

## Capítulo Quinto

### VIAJE EN UN PROYECTIL DE CAÑÓN

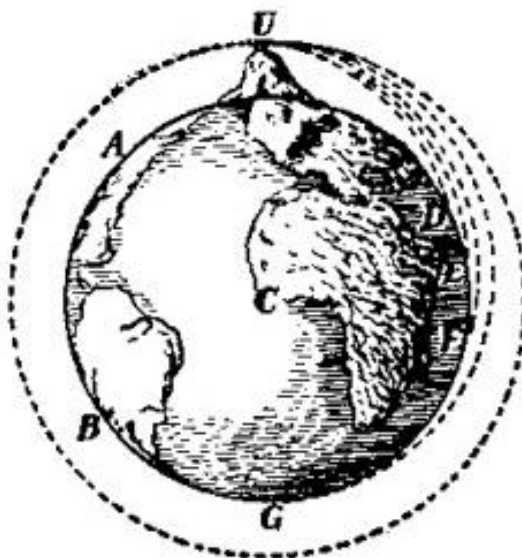
Como resumen de nuestras charlas sobre las leyes del movimiento **y** de la gravedad, vamos a analizar el viaje fantástico a la Luna que de una manera tan amena relató Julio Verne en sus novelas "De la Tierra a la Luna" **y** "Alrededor de la Luna". Ustedes recordarán, naturalmente, que los miembros del Club de los cañones de Baltimore, condenados a la inactividad después de terminar la guerra en América del Norte, decidieron fundir un cañón colosal, cargarlo con un proyectil hueco enorme, tripulado por algunos pasajeros, y por medio de un disparo lanzar este vagón-proyectil a la Luna.

Esta idea, ¿es realmente fantástica? Ante todo, ¿se le puede comunicar a un proyectil la velocidad suficiente para que abandone para siempre la superficie de la Tierra?

#### EL MONTE DE NEWTON

Concedamos la palabra al genial descubridor de la ley de la gravitación universal, a Newton. En sus "Principios matemáticos de la Física" dice<sup>1</sup>:

"Cuando tiramos una piedra la acción de la gravedad la desvía de su camino rectilíneo y la obliga a caer en la superficie de la Tierra describiendo una línea curva. Si lanzamos la piedra con más velocidad caerá más lejos. Por lo tanto, puede ocurrir que describa un arco de diez, cien, mil millas y que, finalmente, se salga de los límites de la Tierra y no vuelva más. Supongamos que *AFB* (fig. 50) representa la superficie de la Tierra, que *C* es su centro y que *UD*, *UE*, *UF* y *UG* son las curvas que describe un cuerpo lanzado horizontalmente desde un monte muy alto, con una velocidad cada vez mayor.



*Fig. 50. Así deberían caer las piedras que se lanzaran horizontalmente y con una velocidad enorme desde la cumbre de una montaña.*

La resistencia de la atmósfera no la tendremos en cuenta, es decir, supondremos que no existe en absoluto. Cuando la velocidad inicial es pequeña, el cuerpo describe la curva *UD*, cuando dicha velocidad es mayor describirá la curva *UE* y a velocidades todavía mayores

<sup>1</sup> La libertad con que se ha hecho la traducción de esta cita tiene por objeto facilitar su comprensión.

recorrerá las curvas *UF* y *UG*. A una velocidad determinada el cuerpo dará la vuelta a la Tierra y volverá al vértice del monte de donde fue lanzado. Como, en este caso, la velocidad del cuerpo al regresar a su punto de partida no será *menor* que al principio, este cuerpo continuará moviéndose por la misma curva".

Si en este monte imaginario hubiera un cañón, un proyectil lanzado por él a una velocidad determinada no volvería a caer nunca sobre la Tierra sino que seguiría dando vueltas alrededor de ella sin detenerse. Por medio de un cálculo bastante sencillo<sup>2</sup> se puede hallar que esto deberá ocurrir cuando el proyectil tenga una velocidad de cerca de 8 km por segundo. En otras palabras, si un cañón lanza un proyectil con la velocidad inicial de ocho kilómetros por segundo, este proyectil abandonará para siempre la superficie de la Tierra y se convertirá en satélite de nuestro planeta. Su velocidad será entonces 17 veces mayor que la de cualquier punto del ecuador y dará una vuelta completa a la Tierra en 1 hora y 24 minutos. Si al proyectil se le comunica una velocidad mayor girará alrededor de la Tierra, pero ya no describirá una circunferencia, sino una elipse más o menos alargada, y se alejará del planeta hasta una distancia enorme. Una velocidad inicial todavía mayor puede hacer que el proyectil se aleje para siempre de la Tierra en el espacio cósmico. Esto deberá suceder cuando la velocidad inicial sea, aproximadamente, de 11 km por segundo. (En todos estos casos se tienen en cuenta proyectiles que se mueven en un espacio *sin aire*, no en la atmósfera.) Sabiendo esto, veamos si es posible realizar el viaje a la Luna con los medios que proponía Julio Verne.

Los cañones modernos comunican a sus proyectiles velocidades que no pasan de dos kilómetros en el primer segundo. Esto es, cinco veces menores que la necesaria para que un cuerpo pueda volar hacia la Luna. Los personajes de la novela pensaban que construyendo un cañón colosal y cargándolo con una cantidad enorme de explosivos podrían conseguir la velocidad suficiente para lanzar el proyectil a la Luna.

### El Cañón Fantástico

Ya están los miembros del Club de los cañones fundiendo su colosal cañón, de un cuarto de kilómetro de largo, enterrado verticalmente. Al mismo tiempo se hace el enorme proyectil, en cuyo interior se encuentra el camarote para la tripulación. Este proyectil pesa 8 t. El cañón se carga con 160 t de algodón pólvora. Después del disparo el proyectil, si creemos al novelista, adquiere una velocidad de 16 km por segundo, pero debido al rozamiento con la atmósfera esta velocidad disminuye hasta 11 km. De esta forma, el proyectil de Julio Verne se encontrará fuera de la atmósfera con una velocidad suficiente para llegar a la Luna. Esto es lo que dice la novela. Veamos lo que dice la Física.

El punto vulnerable del proyecto de Julio Verne no es generalmente el que despierta las sospechas del lector. En primer lugar, se puede demostrar (yo así lo he hecho en el libro "Viajes Interplanetarios") que los cañones a base de pólvora no podrán nunca comunicar a los proyectiles una velocidad mayor de 3 km por segundo.

Julio Verne tampoco calculó bien la resistencia del aire, que a una velocidad tan enorme debe ser muy grande y capaz de cambiar por completo el cuadro del vuelo. Pero aparte de esto existen motivos muy serios para no estar de acuerdo con el proyecto de vuelo a la Luna en un proyectil de cañón.

El principal motivo de preocupación es la suerte de los propios pasajeros. Esto no quiere decir que les amenace un peligro durante el vuelo de la Tierra a la Luna. Si consiguieran estar vivos en el momento de salir del alma del cañón, en adelante no tendrían nada que temer. La enorme velocidad con que el vagón y sus pasajeros surcarían el espacio sería para éstos tan inofensiva como lo es para los habitantes de la Tierra la velocidad, aún mayor, con que ésta se mueve alrededor del Sol.

---

<sup>2</sup> Véase "Física Recreativa" libro I, cap. II.

### Un Sombrero Bastante Pesado

Los momentos más peligrosos para nuestros viajeros serían las centésimas de segundo durante las cuales el vagón proyectil avanza dentro del alma del cañón. Porque durante este intervalo tan pequeño de tiempo la velocidad con que cada pasajero se mueve dentro del cañón debe aumentar desde cero hasta 16 km/seg. Por eso es comprensible la inquietud con que esperaban el disparo. Barbicane tenía mucha razón cuando aseguraba que el momento en que el proyectil sea disparado será tan peligroso para sus tripulantes como si en vez de estar dentro estuvieran delante de él.

Efectivamente, en el momento del disparo, la plataforma inferior del camarote dará un golpe a los pasajeros, desde abajo, cuya fuerza será la misma que tendría el choque del proyectil con cualquier cuerpo que encontrase en su camino. Los personajes de la novela le concedieron demasiado poca importancia a este peligro, pensando que en el peor de los casos sufrirían un aflujido de sangre a la cabeza.

Pero el asunto es mucho más serio. El proyectil avanza por el alma del cañón aceleradamente, su velocidad aumenta por la constante presión de los gases que se producen durante la explosión. En el transcurso de una fracción insignificante de segundo esta velocidad aumenta desde 0 hasta 16 km/seg. Supongamos, para simplificar, que este incremento de la velocidad se produce uniformemente. En este caso, la aceleración, necesaria para hacer que el proyectil adquiera en un lapso de tiempo tan insignificante la velocidad de 16 km/seg, alcanza, en números redondos, la cifra de 600 km por segundo cada segundo.

El significado fatal de esta cifra se comprende perfectamente si recordamos que la aceleración ordinaria de la gravedad en la superficie de la Tierra es solamente de 10 m por segundo cada segundo<sup>3</sup>. De aquí se deduce, que cada objeto que se encuentre dentro del proyectil en el momento del disparo deberá ejercer una presión sobre el fondo del camarote que será 60.000 veces mayor que su propio peso. En otras palabras, los pasajeros se sentirían como si fueran varias decenas de millares de veces más pesados. Esta presión tan colosal los aplastaría en el acto. Nada más que el sombrero de copa de mister Barbicane pesaría en el momento del disparo unas 15 toneladas (¡el peso de un vagón de ferrocarril cargado!). Este sombrerito sería mas que suficiente para aplastar a su dueño.

Es verdad que en la novela se describen algunas medidas tomadas para amortiguar el golpe. La bala se supone provista de amortiguadores de muelles y de un doble fondo lleno de agua. Esto hace que la duración del golpe sea un poco mayor y, por consiguiente, que el aumento de la velocidad sea algo más lento. Pero las fuerzas que actúan son tan enormes, que la ventaja que se obtiene con estos dispositivos resulta irrisoria. La fuerza que oprime a los pasajeros contra el suelo disminuiría insensiblemente y, en fin de cuentas, ¡qué más da morir aplastado por un sombrero de 15 toneladas o por uno de 14!

### ¿Como Se Puede Debilitar La Sacudida?

La Mecánica enseña cómo se puede suavizar la rapidez fatal con que aumenta la velocidad. Esto se puede conseguir *alargando el cañón*. Pero si se quiere que en el momento del disparo la fuerza de la "gravedad" artificial, dentro del proyectil, sea igual a la gravedad ordinaria en la Tierra, el alargamiento del cañón tiene que ser muy grande. Un cálculo aproximado demuestra que para esto habría que hacer un cañón que tuviera, ni más ni menos, que ... ¡6.000 km! En otras palabras, el cañón de Julio Verne debería llegar hasta el mismo centro de la Tierra. En este caso los pasajeros podrían sentirse libres de molestias, puesto que a su peso normal se sumaría otro igual aparente, debido al aumento paulatino de la velocidad, que haría que se sintiesen nada más que dos veces más pesados.

---

<sup>3</sup> Puedo añadir, que la aceleración de un automóvil de carreras al comenzar su rápido movimiento no excede de 2 ó 3 m por segundo cada segundo, y la aceleración de un tren, al salir suavemente de la estación, es de 1 m por segundo cada segundo.

El organismo humano puede soportar, durante cortos espacios de tiempo, aumentos de la gravedad de hasta varias veces su peso. Cuando nos deslizamos por una pendiente de hielo en un trineo y cambiamos de dirección rápidamente, hay un instante en que nuestro peso aumenta considerablemente, es decir, nuestro cuerpo se aprieta contra el trineo más que de ordinario. Los aumentos de dos o tres veces de peso se soportan relativamente bien. Admitiendo que el hombre puede aguantar, sin perjuicio para su salud, un breve aumento de la gravedad de hasta diez veces su peso (ésta es la sobrecarga que experimentaron los cosmonautas al despegar. - *La Red.*), tendremos que será suficiente hacer un cañón que tenga 600 km de largo "solamente". Pero esto no es un consuelo, puesto que la fabricación de un artefacto semejante supera nuestras posibilidades técnicas. Estas son las condiciones en que tendría sentido la realización del proyecto de Julio Verne de hacer un viaje a la Luna en un proyectil de cañón<sup>4</sup>.

### Para Los Amigos De Las Matematicas

Entre los lectores de este libro estoy seguro que habrá algunos que quieran comprobar los cálculos de que hemos hablado en el párrafo anterior. Aquí reproducimos estos cálculos. Pero advertimos que son aproximados solamente, ya que se basan en la suposición de que el proyectil avanza dentro del ánima del cañón con movimiento uniformemente acelerado (en realidad este aumento de la velocidad no es uniforme).

En estos casos hay que utilizar las dos fórmulas del movimiento uniformemente acelerado siguientes: la de la velocidad  $v$ , que al cabo de  $t$  segundos será igual a  $at$ , donde  $a$  es la aceleración:

$$v = at$$

y la del camino  $S$  recorrido durante  $t$  segundos, que viene determinado por la fórmula

$$S = at^2/2$$

Con estas fórmulas hallamos, en primer lugar, la aceleración del proyectil mientras se deslizaba por el alma del cañón.

La novela nos informa de que la parte del cañón no ocupada por la carga tenía una longitud de 210 m; éste es el camino  $S$  recorrido por el proyectil.

También conocemos la velocidad final  $v=16.000$  m/seg. Estos datos ( $S$  y  $v$ ) nos permiten hallar  $t$ , es decir, el tiempo que el proyectil tarda en recorrer el ánima del cañón (considerando que lo hace con movimiento uniformemente acelerado). De aquí tenemos que:

$$v=at=16.000, 210=S=at^2/2=16.000t/2=8.000 t,$$

de donde  $t=210/8.000$  aproximadamente a  $1/40$  seg, es decir, el proyectil tarda en recorrer el cañón ... ¡ $1/40$  segundos!

Poniendo  $t=1/40$  en la fórmula  $v=at$ , tenemos:

$$16.000=1/40 a, \text{ de donde } a=640.000 \text{ m/seg}^2.$$

Esto quiere decir que la aceleración del proyectil mientras recorría el cañón fue de  $640.000$  m/seg<sup>2</sup>, es decir,  $64.000$  veces mayor que la aceleración de la gravedad. ¿Qué longitud

---

<sup>4</sup> Cuando Julio Verne describió las condiciones que se daban dentro del proyectil en vuelo, se olvidó de un factor muy importante. De esto se habla en el libro primero de "Física Recreativa". El novelista no tuvo en cuenta que, después del disparo, durante todo el viaje, los objetos que hubiera dentro del proyectil se harían completamente ingravidos, ya que la gravedad comunicaría al proyectil y a todos los cuerpos que iban en él la misma aceleración (véase, también, más adelante, el artículo titulado "El capítulo que le falta a la novela Julio Verne").

debería tener el cañón para que la aceleración del proyectil fuera nada más que 10 veces mayor que la aceleración de los cuerpos que caen (es decir, igual a  $100 \text{ m/seg}^2$ )?

Este problema es el inverso del que acabamos de resolver. Los datos son:  $a=100 \text{ m/seg}^2$  y  $v=11.000 \text{ m/seg}$  (esta velocidad es suficiente si no existe la resistencia de la atmósfera).

Por la fórmula  $v=at$  tenemos:  $11.000=100 t$ , de donde  $t=110 \text{ seg}$ .

Por la fórmula  $S=at^2/2=at \cdot t/2$  obtenemos que la longitud del cañón deberá ser igual a

$$11.000 \cdot 110 / 2 = 605.000 \text{ m, es decir, } 605 \text{ km.}$$

Estos cálculos dan las cifras que destruyen planes tan seductores como los que tenían los héroes de Julio Verne<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Los razonamientos y cálculos que se hacen este capítulo son justos. El problema de los viajes del hombre a la Luna y a otros planetas es evidente que se resolverá por medio de cohetes.

(N.de la R.)