Prácticas de laboratorio de biomecánica: del protocolo al informe

Autoría: EDUFISICA
Publicación: 2026-10-11
Revisión editorial: 2026-10-15
Lectura estimada: 27 minutos

https://edufisica.com/biomecanica/guia-practicas-laboratorio-biomecanica/

Resumen

Propone tres prácticas de biomecánica con objetos para Educación Física y formación inicial universitaria: lectura de longitudes, análisis de posición y tiempo mediante video y equilibrio de momentos en una barra. Organiza el trabajo desde la pregunta y la definición operativa de las magnitudes hasta el protocolo, la comprobación del montaje y la interpretación. Los ejemplos numéricos hipotéticos desarrollan escala espacial, referencias temporales, velocidades, momentos e incertidumbre. Distingue mediciones, cálculos y modelos, así como repetición de lecturas, cambio de observador y nuevos ensayos. Incluye orientaciones para conservar archivos, documentar transformaciones y tratar imágenes de personas. Presenta una estructura de informe y preguntas para revisarlo, además de propuestas para adaptar materiales, roles y autonomía a distintos contextos educativos, y criterios de evaluación centrados en la coherencia del procedimiento y el alcance de las conclusiones.

Palabras clave: prácticas de biomecánica; protocolo de laboratorio; medición de longitudes; videoanálisis; equilibrio de momentos; incertidumbre de medida; informe de laboratorio; Educación Física

---

Una práctica de laboratorio de biomecánica comienza antes de encender una cámara. Empieza cuando alguien decide qué pregunta quiere responder, qué magnitud representa esa pregunta y qué procedimiento permitiría obtener información pertinente. Una grabación muy nítida puede resultar inútil si no conocemos la escala; una tabla extensa tampoco explica un movimiento cuando sus columnas carecen de unidades. El trabajo de laboratorio consiste en construir esa relación entre pregunta, registro e interpretación.

La siguiente guía propone un itinerario didáctico original para Educación Física y formación inicial universitaria. Incluye tres prácticas con objetos, registros numéricos hipotéticos y un formato de informe adaptable. No exige que los estudiantes ejecuten esfuerzos máximos ni convierte la clase en una evaluación clínica. Su dificultad se puede ajustar mediante la complejidad del modelo, la autonomía para diseñar el procedimiento y la profundidad del análisis.

Qué debe enseñar un laboratorio de biomecánica

Aprender a medir un movimiento supone comprender cómo se obtiene un número y qué significa dentro de una situación concreta. El propósito no es reproducir automáticamente una receta. Es desarrollar criterio para elegir referencias, reconocer supuestos y explicar hasta dónde llega una conclusión a partir de la información registrada.

Hall distingue el análisis cualitativo del cuantitativo sin reducir el primero a una apreciación vaga: una observación sin números puede describir con detalle un movimiento. También sitúa la formulación de preguntas como punto de partida para recoger datos pertinentes. Esa distinción permite combinar descripciones cuidadosas y mediciones en una misma práctica, en lugar de presentar ambas como procedimientos rivales (Hall, 2015, pp. 11-13).

Una pregunta inicial podría ser: «¿Qué diferencia existe entre la velocidad media de todo el recorrido y la de sus tramos?». La variable buscada es una relación entre desplazamiento y tiempo. No hace falta inferir la intención de una persona ni calcular una fuerza muscular. En cambio, preguntar «¿por qué mejoró la técnica?» exige decidir qué característica observable representaría esa mejora y considerar otras explicaciones del cambio.

La competencia práctica se reconoce cuando el estudiante puede reconstruir el procedimiento. Debe indicar qué se midió directamente, qué se calculó, cómo se fijó el origen y qué criterio se empleó para elegir un instante. Si otra persona no puede identificar esos pasos en el informe, el resultado queda desligado de la evidencia que lo produjo.

El laboratorio también permite aprender de un resultado inesperado. Una velocidad negativa puede ser coherente con el eje elegido; una posición diferente en dos observaciones puede proceder del punto que cada observador seleccionó. Antes de corregir una tabla para que se parezca al ejemplo, conviene investigar la discrepancia. Esa revisión pertenece al trabajo científico y puede convertirse en un objetivo explícito de aprendizaje.

Del problema al protocolo: decidir antes de registrar

Un protocolo expresa decisiones que deben mantenerse reconocibles durante la práctica. Define el sistema observado, las variables, los instrumentos y las condiciones de adquisición. Su utilidad aparece cuando permite distinguir un cambio del fenómeno de una modificación del procedimiento, sin depender de la memoria de quien organizó la sesión.

La propuesta de ficha previa tiene seis campos: pregunta, objeto o participante, magnitud de interés, definición operativa, procedimiento y criterio de revisión. «Tiempo del movimiento» necesita una definición adicional. ¿Comienza cuando se libera el objeto, cuando atraviesa una marca o cuando aparece el primer desplazamiento visible? ¿Termina al tocar una superficie o al alcanzar una segunda referencia? Dos definiciones pueden ser razonables y producir resultados distintos.

Antes de recoger la serie completa se realiza una prueba piloto. Su finalidad aquí es detectar problemas del montaje: una referencia que no aparece en pantalla, una trayectoria fuera del encuadre o una tabla que no permite registrar incidencias. El piloto no se añade automáticamente a los ensayos definitivos. Se conserva separado, con una explicación de los cambios que motivó.

También se acuerda qué hará inutilizable un registro para el análisis previsto. Si la escala desaparece o la imagen no permite identificar el punto seguido, no basta con completar la celda mediante una estimación silenciosa. El archivo se conserva, se marca como no utilizable para esa variable y se registra la razón. Este criterio se decide antes de conocer si el resultado favorece la hipótesis de la clase.

Una variación deliberada del montaje puede ser parte de otra pregunta. Por ejemplo, comparar dos posiciones de cámara permite estudiar el efecto de la perspectiva. En ese caso, la posición deja de ser una condición fija y se convierte en una variable del diseño. La ficha debe mostrar esa diferencia, porque mantener una condición y modificarla intencionalmente representan operaciones científicas distintas.

Definir las magnitudes y separar observación de cálculo

Los nombres habituales de las variables no sustituyen una definición operativa. Posición, distancia, ángulo y tiempo necesitan referencias que hagan posible reconocerlos en el registro. Después se distingue lo observado de lo calculado, porque cada transformación incorpora relaciones matemáticas y supuestos que deben permanecer visibles en el informe.

En una trayectoria rectilínea, la posición puede definirse mediante la coordenada de un punto del objeto sobre un eje horizontal. La distancia recorrida y el desplazamiento no son intercambiables si el objeto cambia de sentido. Para un segmento que rota, el ángulo necesita una línea de referencia, un sentido positivo y una unidad. Una pantalla puede mostrar grados mientras la expresión matemática requiere radianes.

Fundamentos de biomecánica deportiva relaciona la medición con una descripción de la magnitud, el procedimiento y el sistema empleado. También diferencia operaciones directas e indirectas. En esta guía, esa base se aplica al registro de una longitud y al cálculo posterior de una velocidad: la segunda no aparece por observar simplemente una posición, sino al combinar desplazamiento y duración (Pérez Ruiz et al., 2021, pp. 62-64).

Una tabla de trabajo debería identificar cada columna como entrada, cálculo o anotación. Para un video, el índice de fotograma pertenece al registro; el tiempo asignado depende de la información temporal del archivo; la posición métrica depende de la referencia espacial; la velocidad se obtiene de una diferencia. Llamar a todas estas columnas «datos originales» borra la cadena que permite revisar el resultado.

Se propone reservar una columna para la confianza de identificación del punto, expresada mediante una descripción concreta: visible, parcialmente oculto o no identificable. Esa anotación no equivale a una incertidumbre numérica calculada. Permite localizar problemas de observación

y decidir qué análisis es defendible. Si la identificación no es posible, una cifra con muchos decimales no mejora la información disponible.

Instrumentos, referencias y comprobaciones del montaje

El equipamiento se selecciona por su relación con la pregunta, no por su apariencia tecnológica. Una regla puede responder una cuestión sobre longitud que una cámara no resuelve por sí sola. Cada instrumento necesita identificación, condiciones de uso y una comprobación que permita detectar problemas antes de obtener los registros.

La ficha del equipo puede incluir nombre, modelo, unidad mostrada, resolución, configuración y fecha de utilización. Cuando existe un certificado de calibración pertinente se registra su identificación y alcance. Cuando no existe, no se inventa. Comparar una regla con otra referencia disponible constituye una comprobación del montaje; no debe presentarse automáticamente como una calibración trazable realizada por un laboratorio competente.

El vocabulario metrológico distingue calibración y ajuste. La calibración establece relaciones entre indicaciones y valores de referencia bajo condiciones especificadas; el ajuste modifica un sistema para que proporcione indicaciones prescritas. Cambiar el factor de escala de una hoja de cálculo tampoco certifica todo el sistema de video. Estas distinciones están recogidas en el Vocabulario Internacional de Metrología (JCGM, 2012, entradas 2.39 y 3.11).

Para una primera práctica escolar se puede trabajar con una regla accesible, una referencia de longitud y una cámara fija. El informe describe exactamente ese nivel de equipamiento. Si se utiliza una balanza, se revisa su posición, el cero y la unidad antes de colocar el objeto. Si el dispositivo tiene un procedimiento de puesta a cero o de verificación indicado por su fabricante, se sigue ese procedimiento.

Las comprobaciones se documentan antes y después de la serie cuando puedan afectar al resultado. Una cámara que se mueve cambia la referencia espacial; una regla desplazada altera el origen; una masa que roza la mesa modifica el modelo de equilibrio. Estas incidencias no se resuelven mediante una etiqueta genérica de «error humano». Se identifica qué condición cambió y qué parte del registro resulta afectada.

Práctica 1: medir una longitud y estudiar la lectura

La primera estación concentra la atención en una operación aparentemente sencilla: obtener la longitud de un objeto. El interés didáctico está en definir los extremos, colocar la referencia y leer sin cambiar el criterio. Esta propuesta original utiliza objetos pequeños y permite estudiar variación de lectura sin exigir actividad física.

Se elige una pieza rígida con extremos reconocibles. Se registra qué borde se considera inicial y cuál final. La regla se coloca junto al objeto, con su eje alineado con la dimensión que interesa. Si el cero está deteriorado, puede utilizarse otra marca como origen y restar ambas lecturas; el cambio se escribe en el procedimiento y en la tabla.

El estudiante anota la posición de ambos extremos antes de calcular su diferencia. En un ejemplo hipotético, las lecturas son 0,012 m y 0,187 m. La longitud estimada es 0,175 m. Conservar ambas lecturas permite advertir que el objeto no comenzaba en cero. Si solo aparece el resultado, otra persona no puede comprobar si se realizó la resta o se confundió la coordenada final con la longitud.

Después se repite la lectura desde una posición visual diferente, sin mover el objeto. La tarea no pretende producir una corrección universal del paralaje. Busca observar si la relación entre ojo, escala y extremo dificulta la identificación de la marca. Cuando la referencia y el objeto están a diferentes alturas, esa diferencia debe describirse, porque afecta al montaje que se está comparando.

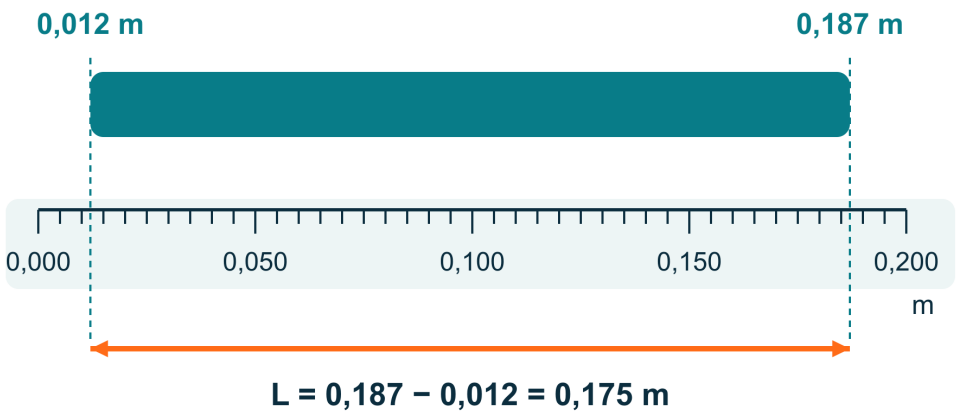
Una segunda ronda permite que otro observador lea los mismos extremos con la definición acordada. Si aparecen diferencias, se comprueba si ambos eligieron el mismo borde. La variación entre lectores y la variación de un lector en sucesivas observaciones se guardan en columnas distintas. Reunirlas sin identificación impediría saber qué cambió.

El producto final de esta estación es una tabla corta acompañada por un croquis. Se evalúa la coherencia entre definición, montaje, lecturas y longitud calculada. No se premia al grupo que escriba más decimales ni al que obtenga casualmente un valor cercano al de otro equipo. La pregunta pertinente es qué información permite defender la medida presentada.

EDUFISICA · LABORATORIO DE BIOMECÁNICA

La longitud depende de dos extremos definidos

Montaje esquemático propio. Lecturas hipotéticas con origen diferente de cero.



Objeto cian y escala en metros. El croquis muestra qué lecturas entran en la resta.

Croquis original del ejemplo hipotético de lectura. La regla, el objeto y las referencias son dibujos propios. EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

Práctica 2: posición y tiempo mediante video de un objeto

La segunda estación relaciona una trayectoria visible con una referencia espacial y otra temporal. Se propone observar un objeto que se desplaza en un plano controlado. El objetivo es construir posiciones y velocidades interpretables, mientras se reconocen las condiciones que hacen posible convertir coordenadas de imagen en magnitudes físicas.

El recorrido se prepara sobre una superficie estable, con un objeto ligero que no abandone el espacio destinado a la práctica. La cámara permanece fija y observa aproximadamente de frente el plano del movimiento. Se evita colocar la referencia de longitud más cerca de la cámara que la trayectoria. Una sola escala escalar no corrige automáticamente diferencias de profundidad ni una perspectiva marcada.

Antes de grabar se comprueba que aparecen el recorrido, sus referencias y el punto que se seguirá. Puede elegirse una marca sobre el objeto o un rasgo identificable de su contorno. Cambiar de punto durante la secuencia puede alterar la trayectoria, especialmente si el objeto rota. Se anota el criterio de seguimiento y se mantiene mientras la imagen permita aplicarlo.

La tarea puede desarrollarse con inspección manual de fotogramas o con un programa de análisis. El principio no depende de que el software dibuje automáticamente una curva. Es necesario saber qué coordenadas produce, cómo representa el tiempo y qué transformaciones aplica. La guía de videoanálisis amplía esas decisiones para una herramienta específica.

Se propone comenzar con un único eje y pocos instantes claramente identificables. Después puede añadirse una segunda coordenada o aumentar el número de observaciones. Esa progresión cambia la demanda del análisis: más puntos requieren control de las identificaciones y del tratamiento temporal. No convierte un montaje plano en un sistema tridimensional ni permite deducir por sí sola las fuerzas que actúan.

Ejemplo hipotético: escala espacial, fotogramas y posiciones

El ejemplo numérico siguiente permite comprobar las operaciones antes de aplicarlas a un archivo real. Sus coordenadas y tiempos son hipotéticos, elegidos para mostrar una cadena de cálculo coherente. Se supone un plano frontal, una escala constante y una secuencia de imágenes con intervalos temporales uniformes conocidos.

Una referencia de 0,500 m ocupa 400 píxeles. El factor de conversión espacial k se define como la longitud real L dividida por la longitud de su imagen p_L. Bajo los supuestos anteriores, cada píxel representa 0,00125 m en la dirección medida:

$$k=(L)/(p_L)=(0{,}500\ \text{m})/(400\ \text{px})=0{,}00125\ \text{m/px}.$$

El origen se fija en una coordenada de imagen $p_0=100$ px. La posición métrica se obtiene mediante $x=k(p-p_0)$, con p en píxeles y x en metros. Esta elección deja la primera posición en cero; no significa que el borde izquierdo de la imagen sea el origen físico.

Fotograma relativo	Tiempo supuesto (s)	Coordenada (px)	Posición x (m)
0	0,00	100	0,000
12	0,20	140	0,050
24	0,40	200	0,125
36	0,60	280	0,225

Los tiempos se han construido para una secuencia ideal de 60 imágenes por segundo: doce intervalos entre imágenes representan 0,20 s. En un archivo real se comprueba la información temporal disponible. Una reproducción ralentizada, una exportación o una captura con frecuencia variable pueden impedir que el

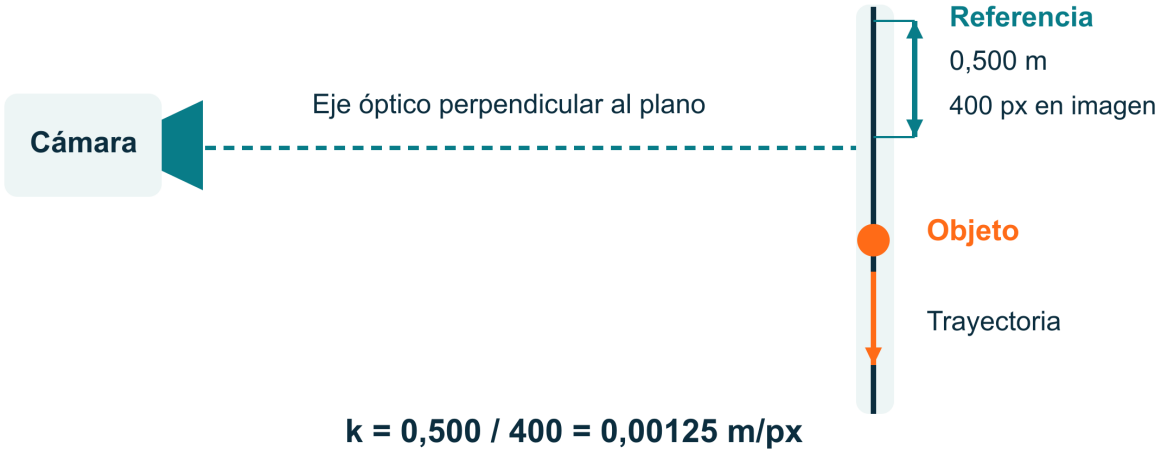
número de imagen sea una referencia temporal suficiente. El informe debe indicar si se usaron marcas de tiempo o una frecuencia uniforme verificada.

El resultado espacial depende conjuntamente de la referencia y del seguimiento. Si se mueve la cámara después de registrar la escala, el factor puede dejar de corresponder al recorrido. Si el punto se oculta, no se inventa su posición. La tabla conserva los índices originales, incluso cuando alguno no se utiliza, para que el lector pueda volver al fotograma y revisar la identificación.

EDUFISICA · LABORATORIO DE BIOMECÁNICA

Referencia y movimiento comparten un plano

Vista lateral conceptual del montaje; tamaños dibujados no reproducen sus dimensiones.



La escala escalar supone el plano frontal definido. No corrige diferencias de profundidad.

Esquema propio del montaje supuesto. No es una fotografía ni una reproducción de una figura protegida. Los tamaños dibujados no están a escala.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

Calcular velocidades sin perder la referencia del intervalo

Una velocidad calculada entre dos posiciones describe un intervalo, no un instante aislado que aparece automáticamente en pantalla. Esa distinción se vuelve decisiva cuando el objeto acelera. La tabla debe conservar qué posiciones y tiempos entraron en cada cociente, además de la referencia temporal elegida para representarlo gráficamente.

La velocidad media horizontal del intervalo se define como $\bar{v}_x = \Delta x / \Delta t$. En el ejemplo, los desplazamientos sucesivos son 0,050 m, 0,075 m y 0,100 m; cada intervalo dura 0,20 s. Sus velocidades medias son, respectivamente, 0,250 m/s, 0,375 m/s y 0,500 m/s. El sentido positivo corresponde al aumento de la coordenada horizontal fijada en el montaje.

Para representar los resultados se utilizan los tiempos centrales 0,10 s, 0,30 s y 0,50 s. Esta es una convención explícita de representación de intervalos. No demuestra que una velocidad instantánea real sea exactamente igual a la media. En una trayectoria ideal con aceleración constante ambas coinciden en el

centro; con otra evolución temporal esa coincidencia puede no ocurrir.

Los valores hipotéticos se ajustan a un modelo particular: $x(t)=v_0t+(1)/(2)at^2$, con $v_0=0{,}1875$ m/s y $a=0{,}625$ m/s². Este modelo reproduce las cuatro posiciones seleccionadas. En la práctica real, obtener una curva que pasa por los puntos no prueba que el objeto conserve una aceleración constante entre ellos. Hace falta considerar el muestreo, los residuos y la plausibilidad mecánica.

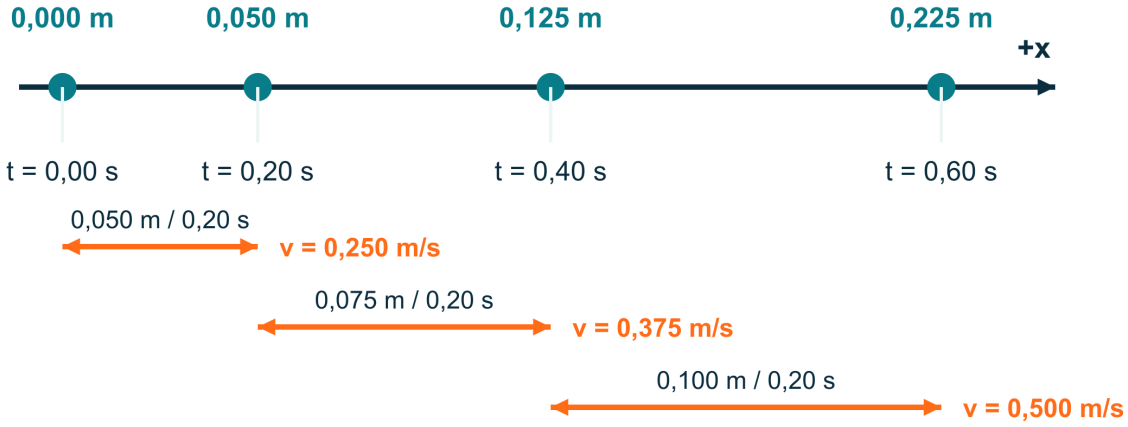
Si se calcula la variación entre las dos primeras velocidades, el resultado es $(0{,}375-0{,}250)/(0{,}30-0{,}10)=0{,}625$ m/s². Se han utilizado diferencias de velocidades representadas en tiempos centrales, no las posiciones inicial y final de cualquier columna. Para profundizar en las transformaciones y su sensibilidad al ruido resulta útil el artículo sobre errores e incertidumbre de medida.

La velocidad media de todo el recorrido es 0,225 m/0,60 s = 0,375 m/s. Coincide aquí con la media aritmética de las tres velocidades porque sus intervalos duran lo mismo. Si las duraciones fueran distintas, correspondería ponderar por tiempo. La coincidencia de este ejemplo es una propiedad de su construcción, no una regla que permita promediar cualquier serie de velocidades.

EDUFISICA · LABORATORIO DE BIOMECÁNICA

Cada velocidad conserva el intervalo que la produce

Posiciones y tiempos hipotéticos; tres duraciones iguales de 0,20 s.



La distancia dibujada es proporcional a x. Las velocidades calculadas son medias de intervalo.

Representación original proporcional a la posición horizontal del ejemplo. Las velocidades son medias de intervalos identificados.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

Práctica 3: equilibrio de momentos con una barra

La tercera estación introduce las fuerzas mediante un sistema mecánico accesible: una barra apoyada sobre un punto y pequeñas masas a ambos lados. La propuesta didáctica busca reconocer la distancia perpendicular y el sentido de giro. El montaje se trabaja cerca de una superficie de apoyo y sin cargas sobre el cuerpo.

El profesor revisa previamente la estabilidad del soporte, la sujeción de las masas y el espacio de trabajo. El sistema se mantiene a baja altura y las piezas se colocan de manera que no puedan rodar hacia otras estaciones. El estudiante identifica el punto de apoyo y dibuja las fuerzas antes de modificar las posiciones. No se reproduce una máquina de entrenamiento ni se emplean cargas máximas.

En un modelo ideal, la barra es rígida y su peso no produce momento respecto al apoyo porque su centro de masa coincide con ese punto. Si esta condición no se cumple en el montaje, debe incluirse el momento del peso de la barra. También se consideran los contactos adicionales: una masa que toca la mesa deja de transmitir exclusivamente la fuerza supuesta en el dibujo.

El peso de cada masa se calcula mediante $F=mg$. Para este ejemplo hipotético se toma $g=9{,}81$ m/s² como valor de trabajo aproximado. Una masa de 0,200 kg situada a 0,150 m del apoyo produce un momento de magnitud 0,2943 N·m. Otra masa de 0,300 kg situada a 0,100 m produce la misma magnitud en el sentido opuesto.

$$\sum M_O = (0{,}200)(9{,}81)(0{,}150) - (0{,}300)(9{,}81)(0{,}100) = 0 \text{ N m}.$$

Se ha elegido como positivo uno de los sentidos de giro y se han medido brazos perpendiculares a las fuerzas verticales. Las distancias no se sustituyen por una longitud cualquiera de la barra. El equilibrio de momentos, dentro del modelo, se acompaña por equilibrio de fuerzas: el apoyo ejerce una reacción vertical de 4,905 N si el peso de la barra se ha despreciado.

Una variante consiste en mover la masa de 0,200 kg a 0,120 m, manteniendo la otra en 0,100 m. El momento neto ideal pasa a −0,05886 N·m. Su signo indica el sentido favorecido por ese sistema de fuerzas; no prescribe la aceleración angular sin conocer además la inercia y las condiciones del apoyo. El artículo sobre torque y brazo de momento explica por qué esta geometría requiere atención también en el análisis corporal.

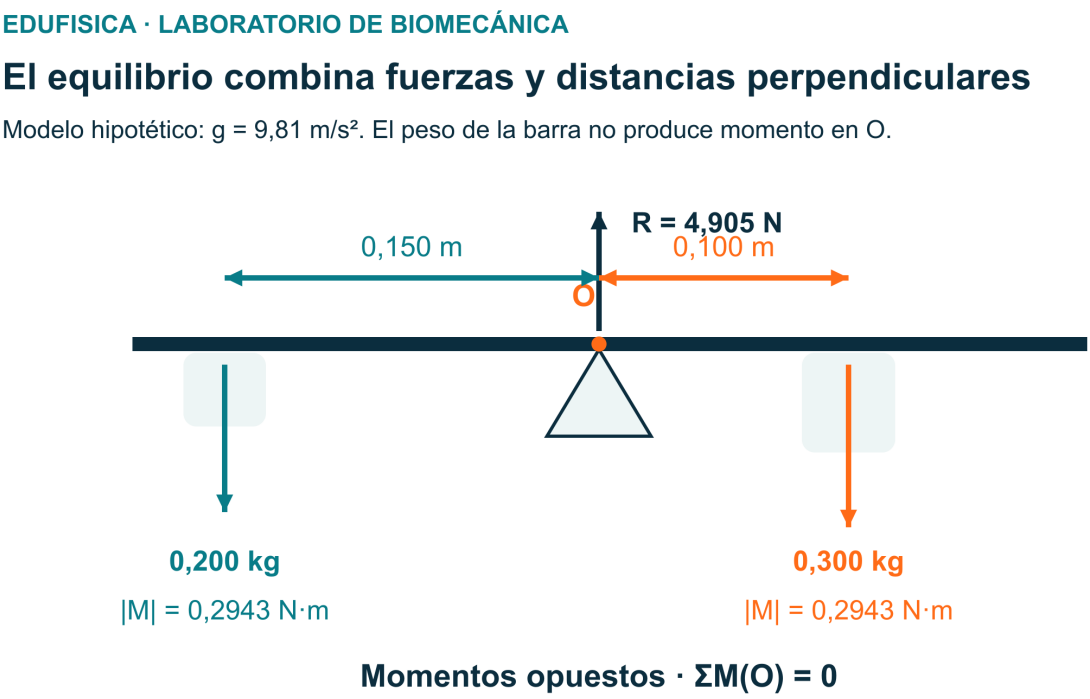


Diagrama original del modelo hipotético. El peso de la barra no produce momento en el apoyo y no se incluye en la reacción de 4,905 newtons mostrada.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

Repetir, cambiar de observador y comparar condiciones

La repetición solo responde una pregunta cuando se sabe qué permanece y qué cambia. Leer varias veces un mismo fotograma no reproduce el movimiento. Grabar varios recorridos tampoco estudia exclusivamente la lectura. El diseño debe separar esas fuentes de variación para que la comparación tenga un significado reconocible.

Se proponen tres niveles. En el primero, un observador identifica repetidamente el mismo punto del mismo archivo. En el segundo, otro observador utiliza la definición escrita. En el tercero, se adquiere un nuevo ensayo bajo las condiciones establecidas. El primer nivel explora consistencia de lectura; el segundo incorpora diferencias entre observadores; el tercero añade variación del fenómeno y de su adquisición.

La cantidad de repeticiones se decide según la pregunta, los recursos y la variabilidad que interesa estudiar. No hay un número de ensayos que, por sí solo, vuelva válida cualquier práctica. En una clase introductoria puede ser preferible documentar pocas observaciones bien definidas que acumular una serie extensa cuyo origen se desconoce. Si el objetivo es estimar estabilidad estadística, el diseño requiere una justificación más específica.

Cuando se compara una condición A con una B se escribe qué diferencia interesa. Si cambian simultáneamente la cámara, la superficie y la forma de liberar el objeto, una variación de velocidad no puede atribuirse exclusivamente a la superficie. Se puede describir la comparación del conjunto, pero no identificar el efecto aislado de un componente sin un diseño que lo permita.

Para la enseñanza se propone que cada grupo formule una predicción mecánica antes de observar los resultados, y después contraste esa predicción con el registro. No se corrige una hipótesis por haber resultado incompatible con la medida. Se revisa si la predicción estaba bien fundamentada, si el procedimiento examinó lo previsto y si la interpretación distingue el resultado de una explicación causal más amplia.

Un presupuesto de incertidumbre proporcional a la pregunta

Explicar la incertidumbre no exige empezar con una lista interminable de fuentes posibles. Se identifican primero las entradas que intervienen en el cálculo y se estudia cómo afectan al resultado. La profundidad del presupuesto debe corresponder al uso de la medida y a la información realmente disponible sobre el sistema.

Para $x=k\Delta p$, interesa la escala k y la diferencia de coordenadas Δp. Si una misma referencia se usa en todos los fotogramas, parte de la incertidumbre espacial puede ser compartida. Las lecturas de dos coordenadas tampoco son necesariamente independientes. Antes de combinar sus incertidumbres se explican estas relaciones; una fórmula de propagación sin supuestos no constituye un análisis completo.

Como ejercicio original simplificado, se asignan incertidumbres estándar hipotéticas independientes $u(k)=0{,}000004$ m/px y $u(\Delta p)=1$ px para un desplazamiento de 80 px. No se presentan como especificaciones reales de una cámara. La posición resultante es 0,100 m y su incertidumbre estándar combinada aproximada se obtiene mediante la propagación de primer orden:

$$u_c(x)=\sqrt{[\Delta p\, u(k)]^2+[k\, u(\Delta p)]^2}\approx 0{,}00129 \text{ m}.$$

Las dos contribuciones son 0,00032 m y 0,00125 m. En este ejemplo pesa más la identificación de la diferencia de coordenadas que la escala asignada. La conclusión se refiere a esas entradas supuestas; no establece cuál es la principal fuente de incertidumbre en cualquier video. Para describir velocidad se incorporaría también el tiempo, con las covarianzas pertinentes si las entradas estuvieran relacionadas.

El resultado puede expresarse como 0,1000 m con $u_c=0{,}0013$ m, indicando que se trata de incertidumbre estándar y del modelo simplificado. Escribir «±0,0013 m» sin explicación no informa un nivel de cobertura. La GUM describe la combinación mediante coeficientes de sensibilidad y términos de covarianza; también diferencia incertidumbre estándar y expandida (JCGM, 2008, apartados 5 y 6).

En una práctica inicial, si no existen datos suficientes para cuantificar las contribuciones, se registra una evaluación cualitativa bien delimitada. La perspectiva, la ocultación y la frecuencia temporal pueden discutirse como limitaciones del método. Inventar una tolerancia para completar una plantilla resultaría menos informativo que reconocer qué entrada todavía no ha podido caracterizarse.

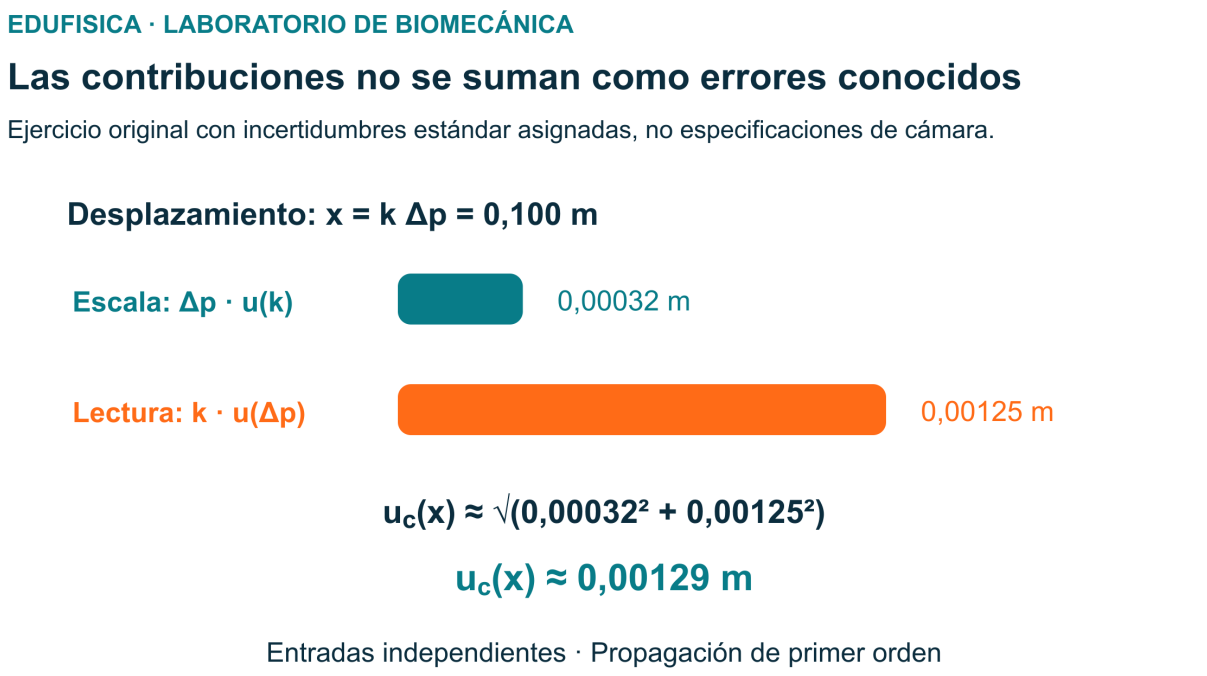


Gráfico propio del ejercicio hipotético con entradas independientes. Las barras no representan errores medidos ni intervalos de cobertura.
EDUFISICA · Diagrama didáctico original.

Del laboratorio escolar a cámaras, plataformas e IMU

Los sistemas avanzados amplían las variables disponibles, pero también multiplican las decisiones del análisis. Una plataforma, una cámara y una unidad inercial no proporcionan automáticamente versiones equivalentes de la misma magnitud. El protocolo debe explicar qué mide cada sistema, dónde lo hace y cómo se relacionan sus registros.

Si dos dispositivos se utilizan juntos, se define una referencia temporal compartida y se comprueba la sincronización. Que sus archivos empiecen con una columna denominada «tiempo» no significa que el instante cero corresponda al mismo evento. El desfase puede modificar la relación observada entre movimiento y fuerza. Se documenta el método de sincronización y cualquier corrección aplicada, conservando las señales originales.

La orientación también necesita descripción. Una fuerza expresada en los ejes de una plataforma no es automáticamente una componente expresada en un segmento corporal. En un sistema inercial se explica la localización y orientación del dispositivo, junto con la transformación utilizada cuando corresponda. La página sobre sensores inerciales e IMU desarrolla los problemas específicos de ese equipamiento.

Para las fuerzas y momentos intersegmentales, Derrick y colaboradores propusieron estándares de comunicación que permitieran entender diferencias entre investigaciones y reproducir métodos, sin imponer un único análisis válido para todas las aplicaciones. Su trabajo destaca la necesidad de explicitar sistemas de coordenadas, normalización y perspectiva interna o externa. Es una referencia específica para

informes de cinética, no un protocolo universal para cualquier estación escolar (Derrick et al., 2020).

Una progresión universitaria puede añadir una plataforma y comparar el equilibrio estático del sistema con sus fuerzas registradas. Otra puede utilizar trayectorias tridimensionales. En ambos casos, se actualiza el modelo y se revisa la competencia requerida para interpretar las señales. La guía introductoria no convierte la observación de un video en una estimación validada de fuerzas articulares, ni sustituye formación especializada para usos clínicos.

Archivos originales, transformaciones y protección de datos

El informe gana claridad cuando los archivos conservan una organización que refleja el procedimiento. El registro original se mantiene separado de las tablas derivadas y de las imágenes de presentación. Esta propuesta de organización permite revisar cálculos y decisiones sin confundir una corrección documentada con una modificación inadvertida del dato.

Se plantea una carpeta con cuatro apartados: protocolo, registros, análisis e informe. Cada ensayo recibe un código estable, como E01, y sus archivos derivados conservan ese código. El nombre no necesita incluir nombres personales. La tabla de incidencias relaciona código, momento del registro, problema y decisión adoptada. La versión del procedimiento queda identificada junto a la serie que lo utilizó.

Cuando se corrige una referencia espacial, se conserva la tabla anterior y se identifica la nueva versión. Una nota indica qué parámetro cambió y por qué. No se sustituyen discretamente los números para que el documento parezca uniforme. Al mismo tiempo, el registro no debe convertirse en una colección caótica de archivos duplicados: se señala cuál es la versión utilizada para el resultado final.

Las tres estaciones con objetos permiten realizar la propuesta sin recoger imágenes de alumnos. Si se decide observar personas, la actividad necesita el procedimiento institucional correspondiente de información, autorización y tratamiento de datos, ajustado a la jurisdicción aplicable. Se define quién accederá a los archivos, para qué se utilizarán y cómo se gestionará su conservación. No se publica un video de clase por el mero hecho de haber servido para un cálculo.

El estudiante puede participar en el análisis sin aparecer en la grabación. También puede asumir tareas de descripción, revisión de cálculos o elaboración del croquis. La evaluación se centra en su trabajo y no exige compartir una imagen personal. Para una investigación formal, los requisitos de revisión ética y protección de datos se establecen mediante los responsables competentes, sin confundir una práctica pedagógica con una autorización de investigación.

Cómo redactar un informe de análisis biomecánico

Un informe permite que el lector siga el razonamiento desde la pregunta hasta la conclusión. Su estructura debe mostrar cómo se obtuvieron los resultados y qué modelo se utilizó para interpretarlos. La extensión depende del problema; una descripción precisa del método aporta más que numerosas páginas de teoría desconectada.

La propuesta de formato comienza con título, pregunta y alcance. Después presenta el sistema estudiado, el montaje y las definiciones operativas. El método identifica instrumentos, configuración, referencias, criterio temporal y número de registros utilizados. Los resultados incluyen tablas o gráficos suficientes para mostrar la relación examinada, con unidades y códigos que remitan a los archivos correspondientes.

La sección de cálculo expone una operación completa representativa. Para la estación de video puede mostrar la conversión de 80 px en 0,100 m y el cociente entre ese desplazamiento y 0,20 s. Las operaciones repetidas se reúnen en una tabla. El lector debería poder comprobar al menos un resultado sin necesitar acceso a fórmulas ocultas en una hoja de cálculo.

La discusión distingue el comportamiento observado del previsto por el modelo. Si la barra permanece quieta, se describe esa observación y se compara con el equilibrio calculado, incluyendo las fuerzas omitidas. Si una curva no coincide con el modelo ideal, se estudian el montaje, los supuestos y la variación registrada. No se atribuye automáticamente la diferencia al estudiante o al instrumento.

La conclusión responde la pregunta con el nivel de certeza disponible. En el ejemplo hipotético de video: «Las velocidades medias de los tres intervalos aumentan de 0,250 a 0,500 m/s bajo la escala y los tiempos definidos». No corresponde concluir que un deportista mejoró su aceleración, porque el ejemplo no contiene un deportista, una intervención ni una comparación de rendimiento.

El informe termina con referencias pertinentes y anexos necesarios. El croquis original, la tabla de incidencias y la identificación de los archivos pueden resultar más útiles que copiar páginas de un manual. Cuando una ecuación procede de un principio mecánico conocido se explica su uso; cuando una decisión se apoya en una recomendación específica se cita la fuente junto a esa decisión.

Revisar un informe: cinco preguntas que cambian la interpretación

La revisión puede organizarse alrededor de preguntas que obliguen a volver al procedimiento. No consiste en buscar una cifra modelo para compararla con todos los grupos. Se examina si el resultado conserva relación con la magnitud, la referencia, el cálculo y las condiciones que el propio informe declara.

Primera pregunta: ¿el dato responde realmente a la pregunta inicial? Una duración total no informa por sí sola cómo cambió la velocidad durante el recorrido. Segunda: ¿la unidad corresponde a la operación? Dividir metros por segundos produce m/s; multiplicar una fuerza por una distancia produce N·m. Un gráfico sin unidades impide distinguir magnitudes que pueden compartir una forma visual parecida.

Tercera: ¿el montaje permite el modelo elegido? Una trayectoria que abandona el plano de referencia dificulta la interpretación métrica con una escala única. Cuarta: ¿se mantienen los signos y los intervalos? Si el eje positivo se invierte durante el análisis, una velocidad puede cambiar de signo por decisión del observador. Si se relacionan velocidades y tiempos de intervalos distintos, el cálculo pierde su definición.

Quinta: ¿la afirmación final supera la evidencia? Una diferencia entre dos lecturas no identifica por sí sola una causa. Una curva suave tampoco demuestra precisión. La revisión debe señalar la operación concreta que requiere corrección o el supuesto que limita la interpretación, en lugar de escribir únicamente «falta rigor».

El estudiante puede responder estas preguntas antes de entregar y luego revisar un informe de otro grupo. Se propone que cada observación de revisión incluya el pasaje, la dificultad y una modificación verificable. Por ejemplo: «La tabla usa fotogramas, pero el método no indica cómo se obtuvo el tiempo; añade la referencia temporal». Esta forma de devolución convierte la revisión en una tarea de análisis y no en una valoración personal.

Adaptar las prácticas a edades, recursos y autonomía

La complejidad del laboratorio se modifica mediante las decisiones que debe tomar el alumno. Un mismo objeto puede servir para reconocer una referencia en primaria o para analizar propagación de incertidumbre en la universidad. La adaptación necesita conservar la pregunta y ofrecer una forma de participación compatible con las posibilidades del grupo.

En una iniciación, el docente puede proporcionar el montaje y pedir que se identifiquen los extremos y la unidad. Más adelante se entrega la pregunta y se permite seleccionar el origen. En una tercera progresión, los alumnos diseñan el procedimiento y justifican por qué resulta adecuado. Estos niveles son una propuesta pedagógica de autonomía creciente, no etapas universales asignadas rígidamente por edad.

La participación puede repartirse entre manejo del objeto, observación, registro, cálculo y explicación. Los roles rotan cuando las condiciones lo permiten, sin convertir una limitación motriz o sensorial en exclusión del análisis. Un registro textual bien estructurado, una representación ampliada o un material con referencias táctiles pueden formar parte de la adaptación. Su pertinencia se decide conociendo a los estudiantes y el contexto real.

Con pocos dispositivos, se puede utilizar un registro común y distribuir preguntas diferentes sobre él. Un equipo revisa la escala, otro la referencia temporal y otro las unidades de los cálculos. La puesta en común muestra que la calidad del análisis depende de varias decisiones relacionadas. Si se utiliza una serie hipotética en lugar de un registro, se identifica esa sustitución desde el comienzo.

La evaluación valora definiciones, coherencia del procedimiento, cálculos revisables y alcance de la interpretación. No transforma la rapidez al resolver una fórmula en único indicador de comprensión. La didáctica de la competencia motriz permite conectar estas tareas de observación y argumentación con otros objetivos de Educación Física, cuando esa relación corresponde al currículo y a la actividad desarrollada.

Preguntas frecuentes sobre prácticas de biomecánica

Las dudas más frecuentes aparecen cuando una herramienta produce resultados que parecen completos, pero el procedimiento todavía deja decisiones sin explicar. Estas respuestas delimitan qué puede hacerse con las prácticas propuestas y qué información adicional hace falta antes de convertir sus cálculos en afirmaciones sobre un movimiento real.

¿Se puede hacer un laboratorio de biomecánica sin plataformas de fuerza?

Sí. Las prácticas propuestas permiten estudiar longitudes, posición, tiempo y equilibrio ideal con material accesible. La ausencia de una plataforma limita las fuerzas que pueden registrarse directamente, pero no impide aprender a definir magnitudes y revisar procedimientos. El equipamiento debe corresponder a la pregunta planteada.

¿Una cámara de un celular permite medir cualquier movimiento?

No. La interpretación depende del plano observado, la escala, el criterio temporal y la identificación del punto. Un video plano con una referencia no constituye un sistema tridimensional ni permite calcular automáticamente fuerzas articulares. Se comprueba el archivo y se delimita el análisis que el montaje permite.

¿Cuántos ensayos hacen falta?

No hay una cantidad universal. Se decide según la pregunta, las fuentes de variación y el uso del resultado. Releer un archivo, cambiar de observador y repetir el movimiento representan repeticiones diferentes. La justificación debe indicar cuál de ellas se necesita y por qué.

¿Es obligatorio grabar a los alumnos?

No en esta propuesta. Las tres estaciones pueden realizarse con objetos. La observación de personas exige un procedimiento institucional adecuado de información, autorización y tratamiento de datos. La participación en el análisis puede organizarse sin que todos aparezcan en la grabación.

¿Cómo distinguir un modelo de un resultado experimental?

El modelo declara relaciones y supuestos; el resultado experimental procede de un registro documentado. Los ejemplos numéricos de esta guía son hipotéticos. En un informe real se separan valores registrados, operaciones y predicciones, y se explica cómo se compararon sin sustituir una categoría por otra.

Referencias

1. Hall, S. J. (2015). *Basic biomechanics* (7.ª ed.). McGraw-Hill Education. Registro bibliográfico.

2. Pérez Ruiz, O. A., Villegas Sáez, A. F., & Feito Gácita, A. (2021). *Fundamentos de biomecánica deportiva*. Editorial Universitaria. Registro bibliográfico.

3. Joint Committee for Guides in Metrology. (2012). *International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM)* (3.ª ed.; JCGM 200:2012). Entradas 2.39 y 3.11. Calibración; ajuste.

4. Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). *Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (JCGM 100:2008). https://doi.org/10.59161/JCGM100-2008E.

5. Derrick, T. R., van den Bogert, A. J., Cereatti, A., Dumas, R., Fantozzi, S., & Leardini, A. (2020). ISB recommendations on the reporting of intersegmental forces and moments during human motion analysis. *Journal of Biomechanics, 99*, 109533. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109533.