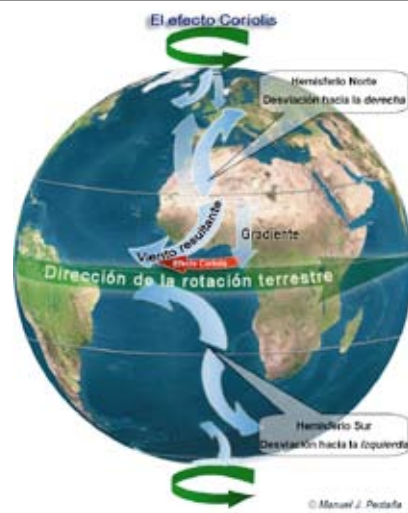


Mirando la tierra girar desde la bañera

Se cuenta que don Cristóbal Colón tuvo que convencer a Isabel, reina de Castilla, de que la tierra es esférica y que era posible llegar a oriente por occidente, para que ésta vendiera sus joyas y financiara su expedición. Esta historia es algo difícil de creer puesto que en esa época ya había evidencias de que la tierra no es plana. Más aún, el radio de la tierra había sido medido por Eratóstenes (248-156 A.C.) unos 200 años antes de Cristo. El experimento que realizó Eratóstenes es simple de entender pero muy complicado de realizar en esa época. Mientras que 2 columnas sobre una tierra plana no darían nunca sombra al medio día, sobre una esfera su sombra dependerá de su posición y del día en que se mida. Así, midiendo que la inclinación de la sombra de una columna en Alejandría, al medio día del equinoccio, era de 7° mientras que en Assuan no hacía sombra, sólo le faltaba conocer la distancia entre ambas ciudades para determinar el radio terrestre. Existen varias historias diferentes de cómo Eratóstenes logró esto, desde contratar a una persona para que uniera las ciudades caminando y contando los pasos, hasta la utilización de las caravanas de camellos, frecuentes en la época. El valor del radio que obtuvo fue de 6550 km. Fantásticamente bueno si lo comparamos con el actualmente aceptado de 6371 km.



Dr. Julio Ferrón
INTEC (UNL-CONICET), Santa Fe

Foto NASA



Volviendo a nuestra historia de don Cristóbal, es posible que la redondez de la tierra no fuera conocida por los reyes católicos, quienes no pasaron a la historia precisamente como ejemplos de sabiduría. Sin embargo, el problema de Colón en ese momento no era si la tierra era redonda o no, sino que con las dimensiones de la tierra era imposible que su empresa tuviera éxito. Así, de no haberse interpuesto América en su camino su viaje habría terminado en tragedia, sin que llegáramos a enterarnos de su existencia. A la existencia de Colón me refiero. Los detalles íntimos que movieron a los protagonistas de una de las mayores aventuras de la historia no están muy claros, y probablemente nunca lo estén.

Hay otra historia atribuida a Colón, referida ésta a un huevo. Se cuenta que ante el descrédito a que era sometida su aventura, luego de que mucha gente hubiera viajado a América, don Cristóbal desafió a sus detractores a que pararan un huevo de punta. Cuando nadie pudo hacerlo, el almirante lo presionó contra la mesa rompiendo levemente la punta. De esa forma pudo dejarlo parado en forma estable. Su comentario fue que, ahora que él lo había hecho, seguramente cualquiera podría hacerlo. Es cierto que algunas cosas nos parecen obvias luego de que alguien nos enseña cómo se hacen.

Ahora nos parece obvio que la tierra es redonda, incluso la hemos visto desde afuera y desde lejos pero: ¿puede uno estar parado sobre un cuerpo esférico y no darse cuenta? Esto depende del radio de la esfera comparado con la altura del observador. Así, el Principito seguramente era consciente de que su asteroide no era plano. En el otro extremo, si la tierra tuviera el tamaño del sol tendríamos serios problemas para darnos cuenta de su redondez pero, para las dimensiones de la tierra, no es tan complicado. Se puede argumentar que darse cuenta de la diferencia de las longitudes de las sombras no es un experimento simple, ya que es necesaria una observación simultánea en dos lugares geográficamente

diferentes. Y es cierto, hizo falta que una persona fuera de lo normal, como Eratóstenes, escuchara un comentario acerca de que había un lugar en el que cierto día al mediodía los objetos no tenían sombra y pudiera con ese dato imaginar una forma de medir el radio de la tierra. Pero hay indicios más simples, que cualquiera de nosotros podría apreciar. Uno puede, por ejemplo, ver que la línea del horizonte es curva y preguntarse porque. Si observa la llegada de un barco grande, verá que lo primero en aparecer es el velamen (en esa época), porque viene desde más abajo del horizonte. Que los eclipses de luna sólo pueden entenderse con una tierra esférica ya lo había notado Aristóteles, y eso que él no era muy afecto a los experimentos.

Viajar sobre una esfera giratoria

Hay otra pregunta que puede ser un poco más complicada. ¿Puede uno estar parado sobre una esfera que gira y darse cuenta de ello? Es para pensarlo, porque nos movemos, ahora lo sabemos, con una velocidad tangencial que en el ecuador es de más de 1600 km/h, para completar un perímetro de aproximadamente 40000 km cada 24 h. ¿Cuánto de esto que ahora nos parece obvio se inscribe en el cuento del huevo de Colón? Por ejemplo, es bastante complicado imaginarse que sea el sol quien gira alrededor nuestro, sin embargo se creyó en esto durante algunos miles de años. Con un radio orbital de unos 150 millones de km, la velocidad de traslación del sol debería ser de unos 40 millones de km/h para poder recorrer la órbita en 24 h. Sin embargo, nuestro conocimiento de estos números es relativamente reciente y durante mucho tiempo la gente creyó que efectivamente era el sol el que giraba, con la tierra estática en el centro de la órbita. Con instrumentos muy simples, contrastando el movimiento del sol con el de las estrellas más lejanas, los planetas y la luna, se puede llegar rápidamente a la conclusión de que es la tierra la que gira alrededor del sol. A pesar de

ello, esta propuesta le costó a Galileo terminar su vida en prisión. Pero, la pregunta en este momento no apunta en esa dirección, sino a si es posible darnos cuenta que nos movemos por manifestaciones que ocurran en nuestro entorno, sin mirar al cielo. Las manifestaciones no son tan claras como en el caso de la redondez pero, como con las brujas, que las hay, las hay. ¿Cuántas de éstas las podemos relacionar con el movimiento terrestre porque ya sabemos que nos movemos? Seguramente el almirante nos desafiaría de nuevo con parar el huevo.

La culpa no es de los cañones

Parece ser que fue Napoleón quien, sin darse cuenta de la motivación, estaba molesto por algunas consecuencias del movimiento de la tierra. El problema era que sus cañones (y los de todos) no tenían la misma precisión lateral si disparaban de norte a sur, (o viceversa) a lo largo de un meridiano, que si lo hacían de este a oeste (o viceversa), es decir a lo largo de un paralelo. Napoleón le llevó el problema a un físico, Gustave de Coriolis (1792-1843), quien lo resolvió en 1835. Desde entonces conocemos como fuerza de Coriolis a la que actúa sobre un cuerpo que se mueve en un sistema que gira. Dado que los cañones se usaban ya en el siglo XIV, alguien podría haberse planteado anteriormente el problema, ciertamente antes de que Colón realizara su viaje y de que Galileo sufriera la persecución de la inquisición por apoyar la teoría de Copérnico.

El problema de Napoleón no es en realidad de fuerzas sino de velocidades relativas. La fuerza de Coriolis es la que notamos todos los que alguna vez subimos a una calesita (tio vivo) y quisimos desplazarnos en dirección radial, es decir del centro al exterior o viceversa. Al estar parados sobre una esfera o disco que gira, las velocidades son mayores a medida que nos alejamos del eje. Basta mirar una bandeja de un tocadiscos para ver que los puntos en el eje prácticamente no se mueven, describiendo una circunferencia mínima, mien-

tras que la velocidad de los puntos sobre el borde del disco es máxima, ya que todos los puntos del disco deben completar un giro en el mismo tiempo. Así, en la tierra, la velocidad será nula en los polos y máxima en el ecuador. ¿Qué ocurre entonces cuando se dispara un cañón en dirección norte sur o viceversa? La velocidad de la bala en la boca del cañón es la composición de dos velocidades. Una de ellas es la que posee por la fuerza de la explosión, tiene la dirección determinada por el eje del cañón y es la utilizada para apuntar al blanco. La otra es la que tiene porque, antes de perder contacto con el piso (dentro del cañón), estaba moviéndose solidariamente con la tierra. De esta última no nos damos cuenta porque nosotros también nos movemos a esa misma velocidad, por estar parados en “la misma calesita”. Si estamos en el hemisferio sur y disparamos hacia el norte, hacia el ecuador, lo estamos haciendo hacia puntos que se mueven de oeste a este más rápido que nosotros, ubicados junto al cañón. Así, nuestra bala se retrasará respecto del giro de la tierra y fallaremos al blanco por la izquierda, desde nuestro punto de vista. También fallaríamos por la izquierda si disparamos al sur, pero en este caso sería porque nuestra bala se adelantaría a puntos que se mueven lateralmente (oeste-este) más lentos por estar más cerca del polo. Sería perdonable pensar en una falla en la construcción del cañón sino fuera que éste mismo, mágicamente, comenzaría a fallar por la derecha si lo llevamos al hemisferio norte. Más aún, puede ser un cañón muy preciso si disparáramos en la dirección este oeste.

Como en una calesita

¿Cómo se manifiesta este problema cuando caminamos en una calesita? Si caminamos desde el centro hacia fuera, en este caso, a diferencia de nuestra bala, no perdemos contacto con el piso y por eso nuestra velocidad lateral aumenta para igualar la de la calesita a esa distancia del centro. Desde Newton

sabemos que no es posible cambiar la velocidad de ningún cuerpo sin que se ejerza una fuerza. Esa fuerza la ejerce el piso de la calesita sobre nuestros pies y es la sensación de que tendemos a caernos cuando nos movemos radialmente. Si caminamos desde el exterior de la calesita hacia el centro, la fuerza actuaría en sentido contrario, disminuyendo nuestra velocidad. ¿Qué ocurriría si saltáramos hacia afuera, perdiendo contacto con el piso de la calesita? En este caso, como la bala de cañón, pasaríamos a tener menor velocidad que la calesita, para esa separación del centro, y seríamos atropellados por algún elefante o caballito. Si vamos a hacer el experimento, seamos cuidadosos. También podemos intentar tirar algo radialmente y veremos, como en el caso de Napoleón, que nuestra puntería es horrorosa y todos nuestros disparos serán curvos.

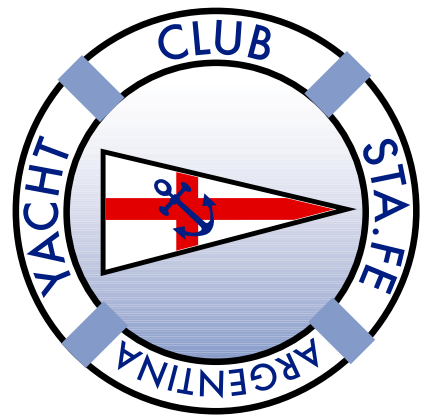
Coriolis y los vientos

Tenemos entonces, que si mantenemos contacto al desplazarnos sobre una superficie cuya velocidad tangencial va cambiando (disco o esfera que gira) y variamos la distancia al eje sentimos una fuerza en los pies que tiende a igualar nuestra velocidad con la de esa zona. Si no tenemos contacto con ella, mantenemos nuestra velocidad lateral inicial y en consecuencia comenzamos a desplazarnos a velocidad lateral diferente que el suelo sobre el que sobrevolamos. Como consecuencia de ello fallamos un disparo o somos atropellados por algún animal en la calesita. ¿Existe algún otro sistema que se vea afectado por este fenómeno? Así es, pensemos en el proceso de formación de los vientos. Para que haya viento es necesario un centro de baja presión. Esto hace que las masas de aire, en las cercanías, sometidas a mayor presión se desplacen a ese punto. Tomemos un punto en el hemisferio norte. Las masas de aire confluyen al punto de baja presión (centro ciclónico). Ya sabemos que nuestro centro ciclónico tiene mayor velocidad tangencial que puntos situados al norte y me-

nor que los del sur, y la misma que los del este y oeste. Así, los vientos que llegan del norte nosotros los vemos también desplazándose al oeste, solamente porque nosotros vamos más rápido en dirección este. Lo contrario ocurre con los vientos que llegan del sur. A esos los vemos moverse al este porque ya vienen con una velocidad lateral mayor que la nuestra. El problema es cuando se juntan en nuestro centro, ya que empiezan a girar y tenemos un huracán. Así tenemos que los huracanes en el hemisferio norte giran siempre en la misma forma, contraria a las agujas del reloj. También giran en el sur, sólo que lo hacen al revés, tal como el desvío de nuestro cañón.

Girando en casa

Cuando destapamos una bañera, el agua converge en un punto y, tal como en el caso de los vientos, proviene de zonas ubicadas al norte, sur, este y oeste. Así, en teoría, tenemos el mismo principio de formación de los huracanes. Sin embargo, acá tenemos varios problemas que conspiran para que veamos el efecto. Por un lado los vientos recorren cientos de kilómetros, con lo cual las diferencias de velocidades laterales son muy importantes. Por otro lado, el roce del agua con la bañera genera fuerzas que tienden a destruir el fenómeno, como nuestro caminar en la calesita. Asimismo, al destapar la bañera, cualquier movimiento inicial del agua dominará al sutil efecto de Coriolis, haciendo girar el líquido en forma azarosa. A pesar de ello, si cada vez que desagotamos (¡muy cuidadosamente!) una pileta observamos el sentido de giro del agua, estaremos tratando de mirar el movimiento de la tierra. Y si pudiéramos definir, fuera de nuestro rango de error, cómo gira, determinaríamos el sentido de giro de la tierra. Lamentablemente, tendríamos al almirante susurrándonos que eso lo hacemos porque, en realidad, ya sabemos que gira. Y es molesto que alguien nos recuerde algo que ya sabemos.



Punta Este Puente Oroño
C.C. 112 - 3000 - Santa Fe - Argentina
Tel./Fax: +54-342-4554644 / 4524935
Tel. : +54-342 4569867
e-mail: yssf@yssf.org.ar
S 31° 38.547' - W 60° 40.827'