

Un poco de física del béisbol · José Antonio Martínez Pons

Aunque poco practicado en España, el béisbol es uno de los deportes más seguidos en Estados Unidos y en otros países americanos como Cuba. Haciendo abstracción de las reglas, a mi juicio muy complejas, los dos personajes más importantes en el juego son el lanzador o *pitcher* y el bateador. En el juego ambos jugadores se enfrentan y el lanzador, dirige la pelota a un tercer jugador de su equipo, el *catcher* (atrapador), para que la atrape. El bateador debe evitarlo golpeándola con su bate, lanzándola lo más lejos posible. El *pitcher* intentará por todos los medios conseguir que esto no ocurra, imprimiendo a la bola los efectos más complejos. El dominio del lanzamiento requiere habilidad y experiencia. También es compleja la tarea del bateador ya que la pelota (de 7,25 cm de diámetro) le llega a una velocidad de unos 44 m/s. Teniendo en cuenta que la distancia entre ambos antagonistas es de unos 18,5 m, la pelota llega al bateador en unos 0,45 s. Este es el tiempo del que dispone el bateador para dirigir el golpe. Considerando que el bate tiene unos 7 cm de diámetro máximo es clara la habilidad y los reflejos que debe mostrar un buen bateador. En categorías inferiores existen reglamentaciones que obligan al lanzador a que lance bajo y lentamente, pero en las categorías profesionales, prácticamente todo está permitido y se aprecian efectos extraños como vuelos de la bola casi en zigzag, brincos, desviaciones súbitas etc.

Los principios físicos en que tales exuberancias se apoyan son objeto de largas profundas y a veces acaloradas discusiones científicas. En la práctica, los lanzadores prefieren la técnica que impone a la pelota una trayectoria curva que permita al *catcher* atraparla, pero lejos del alcance del bateador. Sin embargo, en la trayectoria de la pelota no solo influye la gravedad y el rozamiento con el aire, también las condiciones iniciales dadas por el lanzador: velocidad inicial, ángulo inicial y giro de la propia pelota sobre su eje.

La pelota y su movimiento

El estudio del vuelo de las pelotas tiene sus orígenes en el propio Newton, quien en 1671 estudió la trayectoria de una pelota de tenis, constatando que la rotación de la pelota sobre sí misma tiende a curvar su trayectoria. Dos siglos más tarde Rayleigh citó al ingeniero alemán Gustav Magnus como primero en explicar esta desviación debida a la rotación de la pelota, hoy conocida como efecto Magnus. Antes que Magnus, cuyos trabajos se publicaron en 1853, Benjamín Robins ya había dado una explicación en 1742 semejante en su obra *New Principles of Gunnery*, un tratado de tiro artillero. También Magnus trabajó sobre proyectiles de cañón. Robins utilizó para sus experimentos un arma con el cañón ligeramente curvado de modo que al salir la bala esférica rozaba más con el lado opuesto al sentido de la curvatura, lo que le daba un giro sobre su eje. Por ejemplo, si el cañón estaba desviado hacia la derecha la bala rozaba con la cara izquierda del ánima lo que la hacía girar en sentido contrario a las agujas de un reloj y la desviaba hacia la izquierda, tal y como se aprecia en la Figura 1.

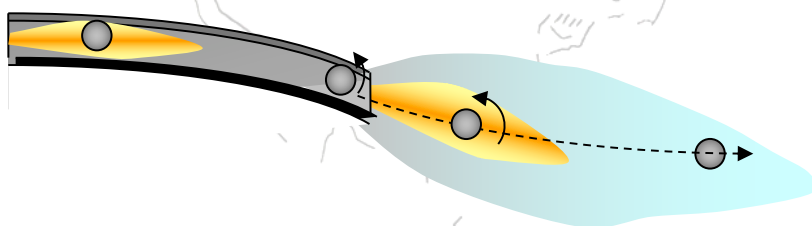


Figura 1. Esquema del fenómeno observado por Robins. Fuente: El autor.

La explicación que ambos autores dieron al fenómeno se basaba en un teorema demostrado por el suizo Daniel Bernoulli, según el cual en un fluido un aumento de velocidad implica una disminución de presión. Observado la Figura 2 se aprecia que en el punto *a* la velocidad relativa del aire en torno a la pelota es la velocidad de desplazamiento menos la de rotación, mientras que en *b* ocurre lo contrario en consecuencia la velocidad de la capa de aire próxima a la bola en *a* es menor que en *b*, lo significa que la presión en *b* es menor que en *a* y aparece una fuerza que tiende a desviar la pelota como indica la flecha. Es el llamado efecto Magnus, válido para todo cuerpo que se mueve en el seno de un fluido. Sin embargo, esta explicación no es completa. Hace falta tomar en consideración una delgada capa de fluido que se sitúa en torno a la pelota. Es la llamada capa límite, cuya importancia es grande en la mayoría de los fenómenos aerodinámicos y se debe a la viscosidad del fluido. La viscosidad representa la acción de las fuerzas de cizalla que actúan entre las capas de un fluido dotadas de velocidad distinta.

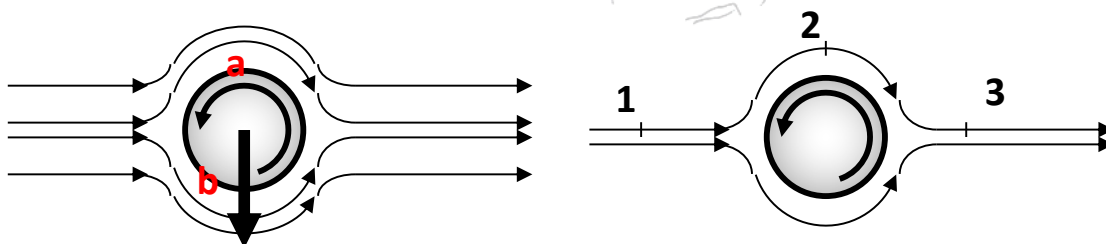


Figura 2. Explicación de la curvatura de la trayectoria por efecto Magnus (imagen izquierda) y representación del flujo en torno a la bola sin viscosidad (imagen derecha). Fuente: El autor.

Cuando un fluido se desplaza sobre un sólido, las moléculas de aquel más próximas a este forman una capa prácticamente inmóvil. No obstante, las capas siguientes van desplazándose progresivamente a mayor velocidad, como las cartas de una baraja. Si esta se inclina, cada capa roza con las adyacentes, de modo que las más rápidas arrastran a las más lentas. Hay un momento en el que la velocidad del fluido ya no se ve afectada por la presencia de la superficie sólida, momento en que la velocidad del fluido se denomina velocidad de corriente libre. La capa límite se sitúa entre la capa inmediata al sólido, prácticamente inmóvil y la zona de corriente libre. Es en esta capa donde las fuerzas de cizalla son más intensas. Normalmente tiene un espesor muy pequeño, pero fundamental para explicar el comportamiento de la pelota de béisbol.

En un caso ideal sin viscosidad, el aire en el punto 1 de la Figura 3 tendría una determinada velocidad que aumenta de modo que la presión en 1 es mayor que en 2. Si se supone un pequeño volumen de aire, su energía cinética ha aumentado, pero a partir del punto 2, el aire entre 2 y 3 va perdiendo la energía que ganó entre 1 y 2 y la presión en 3 es mayor que en 2. En caso de considerar la viscosidad del fluido, hay fuerzas de cizalla de modo que éstas se oponen a las fuerzas de presión descritas en el caso ideal, entre 1 y 2 pero se añaden a ellas entre 2 y 3, de modo que una partícula que ha franqueado el punto 2 se ve de repente frenada bruscamente, hasta el extremo que puede retroceder, aunque las fuerzas de la corriente libre acabarían por arrastrarla. En consecuencia, en la parte trasera de la bola, la capa límite «se desprende» de la pelota y se forma una estela bastante caótica con remolinos y vórtices; de modo análogo a lo que ocurre cuando una embarcación navega por el agua. En resumen, la presión en 3 es menor que en 1 y si la estela es simétrica, tiende a frenar la bola, pero si no lo es desvía la corriente de aire que se mueve hacia atrás. Si, para fijar ideas, se supone que el aire va de izquierda a derecha y la bola gira en el sentido contrario a las manecillas de un reloj, entonces el desprendimiento de la capa límite queda retardado en la parte superior de la bola y en cambio, se adelanta en la parte inferior, ello, evidentemente desequilibra la bola.

Una justificación sencilla del hecho es que la parte de la superficie sólida que gira en el mismo sentido en el que la corriente el rozamiento disminuye y el desprendimiento queda retardado, ya que el rozamiento viscoso es proporcional a la velocidad (o a su cuadrado, ahora no es el momento de discutirlo), mientras que en la parte en que el sentido es contrario el rozamiento aumenta y el desprendimiento ocurre antes de modo que entonces la estela se desvía hacia abajo. El fenómeno es semejante al que ocurre cuando se maneja el timón de una barca, si la pala se orienta de modo que el agua se desvía hacia la derecha, la popa del barco se desplaza hacia la izquierda, tal y como ilustra la Figura 3.

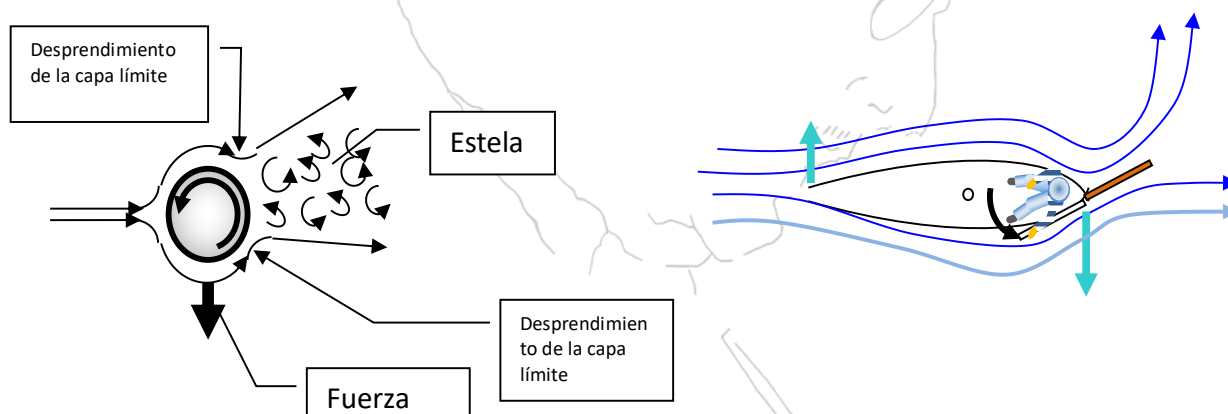


Figura 3. Esquema del procedimiento considerando la capa límite (imagen izquierda) y símil del timón de un barco (imagen derecha). Se observa que aparece un par que hace que el barco gire. En los barcos en los que el timón se maneja con una «caña», para girar hay que mover ésta en sentido contrario al sentido de giro deseado. Fuente: El autor.

En resumen, haciendo que la bola gire a derecha o a izquierda, el lanzador puede hacer que se desvíe hacia la derecha o la izquierda, por debajo o por encima de la trayectoria parabólica “natural”. En cualquier caso, se trata de controlar de algún modo el desprendimiento de la capa límite, así por ejemplo el ingeniero alemán C. Weisselberger comprobó que se podía retardar el desprendimiento de la capa límite y la formación de la estela anudando un simple hilo en la parte de la esfera situada corriente arriba este hilo crea una serie de turbulencias que interaccionan con capas de fluido relativamente alejadas de la pelota y que arrastran la capa alrededor de la esfera. El control de la capa límite es la forma más sencilla de deformar la trayectoria y la habilidad del lanzador puede conseguir diferentes efectos, alguno de ellos ilegales... Entre ellos los más conocidos son.

- **Pelota mojada:** Se trata de conseguir que la pelota gire muy lentamente. Para ello el lanzador hace que sus dedos sean resbaladizos untándolos con vaselina o simplemente con saliva, incluso se puede «modificar» la misma mascando sustancias adecuadas. Por ejemplo, antaño los lanzadores mascaban una sustancia que se extraía del olmo y del cedro. Para lanzar comprime la pelota entre los dedos. Desde 1919 la pelota mojada está prohibida, ya que se considera que es muy difícil de controlar y por tanto peligrosa para el bateador.

- **Pelota de esmeril:** Se controla el desprendimiento de la capa límite frotando una parte de la pelota con un vidrio o papel de lija. Al ser distinta la rugosidad el comportamiento de la capa límite, varía de un lado al otro de la pelota. El lanzador dispara su pelota de modo que siempre la parte rugosa conserve la misma orientación. Entonces, la pelota se desvía en la dirección de la parte rugosa. Aunque también está prohibida -a más de un jugador los árbitros le han expulsado por encontrarle un pedazo de papel de lija en el bolsillo- la técnica se sigue empleando, para desesperación de los bateadores.
- **Pelota con efecto:** Es la técnica más utilizada. Para ello en general el lanzador lanza la pelota con las primeras articulaciones y no con la punta de los dedos. Al soltar la pelota se busca que los dedos no le den rotación hacia atrás (*backspin*). La pelota sale casi sin rotación, pero las propias costuras le dan una cierta asimetría, de modo que el desprendimiento queda adelantado o retrasado según la posición de estas costuras, que ejercen un efecto parecido al fenómeno estudiado por Weisselberger. Así si por ejemplo las costuras se dejan en la parte superior, la capa límite se desprende más atrás de modo que la estela queda desviada hacia arriba y la pelota hacia abajo. Como la orientación de las costuras admite infinidad de posibilidades cada una produce sus efectos particulares, por ejemplo, si se imprime a la pelota un leve movimiento de rotación de modo que la pelota en todo su vuelo dé unos tres cuartos de vuelta, entonces sufre una serie de variaciones en su trayectoria que semejan casi un movimiento en zigzag.

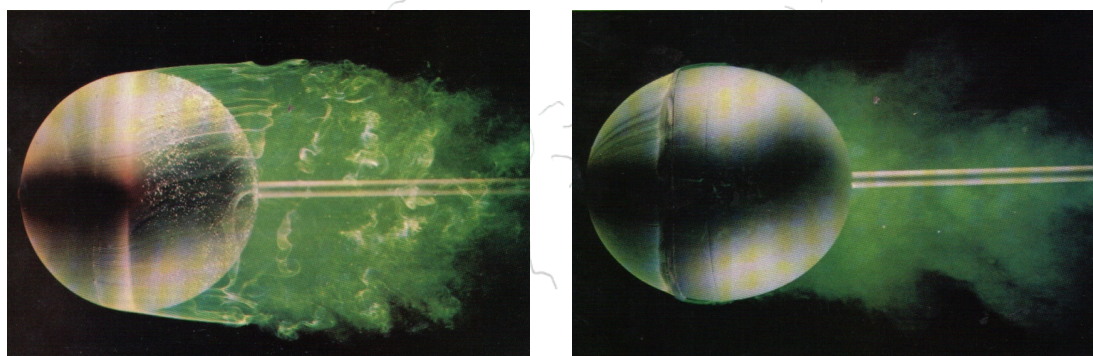


Figura 4. Bola desplazándose en el agua, advirtiéndose la estela de turbulencia (imagen izquierda) y la misma bola a la que se ha anudado un cordel, apreciándose ahora cómo ha cambiado la estela y cómo la capa límite se separa antes (imagen derecha).

Fuente: Mundo Científico n.º 81 (La física del béisbol, Robert G. Watts).

Estudios en el laboratorio

Al margen del empirismo y la habilidad varios investigadores han llevado la pelota de béisbol al laboratorio, estudiando su comportamiento en un túnel de viento, como Lyman Briggs en 1959. Para ello situó una pelota en el extremo de un eje vertical, mantenida por aspiración, protegida de la corriente por una jaula. Mediante un motor conectado al eje se le imprimió un giro controlado por un taquímetro estroboscópico. Alcanzado el régimen deseado se retiró la protección y se dejó la bola en caída libre de dos metros. Debido a la corriente la pelota se desvió, pero además según el sentido de la rotación se desviaba a un lado u otro del plano de caída vertical. Como resultado de sus experimentos, Briggs concluyó que la fuerza de desviación era proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación de bola por la velocidad de la corriente de aire ($F = k v \omega^2$).

Por su parte el célebre ingeniero ruso-americano Igor Sikorski (responsable en su país de origen de grandes aviones como el Iliá Muremez y ya en EE UU, del desarrollo de muchos helicópteros) realizó sus propios experimentos. Colocando la pelota sobre una punta fina unida a un pequeño motor, hacía girar la pelota y mediante una balanza medía las fuerzas que aparecían sobre la pelota. Sin embargo, no hay constancia de que publicara sus resultados en ninguna revista científica. Joseph Drydy afirma que encontró resultados semejantes a los de Briggs, pero en su caso la fuerza era proporcional a la velocidad de rotación por el cuadrado de la velocidad de la corriente de aire ($F = k v^2 \omega$). Por vía de comparación, tomado una pelota desplazándose a 35 m/s y 600 rpm se desviaría según Sikorsky entre 20 y 48 cm, según la orientación de las costuras, y según Briggs unos 15 cm. Hay que notar que mientras para Sikorsky las costuras son muy importantes, Briggs ni siquiera las menciona.

Uno de los teoremas clásicos en aerodinámica es el de Kutta -Joukowski, verificado experimentalmente con medidas efectuadas con cilindros en rotación, que dice que si un objeto se mueve en el seno de un fluido no viscoso con circulación no nula de la velocidad sufre una fuerza perpendicular al vector velocidad y al vector asociado al remolino de la circulación. Esto hace pensar que la dependencia teórica implica una proporcionalidad a la velocidad por la velocidad de rotación ($F = k v \omega$). Para pelotas de golf y operando de modo semejante, P.W. Bearman y J.K. Harvey concluyeron que la fuerza lateral era proporcional al producto de las velocidades. A fin de dejar zanjado el problema, Watts utilizó el túnel de viento para verificar una u otra conclusión, para ello ensartó bolas de béisbol en unas varillas de acero y las colocó sobre unos soportes de metacrilato en el seno de un túnel

aerodinámico. Suspendingo de la varilla masas conocidas es posible calibrar el aparato midiendo, con un aparato muy sensible, la deformación del soporte. Lanzando una corriente de aire constante sobre la bola se la hace girar y se mide la velocidad angular con un tacómetro estroboscópico. La deformación del soporte medida se debe al conjunto de dos fuerzas, la lateral y la de resistencia, para eliminar la segunda se realizaron dos medidas haciendo girar la bola en sentidos contrarios, obviamente la mitad de la diferencia correspondía a la fuerza lateral. Sorpresivamente se encontró que la fuerza lateral es independiente de la orientación de las costuras, contrariamente a lo que era creencia generalizada, sin embargo, a una velocidad de giro grande parece que la pelota de béisbol se comporta como una esfera rugosa uniforme. Para verificarlo el equipo de Watts realizó los mismos experimentos con una pelota del mismo tamaño y masa, pero sin costuras y obtuvo resultados semejantes y coincidentes con los resultados de P.W. Bearman y J.K. Harvey para pelotas de golf. Así pues, en el béisbol real la orientación de las costuras no sería determinante sino más bien la forma del lanzamiento. Si la pelota no gira, sin embargo, las cosas son algo diferentes. R. González, en 1968, midió las fuerzas de pelotas que no giraban en un túnel aerodinámico de la Universidad de Tulane, y en 1970 Watts y Sawyer repitieron los experimentos con más detalle, observaron que si se ponían las costuras simétricas respecto al flujo no había desviación, pero si se giraba incierto ángulo aparecían las fuerzas laterales descritas más arriba. Es más, encontraron que la intensidad de la fuerza es una función periódica con θ , el ángulo de desviación del plano de las costuras, así para $\theta = 30^\circ$, y para una velocidad de 20,7 m/s la fuerza lateral es de 0,45 N, hacia la izquierda mientras que para $\theta = 60^\circ$ la desviación es hacia la derecha, también con 0,45 N.

En resumen, es preferible que la pelota gire para que cambie de dirección durante el vuelo. Así una pelota «de efecto» que en su vuelo gira un cuarto de vuelta empieza por desviarse a la derecha y después lo hace hacia la izquierda, mientras que una que da media vuelta cambia tres veces de dirección. Sin embargo, la amplitud de la primera es mucho mayor que la de la segunda (por ejemplo, 30 cm frente a 7,5 cm). La razón es que la desviación en un movimiento acelerado depende del tiempo que la fuerza actúa sobre el móvil elevado al cuadrado, en el primer caso lo hace durante más tiempo que en el segundo. Si la fuerza varía con mucha rapidez, una velocidad de giro muy grande, entonces la bola prácticamente no variará su dirección.

Los lanzadores profesionales pueden lanzar las pelotas con una velocidad de unos 30-35 m/s en estos casos la fuerza lateral es de unos 0,5 a 10,25 N y se produce una desviación clara. Experimentado con pelotas *esmeril* se observa que la fuerza neta en el lado lijado es proporcional al cuadrado de la velocidad de lanzamiento. Resumiendo, la desviación de las pelotas de béisbol depende de la velocidad de lanzamiento y del número de vueltas que la pelota da en su trayectoria. Debido que los lanzadores profesionales pueden llegar a imprimir una rotación de más de 2000 rpm, una pelota lanzada a unos 38 m/s se desviará entre 0,6 y 0,8 m según la velocidad de rotación. El bateador no sabe exactamente si la pelota se desviará o no y si lo hace, en qué sentido lo hará y debido a la velocidad de la misma el bateador dispone de menos de medio segundo para intuir la trayectoria y lanzar el golpe. Ahí está precisamente la mayor dificultad de este deporte que tanta física esconde.

Bibliografía

- Watts, R. G.; Bahill, A. T. (1991). *Mantén la vista en la pelota: La ciencia y el folclore del béisbol*. Nueva York: Freeman.
- Watts, R. G.; Bahill, A. T. (2000). *Mantén la vista en la pelota: bolas curvas, bolas de nudillo y falacias del béisbol*. Nueva York: Freeman.
- McCabe, W. L.; Smith, J. (1981). *Operaciones básicas en Ingeniería Química*. Madrid: Reverté.
- Ronald V. G., Evett, J. B., Liu, c. (1994). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Madrid: McGraw-Hill.

José Antonio Martínez Pons
GEDH, RSEF-RSEQ
jamartinez46@gmail.com