
Errores e incertidumbres en física

La consideración y apreciación de la importancia de los conceptos "errores" e "incertidumbres" ayuda a desarrollar habilidades de indagación y pensamiento que no solo son pertinentes al Grupo 4. La evaluación de la fiabilidad de los datos de los que se pueden extraer conclusiones es el elemento fundamental de un método científico más amplio, que se explica en la sección 3 de "Naturaleza de la ciencia" de la guía de la asignatura. Los errores e incertidumbres se abordan en el tema 1.2, "Incertidumbres y errores" de la guía de la asignatura y este tema se puede tratar de forma eficaz a través del plan de trabajos prácticos.

El tratamiento de errores e incertidumbres guarda también una relación directa con algunos criterios de evaluación interna:

- **Exploración:** La metodología de la investigación es muy adecuada para abordar la pregunta de investigación porque considera todos, o casi todos, los factores importantes que pueden influir en la pertinencia, la fiabilidad y la suficiencia de los datos obtenidos.
- **Análisis:** El informe muestra pruebas de que el efecto de la incertidumbre de las mediciones en el análisis se toma en consideración de manera completa y adecuada.
- **Evaluación:** Los puntos fuertes y débiles de la investigación, como las limitaciones de los datos y las fuentes de error, se discuten y demuestran una clara comprensión de las cuestiones metodológicas implicadas en el establecimiento de la conclusión.

Exploración

En la sección "[Trabajos evaluados de alumnos](#)" del material de ayuda al profesor, véanse ejemplos relacionados con el abordaje de los errores y las incertidumbres.

Análisis

Este criterio evalúa en qué medida el informe del alumno aporta pruebas de que este ha seleccionado, registrado, procesado e interpretado los datos de maneras que sean pertinentes para la pregunta de investigación y que puedan respaldar una conclusión.

- El informe incluye suficientes **datos brutos cuantitativos y cualitativos** pertinentes que podrían respaldar una conclusión detallada y válida en relación con la pregunta de investigación.
- Se realiza un procesamiento adecuado y suficiente de datos con la **precisión** necesaria como para permitir extraer una conclusión con respecto a la pregunta de investigación que sea completamente **coherente** con los datos experimentales.
- El informe muestra pruebas de que el efecto de la **incertidumbre de las mediciones** en el análisis se toma en consideración de manera completa y adecuada.
- Los datos procesados se interpretan correctamente, de tal forma que se puede deducir una conclusión completamente válida y detallada de la pregunta de investigación.

Datos brutos cuantitativos y cualitativos

Se espera que todos los alumnos de Física aborden los errores y las incertidumbres en sus investigaciones.

Cuando se obtienen datos numéricos, los valores no se pueden determinar con exactitud, independientemente de la naturaleza de la escala o del instrumento. Si se determina la masa de un objeto con una balanza digital leída a 0,1 g, el valor real está dentro de un rango que se extiende por encima y por debajo de la lectura. Este rango es la incertidumbre de la medición. Si el mismo objeto se mide con una balanza de 0,001 g, la incertidumbre se reduce, pero nunca puede eliminarse por completo. Cuando se registran datos brutos, se deben indicar las incertidumbres estimadas de todas las mediciones.

Existen diferentes convenciones para registrar las incertidumbres de los datos brutos.

- La más simple es la de la apreciación mínima, que simplemente refleja la menor división de la escala, por ejemplo $\pm 0,01$ g en una balanza de precisión.
- El límite de error del instrumento no suele ser mayor que la división mínima y con frecuencia es una fracción del valor de dicha división mínima. Por ejemplo, un amperímetro analógico a menudo indica hasta la mitad de la división más pequeña, lo que equivaldría a decir que un valor de 23 mA se convierte en 23,0 mA ($\pm 0,5$ mA). Tener en cuenta que el valor del volumen se menciona ahora con un decimal más para que haya coherencia con la incertidumbre.
- La incertidumbre estimada tiene en cuenta los conceptos de división mínima y límite de error del instrumento, pero también, si procede, niveles mayores de incertidumbre tal como indica el fabricante del instrumento.

Los comentarios cualitativos y cuantitativos sobre los errores y las incertidumbres pueden ser pertinentes en el análisis. Algunas de las consideraciones cualitativas pueden ser, entre otras: los errores de paralaje al leer una escala, el tiempo de reacción al pulsar un cronómetro al inicio y al final de la medición, la fluctuación aleatoria en la lectura de un voltímetro, o las dificultades para reconocer exactamente cuando una pelota en movimiento pasa por un punto dado.

Los alumnos deben esforzarse al máximo para cuantificar estos errores. Por ejemplo, un alumno midió el voltaje de una fuente de alimentación inestable y escribió los siguientes comentarios cualitativos y cuantitativos.

El voltaje variaba lentamente con el tiempo; aumentaba y disminuía varias centésimas de voltio. Por lo tanto, los valores registrados tienen una incertidumbre mayor que la última cifra significativa de cada medición. La estimación más probable de la incertidumbre es $\pm 0,04$ V.

Los alumnos pueden mencionar la incertidumbre mínima en los datos brutos, basándose en la última cifra significativa de una medición, y se pueden referir a la afirmación de exactitud por parte del fabricante.

Si las incertidumbres son demasiado pequeñas como para ser ignoradas, los alumnos deben indicarlo. Además, los alumnos pueden plantear conjeturas sobre las incertidumbres en función del método de medición.

En la evaluación interna de Física, no se especifica qué convención se prefiere y el moderador aceptará cualquier convención en la que las magnitudes de las incertidumbres registradas sean razonables y coherentes. Se sugiere escribir un breve texto que justifique la incertidumbre elegida en cada magnitud.

Los siguientes ejemplos se han tomado de un experimento para medir la corriente y la diferencia de potencial a través de un resistor.

Ejemplo 1

Es preciso que los alumnos presenten los datos brutos de manera clara y comprensible, incluyendo los nombres de las magnitudes, los símbolos y unidades, y una estimación de la incertidumbre bruta para cada una de las magnitudes de los datos brutos (tabla 1). Las incertidumbres son siempre pertinentes en los datos brutos, incluso si son lo suficientemente pequeñas como para ignorarlas.

Voltaje V / V $\Delta V \approx 0 \text{ V}$	Corriente I / mA $\Delta I = \pm 0,3 \text{ mA}$
1,00	0,9
2,00	2,1
3,00	2,8
4,00	4,1
5,00	5,0
6,00	5,9
7,00	7,1
8,00	8,0
9,00	8,9
10,0	9,9

Tabla 1

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel alto en el criterio "Análisis".

Ejemplo 2

En este ejemplo (tabla 2) la incertidumbre en la corriente es demasiado pequeña respecto a la precisión de los datos registrados, aunque todos los demás aspectos están bien presentados.

Voltaje V / V $\Delta V \approx 0 \text{ V}$	Corriente I / mA $\Delta I = \pm 0,005 \text{ mA}$
1,00	0,9
2,00	2,1
3,00	2,8
4,00	4,1
5,00	5,0
6,00	5,9
7,00	7,1
8,00	8,0
9,00	8,9
10,0	9,9

Tabla 2

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel medio en el criterio "Análisis".

Ejemplo 3

En este ejemplo (tabla 3), el alumno registra apropiadamente los datos brutos en una tabla, pero no se indican los símbolos, no están estimadas las incertidumbres y los datos brutos están registrados con un número incoherente de cifras significativas.

Voltaje / V	Corriente / mA
1	0,9
2	2,1
3	2,8
4	4,1
5	5
6	5,9
7	7,1
8	8
9	8,9
10	9,9

Tabla 3

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel medio en el criterio "Análisis".

Ejemplo 4

En este ejemplo (tabla 4) el alumno no ha incluido unidad alguna.

Voltaje $\Delta V \approx 0$	Corriente $\Delta I = \pm 0,05$
1,00	0,90
2,00	2,10
3,00	2,80
4,00	4,10
5,00	5,00
6,00	5,90
7,00	7,10
8,00	8,00
9,00	8,90
10,0	9,90

Tabla 4

En la evaluación ínterna, esto podría contribuir a obtener un nivel medio en el criterio "Análisis".

Ejemplo 5

El alumno puede no registrar dato bruto alguno o la presentación y los detalles pueden resultar incomprensibles, como en el siguiente ejemplo (tabla 5).

Datos brutos: Voltaje y corriente
1 @ 0,9; 2 @ 2,1; 3 @ 2,8; 4 @ 4,1; 5 @ 5; 6 @ 5,9; 7 @ 7,1; 8 @ 8; 9 @ 8,9; 10 @ 9,9

Tabla 5

En la evaluación ínterna, esto podría contribuir a obtener un nivel bajo en el criterio "Análisis".

Procesamiento de datos

La repetición de mediciones permite calcular el valor medio de una magnitud y la incertidumbre asociada. La repetición de mediciones se emplea para reducir los errores aleatorios.

Los siguientes ejemplos se han tomado de un experimento para medir el tiempo que tarda una bola en rodar hacia abajo de un plano inclinado.

Ejemplo 6

El alumno halla el promedio de tres mediciones del tiempo que tarda una bola en rodar 1,00 m hacia abajo de un plano inclinado (tabla 6). El alumno calcula el tiempo promedio clara y correctamente.

Distancia s / m $\Delta s \approx \pm 0,01$ m	Tiempo t / s $\Delta t = \pm 0,01$ s	Tiempo promedio \bar{t} / s $\Delta \bar{t} = \pm 0,06$ s
1,00	6,28 6,39 6,31	6,33

Tabla 6

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{(6,28 + 6,39 + 6,31)}{3} \approx 6,33 \text{ s}$$

$$\bar{t} = \frac{\text{rango}}{2} = \frac{t_{\text{máx.}} - t_{\text{mín.}}}{2} = \frac{(6,39 - 6,28)}{2} \approx 0,06 \text{ s}$$

$$\bar{t} \pm \Delta \bar{t} = (6,33 \pm 0,06) \text{ s} = 6,33 \text{ s} \pm 1\%$$

Donde \bar{t} representa el valor medio y $\Delta \bar{t}$ representa la incertidumbre en el valor medio.

Los alumnos pueden expresar las incertidumbres como absolutas, relativas o porcentuales.

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel alto en el criterio "Análisis".

Propagación de errores

Los errores aleatorios de los datos brutos se usan para calcular el error del resultado final calculado. Existen varios protocolos para la propagación de errores. A continuación se indica un protocolo sencillo.

Nota: Uno de los protocolos frecuentes implica que la incertidumbre porcentual total y final se cite con no más de una cifra significativa si es igual a 2% o mayor que este, y con no más de dos cifras significativas si es menor de 2%.

Los alumnos deben ser capaces de propagar incertidumbres a través de cálculos que involucren las operaciones de suma, resta, multiplicación, división y potenciación. Los alumnos pueden calcular la incertidumbre utilizando el intervalo de datos de una medición que se haya repetido. Se sugiere presentar un ejemplo de cada tipo de cálculo.

Barras de error

Se espera que todos los alumnos tracen las barras de error en los gráficos, cuando sea pertinente. En muchos casos, solo uno de los dos ejes requerirá tales barras de error. En otros casos, las incertidumbres de ambas magnitudes pueden ser demasiado pequeñas como para trazar las barras de error. En ese caso, se espera que el alumno haga un breve comentario acerca de la razón por la que no se incluyen barras de error. Si hay una gran cantidad de datos, el alumno no necesita trazar la barra de error más que para el punto de datos de menor valor, para el punto de datos de mayor valor y para varios puntos de datos entre dichos extremos. Las barras de error pueden ser expresadas en términos de error absoluto o relativo.

Las barras de error arbitrarias o inventadas no permitirán que el alumno obtenga puntuaciones. Los alumnos deben ser capaces de utilizar las barras de error para discutir, cualitativamente, si la representación es o no lineal, y si las dos cantidades representadas son directamente proporcionales. Con respecto a esto último, también deben ser capaces de reconocer si está presente un error sistemático. Esto se discute más adelante.

Utilizando las barras de error en un gráfico, los alumnos deben ser capaces de hallar los gradientes mínimo y máximo así como las intersecciones máximas y mínimas con los ejes, y utilizarlas para expresar el intervalo de incertidumbre general de un experimento.

El procesamiento de datos se entiende normalmente como la combinación y manipulación de datos brutos para determinar el valor de una magnitud física. A menudo, los datos brutos se multiplican o dividen, suman o restan de otros valores o constantes. Al hacer esto, los errores y las incertidumbres deben propagarse. Sin embargo, hay casos en que los datos brutos resultan apropiados para representarlos gráficamente y establecer una conclusión. Por ejemplo, en un experimento de movimiento, la posición y el tiempo pueden registrarse y representarse gráficamente. En tales casos, se entenderá por procesamiento transferir los datos al gráfico apropiado, construir la curva de mejor ajuste y determinar el gradiente. El procesamiento de la incertidumbre consistirá en un correcto trazado de las barras de error pertinentes sobre el gráfico y en la correcta determinación del gradiente y la intersección del gráfico, con las correspondientes incertidumbres.

Cuando los alumnos procesan los datos de productos o cocientes, sumas o restas, o alguna otra función matemática como por ejemplo la determinación de la media, la puntuación que logran está determinada qué tan bien hayan procesado los datos brutos.

Ejemplo 7

El alumno calcula el cuadrado del tiempo promedio para tres ensayos, como se ha mostrado antes, y también determina la incertidumbre.

El tiempo promedio y la incertidumbre son:

$$t \pm \Delta t = (6,33 \pm 0,06) \text{ s}$$

La incertidumbre en el tiempo promedio como porcentaje es:

$$\Delta t \% = \frac{0,06}{6,33} \times 100 \approx 1\%$$

El tiempo promedio al cuadrado es:

$$t^2 = (6,33 \text{ s})^2 = 40,1 \text{ s}^2$$

La incertidumbre en el cuadrado del tiempo es:

$$\Delta t^2 \% = 2 \times 1\% = 2\%$$

En consecuencia, el cuadrado del tiempo medio y su incertidumbre son:

$$t^2 \pm \Delta t^2 \% = 40,1 \text{ s}^2 \pm 2\% = (40,1 \pm 08) \text{ s}^2$$

El dato y su incertidumbre se procesan ahora correctamente como una barra de error sobre un gráfico de tiempo al cuadrado con respecto a la distancia (figura 7).

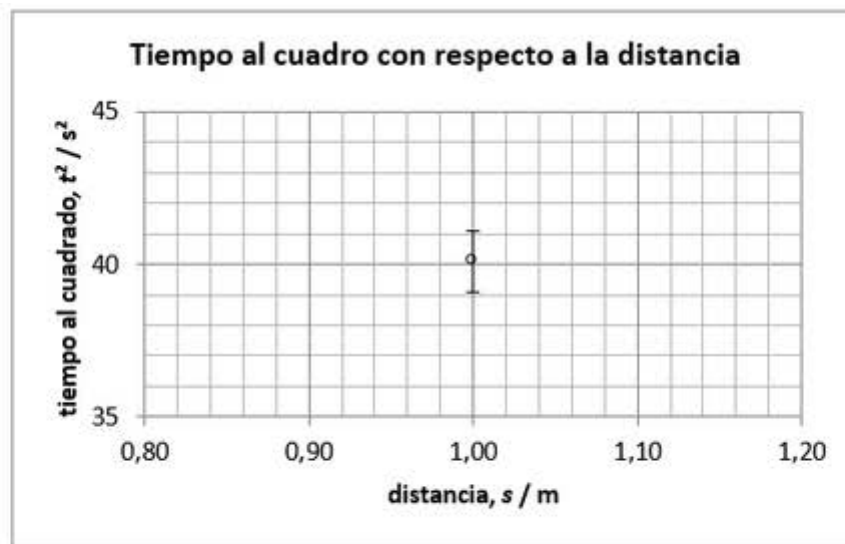


Figura 7

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel alto en el criterio "Análisis".

Ejemplo 8

El alumno halla el promedio de tres medidas del tiempo que tarda una bola en rodar 1,00 m hacia abajo de un plano inclinado, pero expresa el promedio con demasiadas cifras significativas (tabla 7) y no considera la propagación de la incertidumbre.

Distancia s / m	Tiempo t / s $\Delta t = \pm 0,01$ s	Tiempo promedio \bar{t} / s $\Delta \bar{t} = \pm 0,01$ s
1,00	6,28 6,39 6,31	6,3266

Tabla 7

El tiempo promedio y su incertidumbre son:

$$\bar{t} \pm \Delta \bar{t} = (6,3266 \pm 0,01) \text{ s}$$

A continuación, el alumno calcula el cuadrado del tiempo promedio.

El tiempo promedio al cuadrado es:

$$\bar{t}^2 = (6,3266 \text{ s})^2 = 40,02586 \text{ s}^2 \approx 40,03 \text{ s}^2$$

El redondeo se llevó a cabo para ser coherente con la incertidumbre de los datos brutos.

El alumno simplemente transfiere la incertidumbre de los datos brutos, lo que es incorrecto.

$$\bar{t}^2 \pm \Delta \bar{t}^2 = (40,03 \pm 0,01) \text{ s}^2$$

Cuando el alumno lo representa gráficamente, la barra de error es insignificante (figura 8), pero esto es una equivocación debido al procesamiento incorrecto de la incertidumbre.

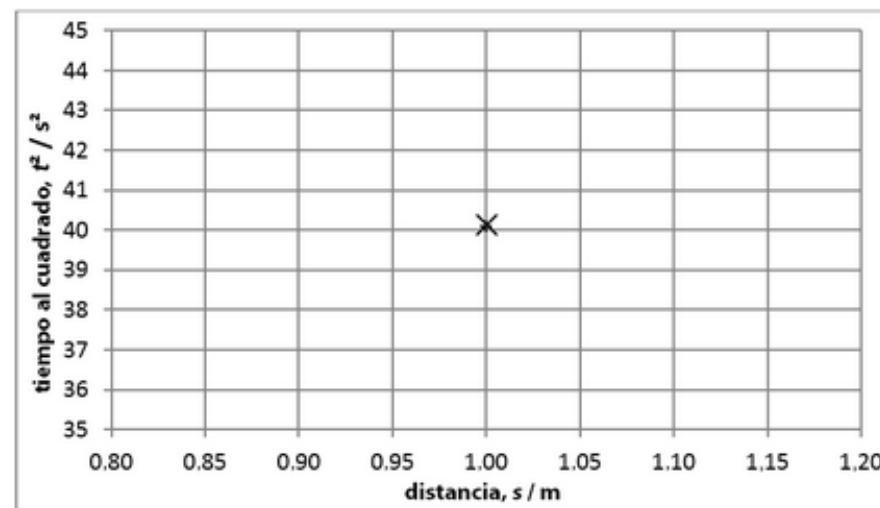


Figura 8

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel medio en el criterio "Análisis".

Ejemplo 9

El alumno podría no presentar ningún procesamiento de datos o procesar los datos incorrectamente (tabla 8).

Distancia s / m	Tiempo t / s	Tiempo promedio \bar{t} / s
1,00	6,28	6,32666
	6,39	
	6,31	

Tabla 8

A continuación, el alumno calcula (pero registra incorrectamente) el cuadrado del tiempo promedio.

El tiempo promedio al cuadrado es:

$$\bar{t}^2 = (6,32666 \text{ s})^2 = 38,9439 \text{ s}$$

Hay un error importante en el cuadrado del tiempo promedio y no se estiman las incertidumbres.

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel bajo en el criterio "Análisis".

El conjunto final de ejemplos está tomado de un experimento para determinar la aceleración en caída libre, en el que se deja caer una pelota de tenis desde diferentes alturas.

Ejemplo 10

En un experimento en el que se investiga la aceleración de caída libre de una pelota de tenis, el alumno traza un gráfico (figura 9) del cuadrado del tiempo, t^2 , con respecto a la altura de caída, h , basándose en los datos recogidos en el experimento (tabla 9). El alumno utiliza el gradiente y las incertidumbres para determinar la aceleración en caída libre con la correspondiente incertidumbre.

Altura de caída, h / m $\pm 0,02$	Tiempo medio de caída, \bar{t} / s	Incertidumbre en el tiempo medio $\Delta \bar{t} / s$	% Incertidumbre en el tiempo medio $\Delta \bar{t} / \%$	Cuadrado del tiempo medio, \bar{t}^2 / s^2	% Incertidumbre en el cuadrado del tiempo medio $\Delta \bar{t}^2 / \%$	% Incertidumbre en el cuadrado del tiempo medio $\Delta \bar{t}^2 / s^2$
2,00	0,43	0,03	7,3	0,18	14,7	0,03
3,00	0,68	0,03	4,6	0,47	9,2	0,04
4,30	0,86	0,04	5,2	0,74	10,4	0,08
4,80	0,93	0,03	3,4	0,86	6,8	0,06
6,30	1,14	0,04	3,9	1,30	7,8	0,10

Tabla 9

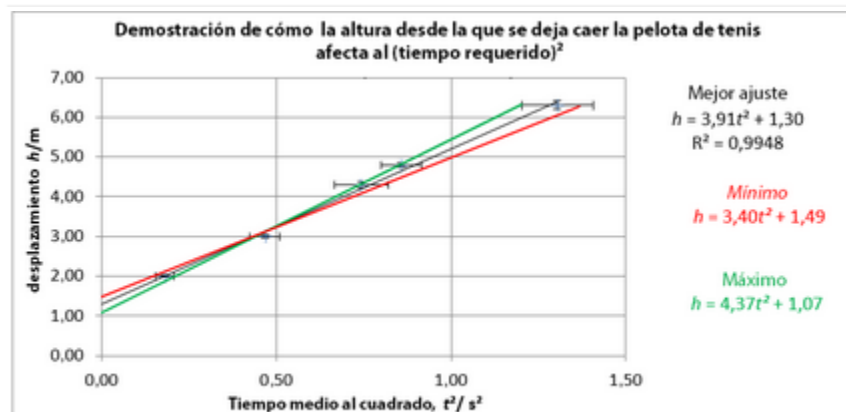


Figura 9

- Las incertidumbres pueden redondearse a una o dos cifras significativas, de acuerdo con el protocolo aceptado.
- Las líneas máxima y mínima se dibujaron para que pasaran por todas las barras de error.

Gradiente de la línea: $3,91 \pm \left(\frac{4,37-3,40}{2} \right) = (3,91 \pm 0,49) \text{ m s}^{-2} \approx (3,9 \pm 0,5) \text{ m s}^{-2} = 3,9 \text{ m s}^{-2} \pm 13\%$

Intersección con el eje Y: $1,30 \pm \left(\frac{1,49-1,07}{2} \right) = (1,30 \pm 0,21) \text{ m} \approx (1,3 \pm 0,2) \text{ m s}^{-2} = 1,3 \text{ m} \pm 16\%$

A partir de $s = ut + \frac{1}{2} at^2$ y teniendo en cuenta que el objeto se deja caer desde el reposo, entonces $u = 0$.

$$a = \frac{2s}{t^2} = 2 \left(\frac{s}{t^2} \right) = 2 \times \text{gradiente}$$

$$a = 2 \times (3,9 \pm 13\%) = 7,8 \pm 13\% = 7,8 \pm 1,0 \text{ m s}^{-2}$$

En este experimento, se determinó que la aceleración en caída libre era $7,8 \pm 1,0 \text{ m s}^{-2}$.

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel alto en el criterio "Análisis".

Ejemplo 11

Se han utilizado los mismos datos, pero esta vez el alumno no ha logrado determinar los gradientes máximo y mínimo utilizando las incertidumbres en el cuadrado del tiempo (figura 10). Como consecuencia de ello, no ha sido capaz de determinar el intervalo y la incertidumbre en el valor calculado de la aceleración en caída libre.

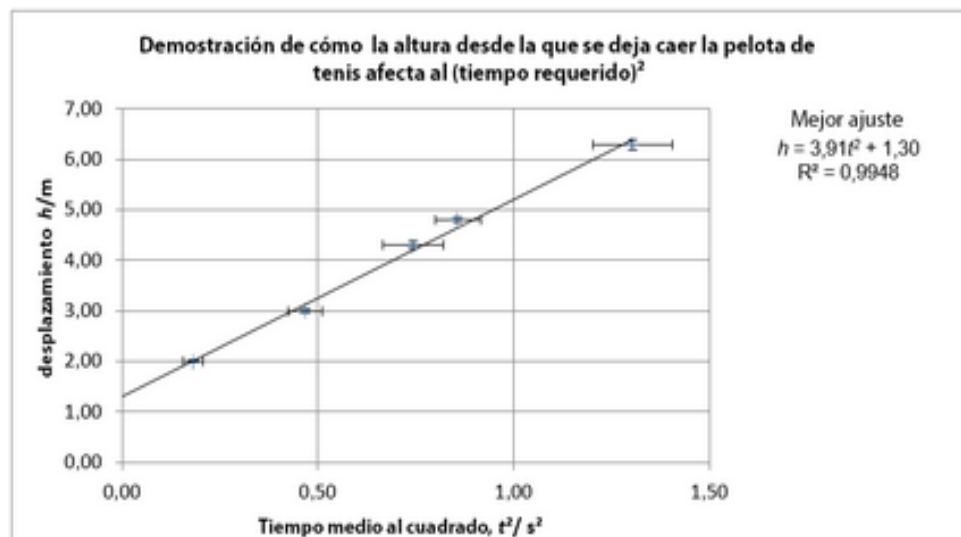


Figura 10

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel medio en el criterio "Análisis".

Ejemplo 12

El alumno dibujó un gráfico inapropiado con errores importantes (figura 11). El alumno no ha incluido barras de error ni las líneas máxima y mínima. Además, el alumno ha trazado una línea que pasa por todos los puntos en lugar de una línea de mejor ajuste. Esto ha impedido determinar el gradiente.

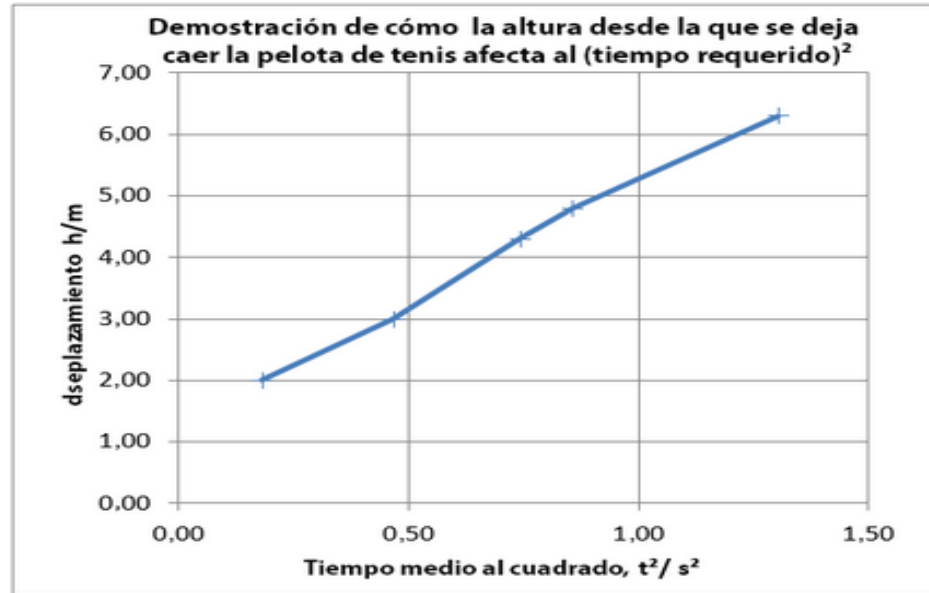


Figura 11

En la evaluación interna, esto podría contribuir a obtener un nivel bajo en el criterio "Análisis".

Evaluación

- Se describe y se justifica una conclusión detallada que es totalmente pertinente para la pregunta de investigación y que cuenta con el respaldo absoluto de los datos que se presentan.
- Se describe y se justifica correctamente una conclusión mediante una comparación pertinente con el contexto científico aceptado.
- Los puntos fuertes y débiles de la investigación, como las limitaciones de los datos y las fuentes de error, se discuten y demuestran una clara comprensión de las cuestiones metodológicas implicadas en el establecimiento de la conclusión.
- El alumno ha discutido sugerencias realistas y pertinentes para la mejora y la ampliación de la investigación.

Los errores y las incertidumbres son pertinentes en la evaluación porque se espera que los alumnos lleguen a interpretar los datos razonable y justificadamente, y a estimar la calidad del procedimiento, haciendo clara referencia a los tipos de errores y a la medida de precisión y exactitud.

Errores aleatorios y errores sistemáticos

Los errores aleatorios provienen de la imprecisión de la medición y pueden hacer que las mediciones estén por encima o por debajo del valor "real". Los errores aleatorios se pueden reducir usando equipos más precisos. Su efecto se pueden minimizar repitiendo las mediciones de manera que los errores aleatorios se anulen.

Los errores sistemáticos provienen de un problema del método experimental, lo cual origina una desviación de los valores medidos respecto del valor "real" siempre en el mismo sentido, es decir, los valores son siempre mayores o siempre menores. Son ejemplos de causas de error sistemático la falta de calibración de un aparato de medición o el rozamiento en experimentos de mecánica. Habitualmente, estos se observan en un gráfico que no pasa por el origen, cuando resulta esperable una relación de proporcionalidad. La repetición de las mediciones no evita ni reduce los errores sistemáticos. Debe estimarse el sentido de cualquier error sistemático.

Exactitud y precisión

La **exactitud** es la cercanía del valor medido con respecto al valor esperado, mientras que la **precisión** indica el número de cifras significativas que hay en la medición. Por ejemplo, un termómetro de mercurio podría medir la temperatura de ebullición normal del agua como $99,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), mientras que una sonda podría registrar $98,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$). En este caso, el termómetro de mercurio es más exacto, mientras que la sonda es más precisa.

Impacto de la incertidumbre de la medición en el análisis e interpretación de los datos procesados para obtener una conclusión

Cuando se pretende medir el valor de una cantidad física ya conocido y aceptado, tal como la carga del electrón o la longitud de onda del láser, los alumnos necesitan apreciar si el valor aceptado está o no dentro del intervalo de valores experimentales.

- El error en la medición se puede expresar comparando el valor experimental con el valor del libro de texto o el publicado.

Por ejemplo, un alumno lleva a cabo el experimento de la doble rendija de Young y determina que la longitud de onda del láser es de 610 nm. Teniendo en cuenta la incertidumbre experimental, el alumno determina que $\lambda_{\text{exp}} \pm \Delta\lambda_{\text{exp}} = (6,1 \pm 0,2) \times 10^2\text{ nm}$. La documentación del fabricante que viene con el láser indica una longitud de onda de $\lambda = 632,8\text{ nm}$. El alumno puede escribir lo siguiente:

El valor aceptado es $6,328 \times 10^2\text{ nm}$ mientras que mi valor experimental es $(6,1 \pm 0,2) \times 10^2\text{ nm}$. El valor aceptado queda apenas fuera del intervalo experimental, que abarca desde $5,9 \times 10^2\text{ nm}$ hasta $6,3 \times 10^2\text{ nm}$. Mi estimación de los errores e incertidumbres necesita ser analizada nuevamente. Sin embargo, mis resultados están cerca del valor aceptado, alrededor de un 4% por debajo. Suena bien, pero si en verdad la incertidumbre experimental es de solo 2%, los errores aleatorios por sí solos no pueden explicar la diferencia, por lo que algunos errores sistemáticos deben estar presentes.

- Los resultados experimentales no concuerdan con el valor aceptado.

El rango experimental no incluye el valor aceptado: la incertidumbre del valor experimental es de solo 2%. Un alumno crítico se daría cuenta de que debe haber omitido algo en este caso. Tiene que haber más errores y/o incertidumbres que los reconocidos.

Ejemplo 13

En el ejemplo 10 de más arriba, se determinó que la aceleración en caída libre era $(7,8 \pm 1,0)\text{ m s}^{-2}$.

$$\text{Incertidumbre porcentual} = \frac{1,0}{7,8} \times 100\% = 13\%$$

El valor publicado de la aceleración en caída libre = $9,81\text{ m s}^{-2}$ (*Cuadernillo de datos de Física, primera evaluación: 2016*)

$$\therefore \% \text{ diferencia} = \frac{7,8 - 9,81}{9,81} \times 100\% = -20\%$$

El intervalo experimental del valor de la aceleración en caída libre se sitúa entre 6,8 y 8,8 m s^{-2} y este intervalo no incluye el valor publicado.

El hecho de que la diferencia % > incertidumbre % significa que no es posible explicar esta diferencia solamente invocando errores aleatorios y debe haber algunos errores sistemáticos. Esto también se refleja en el hecho de que la línea de mejor ajuste intercepta al eje y en aproximadamente 1,3 m.

Esto pone de manifiesto un gran error sistemático, así como importantes errores aleatorios.

Los comentarios relativos a un desplazamiento vertical positivo o a un desplazamiento horizontal negativo de los puntos de datos pueden discutirse como parte de la evaluación.

Además de las observaciones anteriores, los alumnos pueden también comentar sobre los errores respecto de las suposiciones de alguna teoría que se ponga a prueba, y los errores con respecto al método y el equipo utilizado. Algunos ejemplos típicos pueden ser:

- Un gráfico de voltaje con respecto a la corriente no forma una línea recta correspondiente a su proporcionalidad. Puede ocurrir que la resistencia de carga cambie a medida que lo hace la corriente, de modo que la relación óhmica no se sostiene.
- La medición del campo magnético en las proximidades de un cable conductor de corriente puede confirmar la relación de proporcionalidad inversa, pero para distancias pequeñas y para distancias grandes los datos no se alinean. La bobina de inducción tiene un tamaño finito y su centro se considera como cero. Este puede no ser el caso. A grandes distancias, el radio es similar en magnitud a la longitud de la bobina, y la ley de la inversa del cuadrado para el campo magnético presupone que el cable tiene una longitud infinita.
- Cuando se utilizó un detector de movimiento, el software no se calibró desde el principio con la velocidad del sonido; en consecuencia las distancias medidas fueron inadecuadas. Este error se debió a una suposición no analizada, pero se constató cuando se evaluaron los resultados experimentales.
- El experimento se realizó para determinar el rendimiento de un motor eléctrico. A medida que la investigación se llevaba a cabo, la batería pudo haber perdido potencia. Esto podría haber afectado los resultados.

En general, los alumnos pueden estimar críticamente las limitaciones de sus resultados experimentales producto de las suposiciones en la teoría, en las técnicas experimentales y en el equipo utilizado. Los comentarios cualitativos basados en una lectura cuidadosa de los resultados gráficos orientarán las críticas de los alumnos.