

El comportamiento dinámico del Bumerán es un ejemplo característico de la **Teoría de Interacciones dinámicas**. Podemos aplicar los criterios de esta teoría para analizar el vuelo del bumerán, y comprender así, su inusual conducta.

Denominaremos como Bumerán a cualquier tipo de volador con aspas, lanzado con movimiento giratorio sobre un eje de simetría propio, que vuela en el aire o, incluso, al que es posible dirigir previamente su vuelo, consiguiendo que vuelva al punto de partida.

Estos ingenios pueden ser armas, juguetes o instrumentos deportivos, generalmente formados por una lámina de madera curvada, de tal manera que, siendo arrojados con giro intrínseco, pueden ser recuperados tras su lanzamiento, ya que si no encuentran ningún obstáculo, pueden volver al inicio de su trayectoria.



*Lanzador de bumerán egipcio. (El Vuelo del Bumerán, pág.229) [1]*

*El comportamiento del bumerán, o incluso de la peonza, han sido considerados en la física clásica como hechos singulares. No obstante, cuestionábamos si este comportamiento no pudiera generalizarse en el espacio, con gravedad o sin ella, y cuál sería, en este caso, la trayectoria de un cuerpo de revolución con momento y velocidad angular en la dirección de uno de sus ejes de revolución, sometido a interacciones externas.[1]*

Se han escrito numerosos textos para intentar explicar el vuelo del bumerán, y en Internet hay numerosos portales dedicados al mismo, pero la razón de su trayectoria y su comportamiento en vuelo presentaba, hasta ahora, todavía incógnitas importantes en el ámbito de la Mecánica Clásica, que esperamos aclarar.

## **HISTORIA**

El Bumerán es un ingenio conocido por el ser humano desde hace muchos siglos. El término procede del nombre nativo utilizado por una tribu de Nueva Gales del Sur (Australia), y fue mencionado en occidente por primera vez en 1827, por el capitán King como "el término de Port Jackson" [2]. No obstante, existen otros posibles antecedentes en escritos de 1798 o en diciembre de 1804.

*Contrariamente a lo que muchos piensan, no se trata de un invento exclusivamente australiano. En África se descubrieron restos de bumeranes, también en Europa, concretamente en 1987 en un yacimiento arqueológico de Polonia (Oblazowa) fue encontrado un bumerán tallado en colmillo de mamut hace unos veintitrés mil años. Otros bumeranes se han encontrado en diferentes puntos: en la India, América, Indonesia, o sobre la tumba de Tutankhamón.*



*Friso egipcio con bastones arrojados*

*Los antiguos egipcios conocieron un instrumento bélico similar, también los indios hopi de Arizona, y otros muchos pueblos. Lo que ocurre es que los maoríes han sido el único pueblo que, en la época actual, todavía utilizaban este instrumento prehistórico que otros ya habían olvidado, lo que le permitió al capitán James Cook cuando arribó a Australia, en 1770, constatar su existencia. [1]*



*Fragmento de escena de caza en el pantano  
(Museo Británico. Detalle)*

Una representación de caza es la escena representada en la tumba de Najten (TT 52). Su esquema busca la simetría, con un estudiado equilibrio de volúmenes en ambos lados de la representación, como era tradicional en el arte egipcio. Sobre dos diminutos barcos de papiro, dos figuras en actitud majestuosa y postura casi idéntica, lanzan el bumerán a la izquierda y el arpón a la derecha. Les acompañan los miembros de la familia, posiblemente sus esposas e hijas, ricamente vestidas, que sujetan al lanzador, por la cintura o la pierna, mientras permanecen estables en la barquilla.

En estos casos el instrumento representado pertenece a la clase de los **bastones arrojadizos**, esta modalidad se utilizaba para aturdir y, en casos excepcionales, matar a pequeños animales u hostigar a la infantería enemiga durante la batalla.

También en Atapuerca se han encontrado indicios de artefactos que se interpretan como “palos arrojadizos”, susceptibles de ser utilizados en la caza y en la guerra. No obstante, se ha entendido que estos son antecedentes previos al bumerán con capacidad de retornar a su origen de lanzamiento.

En todo lo expuesto queda confirmado que los bumeranes se conocen desde hace muchos siglos, y en muchos lugares de la Tierra. Pueden ser hechos con muchos tipos de materiales, siempre que estos tengan ciertas características como son un peso ligero, grosor pequeño, etc.

## QUE ES UN BUMERÁN

Un bumerán consta de dos o más palas que deben poseer un perfil adecuado, como las alas de un avión, para poder planear en el aire; hay que distinguir entre un bumerán para zurdos y otro para diestros, pues sus palas estarán rebajadas de forma diferente u opuesta. Un bumerán para diestros dará una vuelta en sentido contrario a las agujas de un reloj y uno para zurdos en sentido de las agujas de un reloj. Por ello el perfil del ala deberá ser diferente en cada caso.



*Las alas de un bumerán son superficies de sustentación, como las de un aeroplano. Al moverse a través del aire, su perfil genera una fuerza de sustentación, en la figura se muestran distintas secciones del Bumerán, que varían en función de su posición relativa.*

*Cada pala tiene un ángulo de ataque y otro de fuga, el de ataque es el borde que primero en entrar en contacto con el aire. Esto se ha de tener en cuenta a la hora de construir un bumerán, según se haga para diestro o zurdo.*

*El rebaje del ángulo de fuga debe ser entre 1/3 y 1/2 (25° aproximadamente de inclinación) de la amplitud de la pala y el de ataque debe tener aproximadamente un ángulo de 45°. El rebaje del ángulo de fuga debe ser progresivo desde la parte más distante del extremo de la pala hasta el final de ésta. El del ángulo de ataque se mantiene casi constante a lo largo de la pala. De esta forma las alas del bumerán son superficies de sustentación, como las de un aeroplano. Al moverse a través del aire, su perfil genera una fuerza de sustentación.*

*El Bumerán se proyecta con una velocidad lineal de salida y con un giro que le dota de momento angular intrínseco, que se mantendrá a lo largo de todo su recorrido. El vuelo del bumerán se desarrolla en un plano que contiene a la velocidad del centro de masas y se caracteriza por su trayectoria cerrada.*

*Pero además de su giro intrínseco, el bumerán está sometido constantemente durante su vuelo a un par no coaxial con el propio eje de giro. El peso aplicado en su centro de masas y la fuerza de sustentación, desplazada respecto al anterior, constituyen un verdadero par que actúa constantemente durante el vuelo... Este par no coaxial genera una reacción inercial, de tal forma que el giro inicial del bumerán se mantendrá a lo largo de todo el recorrido, salvo pérdidas por fricción y resistencias, y **la acción de este par se acoplará con la velocidad de traslación, generándose así su peculiar trayectoria.**[1]*

Mientras se desplaza a través del aire, mantiene su giro, e inicialmente se eleva por el efecto aerodinámico de sustentación que se genera con sus propias alas.

## JUSTIFICACIÓN TRADICIONAL

Félix Hess realizó en la Universidad de Groningen (Holanda), en los años setenta, un profundo estudio experimental y teórico sobre el bumerán [3], que puede considerarse el estudio de referencia en este ámbito.

En la revista Scientific American (Investigación y Ciencia, enero de 2002) aparecía un artículo de Wolfgang Bürguer también titulado *El vuelo del bumerán* en el que se analizaba dinámicamente este artefacto. El autor propone que *un bumerán lanzado hacia delante en posición vertical inclina de salida el plano de sus alas y vuela describiendo una curva que está aproximadamente en un plano horizontal. Por las observaciones de Hess comprobamos que el plano de las alas es siempre tangencial a la trayectoria de vuelo.*

*El momento de giro de las fuerzas ascensionales del aire lo elude el bumerán a la manera del giróscopo: gira el plano de sus alas con una velocidad angular  $\Omega = v / (L \cos(\alpha))$  alrededor del eje vertical que pasa por su baricentro. Un bumerán es tanto un planeador como un giróscopo. Sus brazos son alas que experimentan una fuerza en su movimiento hacia delante y giro a través del aire. Simultáneamente actúa un momento de giro que quiere volcar el bumerán alrededor del eje de su dirección de vuelo; el ala que gira hacia delante experimenta un viento de marcha y una fuerza ascensional correspondientemente mayor que la que va hacia atrás. A la manera de un giróscopo, elude ese momento de rotación mediante un giro (precesión) de su plano de vuelo. El*

*bumerán retorna como consecuencia del movimiento en su trayectoria y de la precesión giroscópica.*

*A la manera de un giroscopio, elude ese momento de rotación mediante un giro (“precesión”) de su plano de vuelo. El bumerán retorna como consecuencia del movimiento en su trayectoria y de la precesión giroscópica, [4].*

No nos satisface esta explicación. Es habitual querer justificar el peculiar vuelo del bumerán en base a un pretendido *efecto giroscópico*, o por efecto de la *precesión giroscópica*. En nuestra opinión estas argumentaciones no son suficientemente precisas, y no corresponden a una estructuración del conocimiento de la dinámica coherente con su propia naturaleza. No podemos admitir que para justificar un comportamiento, en la física tengamos que utilizar analogías, en vez de referirnos a una estructura lógica del conocimiento.

En el referido artículo Wolfgang Bürgue, a continuación reconoce que no existe una respuesta lógica definitiva para el comportamiento del bumerán en el ámbito de la Mecánica Clásica:

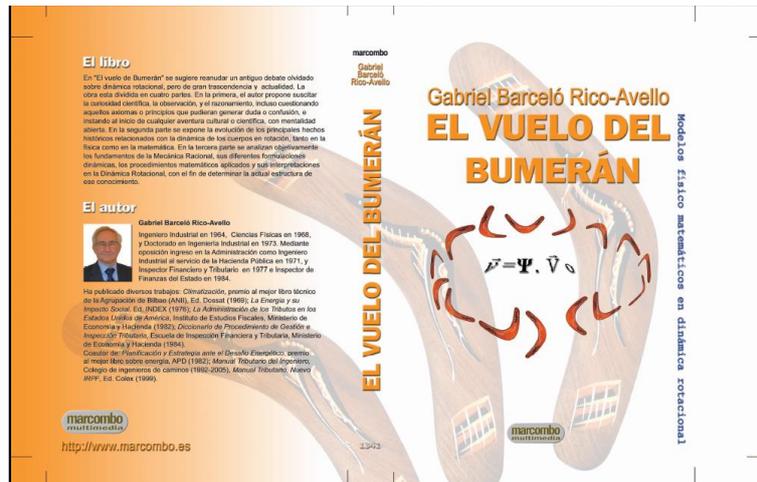
*Pese a su empeño, Hess no ha encontrado una respuesta concluyente a la pregunta sobre el origen de su inclinación hasta alcanzar una posición horizontal. Expertos y aficionados, que atrapan los bumeranes en su vuelo de retorno, corroboran que el plano de las alas siempre se inclina hacia la posición horizontal. La gravedad ha de ser, pues, la causa de que se sitúen así. En vez de acometer un vuelo de descenso, el bumerán busca la horizontal y aumenta con ello la parte orientada hacia arriba de su fuerza ascensional, [4].*

En nuestra opinión, resulta imposible justificar el comportamiento del bumerán exclusivamente con los antecedentes de la Mecánica Clásica, ya que su vuelo se realiza conforme a criterios no inerciales, que solo es posible comprender mediante las leyes no inerciales de los sistemas acelerados por rotación. El fenómeno debe interpretarse, en nuestra opinión, en el ámbito de una dinámica rotacional de sistemas acelerados, conforme a las hipótesis de la *Teoría de Interacciones Dinámicas*.

## **TRAYECTORIA DEL BUMERAN**

El bumerán, cuando es lanzado, se le debe imprimir una rotación inicial sobre su eje de simetría, perpendicular a su plano, pero a lo largo de toda su trayectoria, sigue manteniendo ese mismo giro sobre ese mismo eje, mientras describe su órbita, conforme a una trayectoria cerrada, volviendo a su punto de partida.

Debe entenderse que la dinámica del bumerán, como la de todos los voladores con giro intrínseco, no responde a las leyes de la Mecánica Clásica, sino que constituye parte de la dinámica de sistemas no inerciales, y en concreto, de sistemas acelerados por rotaciones, en los que el móvil se encuentra sometido simultáneamente a múltiples rotaciones no coaxiales.



Portada y contraportada del libro: “El Vuelo del Bumerán”

Dice Gabriel Barceló en su libro “El vuelo del Bumerán” que tras su lanzamiento: *Éste comienza a subir casi en vertical y gira como un disco. Después cae poco a poco hasta describir una trayectoria circular, dando una vuelta completa, sin dejar de girar sobre sí mismo. Es la peculiar trayectoria cerrada, cuya descripción, para algunos expertos es más complicada que detallar cómo se pone un cohete en órbita*, [1].

Realmente la traza de su trayectoria dependerá de muchas variables, especialmente de la pericia del lanzador y del viento reinante en ese momento.

## PORQUÉ NO CAE Y PORQUÉ VUELVE EL BUMERAN

En el artículo de Gabriel Barceló THE THEORY OF DYNAMIC INTERACTIONS: THE FLIGHT OF THE BOOMERANG [2], publicado en la revista *Journal of Applied Mathematics and Physics*, en su número 2014, 2, 569-580:

<http://www.scirp.org/journal/jamp>

Paper ID: 10.4236/jamp.2014.27063:

<http://dx.doi.org/10.4236/jamp.2014.27063>

<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=46812#.VSDuHfmsVqU>

Y en la presentación: ***Por que Vuela el Bumerán;***

<https://www.dropbox.com/s/ry4v1gij7jk0upk/Bumerang.mp4>, se describe minuciosamente su comportamiento dinámico. También ha sido realizado un video ilustrativo por el joven realizador Javier Sánchez- Blanco Boyer, que puede ser visitado en: [https://www.dropbox.com/s/6h8lso3gbexck0j/Bomerang\\_v3\\_Mini.mp4?dl=0](https://www.dropbox.com/s/6h8lso3gbexck0j/Bomerang_v3_Mini.mp4?dl=0), en donde justificamos la causa de que el bumerán describa una trayectoria distinta a la de cualquier otro grave, pues se eleva mientras tiene el impulso de lanzamiento, y luego cae rápidamente al suelo debido a su peso. En su vuelo inicial asciende, no solo debido al impulso recibido, si no también debido al efecto de sustentación de sus alas, debido a su peculiar estructura.

Estas características constructivas son la clave del peculiar vuelo del bumerán, y justifican su sustentación, pero no explican su trayectoria cerrada; el hecho de que pueda volver a su origen.

Su característica trayectoria cerrada es debida a otro fenómeno dinámico, que no se produce en los cuerpos lanzados sin giro propio, y es por lo que se diferencia de ellos: **trae causa en su peculiar rotación inicial**, como se justifica en el referido texto.

## FUERZAS DE SUSTENTACIÓN

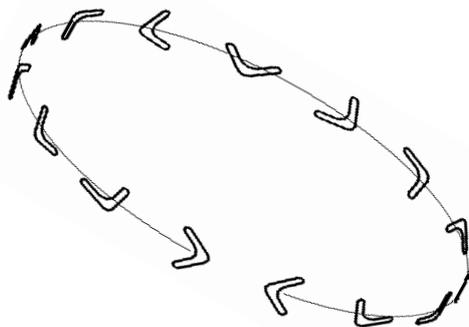
*Normalmente se analizan en los tratados las fuerzas que inciden en la trayectoria de un bumerán que simultáneamente se traslada y gira sobre un hipotético eje externo a él. Al menos deberán tenerse en cuenta las siguientes fuerzas:*

- *La fuerza de la gravedad*
- *La fuerza de impulsión.*
- *La fuerza de giro*
- *La fuerza de sustentación*
- *Las fuerzas de resistencia*

*Y, especialmente, el mencionado par constituido por el peso y las fuerzas de sustentación.*

*La fuerza de la gravedad queda definida por el peso del volador, constante a lo largo de su trayectoria. Las fuerzas de impulsión y de giro se le aportan en el momento del lanzamiento, siendo pues instantáneas, manteniéndose los movimientos respectivos por razón de las inercias del cuerpo. La sustentación generada por las alas es proporcional a la velocidad aerodinámica y al ángulo de ataque.*

*Las fuerzas de resistencia las constituirán la resistencia parásita, que es la fricción entre el aire y la estructura del bumerán y la resistencia inducida. La primera es una resistencia al movimiento en el aire, debida al rozamiento (o fricción) superficial y a la interferencia de corrientes de aire. La resistencia parásita aumenta de manera proporcional al cuadrado de la velocidad. La resistencia inducida es consecuencia de la sustentación, y se genera por el desplazamiento del aire desde el área de alta presión situada bajo un ala, hacia el área de baja presión situada sobre ella.*



*Trayectoria del Bumeran*

*Cuando el aire de alta presión situado debajo del ala, se arremolina en torno al extremo del área de baja presión situada encima de estos elementos, se crean vórtices, que tienen por efecto absorber energía cinética. Esta energía perdida es la resistencia inducida y se incrementa a medida que disminuye la velocidad aerodinámica. Este efecto es más pronunciado en velocidades aerodinámicas bajas, donde es necesario un ángulo de ataque alto para generar sustentación suficiente y equilibrar el peso. La resistencia inducida varía de forma inversamente proporcional al cuadrado de la velocidad. El bumerán pierde parte de su energía cinética en forma de trabajo para vencer las resistencias. Por lo tanto, necesariamente su vuelo acaba tras un lapso de tiempo.*

*No obstante, además del análisis de las fuerzas que actúan, es necesario conocer la incidencia de los pares o momentos que pueden generar esas fuerzas, cuestión que no hemos advertido en ningún otro texto anterior, [1].*

Mientras se desplaza a través del aire, mantiene su giro, e inicialmente se eleva por el efecto aerodinámico de sustentación que se genera con sus propias alas.

El vuelo del bumerán es un claro ejemplo de una dinámica de sistemas acelerados por rotación que puede ser fácilmente comprendida mediante la **Teoría de Interacciones Dinámicas** y sus leyes físicas [5]. No obstante, esta teoría, sencilla en su estructuración, exige una nueva concepción de la mecánica rotacional, proponiendo nuevas hipótesis inerciales de la materia.

Con la Teoría que se propone, justificamos, en el referido documento: **TEORIA DE INTERACCIONES DINÁMICAS: EL VUELO DEL BUMERÁN**, su comportamiento dinámico y su peculiar vuelo.

En el citado texto y en el video quedan justificadas y resueltas de forma novedosa y científica, cuestiones y respuestas habituales, sobre el bumerán.

## **REFERENCIAS**

- [1] G. Barceló, *El Vuelo del Bumerán*. Ed. Marcombo. Barcelona, 2005.
- [2] G. Barceló: *THE THEORY OF DYNAMIC INTERACTIONS: THE FLIGHT OF THE BOOMERANG*. Journal of Applied Mathematics and Physics, en su número 2014, 2, 569-580: <http://www.scirp.org/journal/jamp>. Paper ID: 10.4236/jamp.2014.27063.
- [3] F. Hess: *Boomerangs, aerodynamics and motion*. Groningen Un. (Holland), 1975
- [4] Bürguer, Wolfgang: *The flight of the boomerang* (El vuelo del bumerán.) Rev. Investigación y Ciencia (ScientificAmerican): nº 304, January, 2002.
- [5] G. Barceló, *Theory of Dynamic Interactions: Laws of Motion* World Journal of Mechanics, 2013, 3, 328-338  
<http://dx.doi.org/10.4236/wjm.2013.39036>