# Errores e incertidumbre de medida en biomecánica: qué cambia y qué podemos conocer

Autoría: EDUFISICA
Publicación: 2026-10-11
Revisión editorial: 2026-10-15
Lectura estimada: 26 minutos

https://edufisica.com/biomecanica/teoria-errores-incertidumbre-y-variacion/

## Resumen

Interpretar una diferencia entre mediciones empieza por definir qué magnitud se pretende conocer. El texto distingue error, incertidumbre, precisión, exactitud y resolución, y relaciona esos conceptos con referencias, calibración y condiciones de repetición. Mediante series y presupuestos hipotéticos desarrolla media, dispersión, evaluaciones tipo A y tipo B, combinación de contribuciones y factores de cobertura. Un ejemplo de velocidad permite seguir cómo influyen distancia y tiempo en la incertidumbre calculada; otro examina fuentes compartidas entre resultados. El recorrido incorpora fiabilidad de protocolos, variación humana, perspectiva del video y selección de eventos. Termina con criterios para interpretar cambios y una práctica docente centrada en documentar datos, supuestos y límites, conservando la diferencia entre detectar una variación y atribuirle relevancia educativa o deportiva.

Palabras clave: incertidumbre de medida; error de medición; precisión y exactitud; presupuesto de incertidumbre; fiabilidad; propagación de incertidumbre; medición biomecánica

## Antes de calcular un error, define qué estás midiendo

Un número distinto entre dos intentos puede proceder del movimiento, del procedimiento o del instrumento. Para interpretarlo necesitamos definir la magnitud que interesa medir. Una distancia recorrida, una posición de una marca y una altura calculada pueden expresarse en metros, pero no representan el mismo objeto de conocimiento ni el mismo procedimiento.

La magnitud que se pretende medir se denomina mensurando. Su definición debe ser suficientemente concreta para el uso previsto. «Altura del salto» deja abierta una diferencia relevante: puede referirse al ascenso del centro de masa desde el despegue o a su diferencia entre posición inicial y punto más alto. Dos métodos pueden proporcionar números diferentes sin estar estimando exactamente la misma definición de altura.

También importa la ventana temporal. Una fuerza máxima durante toda una tarea y la fuerza en el instante de un evento específico comparten unidad, pero responden preguntas distintas. Si el

evento cambia de criterio entre sesiones, la comparación incorpora una diferencia de procedimiento que no debe atribuirse automáticamente a la persona.

En una ficha de medición conviene escribir magnitud, sistema, referencias espaciales, intervalo, procedimiento y unidad. Esa definición precede a la elección de una fórmula de error. Una colección de cálculos estadísticos no compensa la ambigüedad sobre qué representa cada registro.

Los fundamentos de la medición biomecánica diferencian obtención instrumental y cálculo de otras variables a partir de relaciones físicas. En ambos casos hace falta interpretar el resultado con información adicional. La pregunta no termina al leer una pantalla: también comprende qué conocimiento permite sostener ese valor y qué fuentes de incertidumbre acompañan su obtención. Pérez Ruiz et al. (2021, pp. 62-67).

## Error de medición e incertidumbre no son sinónimos

Un error compara un valor medido con una referencia; la incertidumbre describe lo que conocemos sobre los valores atribuibles a una magnitud. La diferencia importa porque muchas mediciones humanas no disponen de un valor verdadero accesible. Podemos evaluar componentes de incertidumbre sin conocer el error exacto de cada observación realizada.

El Vocabulario Internacional de Metrología define error de medición como valor medido menos valor de referencia. La incertidumbre es un parámetro no negativo que caracteriza una dispersión según la información utilizada. No es la cantidad que debemos sumar o restar para corregir automáticamente un dato. JCGM (2012, entradas 2.16 y 2.26).

Supongamos una comprobación hipotética en la que se asigna a un patrón una longitud de referencia de 1000 mm y un sistema informa 1003 mm. La diferencia respecto a esa referencia es +3 mm. El signo indica que la indicación supera la referencia. Si se expresa el error absoluto en el sentido de magnitud sin signo, su valor es 3 mm; conviene precisar cuál de los dos se informa.

Si la referencia también tiene incertidumbre, la diferencia no debe tratarse como una comparación con una verdad exacta. El resultado depende de lo conocido sobre ambos valores. Un patrón de calibración aporta una referencia documentada, no una autorización para omitir su certificado o sus condiciones de uso.

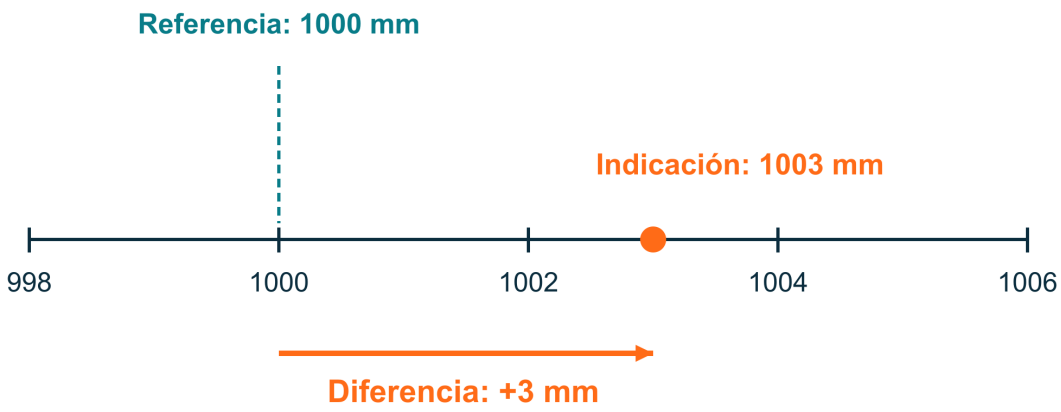
Una incertidumbre de 2 mm tampoco demuestra que el error real sea exactamente 2 mm. Su interpretación depende de cómo se obtuvo, de si se expresa como incertidumbre estándar o expandida y de los supuestos del procedimiento. El símbolo ± necesita una explicación; por sí solo no identifica qué representan los extremos escritos.

En biomecánica, esta distinción permite conversar con precisión sobre una estimación indirecta. Un algoritmo puede informar una posición y una evaluación puede describir su concordancia con un sistema de comparación. Eso no equivale a conocer sin incertidumbre la posición anatómica verdadera en todos los instantes y movimientos.

EDUFISICA · MEDICIÓN E INCERTIDUMBRE

**Comparar con una referencia define una diferencia**

Caso hipotético con referencia asignada; no es un certificado.




La incertidumbre requiere una evaluación adicional del resultado.

El error respecto a la referencia no equivale al parámetro de incertidumbre.

Caso aritmético hipotético original. Una diferencia respecto a referencia y una incertidumbre evaluada representan información diferente.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

## Precisión, exactitud y dispersión de resultados

Resultados muy próximos entre sí muestran consistencia bajo las condiciones repetidas, pero pueden estar desplazados respecto a una referencia. Por el contrario, una media cercana a una referencia puede surgir de observaciones bastante dispersas. Separar esos aspectos evita describir un instrumento como «bueno» a partir de una sola característica de sus datos.

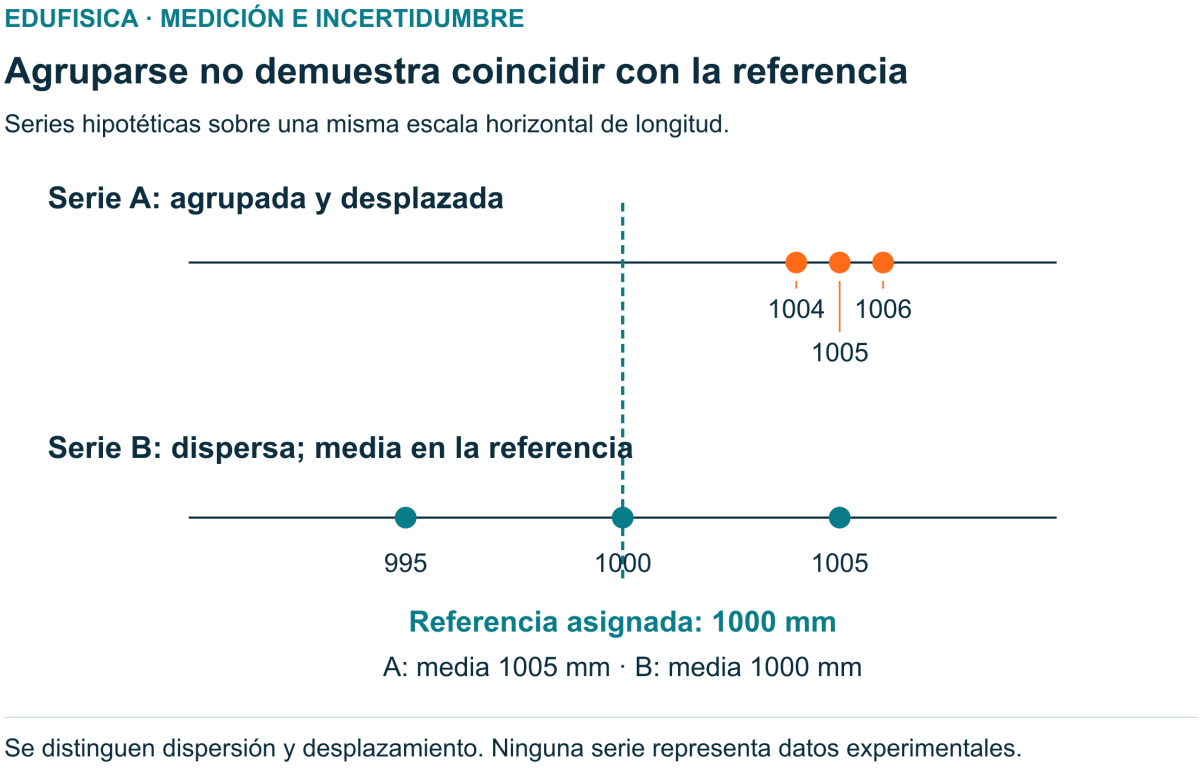
La precisión se refiere a la proximidad entre mediciones repetidas bajo condiciones especificadas. Se describe mediante medidas de dispersión, como desviación estándar o varianza. La exactitud se relaciona con cercanía al valor verdadero y no constituye, en el VIM, una magnitud numérica que pueda resumirse sin más como «exactitud de 0,02». JCGM (2012, entradas 2.13 y 2.15).

Utilicemos dos series hipotéticas en milímetros frente a una referencia asignada de 1000 mm. La serie A contiene 1004, 1005 y 1006. La serie B contiene 995, 1000 y 1005. A está más agrupada, pero su media es 1005 mm. B presenta mayor dispersión y su media coincide con la referencia.

La comparación no permite declarar que cualquier dato de B sea mejor que cualquier dato de A. Muestra dos propiedades diferentes. Si el desplazamiento de A se identifica y corrige mediante información apropiada, esa serie puede aprovechar su menor dispersión. Si solo se observa su repetibilidad, el desplazamiento permanece oculto.

Por eso, una evaluación debería informar la variación entre registros y su relación con una referencia adecuada. En tareas humanas, además, parte de la dispersión puede proceder de cambios reales en la ejecución. No todo desacuerdo entre intentos representa imprecisión del sensor.

Una redacción clara evita frases como «el equipo es preciso porque presenta muchos decimales». Los decimales pertenecen a la presentación; la precisión requiere observar el comportamiento de mediciones repetidas. Para comparar métodos, debemos conservar tarea, condiciones y variables, porque una propiedad comprobada en una situación no describe todas las posibles aplicaciones del sistema.




Dos series hipotéticas originales en una escala horizontal común de milímetros. Se comparan dispersión y desplazamiento, sin copiar un diagrama de dianas.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

## Efectos sistemáticos, variación aleatoria y equivocaciones

Las diferencias de medición no tienen una única causa. Algunas mantienen una dirección relacionada con una condición; otras varían entre observaciones. Además, existen equivocaciones de registro o cálculo que requieren una corrección explícita. Separar esos problemas ayuda a elegir una respuesta apropiada, en vez de intentar resolverlos todos repitiendo la tarea.

Un efecto sistemático puede aparecer cuando una escala mantiene un desplazamiento de cero, cuando el factor de calibración es incorrecto o cuando un método define un evento de manera

consistentemente distinta de otro. No tiene que provenir exclusivamente del instrumento: las decisiones del procedimiento también pueden producir diferencias persistentes.

La variación aleatoria se observa como fluctuación bajo las condiciones consideradas. En un modelo sencillo, puede hacer que las indicaciones se distribuyan a ambos lados de una media. No podemos deducir que esa media coincide con una referencia solo porque las fluctuaciones cambien de signo.

Una equivocación es diferente: introducir 120 s en lugar de 120 ms, copiar la masa de otro registro o seleccionar un archivo equivocado. Esos casos deben investigarse con las fuentes originales. Añadir una barra de incertidumbre no convierte un dato mal transcrito en una medición válida.

También puede existir una tendencia temporal. Si una indicación aumenta progresivamente mientras cambia la temperatura, asumir observaciones idénticamente distribuidas alrededor de una media constante puede ocultar una deriva. Conservar el orden de adquisición permite detectar algo que se pierde cuando únicamente se informa el promedio.

En una tarea motriz, una mejora por familiarización o una disminución por fatiga tampoco debe clasificarse sin análisis como ruido instrumental. Se necesita un diseño que permita estudiar esas fuentes. Un protocolo de repetición sirve cuando conserva condiciones relevantes y cuando el resumen responde a la magnitud definida; repetir más veces sin esa revisión puede multiplicar el problema.

## Calibración, puesta a cero y comprobación

La puesta a cero permite establecer una indicación inicial, pero no describe toda la respuesta de un sistema. Un equipo puede señalar correctamente cero y responder mal cuando aumenta la magnitud aplicada. La calibración y las comprobaciones de funcionamiento examinan relaciones diferentes que deben documentarse según el propósito de la medición.

En un ejemplo hipotético, un sensor representa una fuerza mediante $y = ax + b$, donde $x$ es la fuerza de referencia, $y$ la indicación, $a$ un factor y $b$ un desplazamiento. Ajustar $b$ no demuestra que $a$ sea correcto. Si $a = 1{,}02$, una fuerza de referencia de 500 N puede producir una indicación de 510 N aunque el cero esté bien establecido.

Comprobar dos o más puntos permite estudiar si la diferencia parece constante o cambia con la magnitud, dentro del intervalo revisado. No demuestra toda la respuesta dinámica ni la ausencia de histéresis. El resultado de la comprobación debe describir condiciones, referencias y alcance.

La calibración relaciona indicaciones con valores de referencia y sus incertidumbres mediante un procedimiento documentado. Puede proporcionar correcciones o información para un modelo. Después de aplicar una corrección sigue existiendo incertidumbre asociada a esa información y a otros aspectos de la medición.

Un operador no debería inventar una corrección simplemente porque dos aparatos discrepan. Antes se revisan unidades, montaje, definición de variable y referencias disponibles. La corrección debe corresponder a una relación sustentada, no a una diferencia que se desea hacer desaparecer.

En una práctica educativa, una regla con origen dañado permite discutir el problema de cero sin simular una certificación metrológica. El alumnado puede medir entre dos marcas y explicar por qué utilizar directamente un borde defectuoso introduce un desplazamiento. Este caso didáctico es una propuesta original de aprendizaje, no una sustitución de procedimientos profesionales de calibración.

## Resolución: el paso visible no representa toda la incertidumbre

La resolución describe el cambio de indicación que puede distinguirse en unas condiciones determinadas. No equivale automáticamente a exactitud ni recoge todas las fuentes de incertidumbre. Una pantalla que cambia en milésimas puede acompañar un procedimiento cuyo evento de inicio sea mucho menos definido, especialmente si depende de la decisión de una persona.

Consideremos un instrumento ideal que redondea al múltiplo más cercano de un paso $q = 1$ mm. Solo para estudiar ese redondeo, suponemos que el valor dentro del intervalo de anchura $q$ puede situarse con igual probabilidad. La contribución estándar del modelo uniforme sería $q/\sqrt{12}$, aproximadamente 0,289 mm. JCGM (2008, F.2.2.1).

La semianchura del intervalo, 0,5 mm, y esa desviación estándar, 0,289 mm, son cantidades diferentes. No corresponde escribirlas con el mismo nombre sin explicar la distribución utilizada. Tampoco debe añadirse otra vez esa contribución si el análisis de repetición ya incorpora completamente el mismo efecto.

En un cronometraje manual, la resolución de pantalla puede ser 0,01 s y, sin embargo, la respuesta del operador ante inicio y final introducir otras variaciones. El paso digital informa una propiedad del indicador, no la calidad completa del cronometraje de una tarea.

Si una longitud de un objeto fijo produce la misma indicación en todos los registros, no se demuestra incertidumbre nula. La escala puede no distinguir cambios menores que su paso, y un efecto de calibración puede mantenerse en todas las observaciones. La ausencia de dispersión visible debe interpretarse con las demás fuentes de información.

Esta distinción permite leer especificaciones comerciales con mayor cuidado. Un número de dígitos o una tasa de adquisición no sustituye el estudio de incertidumbre. Para el propósito concreto interesa qué cambios puede representar el sistema, cómo se comporta respecto a referencias y qué condiciones acompañan el proceso completo.

## Media y desviación estándar: un cálculo transparente

Resumir mediciones repetidas exige conservar qué se repitió y bajo qué condiciones. La media describe un centro de los valores y la desviación estándar su dispersión. Ninguna de esas operaciones identifica por sí sola el valor verdadero ni separa variabilidad biológica, efectos del operador y fluctuaciones instrumentales presentes en una tarea humana.

Para un objeto fijo, construimos una serie hipotética en milímetros: 1000, 1002, 998, 1001 y 999. Su suma es 5000 mm y la media es 1000 mm. Con n = 5, la media se escribe:

$$\bar{x}=(1)/(n)\sum_{i=1}^{n}x_i.$$

Las desviaciones respecto a la media son 0, +2, −2, +1 y −1 mm. Sus cuadrados suman 10 mm². La desviación estándar muestral s se calcula mediante:

$$s=\sqrt{((\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2)/(n-1))}=\sqrt{((10)/(4))}\ \text{mm}\approx 1.581\ \text{mm}.$$

El denominador n − 1 pertenece a esta estimación muestral y no a una regla que solo aparezca cuando n es menor de treinta. La varianza queda en mm² y la desviación estándar vuelve a mm. Esto permite compararla con diferencias expresadas en la misma magnitud.

La serie muestra dispersión alrededor de 1000 mm, pero esa coincidencia no demuestra ausencia de sesgo. Si a todos los registros se sumaran 4 mm por una condición del sistema, la media sería 1004 mm y la desviación estándar seguiría siendo 1,581 mm. La precisión observada y el desplazamiento medio cambiarían de manera distinta.

El cálculo estadístico puede revisarse en una herramienta matemática, conservando datos y definición de la función utilizada. Lo esencial es comprender qué representa cada resultado. El tratamiento introductorio de Pérez Ruiz et al. (2021, pp. 75-78) presenta media y dispersión; aquí se desarrollan con una serie original.

## La dispersión de los intentos y la incertidumbre de la media

La desviación estándar de observaciones y la incertidumbre asociada a una media responden preguntas diferentes. Una describe variación de registros; la otra evalúa una contribución al conocimiento del promedio bajo supuestos concretos. Dividir por la raíz del número de datos no resulta válido para cualquier conjunto de intentos o para cualquier decisión aplicada.

En una serie de observaciones independientes, bajo condiciones apropiadas y sobre una magnitud estable, la contribución estándar de la media puede estimarse como $s/\sqrt{n}$. Para la serie del objeto fijo, $1{,}581/\sqrt{5}$ proporciona aproximadamente 0,707 mm. Esa contribución no incluye automáticamente calibración, deriva o una definición incompleta de longitud. JCGM (2008, 4.2.3).

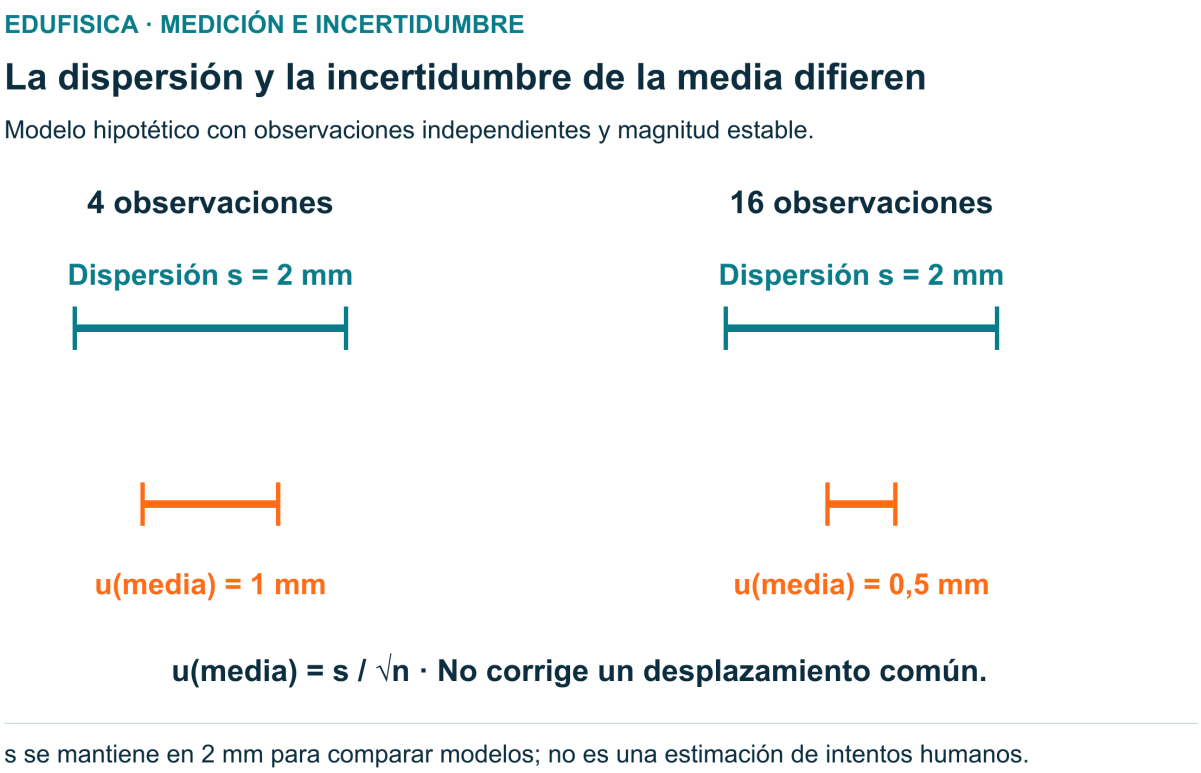
Si se utilizan más observaciones independientes con una dispersión comparable, la contribución de la media puede disminuir. Sin embargo, la disminución no corrige un desplazamiento común a

todos los datos. Promediar cien veces una escala desajustada puede describir con mayor precisión una indicación desplazada.

La independencia también necesita atención. Valores consecutivos producidos por un filtrado o por una señal lentamente cambiante pueden estar relacionados entre sí. Contarlos como observaciones independientes puede hacer que s/√n parezca excesivamente pequeño. Tener muchas filas en un archivo no equivale a disponer del mismo número de repeticiones informativamente independientes.

En una persona que realiza cinco saltos, las ejecuciones no son copias de un objeto invariable. La variación puede formar parte del desempeño que interesa estudiar. Informar la incertidumbre de una media no describe necesariamente la variación esperable en un intento futuro ni sustituye el estudio de fiabilidad del protocolo.

Por eso, el informe debe indicar si presenta desviación entre intentos, error estándar de una media u otra medida. La expresión «media ± algo» oculta información si no se nombra ese algo. La etiqueta permite decidir si el resumen corresponde a la comparación planteada.




Modelo didáctico original con entradas independientes y magnitud estable. Las barras representan cantidades definidas, no intervalos de cobertura ni mediciones de personas.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

## Evaluaciones tipo A y tipo B: de dónde procede la información

La evaluación de incertidumbre puede utilizar observaciones repetidas y también información de certificados, especificaciones o modelos. Las denominaciones tipo A y tipo B identifican cómo se evalúa una contribución. No clasifican automáticamente sus causas como aleatorias o sistemáticas, ni establecen una jerarquía en la que una de ellas sea siempre superior.

En la evaluación tipo A se utiliza análisis estadístico de observaciones. En la tipo B se emplean otros medios de información. Ambas pueden proporcionar contribuciones expresadas como incertidumbres estándar. La distinción corresponde al método de evaluación y debe conservarse al construir un presupuesto. JCGM (2008, 2.3.2-2.3.3).

Para el caso hipotético de longitud, la contribución de 0,707 mm calculada sobre la media procede de observaciones repetidas. Una contribución de calibración de 0,4 mm podría proceder de un certificado cuya definición ya se hubiera comprobado. No debe introducirse directamente una semianchura expandida como si fuera estándar sin realizar la transformación pertinente.

La información disponible necesita interpretarse. Si una especificación solo informa límites, elegir una distribución dentro de ellos requiere justificación. No todas las distribuciones son uniformes y no todo límite corresponde a una desviación estándar. Registrar el supuesto permite revisar la contribución cuando aparezca información mejor.

La evaluación también requiere evitar duplicaciones. Una fluctuación instrumental que ya contribuye a la dispersión observada no debe añadirse íntegramente otra vez bajo una etiqueta diferente. En cambio, un desplazamiento de referencia común a todos los registros puede necesitar una contribución adicional que la repetición no revela.

Un presupuesto sencillo debe indicar fuente, información de origen, conversión a incertidumbre estándar y relación con las otras fuentes. No necesita presentar cifras ficticias de un certificado real. Para aprender el procedimiento pueden utilizarse entradas explícitamente hipotéticas, como las del ejemplo siguiente, manteniendo visibles los límites del modelo.

## Combinar contribuciones en un presupuesto de incertidumbre

Una incertidumbre combinada reúne contribuciones que afectan al resultado mediante un modelo. Sumarlas directamente no siempre representa esa relación. En un ejemplo aditivo con contribuciones no correlacionadas expresadas como desviaciones estándar, se combinan sus varianzas y se obtiene la raíz cuadrada. La independencia y las unidades compatibles deben declararse antes del cálculo.

Continuamos con una longitud hipotética cercana a 1000 mm. Para este ejercicio se utilizan tres contribuciones distintas: media de observaciones, 0,7071 mm; calibración, 0,4 mm; y un efecto de

cuantización independiente, 0,2887 mm. Se supone que el análisis de repetición no incorpora ya este último efecto, para no contarlo dos veces.

El modelo aditivo, con coeficientes de sensibilidad iguales a uno y sin covarianzas, proporciona:

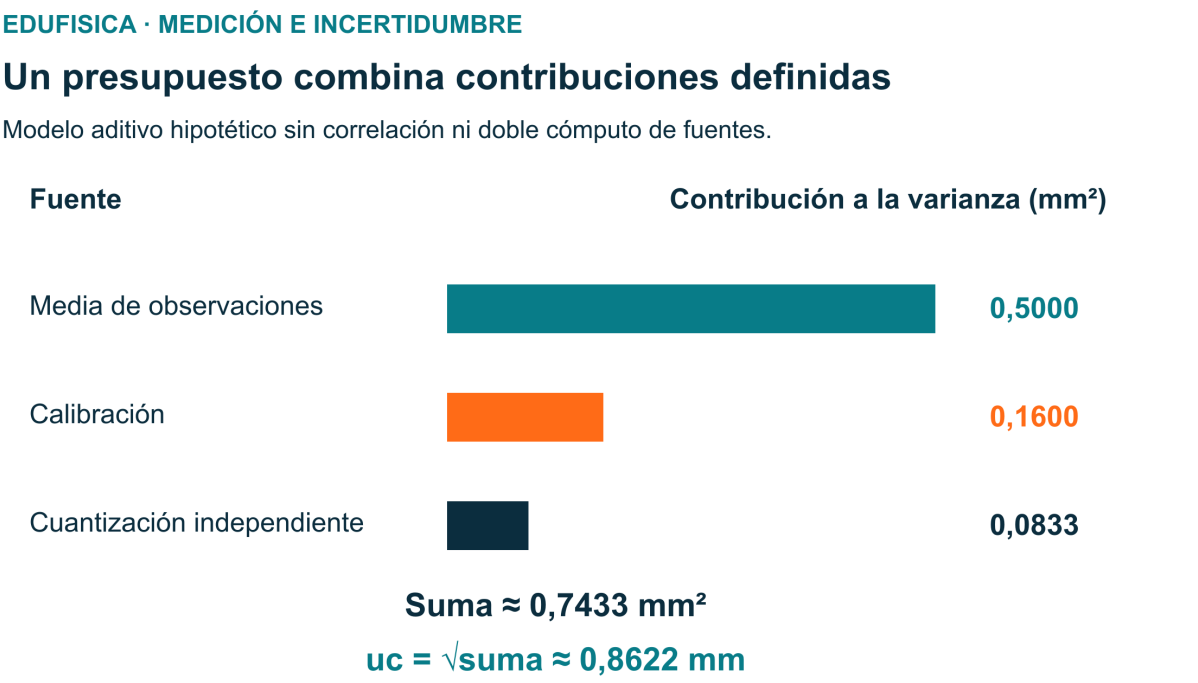
$$u_c = \sqrt{(0.7071^2 + 0.4^2 + 0.2887^2)}\ \text{mm} \approx 0.8622\ \text{mm}.$$

Las contribuciones cuadráticas son aproximadamente 0,5000, 0,1600 y 0,0833 mm². La primera aporta la parte mayor de esta suma. Esto orienta dónde estudiar una mejora dentro del ejemplo: reducir una contribución pequeña puede tener menos efecto total que revisar una fuente dominante.

El cálculo no convierte un listado incompleto en un presupuesto completo. Si la alineación o la temperatura afectan significativamente a la longitud y no están representadas, falta información en el modelo. Esa revisión se realiza según el procedimiento real, no añadiendo todas las fuentes imaginables sin estimación.

Si dos entradas están correlacionadas, aparecen términos de covarianza. En ese caso, la suma de cuadrados anterior no puede usarse por costumbre. La fórmula general conserva la relación entre entradas y sus coeficientes de sensibilidad. Los datos del ejercicio están creados para mostrar el procedimiento; no representan las características certificadas de un equipo concreto.

La GUM (JCGM, 2008, apartado 5) distingue combinación con entradas correlacionadas y no correlacionadas. Para una aplicación biomecánica, esa distinción debe relacionarse con cómo se adquirieron y transformaron los datos, especialmente si varias variables proceden de una misma señal o referencia.




Presupuesto hipotético original del texto. Entradas no correlacionadas y sin doble cómputo; no es certificado de un equipo ni presupuesto de un estudio real.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

## Qué significa informar un intervalo y un factor de cobertura

Una incertidumbre expandida utiliza un factor de cobertura sobre la incertidumbre estándar combinada. El intervalo resultante necesita una explicación de su construcción. Escribir ± una desviación estándar no significa que el valor verdadero esté siempre dentro de esos límites; tampoco multiplicar por dos produce automáticamente una cobertura del noventa y cinco por ciento.

En el presupuesto hipotético anterior, si elegimos k = 2 únicamente para ilustrar la operación, U = ku_c resulta aproximadamente 1,7244 mm. Podríamos escribir un valor cercano a 1000,0 mm acompañado de U ≈ 1,7 mm y señalar k = 2. Esto comunica qué multiplicación se realizó, pero no demuestra una probabilidad concreta de cobertura.

Asociar k = 2 con una cobertura próxima al 95 % requiere condiciones apropiadas sobre la distribución del resultado y la calidad de la estimación de incertidumbre. Si una contribución dominante se estima con pocos datos o la distribución no es adecuadamente representada, hace falta otro análisis.

El intervalo tampoco es una caja física que impida cualquier valor fuera de ella. Expresa conocimiento evaluado bajo el modelo y la información disponible. Una definición incorrecta, una equivocación de registro o una fuente relevante omitida pueden hacer inadecuada esa evaluación.

Debe distinguirse además el intervalo de incertidumbre de un resultado individual del intervalo de confianza de un parámetro poblacional. En ambos aparecen extremos y probabilidades, pero sus objetos de inferencia no son intercambiables. Una media de un grupo de personas y la posición estimada de una marca en un instante pertenecen a problemas diferentes.

Para el lector, la presentación útil reúne valor, unidad, clase de incertidumbre, factor cuando corresponda y procedimiento de evaluación. El detalle completo puede documentarse en el informe metodológico. Esos elementos permiten revisar la interpretación y evitan que un símbolo ± se utilice como apariencia de rigor sin significado definido.

## Cómo una incertidumbre pasa a una velocidad calculada

Una variable calculada hereda información de sus entradas y del modelo que las relaciona. Dividir distancia entre tiempo no borra sus incertidumbres. La influencia de cada entrada depende de la sensibilidad del resultado, de sus unidades y de si las entradas están relacionadas entre sí, además de la magnitud de sus contribuciones.

Construimos un ejemplo hipotético con distancia d = 2,000 m y duración t = 0,500 s. Sus incertidumbres estándar se fijan para el ejercicio como u(d) = 0,005 m y u(t) = 0,010 s. Se supone que no están correlacionadas y que una aproximación de primer orden es adecuada. La velocidad media es v = d/t = 4,000 m/s.

Los coeficientes de sensibilidad de v respecto a las entradas son 1/t y −d/t². La combinación de primer orden queda:

$$u(v)=\sqrt{(((u(d))/(t))^2+((d\ u(t))/(t^2))^2)}\approx 0.0806\ \text{m/s}.$$

La contribución asociada a distancia es 0,010 m/s y la de tiempo, 0,080 m/s. Aunque los números 0,005 y 0,010 parezcan próximos en la ficha inicial, sus unidades y sensibilidades son diferentes. La contribución temporal domina en este ejemplo.

Si u(t) se redujera a 0,002 s manteniendo las demás condiciones, u(v) sería aproximadamente 0,0189 m/s. El ejercicio permite observar una consecuencia matemática concreta sin afirmar que un dispositivo nuevo produzca realmente esa mejora. La propiedad debe comprobarse en la medición correspondiente.

La aproximación de primer orden necesita revisarse cuando la relación es fuertemente no lineal sobre el intervalo relevante o una entrada se acerca a una zona problemática, como un denominador próximo a cero. La GUM desarrolla sensibilidad y combinación; aquí se aplica selectivamente a un cociente sencillo con datos originales. JCGM (2008, 5.1).

## Dos resultados pueden compartir una fuente de incertidumbre

Comparar dos mediciones requiere estudiar su relación, no solamente colocar una barra alrededor de cada una. Una misma referencia o condición puede afectar a ambas. En ese caso, la incertidumbre de la diferencia no se obtiene automáticamente suponiendo independencia, y parte de un efecto común puede cancelarse en la operación.

Para $\Delta = x2 - x1$, la varianza de la diferencia contiene las varianzas de ambas entradas y su covarianza. Si están no correlacionadas, la contribución estándar se calcula como la raíz de $u(x1)^2 + u(x2)^2$. Cuando comparten información, debe conservarse el término de covarianza con su signo correspondiente.

Un ejemplo ideal facilita la interpretación. Una escala presenta un desplazamiento constante b en dos posiciones, de forma que $y1 = x1 + b$ y $y2 = x2 + b$. Al restar, $y2 - y1 = x2 - x1$. El desplazamiento se cancela en esta diferencia, aunque continúe afectando a cada posición absoluta.

La cancelación requiere que el mismo b se mantenga efectivamente en las dos mediciones. Si existe deriva entre ellas o se cambió la puesta a cero, el modelo anterior ya no representa toda la situación. La historia de adquisición resulta relevante para identificar qué información es compartida.

En otra comparación hipotética, dos estimaciones independientes tienen cada una incertidumbre estándar de 0,010 m. La incertidumbre estándar de su diferencia es aproximadamente 0,0141 m. Una diferencia observada de 0,015 m no debe declararse automáticamente real y relevante; necesita una evaluación de cobertura y del propósito de la decisión.

La inspección visual de solapamiento de barras tampoco sustituye ese análisis. Las barras pueden representar desviaciones entre intentos, incertidumbres de medición o intervalos de otro tipo. Sin saber cuál se dibujó y cómo se relacionan las estimaciones, su solapamiento no responde una pregunta estadística bien definida.

## Fiabilidad y variación humana entre intentos y sesiones

Una persona cambia su ejecución entre intentos por razones que forman parte de la tarea. La fiabilidad de un protocolo estudia qué consistencia presentan sus resultados bajo condiciones especificadas. Esa evaluación incluye relaciones entre sesiones y participantes; no puede reducirse a la resolución de un sensor ni al promedio de unas repeticiones aisladas.

Hopkins distingue en el estudio de fiabilidad variación dentro de la persona, cambios sistemáticos de la media y correlación de repetición. También explica que una correlación depende de la dispersión entre participantes. Por ello, una correlación alta no describe por sí sola la magnitud de las diferencias de medición. Hopkins (2000, pp. 1-2, 6).

Podemos verlo con un caso aritmético original. Un método entrega 10, 20 y 30 para tres objetos; otro entrega 15, 25 y 35. Ambos preservan perfectamente el orden y presentan una relación lineal, pero el segundo añade cinco unidades a cada valor. La concordancia en valores absolutos necesita otra evaluación.

En una tarea humana, una familiarización puede desplazar el resultado medio sin que el equipo haya cambiado. Del mismo modo, variar instrucciones, descansos o criterio de selección puede modificar lo que se informa. Un estudio de fiabilidad debería documentar esos aspectos para que su interpretación conserve la tarea realizada.

Como ejemplo específico, Kanko et al. (2021) estudiaron repetición entre sesiones de cinemática de marcha sin marcadores en ocho adultos sanos, mediante tres sesiones y cámaras sincronizadas. Ese diseño examina consistencia de variables y condiciones concretas. No demuestra fiabilidad de cualquier algoritmo, población o movimiento captado mediante vídeo.

Para evaluar competencia motriz, una cifra mecánica puede aportar información, pero no agota las dimensiones del aprendizaje. La calidad de la decisión requiere saber qué mide la prueba y con qué estabilidad, además de conservar la interpretación pedagógica pertinente.

## Perspectiva, escala y selección de eventos en un vídeo

El análisis de vídeo puede introducir diferencias antes de calcular una velocidad o un ángulo. Una escala visible en la imagen no garantiza que un objeto situado en otro plano tenga la misma relación entre píxeles y longitud. La perspectiva y la definición de puntos o eventos deben incluirse en la interpretación.

En un modelo geométrico ideal, una longitud de 100 mm inclinada 20° respecto al plano donde se mide su proyección aparece como $100 \cos 20°$, aproximadamente 93,969 mm. La diferencia respecto a la longitud original es de −6,031 mm. No es un error de conversión de milímetros a metros, sino consecuencia de medir una proyección distinta.

Si el objetivo es la longitud proyectada, ese cálculo puede representar correctamente la magnitud. Si se pretende recuperar la longitud espacial sin considerar la inclinación, la definición del mensurando y el modelo dejan de coincidir. Una aparente discrepancia puede proceder de esa decisión geométrica.

En el tiempo, un vídeo ideal de 100 fotogramas por segundo presenta intervalos de 0,01 s. Seleccionar dos eventos en fotogramas adyacentes cambia la duración en ese paso. Estimar posiciones subfotograma mediante un algoritmo puede producir números adicionales, pero exige conocer su método; escribir más decimales no añade por sí solo información observada.

La repetición del marcado por un mismo observador permite estudiar una parte de la variación del procedimiento. Comparar varios observadores puede revelar otra. Ninguna de esas comprobaciones establece por sí sola la verdad anatómica de los puntos elegidos ni corrige toda la perspectiva.

Una práctica reproducible conserva vídeo original, escala, sistema de ejes, criterio de puntos y eventos, y transformaciones realizadas. Así, una discrepancia puede localizarse en lugar de atribuirse de forma genérica a «error humano». La guía de laboratorio organiza esa documentación para distintas preguntas biomecánicas.




Esquema geométrico y datos originales hipotéticos. El significado depende de si se pretende medir longitud espacial o proyección; no representa una reconstrucción corporal.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

## Diferencia detectable, relevancia y decisiones sobre cambios

Una diferencia entre sesiones necesita interpretarse en relación con la variación del procedimiento y con el propósito de la evaluación. Detectar un cambio y considerarlo relevante son decisiones diferentes. Una comparación puede distinguir valores con suficiente claridad y, aun así, no demostrar una mejora que tenga importancia para la tarea o la enseñanza.

Supongamos un resultado hipotético que pasa de 40 a 41 cm. La diferencia es un centímetro. Para valorarla necesitamos conocer la definición de altura, el protocolo y la variación esperable en esas condiciones. El porcentaje de mejora, 2,5 %, no aporta por sí solo esa información.

Un umbral de cambio derivado de fiabilidad tampoco debe trasladarse indiscriminadamente desde otro equipo o población. Su estimación pertenece a un diseño y unas condiciones. Si se utiliza una fórmula basada en errores independientes y una distribución asumida, esos supuestos deben acompañar al umbral informado.

La relevancia exige otro criterio. Puede relacionarse con una demanda deportiva, una capacidad funcional o un propósito docente. No se deduce simplemente de que una prueba estadística produzca un resultado por debajo de un nivel elegido. Un cambio pequeño puede ser importante en una tarea y poco informativo en otra.

También influye el resumen de intentos. Con resultados hipotéticos de 38, 40 y 42 cm, la media es 40 cm y el máximo, 42 cm. Si una sesión se informa mediante media y otra mediante máximo, la diferencia incorpora ese cambio de criterio. Antes de buscar una explicación fisiológica, debe comprobarse la consistencia de la operación.

Un informe prudente muestra diferencia, condiciones, información sobre variación y criterio de relevancia. Cuando falta una parte, se identifica el límite concreto. Esta forma de comunicar conserva el resultado y permite seguir investigando, sin convertir cada discrepancia en una mejora demostrada ni descartarla automáticamente como ruido.

## Una práctica docente para revisar incertidumbre y medición

Comprender incertidumbre requiere tomar decisiones sobre qué se conoce y cómo se obtuvo. Una práctica educativa puede trabajar con objetos fijos, series hipotéticas y documentación breve antes de introducir pruebas corporales. Así se estudian conceptos de medición sin confundir variación de aprendizaje con propiedades de un instrumento o con límites de un modelo estadístico.

En una propuesta hipotética, el grupo recibe dos series del mismo objeto y una referencia asignada. Debe calcular sus medias, describir dispersión y explicar si la proximidad entre registros demuestra cercanía a la referencia. El producto solicitado es un informe argumentado, además de los resultados aritméticos.

Una segunda tarea compara tres informaciones: paso de pantalla, resultado de repeticiones y una contribución de calibración inventada para el ejercicio. Se identifican sus significados y se construye un presupuesto sencillo con supuestos explícitos. El docente puede pedir que el alumnado justifique por qué no suma directamente todas las cifras ni cuenta dos veces el mismo efecto.

Después se introduce una fotografía de una regla inclinada o un diagrama propio de proyección. El grupo decide si la magnitud buscada es longitud espacial o longitud proyectada. La discusión relaciona definición y modelo, en vez de llamar error a cualquier diferencia que no coincide con una expectativa inicial.

La evaluación puede observar definición del mensurando, conservación de unidades, interpretación de dispersión, identificación de supuestos y claridad del informe. Una respuesta numérica correcta con significado equivocado requiere retroalimentación distinta de un error aritmético. La distinción ayuda a orientar qué debe revisar cada estudiante.

El cierre de la práctica consiste en entregar una ficha reproducible: datos de origen, procedimiento, cálculos, fuentes de información y límites de la comparación. Esta propuesta es

original y no presenta eficacia educativa investigada. Puede adaptarse a los recursos y conocimientos del grupo, conservando la relación entre evidencia y afirmación.

## Preguntas frecuentes sobre errores e incertidumbre

Las dudas habituales aparecen al intentar resumir una medición mediante una sola cifra. Las respuestas siguientes conservan distinciones que permiten revisar un resultado y pedir información pertinente. No sustituyen una evaluación completa del sistema, pero ayudan a identificar cuándo una etiqueta estadística o un número de decimales está ocultando una decisión metodológica.

### ¿El error y la incertidumbre de medida son lo mismo?

No. El error compara un valor medido con una referencia mediante una diferencia. La incertidumbre caracteriza lo que se conoce sobre los valores atribuibles a la magnitud. Puede evaluarse incertidumbre sin conocer el error exacto de una observación ni disponer del valor verdadero accesible.

### ¿La resolución del equipo equivale a su incertidumbre?

La resolución es una característica relevante, pero no recoge todas las contribuciones. Pueden intervenir calibración, deriva, montaje, operador y definición de variable. Si se evalúa un efecto de redondeo con un modelo uniforme, debe especificarse ese supuesto y evitar contar dos veces el mismo efecto.

### ¿La media más o menos una desviación estándar contiene siempre el valor verdadero?

No. Esa expresión puede describir dispersión de observaciones, pero no demuestra cobertura universal del valor verdadero. Debe indicarse qué representa la desviación y qué análisis se realizó. Un sesgo compartido puede mantenerse aunque la dispersión sea pequeña.

### ¿Repetir muchas veces una medición corrige un sesgo?

La repetición puede mejorar una estimación bajo supuestos apropiados y aportar información sobre variación. No corrige automáticamente un efecto compartido, como un factor de calibración incorrecto. La independencia, estabilidad y definición de la magnitud deben comprobarse antes de interpretar el promedio.

### ¿Una correlación alta demuestra que dos métodos son intercambiables?

No. Dos métodos pueden conservar el orden de resultados mientras presentan un desplazamiento sistemático o diferencias relevantes. La evaluación requiere examinar concordancia, magnitud de diferencias y condiciones de la comparación, además de la correlación.

# Referencias

1. Pérez Ruiz, O. A., Villegas Sáez, A. F., & Feito Gácita, A. (2021). *Fundamentos de biomecánica deportiva*. Editorial Universitaria. Consulta selectiva de pp. 62-85 sobre medición y estadística introductoria. Registro bibliográfico.

2. Joint Committee for Guides in Metrology. (2012). *International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM)* (3rd ed., JCGM 200:2012). Consulta de entradas 2.13, 2.15, 2.16 y 2.26 en la versión electrónica. Vocabulario oficial.

3. Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). *Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (JCGM 100:2008). Consulta selectiva de apartados 2.3, 4.2, 5 y F.2.2.1. https://doi.org/10.59161/JCGM100-2008E.

4. Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine, 30*(1), 1-15. https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001. Consulta selectiva del resumen y pp. 1-2, 6, 10-11.

5. Kanko, R. M., Laende, E., Selbie, W. S., & Deluzio, K. J. (2021). Inter-session repeatability of markerless motion capture gait kinematics. *Journal of Biomechanics, 121*, 110422. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110422. Alcance consultado: resumen original.