

Robert Goddard y el caballo perezoso

Debo confesar que no tengo en alta estima el trabajo de algunos periodistas, pues siempre me ha parecido que muchos de quienes ejercen esta noble profesión padecen de una tendencia casi compulsiva a opinar con propiedad y ligereza respecto de los más diversos temas, incluso aquellos en los cuales su falta de competencia es ampliamente conocida y reconocida, como ocurre en el ámbito de la ciencia y la tecnología, donde la preparación e idoneidad periodísticas suelen ser sumamente deficientes, por no decir paupérrimas. Como no deseo pecar de parcialidad o falta de objetividad en mis juicios, también debo confesar que en varias ocasiones he tenido la dicha de toparme con periodistas que cuentan con una formación científica sólida, pero me bastan los dedos de ambas manos para contar aquellas honrosas excepciones. Si mis palabras le parecen demasiado duras, permítame relatar un bochornoso incidente que espero le haga cambiar de parecer, o al menos le haga reflexionar detenidamente acerca del rol de los medios de prensa en la difusión de las ideas científicas. El incidente que me dispongo a narrar tiene como principal protagonista a una de las publicaciones periodísticas más prestigiosas del mundo; me refiero al *New York Times*. El otro protagonista de esta historia es el brillante físico estadounidense y pionero de la cohería espacial, Robert H. Goddard.



Robert Hutchings Goddard
(1882-1945) fue uno de los pioneros en el campo de la cohería espacial. Aunque su trabajo en este campo fue sin duda revolucionario, a menudo fue ridiculizado por sus teorías, que estaban muy por delante de su tiempo. Recibió poco reconocimiento durante su vida, pero finalmente sería llamado como uno de los padres de los cohetes espaciales.

Poco tiempo después de que Robert Goddard propusiera la posibilidad de utilizar vehículos impulsados por cohetes de reacción para viajar al espacio exterior, el *New York Times* publicó un artículo donde rechazaba tajantemente las ideas de Goddard, arguyendo que, "... su vuelo nunca podría ser acelerado ni mantenido mediante la explosión del combustible que pudiera ir dejando tras de sí. Pretender esto sería negar una ley fundamental de la dinámica y sólo el Dr. Einstein y otra docena de elegidos tienen autoridad para afirmar ese tipo de cosas... El profesor Goddard, en su sillón del Clark College y con el apoyo de la Smithsonian Institute, no conoce la relación entre acción y reacción y la necesidad de disponer de algo mejor que el vacío con lo cual reaccionar; resulta absurdo pretender tales cosas. Por supuesto, lo único de lo que carece este profesor es de los conocimientos elementales prodigados a diario en nuestras universidades".

Luego de leer estas líneas, resulta evidente que es su autor, y no Goddard, quien carece de los conocimientos elementales de física que se imparten en las universidades, lo cual no es ningún pecado. Lo que sí resulta insólito es que un periodista de una publicación de tanto renombre no haya sido debidamente asesorado antes de lanzarse en picada contra un científico de la talla de Goddard. Aparte del tono despectivo y

virulento con que fue redactado el artículo, uno de los aspectos que más saltan a la vista es la seguridad exhibida por su autor. ¿Por qué el reportero del *New York Times* se muestra tan convencido de la imposibilidad de concretar la propuesta de Goddard? Pues bien, resulta evidente que el columnista ha cometido un error que por desgracia es bastante común, y que consiste en pensar que un cohete funciona expulsando gases que empujan algo, lo que a su vez generaría el impulso que permite al cohete acelerar.

Para entender el meollo del asunto, regresemos a aquellos conocimientos elementales de física prodigados a diario en las universidades, y que el autor del artículo se jacta de dominar tan acabadamente, o que al menos pretende manejar con más soltura que Robert Goddard. Una de las tres leyes fundamentales de la mecánica, enunciadas por Isaac Newton, establece lo siguiente: *Cuando un cuerpo A ejerce una fuerza sobre un cuerpo B, éste reacciona sobre A ejerciendo una fuerza de la misma magnitud pero de sentido contrario.* Ésta es la *tercera ley de Newton*, más conocida como *principio de acción y reacción*, y que ha través de los siglos ha sido víctima de la incomprensión o el desinterés de innumerables estudiantes que no han logrado captar la importancia de la idea formulada por Newton. Aplicando directamente el principio de acción y reacción al movimiento del cohete en el vacío, vemos que los gases expulsados han de ejercer una fuerza de reacción sobre el cohete que será igual, pero de sentido opuesto, a la fuerza de acción ejercida por el cohete sobre los gases. En otras palabras, los gases no necesitan empujar algo; es el propio acto de expulsarlos lo que genera el empuje, de modo que el cohete impulsa los gases hacia atrás, y éstos impulsan el cohete hacia adelante.

Una demostración elemental y muy ilustrativa del proceso que permite a un cohete viajar a través del espacio consiste en inflar un globo de cumpleaños para luego soltarlo, permitiendo que el aire en su interior sea expulsado libremente. Lo que ocurre en este caso es que el globo comienza a revolotear por los aires, en forma análoga a como lo haría un cohete en el espacio, y en perfecto acuerdo con el principio de acción y reacción. Otros ejemplos de este importante principio –que aunque usted lo ignore, se presenta a diario en su ajetreada vida– lo tenemos cuando caminamos o corremos por la calle, cuando nos afirmamos contra una pared, cuando damos un golpe contra un objeto, cuando nos desplazamos en nuestro vehículo o viajamos en bicicleta, etc. En todos estos casos, existe un agente que produce una acción y otro que genera una reacción. En el caso del vehículo sucede que el neumático empuja el pavimento, mientras que el pavimento empuja el neumático (y el vehículo). Quizá usted se pregunte cuál de estas fuerzas es la acción y cuál la reacción. A decir verdad, carece de importancia el rol que asignemos a cada una de ellas; lo importante es que estas fuerzas siempre surgen en pares. La existencia de una acción implica siempre la presencia de una reacción, de modo que ninguna de ellas puede aparecer en forma aislada.

Otro error habitual asociado a la tercera ley de Newton, y que de paso nos permitirá comprender mejor el problema que nos ocupa, consiste en suponer que las fuerzas de acción y reacción debieran anularse, puesto que son de igual magnitud pero de sentido opuesto. Para ilustrar este error, disfruto mucho relatando la historia de aquel caballo perezoso que se negaba a tirar de la carreta alegando en su defensa que si él empujaba hacia delante, entonces por el principio de acción y reacción la carreta empujaría de él hacia atrás con una fuerza igual pero de sentido opuesto, y como consecuencia de ello, la carreta no podría moverse. El error en el razonamiento del caballo, que por alguna razón me recuerda al conspicuo periodista del *New York Times*, consiste en suponer que las fuerzas de acción y reacción se pueden anular, pero ello no es posible porque estas fuerzas actúan sobre objetos distintos; una se ejerce sobre el objeto que actúa y la otra sobre el que reacciona. Sin embargo, para que dos fuerzas se anulen, deben actuar sobre el mismo cuerpo. Por lo tanto, para conseguir que la carreta

se encuentre en reposo se requeriría, por ejemplo, de otro caballo que tirara con una fuerza de igual magnitud pero de sentido contrario a la que ejerce el jamelgo perezoso de nuestra historia.

Ahora bien, si sus conocimientos de física superan los del caballo holgazán y los del columnista del *New York Times*, lo cual no me sorprendería en absoluto, quizá prefiera una explicación basada en la ley de conservación del momentum lineal. De acuerdo a esta ley, que es consecuencia directa de las ideas formuladas por Newton, cuando la cantidad de movimiento de los gases aumenta en una determinada dirección, el cohete debe aumentar su cantidad de movimiento en la dirección opuesta para conservar el valor original del momentum del sistema formado por el cohete y los gases. Si desea entender este galimatías, le sugiero que revise el apéndice, porque la explicación basada en el principio de acción y reacción es más que suficiente para nuestros propósitos.

Es probable que más de algún lector todavía albergue dudas acerca del principio de acción y reacción, o sobre la posibilidad de impulsar un cohete en el espacio vacío. Sin embargo, sin importar cuanto ha logrado asimilar de las ideas que hemos discutido, hay algo que espero le haya quedado muy claro: cuando algún periodista le hable acerca de temas científicos con propiedad y desparpajo, sea siempre muy cauteloso pues quizá sepa tanto de ciencia como el caballo perezoso de nuestra historia.

Epílogo

Debieron transcurrir cuarenta y nueve años para que el *New York Times* accediera a ofrecer públicas disculpas por aquella bochornosa y virulenta columna. El momento escogido para ello fue sin duda muy oportuno porque coincidió con el más grande hito en la historia de la cohetería espacial: la llegada del primer hombre a la Luna. Para ese entonces, la evidencia en favor de las ideas de Goddard no admitía dudas, y la prestigiosa revista no tuvo más alternativa que reconocer su equivocación. El *mea culpa* apareció publicado el 17 de Julio y contenía los siguientes párrafos: "... un editorial del *New York Times* descartaba la idea de que un cohete pudiera funcionar en el espacio vacío y comentaba las ideas de Robert Goddard... Posteriores investigaciones y experimentos han confirmado los hallazgos de Isaac Newton en el siglo XVII y ahora se ha establecido de forma definitiva que un cohete puede funcionar tanto en el vacío como en la atmósfera. El *Times* lamenta el error". Por desgracia, Goddard no estaba en condiciones de aceptar estas disculpas, ni menos podía vanagloriarse al constatar que sus ideas eran coronadas por el más resonante de los éxitos; el hombre que soñó toda su vida con los viajes espaciales había fallecido veinticuatro años antes, pero su extraordinario legado permanece vivo y más vigente que nunca.

¿Quiere saber más?

En el espacio exterior, donde las fuerzas de gravedad y de roce no cuentan, la aceleración de un cohete puede explicarse sin dificultad en términos de la ley de conservación de la cantidad de movimiento (momentum). Para ello, imaginemos una nave espacial de masa M que se encuentra en reposo en el espacio vacío. En un instante posterior, la nave expulsa una masa $m < M$ de gases con velocidad $-u$, de modo que ahora la masa de la nave es $M - m$. La conservación del momentum lineal exige que la cantidad de movimiento inicial (que es nula, pues al comienzo la nave se encontraba en reposo) debe ser igual a la cantidad de movimiento final:

$$\{tex\}0=(M-m)v-\mu{\}/tex\}$$

Notemos que esta expresión indica que la nave debe adquirir una cierta velocidad luego de expulsar los gases pues, de no ser así, se llegaría al resultado absurdo $u = 0$. Ahora bien, despejando la velocidad v del cohete resulta,

$$\{tex\}v=\frac{m}{M-m}u>0{\}/tex\}$$

Vemos entonces que la velocidad de la nave tiene signo positivo ($v > 0$) en tanto la velocidad de los gases tiene signo negativo ($u < 0$), vale decir, mientras los gases son expulsados en un sentido, la nave es impulsada en sentido contrario. Por lo tanto, la velocidad aumenta a costa de la pérdida de masa.

Para aquellos lectores que desean una exposición más detallada del problema, los invito a continuar con la lectura, no sin antes advertir que para algunos de ustedes, la discusión que sigue a continuación demandará una buena dosis de esfuerzo que espero no los desanime. Para comenzar, imaginemos que en el instante de tiempo inicial t , el cohete se desplaza con velocidad \vec{v} respecto a un sistema inercial de referencia S . Por lo tanto, el momentum total inicial será,

$$\{tex\}\vec{p}_i=(m+dm)\vec{v} = m\vec{v} + dm\vec{v}{\}/tex\}$$

(1)

Para quienes están poco familiarizados con la notación diferencial, cabe señalar que la expresión dm simboliza simplemente una cantidad de masa muy pequeña, es decir, una magnitud infinitesimal. En los cálculos que siguen haremos uso este símbolo para referirnos a cualquier cantidad sumamente pequeña. Ahora bien, en un instante posterior $t + dt$ el cohete desprende una masa dm de gases (combustible), disminuyendo su masa en la misma cantidad dm y aumentando su velocidad hasta un valor $\{tex\}\vec{v}{\}/tex\} + d\{tex\}\vec{v}{\}/tex\}$. Por lo tanto, el momentum total final vendrá dado por la suma de la cantidades de movimiento de los gases expulsados y del cohete,

$$\{tex\}\vec{p}_f = m(\vec{v} + d\vec{v}) + dm\vec{u}{\}/tex\}$$

(2)

donde $\{tex\}\vec{u}{\}/tex\}$ es la velocidad con que son expulsados los gases en relación al sistema de referencia S . Por otra parte, la velocidad $\{tex\}\vec{u}{\}/tex\}$ puede expresarse como

$$\{tex\}\vec{u} = (\vec{v} + d\vec{v}) + \vec{v}_e{\}/tex\}$$

(3)

siendo $\{tex\}\vec{v}_e{\}/tex\}$ la velocidad (en general constante) de expulsión de los gases con respecto al cohete. Introduciendo (3) en (2) resulta,

$$\{tex\}\vec{p}_f = m(\vec{v} + d\vec{v}) + dm(\vec{v} + d\vec{v} + \vec{v}_e) = m\vec{v} + md\vec{v} + dm\vec{v} + dmd\vec{v} + dm\vec{v}_e{\}/tex\}$$

(4)

El término $dmd\vec{v}$ corresponde al producto de dos diferenciales, así que se trata de una cantidad muy pequeña y podemos despreciarla. Por otra parte, la conservación del momentum exige la igualdad de las ecuaciones (1) y (4), por tanto,

$$m\vec{v} + dm\vec{v} = m\vec{v} + md\vec{v} + dm\vec{v} + dm\vec{v}_e$$

Simplificando y reagrupando términos se obtiene,

$$md\vec{v} = -dm\vec{v}_e \quad (5)$$

Además, el incremento dm de la masa de gases expulsados corresponde a igual decremento en la masa del cohete, de manera que debemos anteponer un signo menos al miembro derecho de (5). Por otra parte, si consideramos que el cohete se mueve en línea recta, la ecuación (5) puede escribirse en forma escalar, en cuyo caso la rapidez v_e debe llevar un signo negativo porque está siendo medida en relación al cohete. De este modo, los signos negativos del diferencial de masa y de la velocidad de los gases se cancelan mutuamente y la expresión (5) escrita en forma escalar queda como,

$$mdv = -dmv_e \quad (6)$$

Integrando esta ecuación y definiendo la masa inicial del cohete más el combustible como m_i y la masa final del cohete más el combustible no consumido como m_f , tenemos,

$$\int_{v_i}^{v_f} dv = -v_e \int_{m_i}^{m_f} \frac{dm}{m}$$

$$v_f - v_i = -v_e \ln\left(\frac{m_f}{m_i}\right) \quad (7)$$

Finalmente,

$$v_f = v_i + v_e \ln\left(\frac{m_i}{m_f}\right) \quad (8)$$

Nuestro esfuerzo ha sido recompensado porque hemos obtenido la expresión básica para determinar la propulsión de un cohete. Esta ecuación nos dice que la rapidez final del cohete es proporcional al cociente entre la masa inicial y la masa final, de modo que la rapidez de salida de los gases debe ser la mayor posible. Además, como la rapidez final depende del logaritmo de la masa, vemos que se requiere de una enorme cantidad de masa para conseguir un incremento en la rapidez más bien modesto.

Jorge Pinochet I.

Licenciado en física, Universidad Católica de Chile