

Esquema de la Lección sobre Error Experimental

Contexto

Biofísicos y otros científicos estudian las propiedades de sistemas biológicos y otros sistemas moleculares en general usando diferentes métodos e instrumentos. Las medidas que realizan contienen errores que surgen de diferentes maneras. El científico puede cometer errores cuando realiza las medidas, aunque quizás esto sea difícil de creer, observarás pronto como esto puede suceder. Otros errores se asocian a los instrumentos y a las diferencias en las condiciones bajo las cuales se han realizado las medidas, por ejemplo variación en la temperatura o humedad. El tamaño de estos errores es algo que se puede estimar repitiendo las medidas usando diferentes instrumentos, métodos o repitiendo el ensayo en días diferentes. Debido a estos errores, los científicos suelen realizar las medidas varias veces en lugar de sólo una vez, hacen un promedio de los resultados y anotan las diferencias junto al promedio. Estas diferencias entre las diferentes medidas se denominan **error experimental**. Cuando un experimento consta de varios pasos, el experimento completo se repite varias veces para incrementar la exactitud de los resultados. Exactitud denota la proximidad de las medidas al verdadero valor de la medida que se ha realizado.

Esta lección pretende mostrar los errores que surgen cuando personas como tú (o nosotros ambos) realiza medidas, y cómo repitiendo una medida se puede reducir la magnitud del error experimental. También se describe como la variación, por ejemplo entre individuos de un grupo, difiere del error experimental y debe ser especificada de otra forma.

Objetivos y Nivel

[1] Demostrar la fuente del error experimental y el efecto de repetir las medidas para la reducción del valor del error.

[2] Mostrar que existe variación entre un grupo de individuos, y cómo puede ser caracterizada.

Nivel de dificultad apropiada para estudiantes de ciencias que comienzan la enseñanza superior o en niveles más avanzados. Conocimiento de notación matemática es útil pero no esencial.

Materiales

- Regla

Procedimiento

1. Usando una regla, mide la extensión de tu mano derecha o de tu mano izquierda en centímetros (cm) – es decir, la distancia más larga que se puede alcanzar entre la punta de tu dedo más pequeño y el final de tu dedo pulgar (**Figura 1**). Anota el valor de tu medida, relaja tu mano, y a continuación vuelve a medir. Repite este proceso hasta que tengas 10 valores.

Intenta no mirar para ver cuál será el valor de la medida antes de hacer la lectura- solo estira tu mano a lo largo de la regla y luego anota la medida. Asegúrate de medir siempre la misma mano.

¿Son los resultados idénticos para las 10 medidas? Si no es así ¿cuál es la diferencia mayor entre los valores? Las diferencias ocurren porque es difícil estirar tu mano exactamente de la misma forma cada vez. Esto es también cierto para otro tipo de medidas que implican pipetear el mismo volumen cada vez, excitar una muestra con la misma cantidad de luz, o aplicar una fuerza de idéntica magnitud a un objeto.

2. Calcula la media de los valores que has medido sumando los valores de todas las medidas y dividiendo entre 10. El resultado se denomina **valor medio**. A continuación calcula el valor del error estándar de la media (ESM) usando las ecuaciones que se describen a continuación (ten en cuenta que este cálculo también se puede realizar en la siguiente página de internet: <http://www.endmemo.com/math/sd.php>):

$$ESM = \frac{DS}{\sqrt{n}}$$

donde

- *DS* es la Desviación Standard, que puede ser calculada a través de la siguiente ecuación (ver **Notas 1 y 2**)

$$DS = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}}$$

- *n* es el número de medidas de ambos *ESM* and *DS*
- *x* es cada valor individual en un conjunto de datos
- \bar{x} es la media de todos los valores en el conjunto de datos

El error estándar de la media es una medida de cuánto difieren tus medidas de unas a otras y de cuánto difieren del valor promedio. Cuando le comunicas a alguien que el valor promedio de tus medidas, también debes especificar el ESM junto con el número de veces (*n*) que has repetido la medida, por ejemplo, *media*±*ESM*, *n*=10.

Aproximadamente ¿qué tamaño es el ESM de tus medidas en comparación con la media de tus medidas? ¿Es una décima parte, una veintava parte del valor medio o más?

3. Pídele a un compañero de clase que mida el ancho de tu mano derecha o izquierda (la misma que tú has medido) usando una regla diferente. Anota el resultado, y luego pídele a él o a ella que repita la medida hasta un total de 10

BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

veces como antes. Calcula la media y el valor del ESM de las diez medidas y compara los valores con la $media \pm ESM$ que determinaste en tus medidas.

¿Son los resultados idénticos o diferentes a las diez medidas que tu compañero ha realizado en comparación con los tuyos? Para determinar cómo de similares son los dos conjuntos de medidas, de manera rápida, puedes preguntarte si las medidas de tu compañero de clase se superponen con tus medidas. Si existe superposición esto quiere decir que cuando sustraes el valor del ESM de la media o cuando lo añades a la media, tus valores y los de tu compañero de clase coinciden en algunas regiones. Por ejemplo, si tu medida es $18.5 \pm 0.7 \text{ cm}$ y la de tu compañero de clase es $19.1 \pm 0.5 \text{ cm}$, tu rango de valores sería $17.8-19.2 \text{ cm}$ y el rango de tu compañero de clase sería de $18.6-19.6 \text{ cm}$, y los valores se superpondrían parcialmente. El ESM es una medida del 68% del intervalo de confianza, es decir, si dos conjuntos de medidas se superponen, puedes estar seguro en un 68% que ambos conjuntos de valores representan el verdadero valor de la extensión de la mano.

4. Si los valores $media \pm ESM$ no se superponen, debes repetir ambos conjuntos de medidas e intentar encontrar porqué son tan diferentes. Asegúrate que las escalas de las reglas son las mismas e intenta estirar tu mano de la misma manera cuando tú o tu compañero de clase realiza la medición.

5. Si los valores de la $media \pm ESM$ se superponen, los dos conjuntos de valores se aproximan entre ellos lo suficientemente para combinarse en un grupo. Toma las veinte medidas y calcula la media y el ESM del conjunto de los veinte valores.

¿Es el ESM de los veinte valores menor o mayor que la magnitud correspondiente a los conjuntos con diez medidas? El ESM debería decrecer mientras las medidas consideradas crecen. Esto quiere decir que la media de los veinte valores de las medidas es más parecida al verdadero valor que la media de sólo diez de las medidas.

6. Ahora compara el valor medio de las veinte medidas que tú y tu compañero de clases obtuvisteis para tu mano derecha o izquierda con aquellos de otros alumnos en tu clase. Estos valores probablemente difieren bastante de unos a otros por las diferencias entre individuos en la clase – las diferencias se deben a diferencias reales en el tamaño de la mano de una persona a otra, en lugar de a errores en la medida. Recuerda que debido a que la mano de cada persona fue medida veinte veces, los valores medios estarán cerca del valor real y el error experimental será muy reducido. Puedes determinar cuánta es la variación en el tamaño de la mano entre los alumnos de tu clase poniendo los valores correspondientes a la mano derecha en un grupo y los de la mano izquierda en un segundo grupo, y determinando los valores medios para cada grupo sumando los valores y dividiendo por el número de valores en cada uno.

Luego calcula la **desviación estándar (DS)** de los valores en cada grupo usando la ecuación descrita anteriormente (o usando la aplicación: <http://www.endmemo.com/math/sd.php>). La **desviación estándar** es una medida de la cantidad de variación debida a las diferencias entre individuos, en este caso, diferencias en el tamaño de la mano entre tú y tus compañeros de clase. No es debido a errores en la medida y difiere con el ESM que es causado por errores en la reproducción de las medidas.

¿Son las DSs para los valores de la extensión de la mano izquierda y derecha de tus compañeros iguales o diferentes de unos a otros? Si son diferentes ¿qué mano presente la mayor variación entre los miembros de tu clase? En otras palabras ¿cuál es la mano que presente el mayor valor de DS?

BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

Notas

1. El *ESM* depende del valor de la desviación estándar, así que *DS* debe ser calculada primero.
2. La *DS* puede ser calculada fácilmente por la mayoría de estudiantes que comienzan la enseñanza secundaria rellorando la tabla que se especifica a continuación. En primer lugar, determina la media de las diez medidas (columna 1). A continuación, sustrae cada valor de la media (columna 2) y eleva al cuadrado la diferencia (columna 3). Suma los valores que has elevado al cuadrado y divide por 10 (el número de medidas), y a continuación calcula la raíz cuadrada del dividendo.

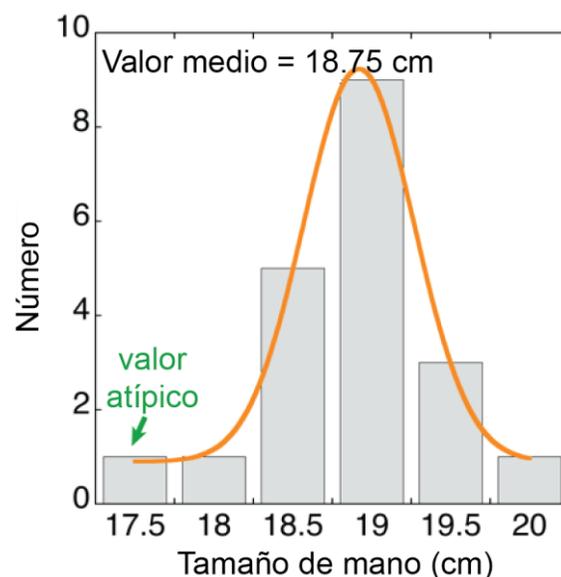
| | Columna 1 | Columna 2 | Columna 3 | |
|--------------------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Mano: __Izquierda __Derecha | Medidas (cm), x | $\bar{x} - x$ | $(\bar{x} - x)^2$ | |
| Medida por: 1) | | | | |
| 2) | | | | |
| 3) | | | | |
| 4) | | | | |
| 5) | | | | |
| 6) | | | | |
| 7) | | | | |
| 8) | | | | |
| 9) | | | | |
| 10) | | | | |
| Media o \bar{x} =Total/10 | \bar{x} = | | Total o $\sum(x - \bar{x})^2$ = | $\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{10} =$ |

$$DS = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{10}} =$$

BASICS: Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students

3. **Tópico Avanzado 1:** otra forma de determinar el valor medio de un conjunto de medidas es representando gráficamente los datos para ver si forman una **distribución Gaussiana**, que es también conocida como una 'distribución normal' o 'curva en forma de campana'. Para comenzar, clasifica tus medidas en grupos de valores idénticos, denominados *intervalos*. A continuación, representa el número de medidas en cada intervalo frente al valor del intervalo. Abajo se ilustra cómo los valores de las medidas indicadas en la Tabla de la izquierda se representan gráficamente de esta forma. Nota que el valor del pico de la gráfica, que es también el valor medio de las medidas determinadas, ($\bar{x} = 18.75 \text{ cm}$, $n=20$), difiere del valor medio calculado ($\bar{x} = 19.1 \pm 0.1 \text{ cm}$, $n=20$). Una de las razones a las que se debe esto es que una medición es muy diferente del resto - se encuentra a un lado del máximo de la distribución Gaussiana y se conoce como un valor atípico. Valores atípicos en conjuntos de medidas como el que tú acabas de realizar surgen más probablemente por las diferencias en la forma que estiraste tu mano durante el experimento (¡en lugar de diferencias en el tamaño real de tu mano!). Determinación del valor medio usando el pico de la curva Gaussiana es probablemente más exacto que calculando el valor medio de todas las medidas llevadas a cabo, porque excluye valores atípicos debidos a los errores en las medidas.

| *Valores Medidos (cm) | Intervalo (cm) | Número |
|--|----------------|-----------|
| 17.5, 19.2, 18.7, 18.3, 19.3, 19.4, 19.1, 20.0, 19.8, 18.6 | 17.5-17.9 | 1 |
| 19.0, 19.4, 18.9, 19.1, 19.5, 19.2, 19.5, 18.8, 19.2, 18.9 | 18.0-18.4 | 1 |
| | 18.5-18.9 | 5 |
| | 19.0-19.4 | 9 |
| | 19.5-19.9 | 3 |
| Media \pm ESM = $19.1 \pm 0.1 \text{ cm}$ | $n=20$ | 20.0-20.4 |

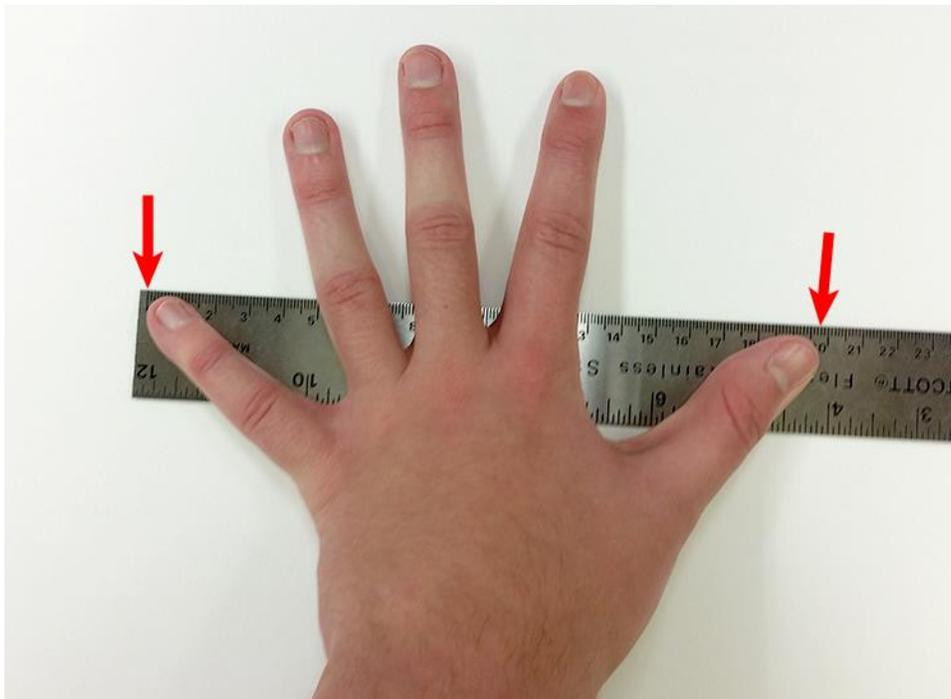


Los valores fueron agrupados, representados y ajustados a una curva Gaussiana $y = 0.89971 + 8.34 * e^{-\frac{(x-3.8367)^2}{0.98774^2}}$, usando *Kaleidagraph v 4.1*. La curva se muestra ajustada a la parte superior de las columnas del histograma pero se aproxima a cero en ambos lados.

*Números entre 17.8-19.2 corresponden a $18.5 \pm 0.7 \text{ cm}$, y 18.6-19.6 corresponden a $19.1 \pm 0.5 \text{ cm}$ (ver paso 3), fueron obtenidos con un generador de números aleatorios, y luego fueron divididos por 10 para dar lugar a los 'Valores Medidos' en el ejemplo superior; un número fue alterado para crear un valor atípico.

Figura

Figura 1 Midiendo la extensión de tu mano con una regla



Con una regla, estira tu mano a lo largo de la escala de los centímetros y mide la distancia más larga entre la punta de tu dedo más pequeño y tu pulgar (como indican las flechas rojas). Repite las medidas hasta obtener un total de diez valores. Asegúrate de utilizar la misma mano para realizar las medidas cuando repitas la medición. Finalmente, sigue los pasos especificados anteriormente para determinar el error en tus medidas.

BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

Esquema de la Lección: Error
Experimental

Page | 7

Autores

Sharyn A Endow
Adam P Russell

Duke University Medical Center
Durham, NC
011116

Traducido por Carmen Domene, Kings College London, con contribuciones de Susy Kohout, Montana State University.

Copyright © 2016 by Biophysical Society. All rights reserved.