

Recibido: 02.04.2019 | Aceptado: 08.09.2019

Palabras clave: Fuerzas, fluidos, medusas, movimiento y vórtice anular.



¿Cómo se mueven las medusas?

DIEGO HERNÁNDEZ JUÁREZ
dbhernandez@astro.unam.mx
INSTITUTO DE ASTRONOMÍA, UNAM



De seguro alguna vez las has visto nadando en acuarios, por televisión u otro medio. Han aparecido en caricaturas y nos han sacado alguna carcajada. Algunas son muy peligrosas si llegan a picarte, pero te has preguntado ¿cómo nadan las medusas a pesar de que no tienen aletas como los peces y su forma simétrica está alejada de lo que consideramos aerodinámico o, mejor dicho, hidrodinámico?

Describir cómo se mueven las medusas u otros cuerpos es trabajo de la física, en particular de la mecánica. Esta fue la primera rama de la física en desarrollarse en el siglo XVII e Isaac Newton fue quien estableció los principios de la mecánica clásica, aunque en los siglos siguientes otros científicos ayudaron a crear y refinar sus fundamentos (incluso reformulándolos).

Buscando y seleccionando las herramientas para su estudio

Al solucionar un problema en física buscamos quitar todas las complicaciones posibles. También solemos buscar un problema similar que ya se haya resuelto antes para comparar. Los objetos cuyo movimiento es más sencillo de describir son los sólidos (que no se deforman), como canicas y bolas de billar; esto es porque pensamos que el único movimiento que tienen es el de traslación, e ignoramos que la canica o bola de billar está girando mientras se mueve de un lugar a otro.

Como todos los átomos de la canica se mueven a la misma velocidad, en vez de toda la canica, podemos pensar que un sólo punto está moviéndose, en representación de toda la canica; sin embargo, las medusas no son como las canicas, ya que se deforman. Así que este primer intento no es viable.

El siguiente nivel de complejidad es pensar que nuestro objeto tiene movimientos intrínsecos (inherentes) como los de un trompo, que no podemos describir usando nuestra abstracción del punto, siendo la más conocida la rotación, aunque no es el único, existe también la nutación (movimiento ligero irregular en el eje de rotación de objetos simétricos que giran sobre su eje) y la precesión (movimiento alrededor de un eje). A este tipo de movimiento se le conoce como de cuerpo rígido, porque suponemos que el objeto que se mueve no se deforma.



Figura 1.
Medusa.

Imagen recuperada de Pixabay.

Un ejemplo de movimiento de cuerpo rígido es el de nuestro planeta. En él podemos ver con facilidad la rotación, que origina el día y la noche. La precesión y la nutación actúan cambiando de dirección el eje de rotación de la Tierra.

La mecánica del cuerpo rígido es muy útil, aunque insuficiente para describir muchos fenómenos, como el nado de las medusas. Por eso hacemos uso de la mecánica de medio continuo, la cual parte de que los cuerpos no sólo se mueven bajo la acción de fuerzas, sino que también llegan a deformarse. Un medio continuo puede ser de dos clases: un sólido elástico (como una liga) o un fluido (como un líquido o gas).

En el caso de la medusa tenemos no sólo un medio, sino dos. Por un lado, está la propia medusa “hecha” de un material deformable; por otro, está el agua que

es el medio en donde se mueve. Por lo que —para tener una descripción más detallada de su movimiento— necesitamos describir ambas partes, aunque es muy complicado, así que para evitarnos problemas vamos a considerar sólo el agua en que se mueve.

Teniendo en cuenta lo anterior, las herramientas de la mecánica que nos ayudarán a describir el movimiento de las medusas son las famosas leyes de Newton, las cuales, en esencia, son las mismas para la mecánica del punto, del cuerpo rígido y del medio continuo, aunque con diferente nombre.

Las leyes de Newton y las medusas

Las leyes de Newton son tres: la primera de ellas es la de la inercia y nos dice que todo cuerpo permanecerá en reposo o en movimiento uniforme y

rectilíneo, es decir, en línea recta, si sobre él no se aplica ninguna fuerza. De manera implícita, esta ley nos habla sobre cómo las siguientes se cumplen en un sistema de referencia inercial. Un sistema de referencia es el escenario donde ocurre el fenómeno, y al decir inercial nos referimos a que en ese escenario no hay ninguna fuerza externa.



Figura 2.
Isaac Newton (1643-1727).
Imagen recuperada de Pixabay.

¿Las medusas están en un sistema de referencia inercial? No, al ser parte de nuestro planeta, está sujeta a fuerzas externas, como la del efecto Coriolis, un fenómeno que ocurre cuando un objeto se mueve en un sistema que está rotando, haciendo que este objeto se desvíe de su trayectoria original. Otra fuerza que también se da en sistemas que rotan es la centrífuga.

Estas fuerzas y otras, sin embargo, son muy pequeñas en comparación con las que intervienen en el nado de la medusa, por lo que no podemos tomarlas en cuenta y suponer que están en un sistema de referencia inercial.

La siguiente es la segunda ley de Newton y es la más importante para muchos, ya que se usa para escribir las ecuaciones de movimiento en casi todas las escalas. En otras palabras, la suma de las fuerzas aplicadas a un cuerpo es igual al cambio del momento de éste respecto al tiempo; el momento de un objeto es el producto de la masa de ese cuerpo por su velocidad. La masa es una magnitud física y propiedad fundamental de la materia que expresa la inercia o resistencia al movimiento de un cuerpo. Por lo general, la masa de un objeto que se mueve no cambia, como en

una canica o en el planeta Tierra; no obstante, hay casos en los que sí. Un ejemplo son los cohetes espaciales, en estos —mediante un proceso de combustión— se expanden gases que salen del cohete y los empujan en la dirección contraria a la que sale este chorro de gases. Que se llevan buena parte de la masa del cohete, por lo que éste tiene menos masa cada vez. Otro caso de cambio de masa se da en algunos animales marinos como calamares y medusas.

La velocidad es el cambio de posición con respecto al tiempo. En la segunda ley vemos que las fuerzas pueden cambiar la velocidad de un objeto, a esto llamamos aceleración. Conociéndola como una función del tiempo, podemos saber cuál es la velocidad de un objeto, y con ésta su posición, en otras palabras sabremos cómo se mueve.

Para el caso de la medusa, que es el que nos interesa, debemos invocar otro concepto: la densidad, que es la cantidad de masa por unidad de volumen de un material. Debemos introducir este término para hacer la siguiente aproximación: la densidad de la medusa es igual a la del agua. Nuestra aproximación no es tan arriesgada, pues la composición de la medusa es casi por completo de agua, sin mencionar que el animal la usa como medio de alimentación y de propulsión.

Con la densidad podemos además escribir al momento de otra forma, como el producto de la densidad por el volumen por la velocidad. La densidad no cambia con el tiempo, mientras que el volumen y la velocidad sí. Esto debe ser



Figura 3.
Medusas nadando.
Imagen recuperada de Pixabay.

igual a las fuerzas aplicadas a la medusa, pero ¿cuáles son estas fuerzas?

La primera fuerza en la que pensamos es la de gravedad, que surge de la interacción entre la Tierra y la medusa, tiene como efecto jalarla al centro del planeta; sin embargo, hay otra fuerza que es contraria a la gravedad, llamada empuje de Arquímedes, y hay que tomarla en cuenta debido a que el animal se mueve en el agua. Por lo anterior podemos pensar que ambas fuerzas se anulan.

Además, el hecho de que la densidad del animal sea la misma que la del agua donde se mueve, introduce una fuerza conocida como “de masa añadida”. Recurrimos a ella porque parte del fluido se pega al cuerpo de la medusa y dificulta su nado.

Otra fuerza que se opone al movimiento es la de arrastre. Cualquier objeto que se mueve en un fluido es afectado por la resistencia que produce el mismo fluido. Es normal que dividamos esa resistencia en dos componentes: una paralela a la dirección del movimiento (el arrastre), y otra perpendicular (la sustentación). La sustentación es la responsable de que los aviones vuelen, aunque para las medusas no tiene ninguna importancia. En cambio, el arrastre sí juega un papel importante porque la frena. Como el arrastre es proporcional a la velocidad del animal, entre más rápido se mueva la medusa, con más intensidad la frenará.

Hasta ahora hemos visto fuerzas que se oponen al movimiento de la medusa, pero ¿qué fuerza hace que pueda moverse? Existen dos fuerzas que crean su

empuje, ambas tienen que ver con la deformación del animal, una de ellas es dada por un chorro que suelta detrás de ella, empujándola hacia adelante, y otra fuerza que se da enfrente de la medusa, que la succiona hacia adelante. Esta fuerza de succión fue descubierta apenas en 2015.

Empecemos hablando de la fuerza dada por el chorro y para ello necesito recurrir a la tercera ley de Newton que dice: a toda acción corresponde una reacción de igual magnitud, pero de dirección contraria. La medusa nada en dos fases: en la primera lanza un chorro hacia atrás y pierde masa; en la segunda se llena de agua y esto hace que aumente su masa. En ambas fases la tercera ley está presente, aunque en la primera (de eyección) es mucho más importante. El chorro que expulsa la medusa es la acción que refiere la tercera ley: como reacción, el animal se impulsa hacia adelante.

Qué tanto dura la expulsión de este chorro en comparación a qué tanto dura el llenado determina qué tan rápido puede ir la medusa. Si ambas fases, la de eyección y la de llenado, son iguales, puede tener la mayor velocidad posible. En cambio, si ambas fases son desiguales, irá lento.

Pareciera entonces que a la medusa le conviene hacer que ambas fases duren lo mismo, pero en realidad la fase de llenado dura el doble que la de eyección ¿cómo explicar esto? Por la energía: en este caso entre menor sea la energía gastada, el nado será más eficiente. Si calculáramos la energía gastada por una medusa nadando con una fase de llenado igual a la de



El arrastre frenará a la medusa, entre más rápido se mueva



eyección, y de otra nadando con fases desiguales, veríamos que gasta menor energía con la segunda. De ahí que elija ir lento, aunque no tanto, para no gastar tanta energía.

Otra característica importante del chorro es el vórtice anular asociado a él. Un vórtice es un patrón formado por partículas de fluido que se mueven en una trayectoria cerrada, alrededor de uno o más puntos; existen vórtices de todas las escalas, desde el remolino que se forma en la taza de café al revolverlo, hasta los huracanes que ocupan varios kilómetros.

Podemos ver un ejemplo de vórtice anular en los trucos que algunos fumadores hacen al crear donas de humo. Las características de los vórtices anulares como sus velocidades de traslación son fáciles de calcular, aunque otras como el campo de velocidades son mucho más complejas.

Para el chorro que expulsa la medusa, la formación del vórtice anular le resulta conveniente, a pesar de que el chorro pierda energía por formarlo, ya que sirve para tener un chorro dirigido que optimiza el empuje que puede darle. También puede darse el caso de que los vórtices lanzados con anterioridad interactúen con el recién lanzado por la medusa, este nuevo vórtice será más rápido y, a su vez, el animal tendrá un mayor empuje.

Otra componente al empuje viene de la deformación de la medusa en la fase de llenado, lo cual provoca un cambio en la dirección del agua que choca frente a ella. A este cambio de dirección se le conoce también como



DIEGO HERNÁNDEZ

Estudia la Maestría en Astrofísica en la UNAM. Participa en el Instituto de Astronomía de la misma Universidad y coordina el grupo de divulgación científica Garabatos de Ciencia.



Figura 4.
Vórtices anulares de humo.
Imagen recuperada de Pixabay.


vorticidad y está relacionado con la presión, una fuerza por unidad de área; siempre que exista una región de baja presión y una de alta, existirá una fuerza que vaya de la segunda a la primera.

Como hemos dicho antes, la medusa crea una región de alta vorticidad delante de ella, lo que significa una región de baja presión. Entonces, delante de la medusa hay una región de baja presión y detrás una de alta, surge entonces una fuerza de succión que la empuja hacia adelante. Se ha visto que esta fuerza de succión es aproximadamente 60 por ciento de la fuerza total de empuje, por lo cual es más importante; sin embargo, gracias al empuje por el chorro, la medusa puede crear la región de vorticidad, así que el chorro ayuda tanto al empuje total como a la fuerza de succión.

¿Para qué sirve saber cómo nadan las medusas?

El nado de la medusa tiene muchas cosas que enseñarnos. Su sistema de propulsión, fue copiado para crear robots marinos que se impulsan con chorros. Otro uso tiene que ver con la salud: la sangre es otro fluido que puede pre-

sentar los mismos fenómenos que el agua y el corazón es una bomba que la eyecta de la misma manera que la medusa eyecta agua marina, así que también aparece un vórtice anular. La aparición de este vórtice mejora el flujo de la sangre, significa que estamos sanos; gracias a la medusa, podemos entender la formación de vórtices en la circulación sanguínea.

Y esto es sólo una pequeña muestra de todo lo que podría hacerse. Con imaginación, tiempo y motivación, las posibilidades son ilimitadas; por ejemplo, ¿podrían imaginarse una nave espacial que surque el espacio como la medusa lo hace en el mar, absorbiendo y eyectando material del medio interestelar para propulsarse? ¡Yo sí puedo! 

Referencias bibliográficas:

- Allen, C. (2005) *Grzimek's Student Animal Life Resource*. Nueva York: U-X-L.
- Daniel, T. L. (1983). Mechanics and energetics of medusan jet propulsion. *Canadian Journal of Zoology*, 61(6), pp. 1406-1420. DOI: <https://doi.org/10.1139/z83-190>
- Gemmell, B. J., Colin, S. P., Costello, J. H. y Dabiri, J. O. (2015). Suction-based propulsion as a basis for efficient animal swimming. *Nature communications*, 6, 8790. DOI:10.1038/ncomms9790