

“ El problema del sentido de giro del vórtice en los desagües ”

Juan Manuel Ortiz Afanador

¡Gracias Gustave Gaspard por tu ocurrencia!

Fernando Vallejo

En “Manualito de imposturología física”, Pág. 160



Esta Sección ha sido ideada para atender con responsabilidad social, las inquietudes de nuestros asiduos lectores; esperamos dar respuesta, en cada una de nuestros volúmenes, a aquellas personas que nos escriban a revistamyf@cdtdegas.com

Introducción

Existen muchos mitos o “*leyendas urbanas*” relacionados con problemas de la mecánica de los fluidos. Uno de los más célebres ha sido el denominado “*Problema del Vórtice de la Bañera*”, el cual ha sido protagonista (como consecuencia de una mala interpretación del *Efecto Coriolis*), en episodios de series de televisión famosas, entre las que se destacan *Los Simpson* (Episodio 16, Sexta Temporada “*Bart contra Australia*”) y *Los Expedientes Secretos X* (Episodio 14, Segunda Temporada “*Die Hand die verletzt*”). De estos episodios, el que más se ha popularizado ha sido el de *Los Simpson* por su alta dosis de humor (y pseudociencia).

Para introducir el problema a los lectores, en el episodio de *“Bart contra Australia”* Bart y Lisa juegan a las carreras entre la crema dental y el shampoo que vertían en un lavamanos, valiéndose para ello del vórtice que se formaba al vaciar el agua que lo llenaba. Como es de esperar, Lisa (la lista) resultaba ganadora debido a que aprovechaba que al vaciarse el agua corría hacia la izquierda (sentido antihorario). Para alentar a su hermano, defraudado con los resultados de las apuestas, Lisa le explica a Bart que como consecuencia del Efecto Coriolis, en el Hemisferio Norte el agua corre a la izquierda cuando es succionada, mientras que en el Hemisferio Sur, corre hacia la derecha. Bart adopta una posición de rebelde escepticismo e inicia una serie de llamadas a diversos países del mundo localizados sobre el Hemisferio Sur con el propósito de confirmar la teoría. Al reflexionar sobre el costo que tendrán todas las llamadas realizadas, Bart decide llamar por cobrar a Australia, haciéndose pasar por un doctor de la Comisión Internacional del Drenaje, la víctima (un inocente niño australiano, llamado Tobías) acepta la llamada por tratarse de una supuesta emergencia y tras comprobar que el sentido de giro del vórtice en su casa era hacia la derecha (como lo había previsto Lisa), por solicitud de Bart se dirige en triciclo hasta la casa de su vecino (localizada a varios kilómetros de distancia) con el propósito de realizar una comprobación adicional. Bart deja el teléfono descolgado y se va a divertirse con sus amigos, dándose cuenta hasta la medianoche que el teléfono seguía descolgado y la cuenta de la llamada por cobrar continuaba marcando. Todo lo anterior desata un incidente diplomático entre Estados Unidos y Australia, a causa de la inmensa cuenta telefónica que recibió el padre del niño australiano.

Al final de la Quinta Jornada de Medición de Fluidos, organizada por el CDT de GAS, la cual se celebró en Bogotá en el año 2008, recién acababa de leer un librito muy ameno e ilustrativo, nada parco en contenido y altamente motivante, el cual fue escrito por un físico mexicano: Ramón Peralta-Fabi. El título del libro era: *“Fluidos: Apellido de Líquidos y Gases”*. En la cuarta parte de este libro, titulada *“Galaxias, Huracanes y Desagües”*, encontré el tema para una interesante discusión que tuvimos junto con Klaus Zanker, Kazuto Kawakita, Erik Tapias y John Velosa.

Justamente, el tema era el sentido de giro de los vórtices en un desagüe. Zanker dio su parecer acerca de dicho fenómeno, ante lo cual aportó un punto de vista muy sólido desde la perspectiva teórica y de las condiciones de la prueba. Luego se fueron uniendo participantes y tuvimos un intermedio (un poco vil) en el que figuraron lavamanos, baldes e inodoros. Todos

¹Ripa (1996) menciona que en 1778 Pierre-Simon Laplace publicó su trabajo *“Plusieurs points du système du monde”* donde presenta sus ecuaciones de marea. En estas ecuaciones Laplace introduciría lo que -hoy por hoy- conocemos como «Fuerza de Coriolis». Es decir que desde esta óptica, Laplace se anticipó aproximadamente 60 años a Coriolis, elaborando a su vez una crítica a los grandes científicos que le precedieron por haber considerado los efectos de la rotación terrestre como aparentes, siendo que de su demostración se apreciaba que dichos efectos eran (son) reales.

los metrólogos aportaron sus respectivos puntos de vista, discutiéndose ampliamente y con detalles, la forma como se podría y se debería probar este fenómeno experimentalmente. Para finalizar, Kazuto (como siempre) cerró el tema con una bellísima frase, enigmática como un koan pero con la belleza de un haiku: *“(…) pareciera como si las partículas que componen los fluidos poseyeran memoria”*.

Un par de años luego de la discusión, el tema volvió a revivir a partir de la publicación de un artículo de William D. Stansfield en la revista *Skeptic Magazine*, el cual se titulaba *“The Coriolis Effect - ¿Does water drain in different directions in the northern and southern hemispheres?”*. También tuve conocimiento que en algunos centros interactivos de ciencia y tecnología se presenta a las jóvenes generaciones el tema del Efecto Coriolis sin el suficiente rigor científico, con lo cual se permite la propagación de concepciones erróneas acerca de este problema.

En la presente lectura se abordará en primera instancia el Efecto Coriolis, posteriormente se discutirán los pormenores del famosísimo *“Problema del Vórtice de la Bañera”*. Aspiro que todo pueda quedar muy claro y que como resultado de mi oficio *“¡No sumaréis más confusión a la confusión!”*.

Efecto Coriolis

Es necesario iniciar esta sección indicando que el efecto se bautizó con el apellido *“Coriolis”* en honor a Gaspard-Gustave de Coriolis, matemático, ingeniero mecánico y científico francés, nacido en París el 21 de mayo de 1792 y fallecido el 19 de septiembre de 1843 a la edad de 51 años. En este punto es importante hacer un llamado de atención dado que con relativa frecuencia se escucha a la gente referirse al efecto o a los medidores de flujo no como *“Coriolis”* sino como *“coriolisis”*, lo cual constituye un error craso.

En 1835 Coriolis escribió un artículo titulado *“Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps”* (*“Sobre las ecuaciones de movimiento relativo de los sistemas de cuerpos”*), en el cual mostraba que si se toma como referencia una superficie en rotación, adicionalmente a los efectos normales del movimiento de un cuerpo debe incluirse una fuerza adicional, de carácter inercial, actuando sobre el cuerpo perpendicularmente a su dirección de movimiento. Esta fuerza se manifiesta como una trayectoria curva para un cuerpo del cual se esperaba que viajara en línea recta (visto desde el marco de referencia en rotación). Este concepto se popularizó posteriormente, a principios del siglo pasado, empezando a conocerse como «Fuerza de Coriolis» o en ocasiones como «Efecto de Coriolis¹» .

Pero, ¿qué quiere decir la anterior descripción física?, sin lugar a dudas una de las maneras más fáciles de explicarlo es con el ejemplo del tiovivo, el carrusel o la rueda giratoria, dispositivos muy conocidos y bien experimentados en nuestra infancia. Por si acaso, recordaremos que un tiovivo es un artefacto de feria

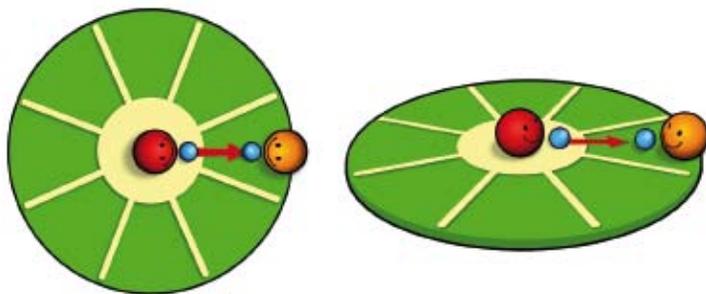
que consiste en una plataforma giratoria sobre la que hay caballitos, focas, coches, etc., los cuales tienen generalmente otro movimiento propio además del de la plataforma. Una rueda giratoria, muy común en los parques infantiles, es una plataforma circular provista de un eje central vertical en torno al cual gira por el impulso que recibe; los niños se sientan en la plataforma al tiempo que esta gira.

Supongamos que en una rueda giratoria se sientan dos niños enfrentados entre sí, uno frente al otro. Para personalizar la experiencia, asumamos que el niño de la periferia, es decir el que se sienta en el borde de la rueda, se llama Bartolomé y el niño que se sienta en el centro, junto al eje de rotación, se llama Gustave. Adicionalmente, le han pedido el favor a otro niño, llamado Tobías, para que les de impulso y luego se ubique en la parte alta de un resbaladero, contiguo a la rueda, para que tome atenta nota de los eventos y narre lo observado desde su punto de vista privilegiado, superior y ajeno a la rueda giratoria.

Gustave, ubicado en el centro de la rueda, posee un balón. El juego consistirá en que Gustave lanzará el balón a Bartolomé, quien está sentado en el extremo de la rueda, con el objetivo que éste último lo atrape; por su parte, Tobías estará vigilando la experiencia, mirando desde arriba. Antes de dar inicio a la actividad, deciden llevar a cabo una prueba de control. Tobías se ubica en la parte alta del resbaladero. Gustave lanza el balón a Bartolomé quien con la rueda inmóvil lo recibe sin problemas, la pelota siguió en todos los casos una trayectoria recta impecable, directa desde el centro de la rueda, donde se había ubicado Gustave, hasta la periferia donde estaba sentado Bartolomé. Tobías viendo todo desde arriba expresó que, desde su punto de vista, la bola siguió una trayectoria recta.

Luego de los preliminares Tobías desciende y da un fuerte impulso a la rueda, sale corriendo, sube las escaleras del resbaladero y se ubica encima de la rueda giratoria. Con un silbido avisa a Gustave y a Bartolomé que ya está listo y observando. Gustave lanza la bola a Bartolomé y... ¡oh! sorpresa, ¿qué pasó? Bartolomé no atrapó la pelota. Repitieron la prueba 10 veces y, un poco mareados al final, dieron las siguientes versiones:

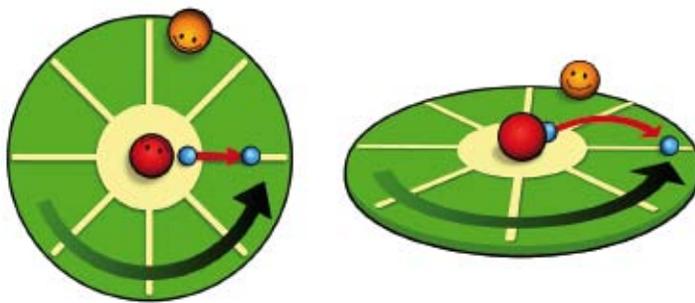
— Gustave: Apunté bien y lancé la bola igual que siempre pero tan pronto salió de mis manos se desvió



Vista externa, fuera de la rueda (Tobías)

Vista desde la rueda (Gustave y Bartolomé)

Figura 1. Prueba de control con la rueda inmóvil



Vista externa, fuera de la rueda (Tobías)

Vista desde la rueda (Gustave y Bartolomé)

Figura 2. Resultado del experimento con la rueda girando

misteriosamente describiendo una curva (como si una extraña fuerza la hubiera impulsado).

— Bartolomé: Gustave lanzó mal la bola, no apuntó bien y por eso no pude atraparla.

— Tobías: Desde mi punto de vista, la bola siguió una trayectoria recta.

Gustave y Bartolomé se encontraban sentados sobre lo que se conoce como un sistema de referencia en rotación (también llamado sistema no-inercial); en estos casos para explicar la extraña desviación que observaron sobre el balón, se requiere introducir una fuerza ficticia (y por ende una aceleración ficticia), también llamada *inercial*, la cual se asume que actúa sobre el balón desviándolo de su trayectoria. En este caso particular, la fuerza se denomina "Fuerza de Coriolis". Por su parte, el efecto de la desviación de la trayectoria se conoce popularmente como "Efecto de Coriolis". Debe quedar claro que la susodicha fuerza no existe en la realidad, pero es necesario introducirla (a propósito) para poder explicar la trayectoria del balón vista desde un sistema de referencia en rotación (como la rueda). Esta fuerza de Coriolis (o aceleración de Coriolis) siempre es perpendicular al eje de rotación del sistema y a la velocidad del cuerpo (en nuestro caso el balón). En conclusión, la fuerza de Coriolis debe aplicarse en aquellos sistemas de referencia en rotación sobre los cuales se producen desplazamientos.

En el caso de Tobías, quien se encontraba en un sistema de referencia estacionario con respecto a la rueda (en este caso un sistema inercial), la trayectoria de la bola fue claramente recta y por lo tanto no requirió la introducción de ninguna fuerza adicional a las reales. Tobías expresa que el lanzamiento fue recto pero que Bartolomé no recibió el balón porque la rueda al estar girando hizo que éste se desplazara con respecto al lanzamiento de Gustave.

La teoría indica que la magnitud de la aceleración de Coriolis (a_c) resulta siendo, para el sistema no-inercial (aceleración ficticia), el producto entre la velocidad angular de la rueda (ω) y la velocidad radial del balón (V_r):

$$a_c = 2\omega V_r$$

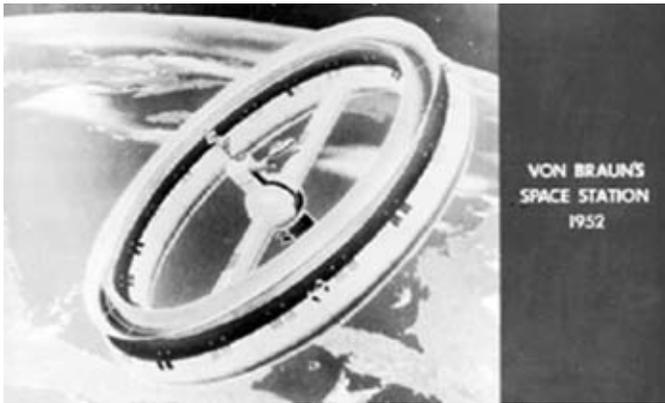


FIGURA 3. Izquierda: Modelo original de von Braun; Derecha: Estación espacial presentada en la película

Por su parte, teniendo en cuenta que la fuerza es igual al producto de la masa por su aceleración, lo que se ha conocido como la segunda ley del movimiento de Newton ($F=m \cdot a$) la magnitud de la fuerza de Coriolis será (fuerza inercial o ficticia):

$$F = 2m\omega V_r$$

Donde m representa la masa del balón.

Este fenómeno o efecto, como lo queramos llamar, no sólo puede dejar confundidos a Gustave, Bartolomé y Tobías. Resulta que su desconocimiento también afecta la veracidad de algunas películas, como por ejemplo, la famosa cinta de ciencia ficción “2001: Odissea del Espacio”, dirigida por el fallecido Stanley Kubrick, filmada en 1968.

En esta película, la estación espacial que orbita la Tierra (la cual se basa en un diseño realizado por el notable científico Wernher von Braun, gran impulsor de la carrera espacial), está conformada por anillos exteriores circulares que poseen “*gravedad artificial*”, resultante de la fuerza centrífuga asociada a su rotación. Estos anillos se encuentran habitados por la tripulación, mientras que en la parte central de la estación, donde el efecto de la rotación no genera gravedad artificial, está localizada la terminal a la que llegan las naves. Los anillos exteriores se conectan con el centro de la estación mediante túneles radiales como se aprecia en la Figura 3. En este caso tenemos también un sistema de referencia en rotación (estación espacial) y un cuerpo desplazándose en dicho sistema (astronauta). Similar al ejemplo de la rueda infantil.

Dado que el único movimiento que se realizará al interior de la estación no será exclusivamente en los anillos,

sino que también es necesario que los astronautas tengan que trasladarse desde los anillos hacia la terminal, o viceversa, está claro que los pobres astronautas se van a armar un lío en sus desplazamientos radiales debido a las consecuencias del Efecto Coriolis.

Un astronauta que se desplace radialmente en la estación, es decir a través de los túneles que unen el anillo externo con el centro de la estación, va a experimentar una fuerza que lo empuja contra las paredes del túnel. Este empuje será nuestra famosa fuerza de Coriolis y en verdad haría la vida muy incómoda en una estación de este tipo. La dirección de esta fuerza de empuje dependerá del sentido de rotación de la estación y de la dirección del desplazamiento del astronauta (del centro a la periferia o viceversa). En todo caso, la dirección de la fuerza de Coriolis será perpendicular al eje de rotación de la estación y a la velocidad del astronauta.

Haciendo a un lado las ruedas infantiles y las estaciones espaciales sacadas de película de ciencia ficción, vamos a poner los pies sobre la Tierra, esa inmensa esfera rotatoria sobre la cual nos movemos... Eso quiere decir que si la Tierra gira y además los cuerpos que están (estamos) sobre ella se desplazan, entonces en el planeta que habitamos debe ser posible apreciar los efectos de la Fuerza de Coriolis. Un ejemplo claro del Efecto Coriolis asociado a los movimientos de cuerpos que se realizan con referencia a la Tierra en rotación son los ciclones².

El viento se genera por diferencias de temperatura en la atmósfera. En el Ecuador el Sol calienta el aire y la superficie de los océanos en una proporción mucho mayor que en los polos. Una región de presión atmosférica relativamente baja se denomina ciclón. Los ciclones se caracterizan por abundante nubosidad y humedad elevada. El aire de las regiones de alta presión que rodean el ciclón se mueve desde todos los puntos hacia el centro del ciclón, el cual tiene una presión más baja. Este desequilibrio de presiones, sumado al Efecto de Coriolis que se asocia al movimiento de enormes masas de aire húmedo desplazándose en la atmósfera de la Tierra (rotando a 1 revolución por cada día sideral, donde un día sideral es aproximadamente 23

²Un ciclón, o ciclón tropical, es el término genérico para describir el fenómeno meteorológico caracterizado por grandes masas nubosas en rotación que se forman sobre los océanos. Un huracán también es un ciclón pero se denomina así si se ha formado en el norte del Océano Atlántico, en el Caribe, en el sur del Océano Pacífico y en el noroeste del Océano Pacífico. Así mismo, los tifones son ciclones que se forman en el noroeste del Océano Pacífico. Los ciclones tienen vientos con velocidades de hasta 320 km/h y su tamaño puede ir desde 50 km hasta incluso superar los 2000 km de diámetro.



FIGURA 4. Izquierda: Huracán Epsilon (Hem. Norte - Antihorario); Derecha: Ciclón Catarina (Hem. Sur - Horario)

horas, 56 minutos y 4,0989 segundos) ocasiona que la tendencia sea que los ciclones giren en sentido antihorario en el Hemisferio Norte y en sentido horario en el Hemisferio Sur (Ver Figura 4).

Entonces, la tendencia de giro de los ciclones está de acuerdo con la teoría de Lisa Simpson. Sin embargo, pueden darse cuenta que este artículo todavía no se ha acabado. ¿Será que el sentido de giro del agua en los retretes sigue las leyes de los ciclones? Vamos a pasar, ahora sí, en la siguiente sección a responder la pregunta dada en el título del artículo.

El Problema del Vórtice de la Bañera

Con seguridad en la historia de la ciencia se han realizado múltiples experimentos en los que se efectúan pruebas en diferentes latitudes con el propósito de establecer la veracidad de una hipótesis. Uno de los más famosos es el de primera comprobación experimental (satisfactoria, por cierto) de una predicción hecha por la teoría de la relatividad general de Einstein, la cual se basó en la solución relativista del problema de la precesión del perihelio del planeta Mercurio. Para tal efecto se armaron dos expediciones en dos lugares diferentes del planeta, una en la isla de Santo Tomé y Príncipe, frente a la costa occidental de África y la otra en la ciudad de Sobral (Estado del Ceará al nordeste de Brasil).

Comparado con el objetivo y la trascendencia del experimento de Einstein, el experimento que vamos a mencionar a continuación va a “parecer un poroto” en términos científicos, un chiste, pero todos sabemos que hay un loco para cada tema.

Ascher Shapiro (1916-2004), profesor de ingeniería mecánica del prestigioso MIT (Massachusetts Institute of Technology) en Boston, experto y autor de varios libros clásicos sobre mecánica de los fluidos, entre los que se destacan sus dos volúmenes titulados “*The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow*”, escribió un artículo para la revista Nature 196 de diciembre de 1962. El artículo se titulaba “*Bath-Tub Vortex*” lo que se podría traducir al español como: “*El vórtice de la bañera*” o “*El vórtice de la tina*”.

El sospechoso artículo de Shapiro, publicado en la estricta y extremadamente seria revista Nature de 1962 comienza así (traducción libre):

“Continuamente se escuchan controversias acerca de la dirección de los vórtices en el drenaje de la bañera o en el desagüe de la cocina. Algunos argumentan que la dirección del remolino es siempre la misma en el hemisferio norte, y que en el hemisferio sur es siempre opuesta a la observada en el hemisferio norte. Otros objetan que no hay una única dirección para los remolinos de cada hemisferio. Ambas escuelas de pensamiento están de alguna manera en lo cierto.”

Interpretando la introducción del artículo de Shapiro, diríamos que las experiencias de este tipo, efectuadas en desagües, drenajes, sifones, lavamanos, tinas, bañeras, lavamanos, platones, canecas, baldes, sanitarios, excusados, retretes e inodoros (entre otros dispositivos de aseo e higiene), van a exhibir vórtices cuya dirección va a variar de manera impredecible, lo cual en un inicio no nos ayuda mucho para dar respuesta a la pregunta formulada.

Sobre el mismo problema, Peralta-Fabi (1994) menciona:

“En la casa de un amigo hay dos lavabos que siempre hacen lo mismo, en uno el remolino gira con el reloj y en el otro en sentido contrario. ¿Habrá algo místico en sus baños?”

En contraposición, Shapiro indica que “*bajo condiciones de experimentación muy bien controladas, el observador mirando hacia abajo el drenaje en el hemisferio norte, siempre observará un vórtice en sentido anti-horario, mientras que en el hemisferio sur observará un vórtice en sentido horario*”, como consecuencia de las fuerzas de Coriolis.

Pero ¿qué quiere decir esto?, ¿a qué se refiere Shapiro con sus “*condiciones de experimentación muy bien controladas*”? Según Shapiro, hay dos razones para el sentido de giro fortuito de los vórtices en experimentos desarrollados sin un control de condiciones estricto:

1. El movimiento inducido por la Tierra sobre el tanque o el recipiente donde se desarrolla el experimento es mucho menor que otros movimientos lo suficientemente pequeños para lograr ser percibidos mediante una simple observación (del orden de 1 mm/s en un tanque de 0,6 m de diámetro ubicado en la latitud de Boston).
2. Las fuerzas de Coriolis debidas a la rotación de la Tierra pueden ser -de hecho- mucho menores que otras fuerzas normalmente presentes. A una velocidad de 2,5 mm/s alrededor del drenaje, la fuerza de Coriolis en la latitud de Boston es aproximadamente la milésima parte de una diezmilésima parte de la fuerza de la gravedad (10^{-7} veces).

Con respecto a la primera proposición, Shapiro cita que para aislar esta componente se requiere que el agua permanezca en estado estacionario, es decir que repose al interior del recipiente de prueba durante muchas horas, dependiendo enormemente de la manera como se realizó el llenado del mismo. Incluso después de esperar por días enteros, las corrientes de aire en el cuarto de ensayos o las corrientes térmicas asociadas a gradientes de temperatura alrededor del recipiente pueden ocasionar velocidades mayores a las de la rotación de la Tierra. Como si fuera poco, establece que la acción de retirar el tapón del fondo del recipiente es muy delicada pues puede llegar a inducir velocidades inadvertidamente.

La segunda proposición tiene que ver fundamentalmente con los medios de prueba tales como el agua y el recipiente de prueba. Si el recipiente no es asimétrico con relación al eje del drenaje, las fuerzas viscosas asimétricas en las paredes laterales y en el fondo del recipiente generarán torques que superarán la fuerza de Coriolis, así mismo la dirección de este torque va a ser diferente de un recipiente a otro. Factores tales como heterogeneidad en la temperatura del agua, impurezas químicas, e inclusive las diminutas fuerzas asociadas a la tensión superficial (7,3 cienmilésimas de kgf/cm para el agua a 25°C) sobre las superficies pueden ocasionar torques.

Por todas estas razones y más, Peralta-Fabi (1994) apuntaba acerca de la veracidad de las pruebas relacionadas con el sentido de giro de los vórtices en desagües, llevadas a cabo sin control alguno (¿de baja categoría?):

“(el tamaño de la fuerza de Coriolis sobre el agua en un lavabo) es tan ridículamente pequeña que igual (casi) hubieran podido invocar la ubicación de Urano como la responsable de los giros”

Desde luego, Shapiro debía demostrar su teoría experimentalmente, por lo que se propuso desarrollar un cuidadoso montaje para tal propósito. Inclusive, en medio de la fastuosidad cinematográfica *holliwoodense* de la década de los 60, Shapiro decidió filmar en el MIT un documental que respaldaría el tema de su artículo. Los protagonistas eran: un tanque manufactu-

rado con el mayor rigor ingenieril, de sección circular, perfectamente cilíndrico, de 1,8 m de diámetro y 150 mm de alto, con fondo plano y un agujero de drenaje circular con un diámetro de 10 mm, localizado en el centro exacto del tanque y maquinado a ras con el fondo.

Una manguera de una longitud de 6 m conducía el agua del drenaje a un sumidero. Un flotador para visualizar los vórtices, fabricado con dos astillas de madera de 25 mm formando una cruz. Las dos astillas se unían en su centro por medio de un alambre delgado.

Antes de iniciar el experimento, el extremo de salida de la manguera se bloqueaba mediante un tapón con lo cual se garantizaba la estabilidad en el drenaje del tanque. El tanque se llenaba hasta casi alcanzar el borde superior, teniendo la consideración de llenarlo de forma que el agua indujera un giro en sentido de las manecillas del reloj (sentido opuesto al esperado durante el desagüe). Este efecto se indujo a propósito con el objetivo de determinar el tiempo necesario para alcanzar una estabilidad adecuada del fluido, disipar el remolino inducido por el llenado (¿borrándole la memoria al fluido?) y así poder atribuir con confianza, al efecto de Coriolis, el giro obtenido.

El tanque se cubría prolijamente con un plástico para eliminar el efecto de las corrientes de aire y el cuarto de ensayos se mantenía a una temperatura constante. De acuerdo con el proceso de llenado aplicado por Shapiro, se determinó que eran necesarias por lo menos 24 horas de quietud para que los movimientos residuales fueran despreciables comparados con aquellos asociados a la rotación de la Tierra.

El tapón del extremo de la manguera era removido al tiempo que el flotador se instalaba cuidadosamente encima del drenaje. Luego de 20 minutos el tanque se vaciaba por completo.

¿Qué observó Shapiro? En los primeros 12 a 15 minutos no era posible apreciar rotación alguna del flotador. Superado el minuto 15, se hacía claramente perceptible una rotación anti-horaria que se incrementaba gradualmente. Cerca al final del experimento, cuando ya se había vaciado casi todo el tanque, el flotador giraba a una velocidad de 1 revolución por cada 3 o 4 segundos (30000 veces mayor que la velocidad de rotación efectiva de la Tierra a los 42° de latitud Norte de Boston).

Con los resultados obtenidos, Shapiro logró establecer por comparación con cálculos teóricos que la rotación del flotador era inducida por el efecto de Coriolis asociado a la rotación de la Tierra (¡Voilà!).

Antes de poner el punto final en su artículo para Nature, Shapiro decidió hacer un llamado a todos los habitantes del hemisferio sur, comprometiéndose a brindarles información más específica de su “*facilidad*” para que puedan desarrollar experimentos idénticos en latitudes contrarias “(...) *en aras de convencer a los escépticos restantes*” (¡que poético!).

En la siguiente edición de la revista Nature apareció una réplica al artículo de Shapiro en la cual E.N. da C. Andrade objetaba que en 1908, el físico austriaco Otto Tumlirz había descrito experimentos muy cuidadosos y efectivos en los cuales demostraba el efecto de la rotación de la Tierra sobre el vaciado del agua de un recipiente a través de una abertura central, en un artículo titulado “Una nueva prueba física de la rotación de la Tierra”. Aunque, de hecho, antes de Tumlirz, Perrot había hecho un trabajo similar en 1859.

En 1964 A.M. Binnie publicó en el *Journal of Mechanical Engineering Science* los resultados de un experimento similar al de Shapiro, llevado a cabo en Cambridge, Inglaterra (52,2° de Latitud Norte). Aunque los resultados, las pruebas nuevamente habían sido ejecutadas en el Hemisferio Norte.

No obstante, el llamado que hizo Shapiro, al final de su artículo publicado en Nature, no se hizo esperar por parte de sus colegas ubicados en el Hemisferio Sur. En 1965 cinco australianos: Lloyd M. Trefethen, R.W. Bilger, P.T. Fink, R.E. Luxton, y R.I. Tanner, publicaron en Nature los resultados de sus pruebas, llevadas a cabo en Sidney, Australia (33,9° de Latitud Sur). Sus resultados confirmaban la hipótesis de Shapiro, obteniendo vórtices que giraban en sentido horario.

Como si fuera poco, en 1983 Winston Cope relató en un artículo para la revista *American Scientist* su experiencia con las pruebas del sentido de giro de los vórtices realizadas en la Antártida (90° de Latitud Sur). Su conclusión para el Polo Sur también fue acorde con la hipótesis de Shapiro. Resulta gracioso que en el citado episodio de Los Simpson, Bart llama a una estación ubicada en el Polo Sur y al preguntar sobre el sentido de giro del vórtice en el retrete, no fue posible responder a su pedido porque el agua se había congelado en el sanitario.

En el Ecuador no se cuenta con experiencias serias documentadas acerca del sentido de rotación de los vórtices bajo condiciones controladas, similares a la de Shapiro. El Ecuador es una región muy particular

con respecto al Efecto Coriolis pues representa el límite entre los dos Hemisferios. Cuando se evalúa la aceleración de Coriolis (a_c), considerando la Tierra como sistema de referencia, debe tenerse en cuenta la latitud a la cual se realiza el ensayo con el propósito de determinar la distancia al eje de rotación del planeta, como resultado obtenemos:

$$a_c = 2\omega V \sin(\text{latitud})$$

En el Ecuador, donde la latitud es cero (0), el resultado de la fórmula anterior será cero ($\sin(0)=0$). De tal manera que -en teoría- el efecto de Coriolis sería nulo (¿o imperceptible?) en el Ecuador y se maximizaría en la medida en que nos alejamos del Ecuador, dirigiéndonos al Norte o al Sur, hasta obtener un máximo en los Polos. Con respecto al tema de la observación del fenómeno del vórtice de la bañera en el Ecuador, Shapiro anota hacia el final de su artículo lo siguiente:

“Aquellos que relatan haber visto cambiar la dirección del vórtice en el momento en que un barco cruza el Ecuador están seguramente llevando el caso al extremo. En el Ecuador las fuerzas de Coriolis desaparecen, y sería virtualmente imposible llevar a cabo un experimento válido a una distancia muy corta del Ecuador”

No obstante, así como se abusa en las películas y en las series de televisión valiéndose del efecto Coriolis, también se han generado especulaciones acerca del sentido de giro de los vórtices en el Ecuador. Tal es el caso de “culebreros” que por unas monedas demuestran el Efecto Coriolis ubicando un recipiente en el punto por donde supuestamente pasa la Línea Ecuatorial. Acto seguido, llenan el recipiente con agua y proceden a llevarlo unos pasos al Norte para iniciar su vertido por un orificio en la base del recipiente. Luego vuelven a la Línea Ecuatorial, llenan nuevamente el recipiente y esta vez lo trasladan unos pasos al Sur. Los turistas asombrados observan como el sentido de giro es inverso cuando se realiza la prueba al Norte y al Sur del Ecuador.



FIGURA 5. Izquierda: Bart llama a Australia; Derecha: Bart llama al Polo Sur

A finales de 2009, William D. Stansfield publicó un artículo en la revista Skeptic Magazine acerca de este abuso científico. Stansfield desenmascaró el fraude de una manera magistral a través de agudas observaciones:

1. El recipiente usado generalmente es de forma rectangular y profundo, el orificio en el fondo no es muy grande.
2. Aunque no hay precauciones especiales para el llenado, este se realiza de manera que no se ocasionen grandes perturbaciones.
3. Una vez que el recipiente está lleno, el estafador lo lleva al Norte o al Sur pero realiza un giro sobre el recipiente antes de trasladarlo unos pasos adelante, es decir que no lo lleva directamente (avanzando en línea recta) sino que lo gira al inicio del recorrido. Adicionalmente, antes de instalar el recipiente para llevar a cabo la demostración, el estafador gira nuevamente el recipiente en la misma dirección que al inicio. Cuando lo lleva al Norte lo gira en sentido antihorario y al llevarlo al sur lo gira en sentido horario (Ver Figura 6). Para discernir el sentido de giro pone a flotar sobre la superficie del agua unas trazas de pimienta o pequeñas ramas.

Stansfield explica que el conjunto de condiciones anteriores induce una perturbación intencional en el fluido, favoreciendo una rotación generada por una fuerza, superior en muchos órdenes de magnitud, a la eventual fuerza de Coriolis que puede llegar a obtenerse en las cercanías del Ecuador, con lo cual se consuma la estafa.

No es posible dar fin a esta retahíla de conceptos y personajes reales y ficticios sin dejar unos límites establecidos en materia de vórtices naturales y mucho menos sin mencionar a Carl-Gustav Arvid Rossby (1898-1957). Rossby fue un meteorólogo (no confundir con metrólogo) de origen sueco que por primera vez formuló una explicación científicamente coherente con relación a los movimientos atmosféricos de gran escala. Trabajó en el U.S. Weather Bureau en el desarrollo teórico de la física asociada a la turbulencia atmosférica. También estudió los fenómenos oceanográficos y sus interacciones con la atmósfera.

Rossby formuló un parámetro adimensional denominado “Número de Rossby”. Este parámetro, el cual se aplica al flujo de fluidos, representa la relación existente entre las fuerzas inerciales (dinámicas) y la fuerza de Coriolis debida a la rotación planetaria³. Este número es usado ampliamente en ciencias geofísicas y en estudios de los océanos y la atmósfera.

³En la literatura Rusa el mismo parámetro se conoce como el “Número de Kibel” debido a que el científico I.A. Kibel introdujo este concepto en 1941, cuando trabajaba acerca de métodos numéricos aplicados a pronósticos climáticos.

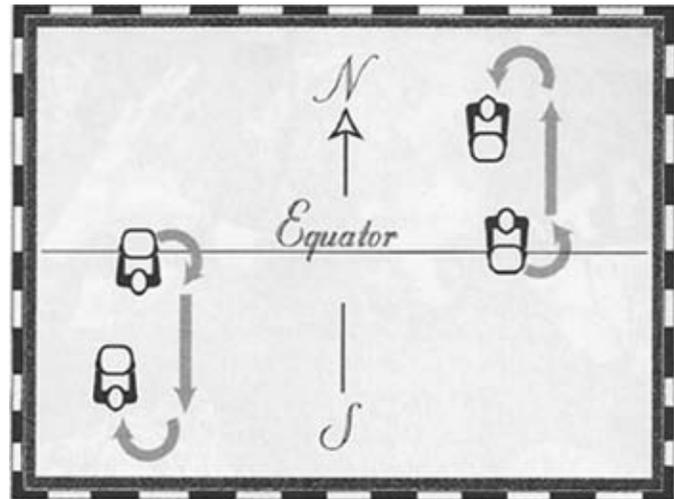


FIGURA 6. Fraude de la demostración del Efecto Coriolis en el Ecuador (tomado de Stansfield (2009))

El número de Rossby (R_o) se define como:

$$R_o = \frac{U}{Lf}$$

Donde U y L son las dimensiones velocidad y longitud características del fenómeno o flujo que se está analizando. Por otra parte, $F=2 \omega \sin(\text{Latitud})$ representa la frecuencia de Coriolis, en la que ω es la velocidad angular del planeta en rotación, igual que se discutió anteriormente. De esta forma, tenemos:

$$R_o = \frac{U}{2L\omega \sin(\text{latitud})}$$

Al encontrarse la fuerza de Coriolis en el denominador, un número de Rossby pequeño significará un predominio de las fuerzas de Coriolis sobre las dinámicas, mientras que un número de Rossby grande representa el dominio por parte de las fuerzas inerciales y centrífugas.

Por ejemplo, el número de Rossby para un tornado como los que azotan frecuentemente el centro de Estados Unidos es muy alto, del orden de 1000, lo cual indica que en este tipo de fenómenos predomina la componente dinámica. Por otra parte, en sistemas de baja presión, como por ejemplo los ciclones, el número de Rossby es bajo, del orden de 0,1 a 1, lo cual a su vez nos da una idea de la alta significancia de las fuerzas de Coriolis en este tipo de fenómenos.

Cuando analizamos el número de Rossby para el caso del vórtice en una bañera, balde, tanque o recipientes a escala doméstica y de laboratorio, encontramos que en dichos artefactos el efecto de las fuerzas de Coriolis es sumamente pequeño, del orden de 10^{-6} o 10^{-5} m/s, de manera que sin el debido cuidado u preparación de las pruebas, se obtendrán números de Rossby altos (predominio de fuerzas inerciales). Con este análisis se ratifica que la estabilidad en las condiciones de la prueba y el estado de reposo del fluido es

sin lugar a dudas el parámetro restrictivo de mayor relevancia para llevar a cabo este tipo de experimentos.

Con seguridad no hemos tratado un tema tan profundo como la teoría general de la relatividad de Einstein y su demostración experimental, ni tampoco hemos hablado de los medidores de caudal másico tipo Coriolis, pero aspiro a que este artículo lo haya entretejido con una calidad y contenido mejores que los que encontraría en un episodio de Los Simpson. Además, sin lugar a dudas, el lector ya cuenta con material de sobra para armar una conversación larga y tendida, o para discutir la próxima vez que escuche a alguien hablar sobre el sentido de giro del vórtice en cualquier desagüe. Después de todo, espero haber logrado ahorrarle tiempo perdido mirando los desagües en los baños de los hoteles de los países que visite, abajo o arriba del Ecuador, esa línea ficticia que atraviesa Colombia unos 12 minutos de arco por encimita de Puerto Leguizamo (Putumayo).

Referencias

- Stansfield, William D., "The Coriolis Effect - ¿Does Water Drain in Different Directions in the Northern and Southern Hemispheres?", Sceptic Magazine Vol. 15 No. 2, 21-25 (2009),
- Stern, David P., "From Stargazers to Starships - (24b) Rotating Frames of Reference in Space and on Earth", (<http://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/>)
- Peralta-Fabi, Ramón, "Fluidos: Apellido de Líquidos y Gases", Fondo de Cultura Económica, (1993)
- Ripa, Pedro, "La Increíble Historia de la Malentendida Fuerza de Coriolis", Fondo de Cultura Económica (1996)
- Shapiro, Ascher, "Bath-Tub Vortex", Nature 196, 1080-1081 (1962)
- Andrade, E.N. da C., "Bath-Tub Vortex", Nature 197, 480 (1963)
- Lloyd M. Trefethen, R.W. Bilger, P.T. Fink, R.E. Luxton, R.I. Tanner, "The Bath-Tub Vortex in the Southern Hemisphere", Nature 207, 1084-1085 (1965)
- Binnie, A.M., "Some Experiments on the Bath-Tub Vortex", Journal of Mechanical Engineering Science 6(3), 256-257 (1964)
- Cope, Winston, "The Bathtub Vortex", American Scientist, 71(6), 566 (1983)
- Faber, T. E., "Fluid Dynamics for Physicists", Cambridge University Press (1995)
- Rigge, W.F., "Experimental Proofs of the Earth's Rotation", Popular Astronomy, Vol 21, pp. 267-276 (1913)