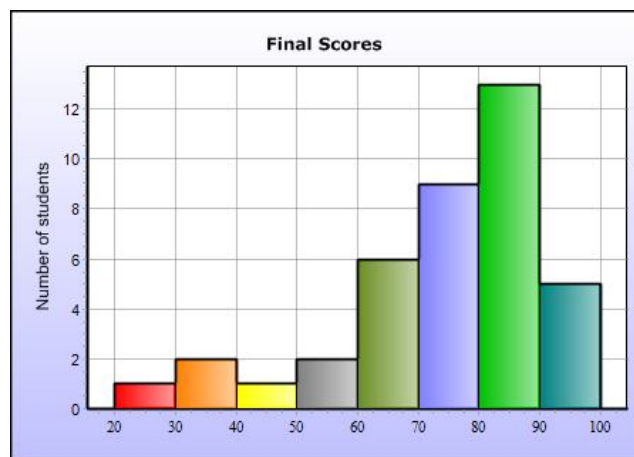
En cada eje **se indica la variable** que representa y **sus unidades**. Es importante **escoger bien la escala** de cada eje para poder observar bien las diferencias entre un experimento y otro. Cuando los valores de una variable abarcan un rango muy amplio, se puede utilizar una **escala logarítmica**. Veamos algunos ejemplos de gráficos lineales:



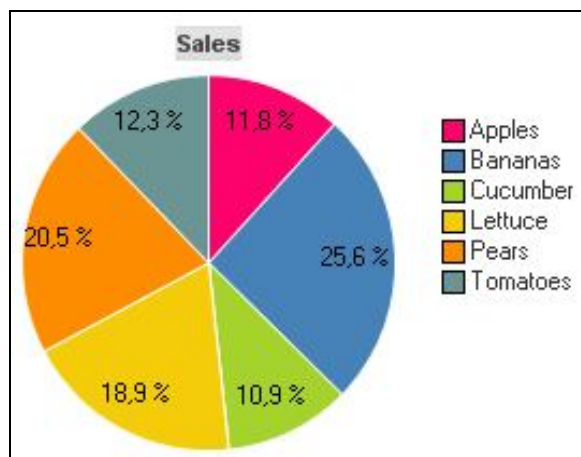
2.- **Gráfico de barras:** Se utilizan cuando **la variable independiente** (la que controla el investigador) **no es numérica**. Ejemplo:



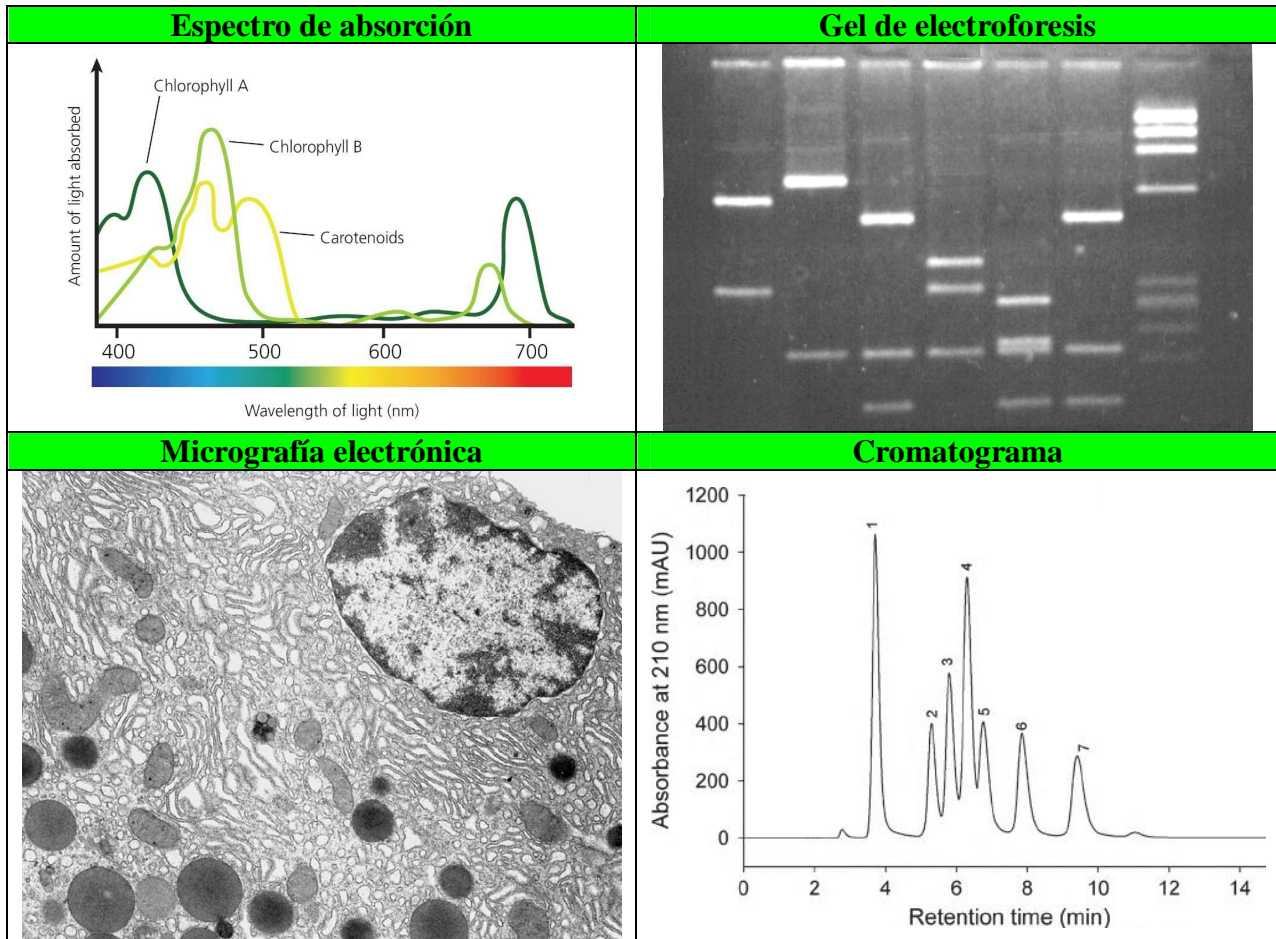
3.- **Histogramas:** Se utilizan cuando **la variable independiente** (la que controla el investigador) **está dividida en intervalos**. En el ejemplo se representa el número de estudiantes que ha obtenido una nota comprendida entre dos valores numéricos:



4.- **Gráfico circular (pie chart):** Se utilizan, sobre todo, **para representar porcentajes**. Ejemplo:



5.- **Otras formas de representar datos experimentales:** Además de gráficos y tablas, en los artículos de Bioquímica es frecuente encontrar **fotografías** (micrografías, autorradiografías, geles de poliacrilamida, geles de agarosa, etc), **gráficos hechos por el propio aparato de medida** (espectros de absorción o de fluorescencia, cromatogramas, diagramas de densidad electrónica, etc) o incluso **vídeos**.

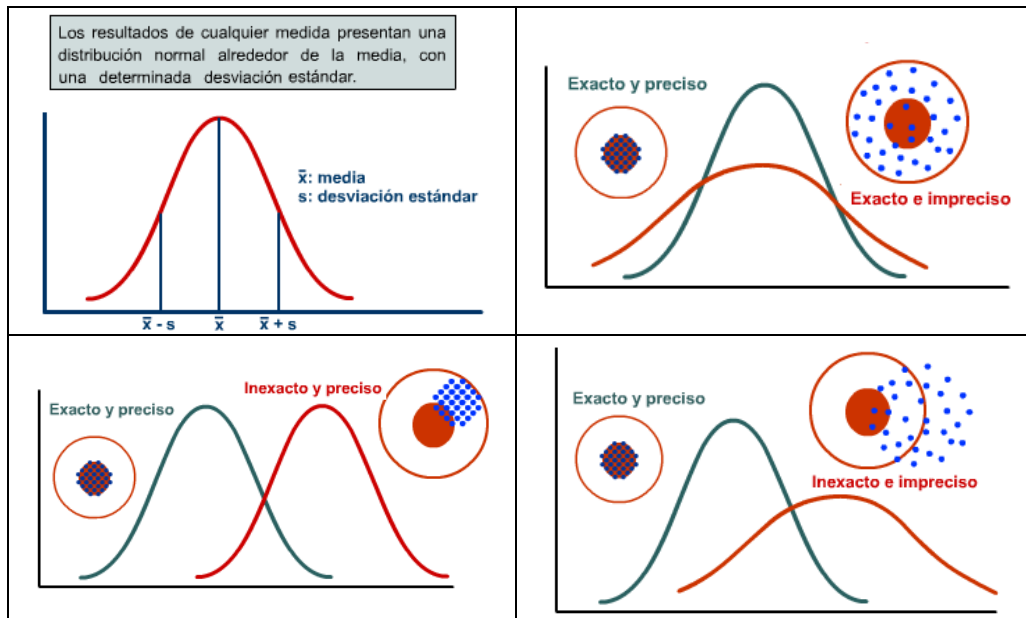


Exactitud y precisión de las medidas experimentales

Es importante darse cuenta que **las medidas experimentales nunca son del todo exactas**. Al realizar un mismo experimento varias veces, o incluso al hacer varias medidas de una misma muestra, los resultados numéricos serán distintos. Por ejemplo, si se mide la concentración de colesterol en sangre de una misma muestra siempre se obtendrán resultados distintos. Las **causas de esta variabilidad** pueden atribuirse a (1) **la misma propiedad que trato de medir** (por ejemplo, si el colesterol no se distribuye uniformemente en el sistema circulatorio, la medida no se corresponde con el valor real), (2) al **proceso de medición** (aparatos mal calibrados, reactivos en mal estado) o (3) al **sujeto que realiza la medida** (utilización incorrecta del instrumento).

En la mayoría de los casos, el grado de fluctuación entre una medida y otra depende, fundamentalmente, del propio proceso de medición. Cuando un bioquímico realiza una medida, procurará **utilizar un método experimental que sea preciso y exacto**:

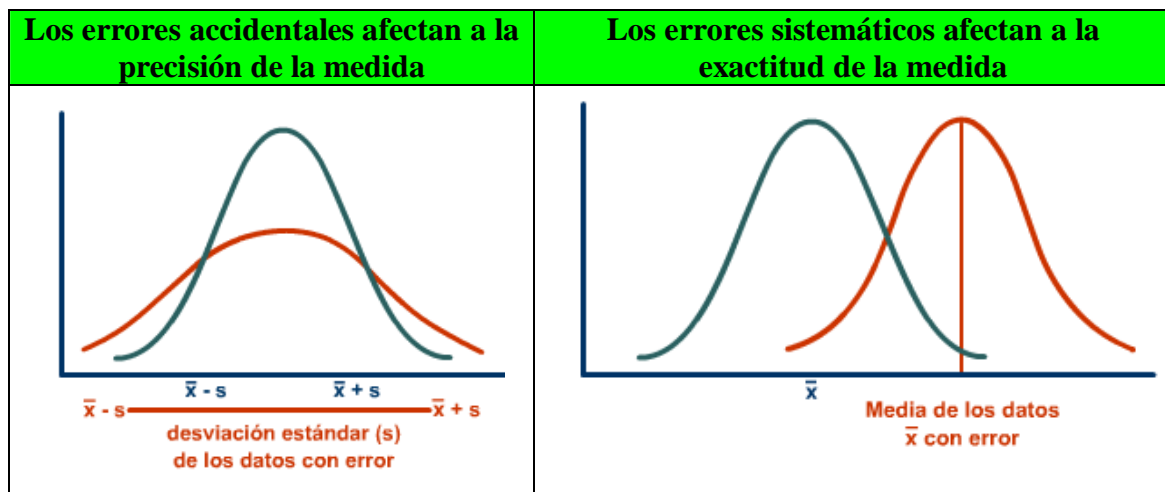
- Se dice que un método experimental es **preciso** cuando los resultados son **reproducibles**. Es decir, si se realiza una misma medida un número elevado de veces, los resultados fluctúan poco.
- Se dice que un método experimental es **exacto** cuando el resultado se acerca mucho al valor real. Se considera como **valor real** la media de infinitas medidas experimentales. La diferencia entre el valor observado y el valor real es el **error**, o **sesgo**, de la medida. Cuanto menor sea el sesgo, más exacto será el método.



Errores experimentales

Al realizar una medida experimental nos exponemos, inevitablemente, a **dos tipos** de errores:

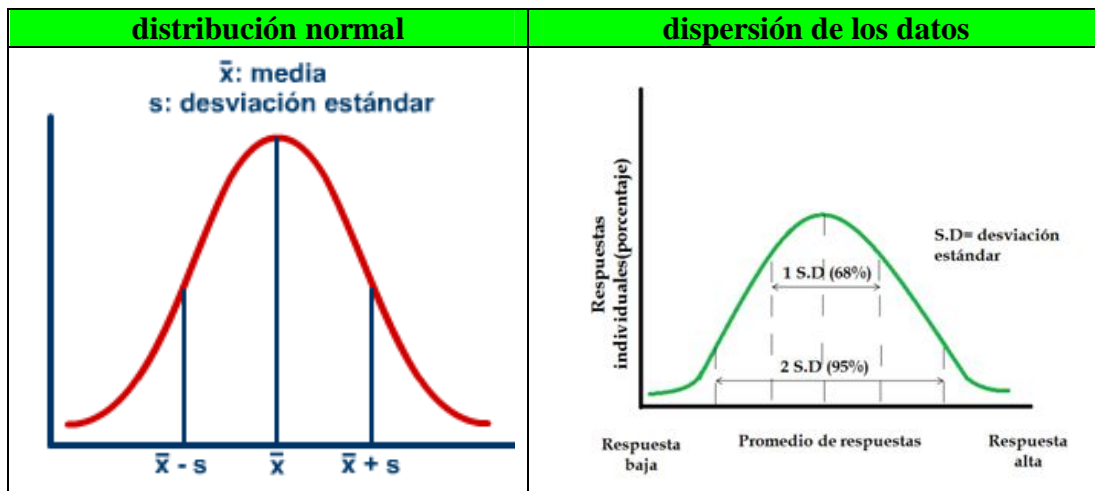
- Los **errores accidentales** (también se denominan indeterminados o aleatorios): no pueden ser controlados por el investigador y dan lugar a un aumento en la dispersión de los resultados. No se pueden eliminar, aunque **es posible minimizarlos** repitiendo las medidas y poniendo el máximo cuidado a la hora de realizar el experimento. Mediante métodos estadísticos es posible calcular parámetros como la **desviación estándar** o el **error estándar**, que nos dan una idea del alcance de este tipo de errores. Los errores accidentales aumentan el valor de la desviación estándar (datos más dispersos) y, por tanto, afectan a la precisión de la medida.
- Los **errores sistemáticos** (también se denominan determinados o sesgo): se deben, generalmente a errores de manipulación y son específicos para cada caso concreto. Pueden deberse al **mal funcionamiento del aparato** (que no esté bien calibrado o ajustado), **al propio método** (que produce alteraciones en la medida que no hemos previsto) o **al investigador** (que utiliza disoluciones contaminadas o que no pone suficiente cuidado). A diferencia de los errores accidentales, estos errores no se pueden minimizar mediante un análisis estadístico de medidas repetidas pero **pueden ser corregidos**, al menos en parte, si se detecta su origen. Estos errores afectan a la exactitud de la medida, ya que dan lugar a **medidas alejadas del valor real, aunque con una dispersión normal**.



Tratamiento estadístico de los datos

Para determinar el **valor real** de una medida habría que calcular **la media de infinitas medidas**, algo que en la práctica resulta imposible. Lo que se suele hacer es un **número relativamente pequeño de medidas** (entre 3 y 4) y un **análisis estadístico** que permita evaluar la precisión de los datos experimentales. No merece la pena realizar un elevado número de medidas porque el incremento de la precisión no compensa el tiempo, esfuerzo y dinero que supone repetir muchas veces un mismo experimento.

La variabilidad de los resultados presenta **una distribución normal** en torno a una **media**. La dispersión de los datos en torno al valor medio viene definida por la **desviación estándar**:



A partir de un número reducido (n) de medidas (x_1, x_2, \dots, x_n) es posible **calcular la media (\bar{x}) y la desviación estándar (s)**:

cálculo de la media	cálculo de la desviación estándar
$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum (x_i - \bar{x})^2}$

Los resultados experimentales se expresan como $\bar{x} \pm s$. Esta forma de expresar los datos define un intervalo de valores en el que estarían incluidos el 68,3% de todas las medidas realizadas.

Veamos un ejemplo: se mide la absorción a 650 nm de 3 disoluciones preparadas de idéntica forma y los resultados obtenidos son:

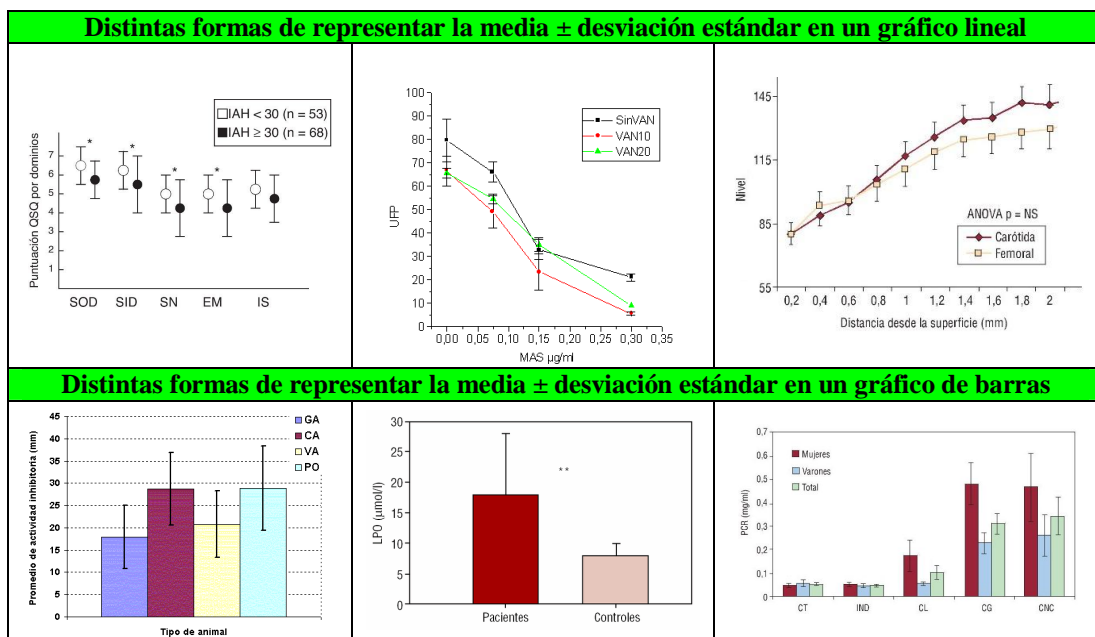
	medida 1	medida 2	medida 3
$A_{650 \text{ nm}}$	0,50	0,44	0,32

Haciendo los cálculos pertinentes, obtenemos que:

cálculo de la media	cálculo de la desviación estándar
$\bar{x} = \frac{0,50 + 0,44 + 0,32}{3} = 0,42$	$s = \sqrt{\frac{(0,5 - 0,42)^2 + (0,44 - 0,42)^2 + (0,32 - 0,42)^2}{2}} = 0,09$

Por tanto, la forma correcta de expresar el resultado será: $A_{650 \text{ nm}} = 0,42 \pm 0,09 \text{ (SD)}$

En las gráficas, se puede representar este resultado de varias formas, tal y como se aprecia en las figuras de la tabla inferior:



También se puede expresar la dispersión de los datos mediante el parámetro estadístico denominado **error estándar de la media (EEM)**. El EEM se calcula **dividiendo la desviación estándar entre la raíz cuadrada del número de medidas realizadas**. En el ejemplo anterior, el $EEM = 0,09 / \sqrt{3} = 0,05$. En este caso, la forma de expresar el resultado sería: $A_{650 \text{ nm}} = 0,42 \pm 0,05 \text{ (SE)}$

A la hora de presentar los resultados, es muy importante indicar si la dispersión se indica mediante la desviación estándar (SD) o mediante el error estándar de la media (SE). Lo más recomendable es utilizar el EEM, indicando también el número de veces que se ha realizado la medida.