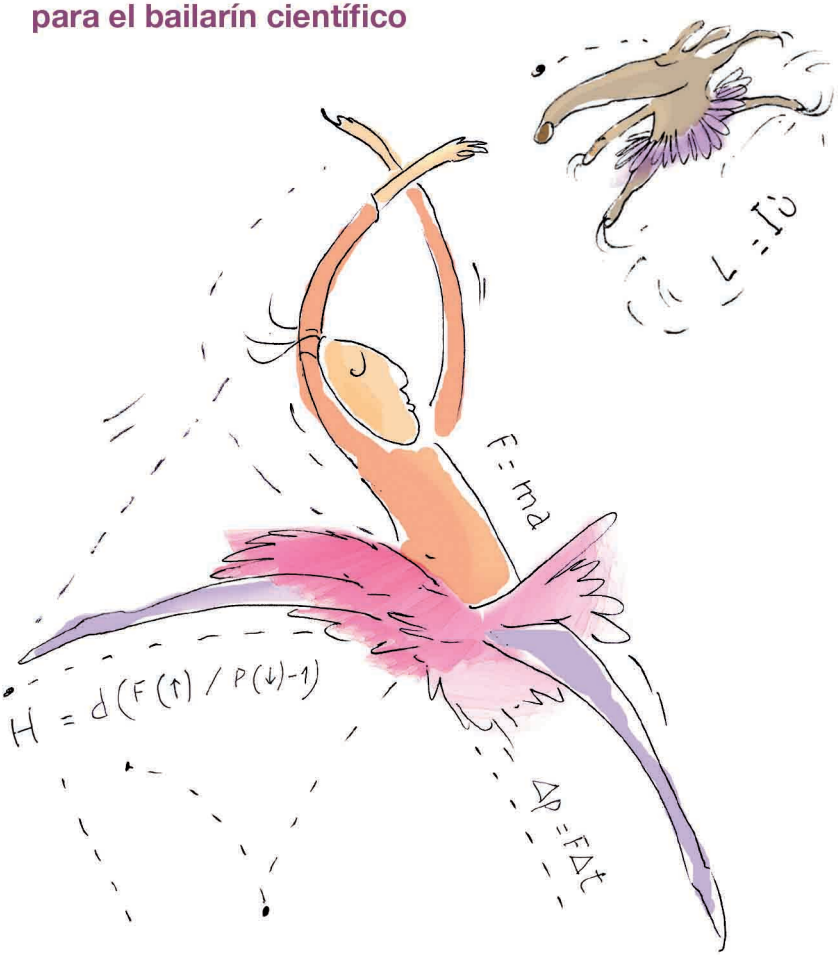
jimena olmos asar
esteban franceschini

ciencia que baila

saltos, piruetas y física para el bailarín científico

GANADOR DEL CONCURSO CQL-LA NACION



siglo veintiuno editores

colección
ciencia que ladra...

PRIMER ACTO
Equilibrio (y otras yerbas)

Desde lo alto veía el pelo de la Maga, la curva de los hombros y cómo levantaba a medias los brazos para mantener el equilibrio, mientras con pequeños saltos entraba en la primera casilla, impulsaba el tejo hasta la segunda (y Oliveira tembló un poco porque el tejo había estado a punto de salirse de la rayuela, una irregularidad de las baldosas lo detuvo exactamente en el límite de la segunda casilla), entraba livianamente y se quedaba un segundo inmóvil, como un flamenco rosa en la penumbra, antes de acercar poco a poco el pie al tejo, calculando la distancia para hacerlo pasar a la tercera casilla.

Julio Cortázar, *Rayuela*

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

"¡Cuidado! No vayas a perder el equilibrio." Seguramente escuchamos esta frase o alguna similar cuando un adulto le enseña a un niño a andar en bicicleta sin rueditas. Quizá la recordemos en boca de nuestros padres o abuelos. Pero ¿qué tiene que ver el equilibrio con la bicicleta? Parece que la técnica necesaria para andar en bicicleta tiene mucho que ver con el equilibrio.

El equilibrio mecánico, que es el que nos interesa para bailar, es la condición que alcanza un cuerpo cuando no actúa ninguna fuerza neta sobre él. Podemos decir que una *fuerza* es una acción aplicada sobre algo (o alguien) capaz de cambiar su estado de movimiento o su forma. Por ejemplo, la fuerza de gravedad hace que el auto del señor que se olvidó de poner el freno de mano en una calle con pendiente se vaya hacia adelante, hasta que algo ejerza otra fuerza en sentido contrario capaz de detenerlo (el freno, o el árbol de la esquina), al compensar la fuerza de gravedad. De la misma manera, si un chico está quieto parado sobre una patineta y alguien lo empuja suavemente por la espalda, empezará a moverse hacia adelante, es decir, la fuerza aplicada modificó su estado, el chico pasó de estar en reposo a estar en movimiento.

En la condición de equilibrio mecánico, no es que nada tironee a un cuerpo, sino que, si alguna fuerza lo hace, otra tironeará en el sentido contrario con la misma intensidad.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

De esta manera, un cuerpo quieto en equilibrio estático no se mueve, ni tiene tendencia a moverse (y va a permanecer en la misma posición por mucho, mucho tiempo…).

Así como el equilibrio es muy importante para caminar, correr y andar en bicicleta, es indispensable para bailar. La danza es un arte que consiste en tres ingredientes básicos: el movimiento, las poses estáticas (acá es cuando mejor salen las fotos) y las transiciones entre ambos.

El movimiento es el corazón de la danza (si no nos movemos, no podemos decir que estamos bailando), y es lo primero que define su estilo y lo que el bailarín quiere transmitir. Pero algunos de los momentos clave de la danza, esos que nos hacen contener la respiración y agarrarnos fuerte de la butaca, ocurren cuando un bailarín se queda en una pose por varios inquietantes segundos. Una pirueta que termina en una pose estática puede ser particularmente impresionante. Para pasar de uno a otra, es decir, del movimiento a la pose estática o viceversa, ocurren fuerzas capaces de crear o frenar el movimiento. Es esto lo que denominamos "transición", y generalmente es el momento más crítico en la ejecución del bailarín.

Analizar las técnicas que un bailarín debe utilizar para mantener el equilibrio (o recobrarlo después de alguna maniobra peligrosa) requiere de mucha, mucha física. Entonces… ¡adelante, mis valientes bailarines!

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

1. Una actividad muy física

Los científicos pasamos buena parte del día sentados frente a una computadora, con el consiguiente dolor de espalda y de piernas al que ya casi estamos habituados. No importa cuántos ejercicios hagamos en la oficina (estiramientos en la silla, sentadillas debajo del escritorio, lagartijas detrás de la puerta), siempre de algún lado nos "tira", o se nos duerme la pierna, o incluso nos duele el dedo que apoyamos en la ruedita del *mouse*.

Un día, cansados del "tirón" entre el hombro y el cuello, que normalmente nos hace caminar como el monstruo creado por el Dr. Frankenstein (y acrecienta los rumores y estereotipos), vamos al médico con la esperanza de que nos derive a un fisioterapeuta que nos deje como nuevos, cero kilómetro, nunca taxi.

El médico nos revisa: "Levante la mano, dígame si esto le duele, mueva el dedo de la ruedita del *mouse*". Termina su análisis crítico de nuestro (déficit de) estado físico y se prepara para darnos su diagnóstico. Anota en un papelito algo medio ilegible y es entonces cuando pensamos "un analgésico y a casa". Pero, en lugar de eso, el médico extiende el papel y nos dice: "Puedes ir a este lugar. Dan clases de baile. Tiene varios ritmos y horarios para elegir". Obviamente, no es lo que esperábamos, y el médico se da cuenta por nuestra cara de "este tipo está chiflado". Entonces nos explica que bailar ayuda a mantener el peso, mejora la circulación y la flexibilidad,

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

fortalece los músculos, incrementa la autoestima y mejora la calidad de vida. Nos vamos del consultorio pensando seriamente en comprar un analgésico de camino a casa.

Al día siguiente, en el trabajo, comentamos con un colega que un médico desubicado nos mandó literalmente a bailar porque nos duele la espalda. Ni siquiera nos recomendó natación… ¡nos "recetó" ir a bailar salsa! Para nuestra sorpresa, nuestro colega se muestra de acuerdo y nos dice que hace dos años que toma clases de baile. ¡Y hasta nos invita a ver su próxima presentación en el teatro! Entonces, de a poco y por repetición, empezamos a analizar la propuesta con otros ojos…

Aceptamos la invitación, pero, con el traje de físicos puesto, vamos dispuestos a analizar todo lo que ocurre en el escenario. Libreta en mano, comenzamos a anotar.

La *posición* del bailarín es su localización en el espacio y siempre (pero siempre) la definimos con respecto a un punto de referencia. En general, un bailarín tendrá como referencia puntos del escenario sobre el cual se mueve. Si bien vivimos en un mundo tridimensional, a veces, si nos desplazamos en una sola línea, podemos describir la posición en una sola dimensión. Y si nos movemos por todo el escenario (¡pero no vale saltar!), entonces con dos dimensiones nos alcanza.

La *velocidad* mide cuánto cambia la posición a medida que pasa el tiempo. Matemáticamente, la calculamos dividiendo la distancia recorrida por el tiempo que pasó, y está direccionada desde el punto de partida hacia el de llegada.[2] Por ejemplo, si nos movemos 10 metros hacia la derecha en 5 segundos, nuestra velocidad media es de 2 metros por segundo (m/s) hacia la derecha. Entonces, una velocidad es

2 Velocidad promedio correspondiente a un tiempo dado.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

un vector.[3] Y se define con un tamaño (2 m/s) que se llama *rapidez*, una dirección (una línea recta que dibuja el recorrido) y un sentido (hacia la derecha).

Cuando la velocidad de un bailarín cambia mientras se mueve, se dice que está acelerando. La *aceleración* mide cuánto cambia la velocidad a medida que pasa el tiempo. La podemos calcular como la diferencia entre la velocidad final y la velocidad inicial, dividida por el tiempo necesario para que ese cambio ocurra.

Si un bailarín que se mueve hacia la izquierda a 1 m/s aumenta su rapidez lentamente hasta llegar a 3 m/s en 2 segundos, el cambio de velocidad (su aceleración) será de 1 metro por segundo *por cada segundo que pasa* (m/s^2)[4] hacia la izquierda. Si, en cambio, cuando va a 1 m/s hacia la izquierda se detiene lentamente en 2 segundos (siendo su velocidad final igual a cero), entonces su aceleración será de -0,5 m/s^2.[5] ¡Un momento! ¿Qué significa que la aceleración sea negativa? Significa que es en el sentido contrario a la velocidad que traía el bailarín, es decir que ahora se acelera hacia la *derecha* y está frenando. ¡Sí! Frenar es, en física, una forma de acelerar.

Hay aceleración cuando cambia la rapidez, pero también cuando cambia la dirección de la velocidad. Si nos movemos 10 metros en 5 segundos hacia la derecha y luego giramos y nos movemos 10 metros hacia adelante también en 5 segundos, aunque seguimos moviéndonos a 2 m/s, la dirección cambia, y por lo tanto, nos aceleramos.

Habíamos dicho que el elemento principal de toda danza es el movimiento. En física, la *mecánica* es el estudio de las

3 Un vector es una magnitud física que, además de un valor, necesita una dirección y un sentido para ser definida.

4 Calculado como: aceleración = ((3-1)/2) m/s^2.

5 Calculado como: aceleración = ((0-1)/2) m/s^2.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

propiedades del movimiento de objetos masivos (o sea, que tienen *masa*,[6] como los bailarines) en respuesta a fuerzas que actúan sobre ellos, como la gravedad o el empuje del suelo.

La *cinemática* (cuyo nombre tiene la misma raíz que "cinema") es la descripción del movimiento en sí mismo, y estudia la relación que hay entre la posición, la velocidad, la aceleración y el tiempo, pero ignora todas las interacciones con agentes externos que puedan causar o modificar ese movimiento.

La *dinámica*, en cambio, observa la relación que existe entre el movimiento y las causas de sus cambios.

La mecánica, la cinemática y la dinámica proveen las herramientas necesarias para analizar los movimientos que hacemos al bailar.

Todas estas observaciones quedan registradas en nuestra libreta de científicos. ¡Han sido días muy productivos! En el teatro y en el consultorio del médico, aprendimos que la danza es una actividad física por partida doble: ayuda a nuestro cuerpo… ¡y está totalmente gobernada por las leyes de la física!

¡Momento! Es hora de hablar del momento…

Uno de los conceptos más importantes de la aplicación de la física a la danza es el de momento, que podría pensarse como la "cantidad de movimiento" que posee el bailarín. Es que la palabra "momento" es algo engañosa: proviene del latín *momentum*, que significa "movimiento".

6 Cuando hablamos de *masa*, no nos referimos a algo rico para acompañar el café con leche. En física, la masa de un cuerpo es una medida de la cantidad de materia que posee, y también una medida de la resistencia del cuerpo a cambiar su velocidad (es más fácil atrapar una pelota de tenis que una bola de *bowling*...).

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

La magnitud o el tamaño del momento es simplemente el producto de la masa por la velocidad, y tiene la misma dirección y el mismo sentido que la velocidad (¡otro vector!). O sea que si dos bailarines corren hacia el mismo lado con la misma velocidad, el más pesado[7] tendrá un momento mayor.

El momento de un sistema se conserva siempre que no haya fuerzas netas actuando sobre él, incluso si hay interacciones entre las partes del sistema. Por ejemplo, si dos patinadores sobre hielo se chocan (los dos forman parte de un mismo sistema), y el rozamiento es muy leve, entonces el momento total de ambos después del choque es igual al que tenían antes de chocar (sus velocidades sólo invierten la dirección). Si una bailarina que va corriendo da un salto para que la levante un bailarín que está quieto, él va a tener que hacer fuerza para evitar que ambos salgan disparados como dos bolas de billar que chocan.

Luz, cámara… ¡acción! (y reacción)

> ¿Por qué esa manzana debería caer siempre perpendicularmente hasta el suelo?
> **Isaac Newton**

Ya aprendimos parte de la teoría: sabemos qué es la posición, la velocidad, la aceleración y el momento. Es hora de la práctica: ¡hora de bailar! Podemos correr la mesa y las sillas, poner

7 El peso es una medida de la fuerza con que la gravedad actúa sobre un cuerpo, y es directamente proporcional a la masa; aunque en el lenguaje cotidiano *peso* y *masa* se usan como sinónimos, son cosas muy distintas: si vamos a la Luna, nuestra masa no va a cambiar, pero nuestro peso será mucho, mucho menor.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

música y empezar a movernos al ritmo de los tambores. No hay nadie en la casa, así que esta vez bailaremos solos.

Mientras bailamos, aunque sin compañero en esta ocasión, diferentes fuerzas naturales e invisibles actúan sobre nosotros. La gravedad es la fuerza que hace que nos mantengamos siempre sobre la Tierra (salvo algunos soñadores incansables). Si saltamos, por ejemplo, no podemos llegar muy alto ni quedarnos flotando en el aire por mucho tiempo. La gravedad nos tira para abajo. ¿Y hasta dónde? Hasta el suelo. Aunque no lo percibamos conscientemente, el suelo nos empuja hacia arriba, contrarrestando el efecto de la gravedad, y permitiendo que al final estemos en perfecto equilibrio. Cuando estamos de pie, hay una fuerza que nos tira hacia abajo y otra exactamente igual que nos impulsa hacia arriba, que nos mantiene sobre el suelo. Nota importante: ¡la fuerza también es un vector!

Newton, el científico al que le gustaban las manzanas (o al menos la sombra del manzano, según cuentan por ahí), postuló lo que hoy se conoce como Tercera Ley de Newton (sí, ¡hay dos más! Pero ¡calma! ¡Que no cunda el pánico! En breve develaremos las que faltan…). Esta ley dice que siempre que se aplique una fuerza sobre un cuerpo (acción), este responderá con otra fuerza de igual magnitud y en sentido inverso (reacción).

¿Es decir que si le pegamos a la pared, la pared también nos pegará con la misma fuerza? Sí, pero la diferencia es que la pared tiene mucha más masa, y ni siquiera se va a enterar de que la estamos golpeando, mientras que a nosotros nos va a doler la mano. Mejor no probemos esto en casa.

Entonces, cuando bailamos, aunque parezca que estamos solos, el suelo está bailando con nosotros, ya que empuja en contra de la gravedad y nos sostiene. Podríamos decir que el suelo es nuestro fiel compañero de baile.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Centro de gravedad (o de cómo hallar el propio centro sin hacer yoga)

Un bailarín está en equilibrio cuando ninguna fuerza (por ejemplo, la fuerza de gravedad) logra cambiar su movimiento, porque siempre hay otra que la contrarresta.

El *centro de gravedad* (también conocido como *centro de masa*,[8] *baricentro* o simplemente *centro*) de una persona que baila es el punto en el cual la fuerza de gravedad parece estar actuando sobre el cuerpo como un todo. Podría pensarse como la posición promedio de la masa del sistema-bailarín.

No es difícil encontrar nuestro propio centro (de gravedad). Cuando estamos parados sobre los dos pies, podemos imaginar un plano vertical que divide nuestro cuerpo a la mitad, en parte izquierda y parte derecha (plano sagital). El centro está sobre este plano, en alguna parte de la panza, cerca del ombligo, como se muestra en la figura 1.a. En los hombres generalmente está un poquito más arriba que en las mujeres, ya que ellas tienen más masa en las caderas, y ellos, alrededor de la espalda y los hombros.

Si alzamos los brazos, ese movimiento de masa hacia arriba hace que nuestro centro también suba un poco. Si levantamos una pierna hacia un costado, nuestro centro también se correrá hacia ese costado y hacia arriba, y para mantener el equilibrio parte de la masa del resto del cuerpo debe desplazarse en la dirección opuesta (figura 1.b). A veces el centro puede ubicarse fuera de nuestro cuerpo, como sucede en la postura que muestra la figura 1.c. En este caso, si sacáramos un promedio de la masa de cada partecita del cuerpo

8 El centro de gravedad y el centro de masa son equivalentes sólo mientras la gravedad no cambia, como sucede sobre el escenario y, aproximadamente, en toda la superficie de la Tierra.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

y su posición, el centro se ubicaría por debajo de la espalda, en un punto que no coincide con ninguna parte del cuerpo.

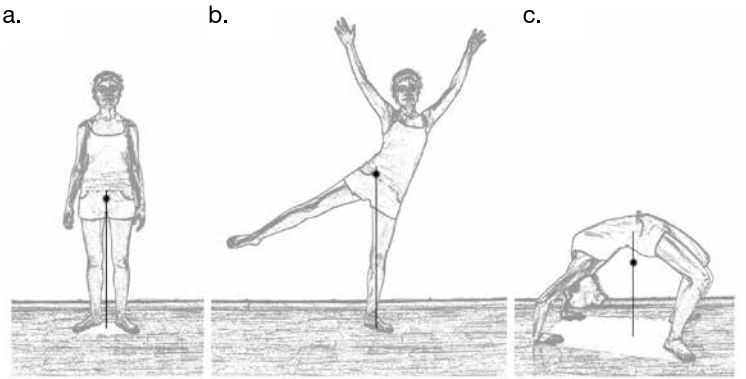


Figura 1. Posición aproximada del centro de gravedad en tres posturas distintas. En el suelo, el área de soporte sobre la cual pasa el eje cuando estamos en equilibrio está marcada en blanco. En las figuras, el centro de gravedad está marcado con un círculo negro, y el eje, con una línea vertical.

Una característica importante del centro de gravedad es que, si nadie hace nada para evitarlo, siempre tendrá tendencia a ir hacia abajo (porque la gravedad así lo ordena). Si, por ejemplo, tiramos una pelota desde nuestro balcón, caerá hasta el jardín (a menos que se quede enredada en el árbol del vecino). Cuando estamos parados, el centro de gravedad no se cae porque el suelo, a través del empuje de las piernas, lo sostiene.

Cuando decimos que un bailarín se desplaza a cierta velocidad, en realidad hacemos referencia a la velocidad de su centro de masa, que, en última instancia, dice cómo se traslada el bailarín como un todo.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Con los pies en la Tierra

Cuando estamos parados en alguna pose, siempre hay contacto entre nuestro cuerpo y el suelo (por culpa de la gravedad, no podemos andar flotando por ahí). Esa porción de superficie del cuerpo que directamente toca el suelo, o la zona delimitada por las partes que están en contacto con él, se llama *área de soporte*. Si nos paramos en un pie, por ejemplo, el área de soporte es el área de la planta de ese pie.

Para estar en equilibrio, nuestro centro debe encontrarse sobre una línea vertical que pase por alguna zona del área de soporte. Esa línea vertical conforma nuestro *eje*. Si todavía no nos cansamos y seguimos parados en un solo pie, nuestro eje pasa por algún punto de ese pie. Y ese es nuestro punto de apoyo. Si nos paramos en dos pies, el área de soporte está en la planta de nuestros pies, más la superficie que se encuentra entre ellos. Por ejemplo, si nos paramos como muestra la figura 1.a, el área de soporte será la superficie delimitada por los bordes externos de nuestros pies (desde los talones hasta los deditos) y una línea que une los dedos gordos y los talones (marcada en blanco en la figura).

Cuanto más grande sea el área de soporte, más fácil será mantener el centro de gravedad sobre ella y permanecer en equilibrio. Esto significa que podemos ganar estabilidad simplemente separando nuestros pies (consejo muy útil para viajar parado en el colectivo).

Si el área de soporte es pequeña, como cuando nos paramos en un pie o tenemos los dos pies muy juntos, es muy difícil mantener el equilibrio. Si estamos parados cómodamente en dos pies y levantamos uno, será necesario reacomodar la posición del centro de gravedad para no perder el equilibrio. ¡Y todo se vuelve más complicado cuando nos paramos en puntas de pie!

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Porque esa es la ley primera

Nuestro científico de las manzanas, el querido Newton, postuló en el siglo XVII (sí, hace mucho, mucho tiempo, y cuando él tenía menos de 30 años…) tres leyes que constituyen las bases esenciales de la dinámica clásica.

La Primera Ley de Newton postula que en ausencia de cualquier interacción con el resto del universo, esto es, en ausencia de toda fuerza proveniente del *mundo exterior*,[9] un cuerpo quieto permanecerá quieto, y uno que se mueve seguirá moviéndose en línea recta con rapidez constante, es decir que su aceleración es cero. Esa resistencia de un cuerpo a cambiar su estado de movimiento se llama *inercia*.

Dijimos antes que un cuerpo sobre el que no actúan fuerzas netas está en equilibrio. Y ahora agregamos que, si no hay fuerzas, no cambia su estado de movimiento. Entonces… ¿se puede estar en equilibrio y en movimiento al mismo tiempo? ¡Claro que sí! La condición de equilibrio asegura que, si estamos quietos, en *equilibrio estático*, vamos a seguir quietos. Pero si nos movemos, y no hay fuerzas netas que actúen sobre nosotros, entonces nos encontramos en *equilibrio dinámico*. ¿Esto quiere decir que un bailarín que se desliza hacia un costado se moverá para siempre en esa dirección y no podrá detenerse? Si no está en el espacio, como en la película *Gravedad*, seguramente alguna fuerza del mundo exterior se interpondrá en su camino para evitar que se deslice para siempre. Una de esas fuerzas es la de rozamiento (fricción), que es paralela a nuestra área de soporte y se debe a las irregularidades en la superficie del suelo y de nuestros pies o calzado. Los patinadores sobre hielo sienten mucho menos esta fuerza, y pueden desplazarse distancias muy largas sin

9 Para un bailarín, el *mundo exterior* es cualquier cosa que esté fuera del propio cuerpo.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

detenerse (lo mismo sucede si uno baila después de encerar el piso del comedor…). Otra forma de frenar el movimiento del bailarín puede ser una pared, o un compañero que viene a su encuentro.

Use the Force…[10]

Una característica muy importante del centro de gravedad es que no puede desplazarse a menos que haya alguna fuerza neta externa que actúe sobre él. Es decir que podemos mover partes de nuestro cuerpo de manera individual (por ejemplo, levantar los brazos), pero a menos que esos movimientos resulten en una fuerza entre nuestro cuerpo y el mundo exterior, el centro ni se va a enterar.

Dicho de manera más elegante: a menos que una fuerza del mundo exterior actúe sobre el cuerpo, no habrá cambios en el *estado de movimiento* del cuerpo. Esto significa que si el cuerpo está quieto, seguirá estando quieto. Y si se está moviendo, seguirá moviéndose de la misma manera hasta que alguna fuerza exterior actúe sobre él.

Cuando estamos de pie, hay fuerzas que actúan sobre nosotros: la gravedad, que nos empuja hacia abajo, y el suelo, que nos empuja hacia arriba. Como estas fuerzas están equilibradas, podemos quedarnos en la misma posición por mucho tiempo. Cuando los patinadores sobre hielo se impulsan empujándose desde el borde de la pista hacia el centro con patines que "resbalan" mucho (porque hay menos rozamiento, como ya sabemos), pueden seguir en la misma línea recta (con la misma velocidad) por muchos metros.

10 La conocida frase de Obi-Wan Kenobi, el famoso Jedi de *Star Wars* [*La guerra de las galaxias*], aconseja que "uses la fuerza".

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Si el lector está atento, seguramente se habrá dado cuenta de que esto tiene mucho que ver con la Primera Ley de Newton. Pero también está muy relacionado con su segunda ley, según la cual si se aplica una fuerza externa sobre un cuerpo, este sufrirá una aceleración inversamente proporcional a su masa.[11] Entonces… si queremos que el centro de gravedad de un bailarín se acelere (es decir que comience a moverse desde el reposo, se detenga o cambie la dirección o rapidez de su movimiento), vamos a necesitar una fuerza proveniente del mundo exterior. Y mientras más liviano sea el bailarín, menor será la fuerza que necesita para acelerarse.

Y ya que estamos, le pegamos una miradita de nuevo a la Tercera Ley de Newton (enunciada en el apartado "Luz, cámara…"), ese científico incansable que al parecer se las sabía todas sobre los movimientos, aunque no haya retratos de él bailando… Esta ley es muy importante en la danza, porque un cuerpo, para acelerarse, necesita una fuerza aplicada sobre él, y de este modo responde aplicando una fuerza igual y opuesta a la que lo está empujando. Por ejemplo, si un bailarín quiere acelerarse hacia el frente del escenario, tiene que aplicar una fuerza contra el piso hacia atrás; entonces, el piso le va a responder con la misma fuerza pero en el sentido en que el bailarín quiere avanzar. Otro ejemplo, pero en patines: ¿por qué empujamos *contra* la pared para alejarnos de ella? Porque nos empuja en sentido contrario.

Al llegar a este punto, algún curioso se podría preguntar: ¿cómo puede existir aceleración si todas las fuerzas están equilibradas? La respuesta a esto es que las fuerzas que se oponen y equilibran están actuando sobre diferentes objetos (en los ejemplos que hemos dado hasta aquí, el bailarín,

11 Si F es la fuerza aplicada, m la masa del cuerpo y a la aceleración, entonces $F = ma$.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

el piso, la pared). Así entonces, si un bailarín está parado sobre el escenario, existe una fuerza no equilibrada sobre el piso, pero la Tierra es tan pesada que su aceleración es imperceptible.

Entonces, si todos los elefantes del mundo se juntaran en una misma ciudad y saltaran al mismo tiempo, ¿cambiaría la órbita de la Tierra? Lamento desilusionarlos, mis valientes bailarines… pero aun si fuera posible reunir a todos los elefantes (y conseguir que aprendieran a saltar), eso no sucedería. La Tierra sería desplazada una cantidad sumamente pequeña e imperceptible, y en poco tiempo volvería a su órbita normal por las grandes fuerzas gravitacionales a que está sometida. Tal vez si en lugar de elefantes llamáramos a Superman…

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

2. Mantener el equilibrio

Si escuchamos que alguien está "bailando en la cuerda floja", podemos suponer que no está literalmente bailando, ni en una cuerda floja. Porque, seamos sinceros, habiendo tantos lugares interesantes para ir a bailar, incluso en nuestra propia casa, en medias (a lo Tom Cruise en *Risky Business* [*Negocios arriesgados*]), ¿quién elegiría un lugar tan poco seguro como una soga entre dos edificios, donde pueden pasar cosas tan imprevistas como un vientito o la embestida de una paloma que siente que su espacio aéreo está siendo invadido? Pero, como el mundo está hecho para todos, nunca va a faltar alguien que sienta que su lugar es ese y se lance a hacerlo (aunque en este caso "se lance" no parece la expresión más adecuada). Así fue que en 2013 el acróbata chino Adili Wuxor se subió a una cuerda floja que cruzaba un río a 100 metros de altura y a mitad de camino, entre la torre de televisión de Cantón y una escultura frente al estadio de la isla Haixinsha, se puso a bailar. Así de "simple".

Digamos que ese fue un caso extremo de equilibrio. Pero, aunque no bailemos en la cuerda floja, el equilibrio forma parte de nuestra vida todos los días.

¿Alguna vez participaron de ese juego en que los bailarines deben quedar congelados en la posición en que se encuentran cuando la música se detiene y permanecer así hasta que vuelve a sonar? Imaginen a un bailarín con poca suerte: terminó parado en un solo pie. Por fortuna, su cen-

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

tro de gravedad quedó justo encima de ese pie, así que está en equilibrio. Por lo tanto, si está completamente quieto, podría permanecer en esa posición para siempre. ¿Por qué, entonces, después de un tiempo comenzará a perder el equilibrio?

Sucede que, en realidad, hay movimiento: el bailarín en cuestión respira, su corazón late, la sangre fluye, transpira. Tal vez alguien dejó la ventana abierta y hay un poco de viento, o el perro pasó corriendo a su lado y creó corrientes de aire. Todo esto hace que después de un ratito ya no le resulte tan sencillo quedarse parado en un pie y comience a balancearse. Si no hace algo pronto, ¡se va a caer!

Imaginemos su cuerpo como un bastón, un poco más pesado en la parte superior (la cabeza) que en la inferior (los pies).[12]

Ese bastón está en posición vertical sobre el suelo, es decir, se encuentra *perpendicular* al piso. La gravedad actúa sobre su centro de masa, pero como este está justo encima del área de soporte, el empuje del suelo contrarresta esa fuerza. Por lo tanto, el bastón está en equilibrio y no se va a caer (al menos por un ratito).

Apenas el bastón se balancea un poco, empieza a formar un pequeño ángulo con la línea perpendicular al piso. La fuerza de gravedad no tiene ahora otra fuerza que la contrarreste exactamente por debajo, porque el centro ya no está sobre el área de soporte. Entonces, esa fuerza neta lo tira para abajo, haciéndolo rotar aún más alrededor del punto de apoyo. El ángulo que forma con la línea perpendicular al

12 Los físicos están muy acostumbrados a imaginar el mundo como objetos simples, como bastones, puntos o esferas. Tal vez los dibujantes tienen también algo de físicos (o los físicos algo de dibujantes).

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

suelo crece a medida que el bastón cae, y con él, la velocidad de caída.

Lección vital para convertirnos en jugadores imbatibles del baile congelado: en el exacto momento en que se corta la música, nuestro desafío será asegurarnos de quedar lo más cerca posible del equilibrio, con el eje casi, casi perpendicular al suelo; así va a ser más difícil que nos caigamos, al menos hasta que vuelva a sonar la música.

Para experimentar

1. Pararse en dos pies, con el centro de gravedad sobre la línea vertical que pasa por el medio de ambas plantas.
2. Pararse en puntas de pie. ¿Qué pasó con el centro? ¿Se desplazó?
3. Pararse nuevamente sobre los pies relajados, pero con el centro un poco más adelante, sobre la punta de los dedos.
4. A continuación, pararse en puntas de pie. ¿Fue necesario mover el eje?

En busca del equilibrio perdido

A pesar de su escasa suerte, a nuestro bailarín le encanta el baile congelado y sigue jugando. Cuando la música deja de sonar, vuelve a quedar parado en una pose complicada. Empieza a perder el equilibrio y a balancearse. ¡Pero no quiere perder! ¿Cómo puede recuperar el equilibrio rápidamente? A menos que tenga un amigo invisible que le dé una mano, existen sólo dos mecanismos para recuperar el equilibrio sin ser descalificado del juego. Recordemos que la condición

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

para estar en equilibrio es que el centro esté sobre el área de soporte. Entonces… o relocaliza el área de soporte en el piso para que quede exactamente por debajo de su centro de gravedad, o mueve el centro para que quede por encima del área de soporte.

¿Cómo se controla la posición del área de soporte? Si el bailarín está parado en un pie (¡cuánta mala suerte!), puede saltar en la dirección del centro cambiando la posición horizontal del pie de apoyo; o puede bajar el otro pie y apoyarlo, aumentando la superficie de soporte. Pero claro, si hace esto, será inmediatamente descalificado (salvo que los demás estén muy distraídos).

Existe otro ajuste para relocalizar el punto de apoyo que pasa un poco más desapercibido. Claro que es más difícil y hay que practicar. Cuando está parado, el bailarín puede imaginar un punto en la superficie de soporte donde parece estar recayendo todo su peso. Ese es el punto por el cual pasa su eje, su punto de apoyo.

Si está en un pie (completamente apoyado), ese pie puede hacer pequeñas correcciones en la posición del punto de apoyo en el área de soporte, manteniéndolo debajo del centro de gravedad. La cosa se complica cuando está en puntas de pie, porque el área de soporte es tan pequeña que resulta bastante difícil mover el punto de apoyo. Por eso, bailar en puntas de pie requiere de mucha habilidad y fuerza de pies y tobillos.

Dijimos que otra técnica para recobrar el equilibrio es posicionar de nuevo el centro de gravedad en la línea vertical que pasa por el área de contacto con el piso. Como ya sabemos, mover el centro requiere de la acción de fuerzas del mundo exterior sobre el cuerpo. Por lo tanto, va a ser necesario moverlo intentando que se produzca alguna de tales fuerzas.

Quizás el lector ya se dio cuenta de que no sirve mover una parte del cuerpo en la dirección deseada para reposicionar el centro de gravedad. Esto sólo producirá, como conse-

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

cuencia, que otra parte del cuerpo se mueva en la dirección opuesta. Pero el centro no se moverá ni un poquito.

¿Cómo le robamos (o mejor, le pedimos prestada) una fuerza al mundo exterior? Antes de buscar respuesta a esta pregunta, probemos este ejercicio.

Para experimentar

1. Pararse relajadamente sobre ambos pies y dejarse caer hacia adelante.
2. Tratar de sobreponerse al instinto de evitar la caída y no adelantar ningún pie. ¿Qué otro mecanismo usa el cuerpo? ¿Hacia dónde se mueve el torso?

¡Yo quiero girar!

Si haciendo el ejercicio anterior tuvo éxito y no se cayó, seguramente pasó lo que pasa siempre en los dibujos animados cuando un personaje llega corriendo al borde de un precipicio o de un edificio muy alto: dobló la parte superior del cuerpo (de la cintura para arriba) ¡hacia adelante! Y tal vez también rotó los brazos como un molinete, hacia atrás y hacia arriba, hacia adelante y hacia abajo. ¿Por qué estos movimientos funcionan?

Además de movernos desplazando nuestro centro de gravedad a lo largo y a lo ancho de una pista de baile, también somos capaces de rotar alrededor de un eje, es decir, de una línea recta imaginaria que se mantiene fija mientras giramos. Dijimos que, para desplazarnos, una fuerza tenía que actuar sobre nuestro centro de gravedad. ¿Qué hace falta para rotar?

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Imaginemos a un patinador sobre hielo que se para en el medio de la pista congelada y abre los brazos. Si un compañero lo empuja (¡despacito!) por la espalda, el patinador comenzará a desplazarse hacia adelante. Pero si la fuerza no se produce cerquita de su eje, sino, por ejemplo, sobre una mano, ¡empezará a girar! Lo que sucede es que esa fuerza aplicada en un punto alejado del eje de rotación produce una tendencia a la rotación (también llamada "torque"), que hace girar al patinador. Cuanto mayor sea la distancia entre el punto en el cual se aplica la fuerza y el eje de rotación, mayor es el torque. Por eso es más fácil abrir una puerta empujando cerca del picaporte que cerca de las bisagras.

Ubiquemos nuevamente al patinador con sus brazos abiertos en el centro de la pista. Si su compañero hace fuerza hacia adelante sobre la mano derecha del patinador y hacia atrás sobre la izquierda, como si se tratara de un sacacorchos, hay dos fuerzas equilibradas que actúan sobre dos puntos distintos separados por una distancia (la distancia entre ambas manos). ¡El patinador rota! Por lo tanto, se puede rotar aunque la fuerza neta sobre el cuerpo sea cero.

Recordemos a Newton y su segunda ley: toda fuerza genera una aceleración, que depende de la masa. En este caso la aceleración no es lineal, sino *rotacional* (o *angular*), y la masa es reemplazada por algo que se llama *inercia rotacional*, es decir, la resistencia que tiene un cuerpo a rotar. Cuanto más grande es la inercia, más lenta será la rotación al aplicar la fuerza.

Un dato muy interesante sobre la inercia de rotación es que no sólo depende de la masa, sino también de cómo esta se distribuye alrededor del eje de giro: cuanto más cerca esté del eje, más chica será la inercia. Por eso los patinadores sobre hielo cierran o abren los brazos y las piernas cuando rotan: cuando acercan los brazos al cuerpo, ¡pueden girar mucho más rápido!

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Para experimentar

1. Sentarse en una silla con rueditas, de esas que pueden dar vueltas.
2. Pedirle a alguna persona que lo impulse para comenzar a girar.
3. En medio de las vueltas, abrir y cerrar los brazos, y ¡a divertirse!

Un momento de rotación

Entonces… cuando un cuerpo se encuentra girando existe una velocidad rotacional, y existe también un *momento rotacional*, que es algo parecido al *momento lineal* (presente cuando un cuerpo se desplaza), pero que en vez de la masa usa la inercia.[13] El momento rotacional no es otra cosa que la cantidad de movimiento de rotación que tiene un cuerpo. Por ejemplo, un helicóptero que avanza tiene momento lineal, mientras que su hélice tiene momento rotacional.

Si no existe ningún torque, el momento rotacional se mantiene *constante*, como decía don Newton en su primera ley. Sin embargo, la inercia puede cambiar, a diferencia de la masa (en un corto plazo, claro… porque después de un buen asado casi todas las masas cambian…). Entonces, aunque el momento rotacional sea constante, la velocidad puede estar cambiando. La cuestión es que el movimiento rotacional es más complicado que el lineal, porque no sólo varía la velocidad, ¡sino también la inercia!

13 El momento rotacional es el producto entre la velocidad angular y la inercia. La velocidad angular es una medida de la velocidad rotacional, definida como el ángulo girado por unidad de tiempo.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Volvamos ahora al momento en que el bailarín estaba por caer hacia adelante pero no se cayó. El cuerpo se había doblado y la parte superior se había inclinado… ¡hacia adelante! Parece una contradicción, pero funciona.

El secreto es este: si el cuerpo se dobla hacia adelante a la altura de la cintura cuando comienza a caer, se genera una rotación de la parte superior alrededor de un eje horizontal que pasa por el centro (cerca del ombligo). Para que el momento rotacional se conserve, el resto del cuerpo va a intentar rotar en el sentido contrario. Así, las piernas tratan de rotar hacia adelante desde la cadera, presionando hacia adelante contra el piso. Según la Tercera Ley de Newton, el piso ejercerá una fuerza en sentido opuesto, o sea, hacia atrás contra los pies. Y entonces… ¡*voilà*! ¡Ya tenemos una fuerza proveniente del mundo exterior que nos empuja en la dirección deseada, y nos lleva de nuevo al equilibrio!

Por lo tanto, los movimientos que hizo el cuerpo del bailarín al reaccionar (moverse en la dirección de la caída) son exactamente los que necesitaba para volver a una posición de equilibrio. Evitó la caída. La nariz, agradecida.

De este modo, mi querido bailarín, lo que permite que volvamos a estar en equilibrio no es la manipulación directa de nuestro cuerpo, sino la fuerza horizontal que el piso ejerce contra nosotros, cambiando la posición de nuestro centro de gravedad.

Extender los brazos ayuda a recobrar el equilibrio de manera más fácil. Por eso, los valientes que se animan a caminar sobre cuerdas flojas suelen llevar un palo largo en las manos. Este palo tiene una gran inercia rotacional alrededor del eje que pasa por la cuerda (su masa está distribuida muy lejos del eje de rotación). Entonces rotando muy poquito este palo, en una dirección o la otra, produce grandes fuerzas laterales contra la cuerda.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

La danza de Taz

¿Qué pasa cuando un bailarín pierde el equilibrio mientras está rotando? ¿Puede hacer algo para no caerse?

Pensemos en Taz, o el demonio de Tasmania. Gira tan pero tan rápido que nos recuerda a un trompo en acción. La pérdida de equilibrio resultará en una *precesión*, es decir, esa oscilación del eje que hace que el trompo se balancee dibujando un cono invertido. Pero a medida que frena, el trompo empieza a caer, y termina acostado sobre la superficie.

Los humanos, aunque a veces quisiéramos, no somos tan rápidos como Taz. Entonces, si perdemos el equilibrio mientras rotamos, no se producirá un movimiento de precesión, sino que caeremos. A menos que…

Podemos tratar de hacer ajustes en el cuerpo, de la misma manera que lo haríamos si no estuviéramos rotando, para intentar no terminar como el pobre trompo. La tarea es complicada, porque hay que hacer los ajustes durante la rotación.

Imaginemos a un bailarín sobre un escenario. Está rotando alrededor de su eje hacia la derecha, y empieza a caer hacia adelante justo frente al público. ¡Debe ajustar el cuerpo rápido para que el piso ejerza una fuerza sobre él en dirección al telón! Pero en cuanto comienza a hacer ese ajuste, ya está mirando hacia la derecha del escenario, aunque la dirección de ajuste sigue siendo la del telón. Por lo tanto, la complicación extra al rotar es que la dirección cambia constantemente.

Lo mejor que se puede hacer en este caso, claro, es comenzar el giro lo más cerca posible de la posición de equilibrio, así no será necesario realizar ningún ajuste. ¡Como si fuera tan fácil! De todos modos, relajar la parte superior del cuerpo siempre es de gran ayuda (por no decir, muy necesario) para corregir la postura y evitar la caída. Girar rápido

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

también suele ayudar, como en el caso del trompo, de Taz o de los patinadores sobre hielo. Aunque, con el tiempo, la velocidad de giro decrece por la fricción contra el piso.

Existe un movimiento accesorio que también ayuda a los bailarines a mantener el equilibrio durante el giro: la técnica de *spotting*. Esta consiste en mantener la vista enfocada en una dirección fija mientras el cuerpo gira, y cuando se llega a la máxima torsión, se rota la cabeza rápidamente en la dirección del giro para volver a mirar hacia la dirección original. Este movimiento de cabeza no entrega momento rotacional extra al cuerpo, y proporciona un punto fijo a los ojos para evitar el mareo y la pérdida del equilibrio.

El movimiento de la cabeza genera sobre el espectador la ilusión de que el giro es más rápido, e incluso el bailarín puede sentir que lo ayuda a dar un giro adicional. Pero más allá de la sensación que pueda generar, el *spotting* sólo ayuda al movimiento al aportar estabilidad.

En resumen...

Para bailar sin caernos, entonces, es necesario identificar las fuerzas que nos mantienen en equilibrio y las que no. A partir de ese reconocimiento, podemos determinar qué ajustes hay que hacer en nuestro cuerpo para que alguna otra fuerza del mundo exterior nos permita recuperar el equilibrio. Para empezar, nuestro centro de gravedad tiene que estar en algún punto sobre la línea vertical que pasa por el área de soporte sobre el suelo.

Cuando perdemos el equilibrio, todavía podemos hacer algún ajuste para recuperarlo. Una opción es posicionar de nuevo el centro sobre el área de soporte mediante una fuerza horizontal aplicada contra el piso; la otra es desplazar el área de soporte para que quede debajo de nuestro centro.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Como dijimos, la primera se logra rotando la parte superior del cuerpo. La segunda, modificando la posición o la distribución del peso sobre los pies y los tobillos.

Equilibrarse mientras se rota se vuelve complicado porque la dirección en la cual deben hacerse los ajustes cambia en relación con el movimiento del cuerpo, porque la fuerza se aplica sobre el mundo exterior, que permanece fijo (relativamente, claro está; que no se enoje Einstein).

Por supuesto que al bailar es muy difícil pensar todo el tiempo en los ajustes necesarios para estar en equilibrio. Más aún cuando se disputa el primer puesto del baile congelado. Pero no hay que preocuparse tanto porque, una vez aprendida la lección, ya sea por el estudio de la física o por las numerosas caídas, el cuerpo comienza a equilibrarse de manera casi automática, sin necesidad de detenerse a hacer cuentas.

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Índice

Sobre el Concurso Ciencia que ladra-La Nación 9

Este libro (y esta colección) 11

Acerca de los autores 16

Agradecimientos 17

Se abre el telón 19
Breve (brevísima) historia de la danza 22
La revolución en el arte de la danza 24
Física… ¿de la danza? 25

Primer acto
Equilibrio (y otras yerbas) 27

1. Una actividad muy física 31
¡Momento! Es hora de hablar del momento… 34
Luz, cámara… ¡acción! (y reacción) 35
Centro de gravedad (o de cómo hallar el propio centro sin hacer yoga) 37
Con los pies en la Tierra 39
Porque esa es la ley primera 40
Use the Force… 41

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

2. Mantener el equilibrio **45**
En busca del equilibrio perdido 47
¡Yo quiero girar! 49
Un momento de rotación 51
La danza de Taz 53
En resumen... 54

Segundo acto
Bailar solos 57

3. ¿Cómo nos movemos? **61**
Un pequeño paso o un gran salto. Movimiento horizontal y vertical 62
Correr es más complicado de lo que parece… 63
Y daba vueltas y se sonreía… 66
Todo comienza con un salto 67
Un momento crítico: el aterrizaje 71
Correr, saltar, frenar: conexión entre los movimientos 73
¿Y a la hora de girar? 74
¡A no marearse! Controlar la velocidad de los giros 76

4. La sensación de despegar los pies del suelo… ¡y a volar! **79**
Los primeros giros 80
Los 32 giros (continuados) de Pierina 85
Una pirueta extrema (para personas extremamente flexibles) 87
La ilusión de flotar (porque la física también puede ser aguafiestas) 90

5. Girar en las alturas. ¡A volar se ha dicho! **93**
Saltos y giros en el aire 94
El truco del gato en el tejado 95
La ilusión de girar en el aire 97

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Y poco a poco fue ganando altura… 99
El que quiere celeste… 102

Tercer acto
Bailar de a dos 103

6. ¿Bailamos? 107
¿Qué rol asume cada uno? (o el famoso "no sos vos, soy yo") 108
¡Pose, pose! 110
Acelerar los movimientos 111
Pose final ¡y a no caerse! 112

7. Cuando de girar se trata 115
¡Y se viene la vueltita! 117
Dejalo en mis manos (o guía para confiar en el otro) 118
¡Basta de girar, que me mareo! 119
Dame la mano y vamos a darle la vuelta al mundo 120
Giro final 121

8. Bailar en las alturas 123
Cuando salgas a volar… ¡hay un amigo en mí! 125
Si el centro no está en el centro 127
Atrápame si puedes (y más vale que puedas…) 127

9. Cualquiera puede bailar 129
¿Quién dijo que todo está perdido? El efecto de la forma del cuerpo 130
Cuando hay que correr algo más que un colectivo. El movimiento horizontal y el cuerpo 132
Altura de salto vertical 133
Poderoso el chiquitín. Cómo girar si no somos una secadora 134

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina

Interacción física entre la pareja (porque no todo se trata de química) 135

Cuarto acto
Tango: la física del 2 x 4 139

10. Un baile arrabalero 143
Entenderse sin hablar 145
Ingredientes esenciales: equilibrio, postura… y abrazo 146
Seguir tus pasos (la caminata) 148
Disociación (o cómo partir el cuerpo en dos sin truco de magia ni motosierra) 150
Corte y quebrada (el pasito del indeciso) 150
Pivot (atención: no apto para robots) 151
Así se baila el tango 152

Se cierra el telón 153

Glosario 157

Bibliografía comentada 163

#YoMeQuedoEnCasa
© Jimena Olmos Asar, Esteban Franceschini. © Siglo XXI Editores Argentina