Cálculo simple de las fuerzas colineales en la configuración Tierra-Luna-Sol durante el eclipse solar del 21 de agosto de 2017

Maya Alpizar

19 de agosto de 2017

1. Introducción

Con motivo del eclipse total de Sol que podrá ser visto fundamentalmente en la franja norte de los Estados Unidos de Norteamérica el día 21 de agosto de 2017, se integró un artículo compuesto de dos partes. La primera (El eclipse del 21 de agosto y el medio kilo que no fue), la cual debería leer primero para comprender lo que a continuación se expone, muestra cómo algunos medios de comunicación transmiten datos errados al no ser capaces de comprender el lenguaje que la ciencia usa para explicar algunas noticias que son del interés colectivo, como lo es la ocurrencia de los eclipses y otras efemérides astronómicas. Si bien es cierto que también es responsabilidad de los científicos el aprender a comunicar las noticias de manera clara para el público en general, no puede obviarse el hecho de que las agencias de noticias tomaron el texto presentado en la página de la NASA sin siquiera haberlo leído bien, lo cual generó mucha confusión pues se presentó información tergiversada en diversos medios electrónicos.

La segunda parte, expuesta en este documento, presenta dos cálculos en referencia al la mencionada pérdida de peso que las personas experimentarían durante el eclipse total de Sol. El primero se realiza calculando las fuerzas de atracción gravitacional a partir de los valores promedio de las distancias entre la Tierra y una persona parada en su superficie (en el ecuador), entre la persona y la Luna y entre la persona y el Sol. El segundo parte de considerar los datos reales de las distancias cuando una persona se encuentra en el lugar y en el momento preciso del eclipse total de Sol. En ambos casos se incorpora la influencia de la fuerza centrífuga debida a la rotación de la Tierra.

2. Cálculo de las fuerzas usando los valores promedio de los datos

La Ley de la Gravitación Universal de Newton dice que la fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. En términos matemáticos, la magnitud de la fuerza atractiva se representa como:

$$F_{ab} = \frac{GM_aM_b}{r^2},$$

donde G es la constante de gravitación universal, F_{ab} es la fuerza de atracción entre el cuerpo a y el cuerpo b, M_a y M_b son las masas de los cuerpos a y b, respectivamente, y r es la distancia entre ambos.

Cantidad física	Valor [SI]
Constante de gravitación universal	$G = 6.6739 \times 10^{-11} Nm^2/kg^2$
Masa de la Tierra	$M_\oplus = 5.9742 \times 10^{24} kg$
Masa del Sol	$M_\odot = 1.9891 \times 10^{30} kg$
Masa de la Luna	$M_L = 7.349 \times 10^{22} kg$
Radio de la Tierra (Ecuador)	$R_\oplus = 6.37814 \times 10^6 m$
Distancia promedio entre la Tierra y el Sol	$D_{\oplus\odot} = 1UA = 1.49599 \times 10^{11} m$
Distancia promedio entre la Tierra y la Luna	$D_{\oplus L} = 3.844 \times 10^8 m$

Cuadro 1: Cantidades físicas y distancias orbitales promedio para la Tierra, la Luna y el Sol.

En la configuración del sistema Tierra-Luna-Sol que se tendrá durante el eclipse del 21 de agosto, las fuerzas de atracción ejercidas por estos astros serán colineales (ver Fig. 1), razón por la cual, su sumatoria se simplifica a una simple operación aritmética (sumas y restas). Determinemos pues sus magnitudes usando los valores promedio de las distancias que definen a este sistema, suponiendo que la persona que observa el eclipse pudiera hacerlo desde el ecuador terrestre (ver Tabla 1).

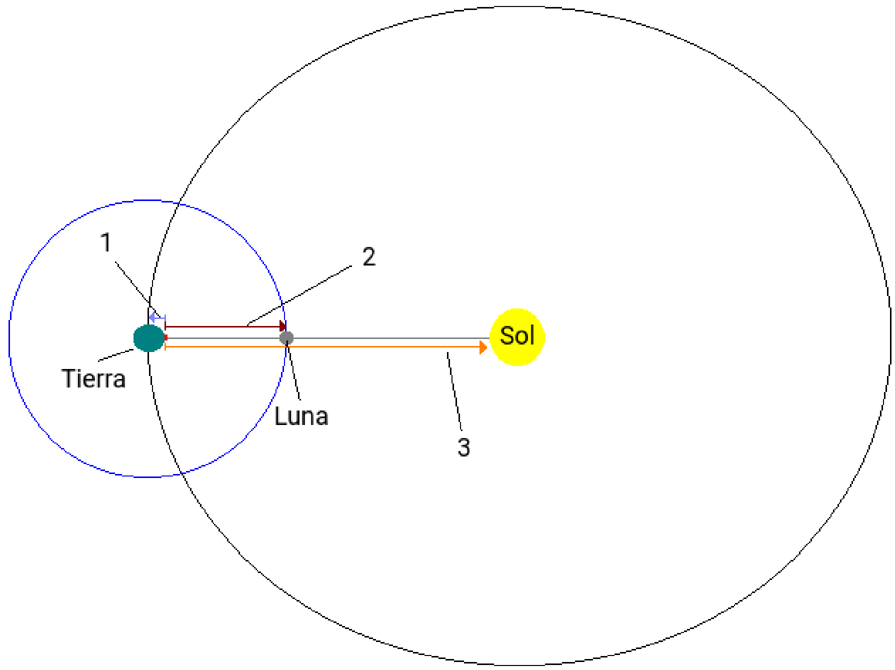

Figura 1: Sistema Tierra-Luna-Sol visto "desde arriba" en una alineación "perfecta". Las fuerzas atractivas se representan por medio de las flechas de colores. La número 1 corresponde a la fuerza de atracción entre la Tierra y una persona parada en su superficie (peso o F_1). La 2, entre esa misma persona y la Luna (F_2) y la 3 corresponde a la del Sol sobre la persona (F_3).

El peso de la persona (F_1) puede hallarse fácilmente a partir de la expresión matemática de la Ley de la Gravitación Universal, considerando que se encuentra parada en la superficie terrestre y justo en el ecuador; esto es:

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{GM_\oplus M_p}{r^2_{\oplus p}} = \frac{GM_\oplus M_p}{R^2_\oplus} \\ &= \frac{\left(6.6739 \times 10^{-11} {}^{Nm^2}/_{Kg^2}\right)\left(5.9742 \times 10^{24} kg\right) M_p}{6.37814 \times 10^6 m} \\ &= \left(9.80102 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p, \end{aligned}$$

donde M_p es la masa de la persona y $r_{\oplus p}$ es la distancia entre ésta y el centro del planeta.

En la nota publicada por la NASA, los valores numéricos presentados se calcularon suponiendo que un ser humano tiene una masa de 80kg. Para efectos de comparación con dicha nota, consideremos la misma masa para nuestro observador. Su peso será entonces de:

$$\begin{aligned} F_1 &= (9.80102 {}^{m}/{}_{s^2})\,(80kg) \\ &= 784.08N. \end{aligned}$$

Calculemos ahora la fuerza que ejerce la Luna sobre él (F_2):

$$F_2 = \frac{GM_L M_p}{r_{Lp}^2} = \frac{GM_L M_p}{(D_{\oplus L} - R_{\oplus})^2}.$$

De la ecuación anterior puede verse que, para encontrar la separación entre la persona y la Luna, se debe restar el valor del radio terrestre ($R_{\oplus}$) a la distancia entre los centros de la Tierra y de la Luna ($D_{\oplus L}$) (ver Fig. 2).

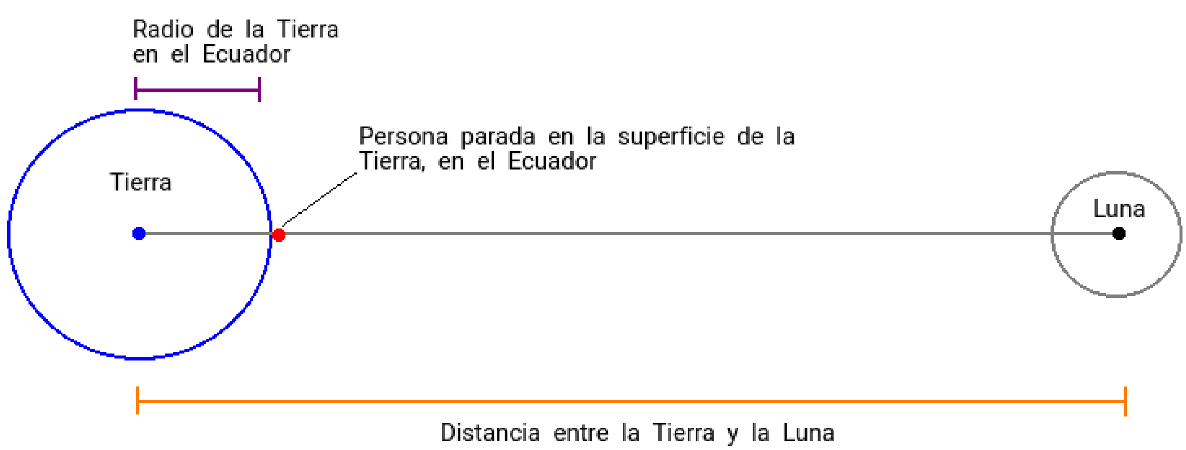

Figura 2: Para calcular la distancia entre una persona parada en la superficie de la Tierra y la Luna, es necesario restarle al valor de la distancia entre la Tierra y la Luna ($D_{\oplus L}$), el valor del radio terrestre ($R_{\oplus}$). Se presenta una situación análoga en la configuración persona-Sol.

Continuemos sustituyendo los valores adecuados en nuestra ecuación:

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{\left(6.6739 \times 10^{-11} {}^{Nm^2}\!/\!{}_{Kg^2}\right)\left(7.349 \times 10^{22} Kg\right) M_p}{\left(3.844 \times 10^8 m - 6.37814 \times 10^6 m\right)^2} \\ &= \left(3.4322 \times 10^{-5} {}^{m}\!/\!{}_{s^2}\right) M_p. \end{aligned}$$

De nuevo, para un observador de 80kg, la fuerza de atracción entre él y la Luna es de:

$$\begin{aligned} F_2 &= \left(3.4322 \times 10^{-5} {}^{m}\!/\!{}_{s^2}\right)(80kg) \\ &= 2.7457 \times 10^{-3} N. \end{aligned}$$

Finalmente, la fuerza de atracción entre el Sol y la persona (F_3), que aquí se sitúa en el ecuador terrestre, puede hallarse así:

$$\begin{aligned} F_3 &= \frac{GM_\odot M_p}{r_{\odot p}^2} = \frac{GM_\odot M_p}{\left(D_{\oplus\odot} - R_\oplus\right)^2} \\ &= \frac{\left(6.6739 \times 10^{-11} {}^{Nm^2}\!/\!{}_{Kg^2}\right)\left(1.9891 \times 10^{30} kg\right) M_p}{\left(1.49599 \times 10^{11} m - 6.37814 \times 10^6 m\right)^2} \\ &= \left(5.9322 \times 10^{-3} {}^{m}\!/\!{}_{s^2}\right) M_p. \end{aligned}$$

De nuevo, tomando una masa de 80kg, la fuerza de atracción es de:

$$\begin{aligned} F_3 &= \left(5.9322 \times 10^{-3} {}^{m}\!/\!{}_{s^2}\right)(80kg) \\ &= 0.4745 N. \end{aligned}$$

Tras las operaciones realizadas podemos ver que, sin la acción de la Luna ni del Sol, una persona de 80kg situada en el ecuador pesa 784.08 newtons. Por otro lado, cuando se incluye el efecto de estos dos cuerpos, su peso disminuye debido al influjo gravitacional que ejercen, quedando en $784.08N - 0.0027N - 0.4745N = 783.6028N$.

Ahora, el planeta Tierra tiene un movimiento de rotación sobre su eje, de modo que sus habitantes nos encontramos sobre un cuerpo que se mueve aceleradamente y por lo tanto experimentamos la acción de una "fuerza" que tiende a expulsarnos fuera de ella; la fuerza centrífuga. Es como cuando hacemos girar una piedra atada a un hilo; si lo soltamos, esa piedra saldrá volando, pero mientras permanezca atada, seguirá girando sobre la misma trayectoria. El efecto de la fuerza centrífuga se manifiesta, en este caso, como una reducción de nuestro peso.

Su magnitud se obtiene a partir de la expresión matemática

$$F_{cf} = m\omega^2 r = \frac{mv^2}{r},$$

donde F_{cf} es la magnitud de la fuerza centrífuga, m es la masa del cuerpo que rota, ω es la velocidad angular del cuerpo en rotación, r es la distancia desde el eje de rotación hasta el cuerpo que rota y v es la velocidad tangencial del cuerpo que rota.

En el caso de la persona parada en el ecuador, necesitamos encontrar tanto su velocidad angular como la distancia que la separa del eje de rotación (ver Fig. 3).

Empecemos por calcular su velocidad angular, la cual está dada por:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \frac{v}{r},$$

donde T es el período, es decir, el tiempo que le toma dar una vuelta completa alrededor del eje de rotación; f es su frecuencia de giro, v su velocidad tangencial y r la distancia al eje de rotación. En este caso, conviene usar el período de rotación, dado que es el tiempo que la Tierra tarda en dar una vuelta sobre su propio eje, siendo de 23 horas, 56 minutos y 4.1 segundos; es decir, $T = 86164.1s$. Por lo tanto, la velocidad angular es:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi}{T} \\ &= \frac{2\pi}{86164.1} Hz.\end{aligned}$$

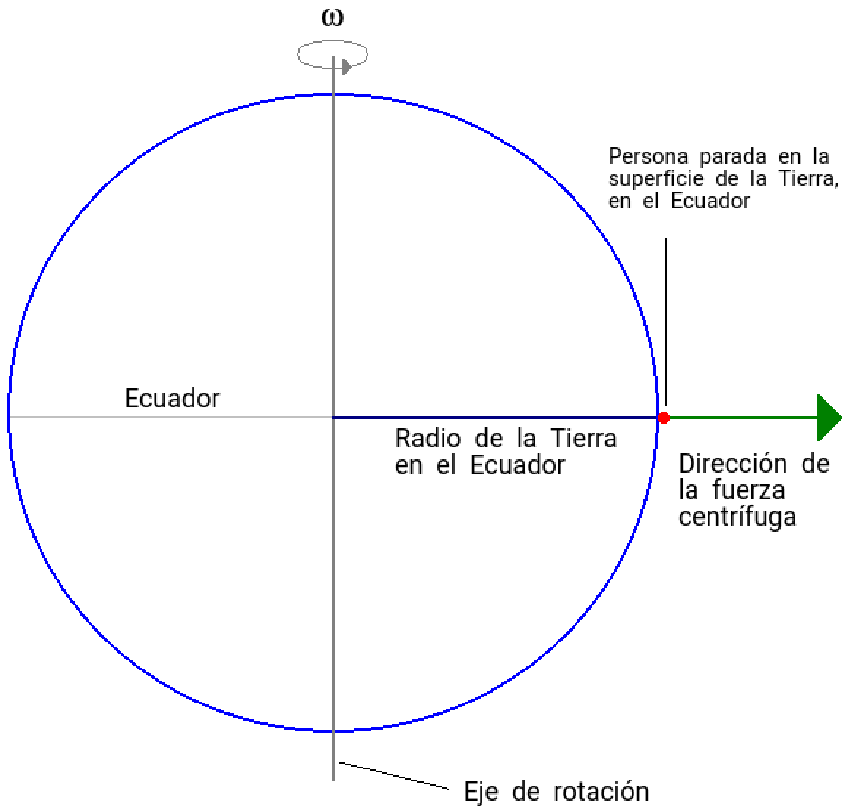

Figura 3: Debido a la rotación terrestre, experimentamos una fuerza que tiende a expulsarnos fuera del planeta; se le llama fuerza centrífuga F_{cf} y actúa en dirección opuesta al peso de un cuerpo situado en la superficie de nuestro planeta. La distancia que existe entre la persona y el eje de rotación es precisamente el radio de la Tierra en el Ecuador $R_\oplus$.

Recordemos que $1Hz = {}^1/_s$. Lo que sigue es calcular la fuerza centrífuga en el ecuador ($r = R_\oplus$):

$$\begin{aligned}
F_{cf} &= m\omega^2 r \\
&= M_p \left(\frac{2\pi}{86164.1s}\right)^2 \left(6.37814 \times 10^6 m\right) \\
&= \left(3.39157222 \times 10^{-2} {}^m/_{s^2}\right) M_p \\
&= 2.7133N.
\end{aligned}$$

Para saber cuál sería el valor que la báscula mostraría en este caso, pueden usarse

Fuerzas en el ecuador terrestre	Magnitud [N]
Peso de la persona (F_1)	784.08
Fuerza que ejerce la Luna sobre la persona (F_2)	0.0027
Fuerza que ejerce el Sol sobre la persona (F_3)	0.4745
Fuerza centrífuga (F_{cf})	2.7133

Cuadro 2: Fuerzas obtenidas a partir de los valores promedio de la Tabla 1. El cálculo se hizo en el ecuador; no toma en cuenta la latitud por la cual pasará la sombra de la Luna durante el eclipse total de Sol.

tanto los valores en newtons (ver resumen de datos en la Tabla 2) como los que están en términos de la masa de la persona. Se eligió el segundo caso pues, cuantas menos operaciones se realicen con los datos, el error también será menor y además, será posible sustituir la masa por la de cualquier otro individuo. El razonamiento es el siguiente:

Sin el efecto de la Luna y el Sol, el peso de la persona parada en el ecuador terrestre es:

$$\begin{aligned} F_1 - F_{cf} &= \left(9.80102 \,{}^{m}/{}_{s^2}\right) M_p - \left(3.3915 \times 10^{-2} \,{}^{m}/{}_{s^2}\right) M_p \\ &= \left(9.767105 \,{}^{m}/{}_{s^2}\right) M_p. \end{aligned}$$

Pero si lo incluimos, entonces su peso se reduce así:

$$\begin{aligned} F_1 - F_{fc} - F_2 - F_3 &= \left(9.80102 \,{}^{m}/{}_{s^2}\right) M_p - \left(3.3915 \times 10^{-2} \,{}^{m}/{}_{s^2}\right) M_p \\ &\quad - \left(3.4322 \times 10^{-5} \,{}^{m}/{}_{s^2}\right) M_p - \left(5.9322 \times 10^{-3} \,{}^{m}/{}_{s^2}\right) M_p \\ &= \left(9.761138 \,{}^{m}/{}_{s^2}\right) M_p. \end{aligned}$$

Simplifiquemos un poco nuestras variables. Llamaremos fuerza inicial F_i al peso de la persona sin considerar el efecto gravitacional del Sol y la Luna:

$$F_i = F_1 - F_{cf}.$$

Y fuerza final F_f al peso que toma en cuenta los efectos gravitacionales del Sol y la Luna:

$$F_f = F_1 - F_{cf} - F_2 - F_3.$$

Asimismo, consideremos que el peso normal es aquel en el que no se toma en cuenta el efecto gravitatorio de la Luna y el Sol (F_i). Entonces, ¿cuál sería la masa de la persona si su peso "normal" fuera el que resulta de tomar en cuenta el efecto de atracción de la Luna y el Sol (F_f)? Matemáticamente lo representamos de la siguiente manera:

$$\frac{F_i}{M_p} = \frac{F_f}{M_f},$$

donde M_p es la masa que tiene la persona (aquí, por ejemplo, es de 80kg) y M_f es la masa que aparenta tener porque su peso se reduce debido al efecto gravitacional de la Luna y el Sol. De tal forma que podemos despejar la masa aparente:

$$\begin{aligned} M_f &= \frac{F_f}{F_i} M_p \\ &= \frac{\left(9.761138^{m}/_{s^2}\right) M_p}{\left(9.767105^{m}/_{s^2}\right) M_p} M_p \\ M_f &= 0.9993889 M_p. \end{aligned}$$

Entonces, si queremos saber cuál fue la "pérdida de masa" aparente dM (no olvidar que lo que se reduce es el peso), debemos hacer:

$$\begin{aligned} dM &= M_p - M_f \\ &= M_p - 0.999389 M_p \\ dM &\approx 6.1092 \times 10^{-4} M_p. \end{aligned}$$

Para una persona de 80kg, la pérdida de masa aparente debido al efecto gravitacional de la Luna y el Sol es de:

$$\begin{aligned} dM &\approx 6.1092 \times 10^{-4}\,(80kg) \\ &\approx 0.04887kg. \end{aligned}$$

Así pues, parecería que una persona de 80kg perdió 48.87 gramos debido al eclipse total de Sol (usando valores promedio y en el ecuador).

3. Cálculo de las fuerzas usando los valores para el día 21 de agosto de 2017

Enfoquémonos ahora en el caso real del 21 de agosto. La Tierra tiene una inclinación con respecto al plano de su órbita, la cual hace que, al momento de la alineación con la Luna y el Sol, la sombra de nuestro satélite natural se proyecte en una zona diferente al ecuador (vea Fig. 4). Por otro lado, dado que la Tierra está ligeramente achatada en los polos, es decir, no es completamente esférica, la fuerza de gravedad es ligeramente distinta a lo largo de su superficie. Entonces, será necesario calcular el valor de esta fuerza en el lugar y tiempo exacto del evento (ver Tabla 3). Los datos correspondientes a las distancias entre los astros implicados durante el eclipse se obtuvieron con el programa computacional KStars.

Cantidad física	Valor [SI]
Distancia entre la Tierra y el Sol	$D_{\oplus\odot} = 1.012UA$
Distancia entre la Tierra y la Luna	$D_{\oplus L} = 3.7229951 \times 10^8 m$
Latitud a la cual se tendrá el eclipse total de Sol	$\varphi = 37.5763°N$
Radio ecuatorial (semieje mayor)	$a = 6.3781370 \times 10^8 m$
Radio polar (semieje menor)	$b = 6.3567523 \times 10^8 m$

Cuadro 3: Datos necesarios para efectuar el cálculo de las fuerzas de atracción. Las distancias orbitales para el día 21 de agosto de 2017 se obtuvieron a través del programa computacional KStars.

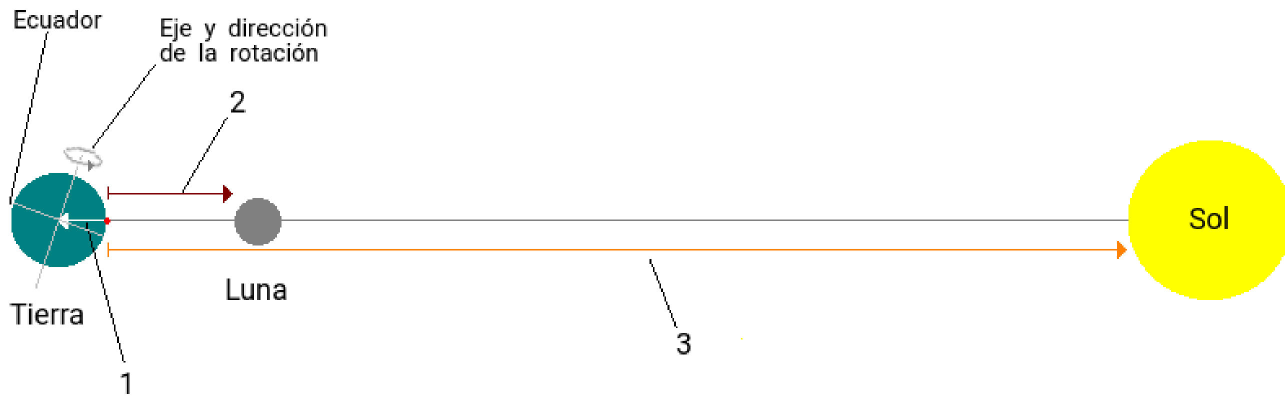

Figura 4: Sistema Tierra-Luna-Sol con la Tierra ligeramente inclinada. Puede verse que la sombra de la Luna durante el eclipse total de sol no pasará por el ecuador sino por una trayectoria que recorre latitudes superiores. Las flechas representan las fuerzas de atracción entre una persona (punto rojo) y los tres diferentes cuerpos; (1, en blanco) con la Tierra, (2, en vino) con la Luna y (3, en anaranjado) con el Sol.

Empecemos calculando el valor del radio terrestre en la latitud $\varphi = 37.5763°N$, que es donde el eclipse total tendrá su mayor duración (ver Fig. 5).

Dado que la Tierra es un esferoide cuyo corte transversal corresponde a una elipse, el radio terrestre en función de la latitud ($r(\varphi)$) puede hallarse a partir de una función derivada de la ecuación de la elipse (ver Fig. 6). Esto es:

$$\begin{aligned} r(\varphi) = \rho &= \left[\frac{\left(a^2\cos\varphi\right)^2 + \left(b^2\mathrm{sen}\varphi\right)^2}{\left(a\cos\varphi\right)^2 + \left(b\mathrm{sen}\varphi\right)^2}\right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{\left((6378.1370km)^2\cos(37.5763)\right)^2 + \left((6356.7523km)^2\,\mathrm{sen}(37.5763)\right)^2}{\left((6378.1370km)\cos(37.5763)\right)^2 + \left((6356.7523km)\,\mathrm{sen}(37.5763)\right)^2}\right]^{1/2} \\ &\approx 6370.2264km. \end{aligned}$$

Ahora, conocido el valor adecuado para el radio de la Tierra en esa latitud,

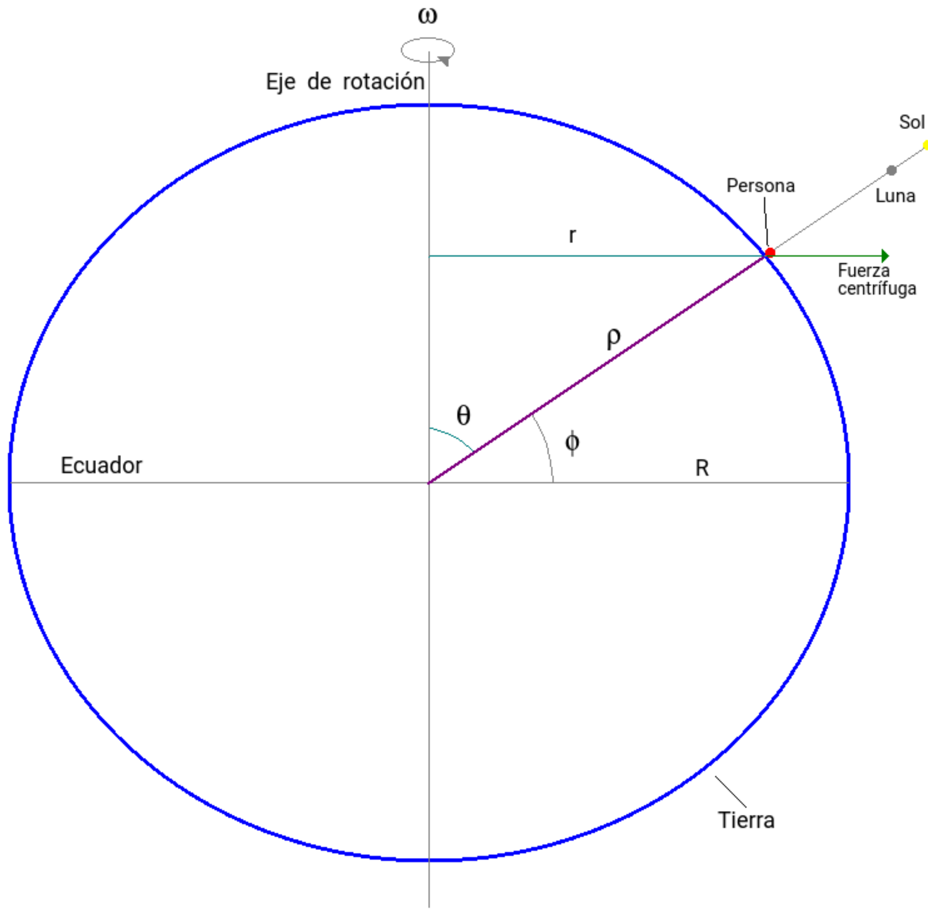

Figura 5: La latitud que corresponde a la máxima duración del eclipse total de Sol es $\varphi = 37.5763°N$. El radio de la tierra en esa latitud es $r_{\oplus}(\varphi) = \rho$.

podemos calcular las tres fuerzas calculadas para el caso ecuatorial (sección previa).

Peso de la persona:

$$\begin{aligned}
F_1 &= \frac{GM_{\oplus}M_p}{r_{\oplus p}^2} = \frac{GM_{\oplus}M_p}{\rho^2} \\
&= \frac{\left(6.6739 \times 10^{-11} {}^{Nm^2}/_{Kg^2}\right)\left(5.9742 \times 10^{24} kg\right) M_p}{6.3702264 \times 10^6 m} \\
&= \left(9.82538 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p \\
&= \left(9.82538 {}^{m}/_{s^2}\right)(80kg) \\
&= 786.0304N.
\end{aligned}$$

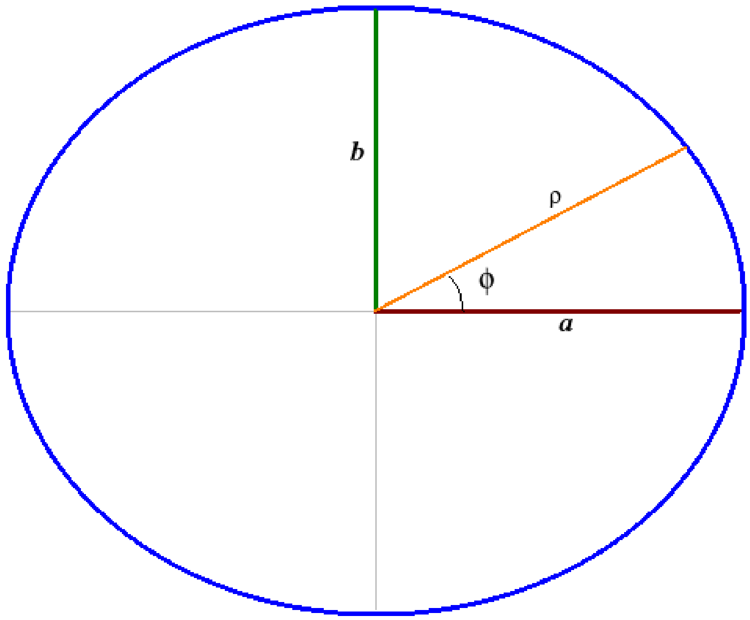

Figura 6: Para hallar el radio ρ en una elipse, es necesario conocer los datos del semieje mayor a y del semieje menor b, además del ángulo al cual se encuentra el radio deseado.

Fuerza entre la persona y la Luna:

$$
\begin{aligned}
F_2 = \frac{GM_LM_p}{r_{Lp}^2} &= \frac{GM_LM_p}{\left(D_{\oplus L} - \rho\right)^2} \\
&= \frac{\left(6.6739 \times 10^{-11 Nm^2/Kg^2}\right)\left(7.349 \times 10^{22} Kg\right) M_p}{\left(3.7229957 \times 10^8 m - 6.3702264 \times 10^6 m\right)^2} \\
&= \left(3.6628034 \times 10^{-5 m/s^2}\right) M_p \\
&= \left(3.6628034 \times 10^{-5 m/s^2}\right)(80kg) \\
&= 0.0029N.
\end{aligned}
$$

Fuerza entre la persona y el Sol:

$$
\begin{aligned}
F_3 &= \frac{GM_\odot M_p}{r_{\odot p}^2} = \frac{GM_\odot M_p}{\left(D_{\oplus\odot} - \rho\right)^2} \\
&= \frac{\left(6.6739 \times 10^{-11} Nm^2/Kg^2\right)\left(1.9891 \times 10^{30} kg\right) M_p}{\left(1.49599 \times 10^{11} m\,(1.012) - 6.3702264 \times 10^6 m\right)^2} \\
&= \left(5.792345 \times 10^{-3} m/s^2\right) M_p \\
&= \left(5.792345 \times 10^{-3} m/s^2\right)(80kg) \\
&= 0.4633N.
\end{aligned}
$$

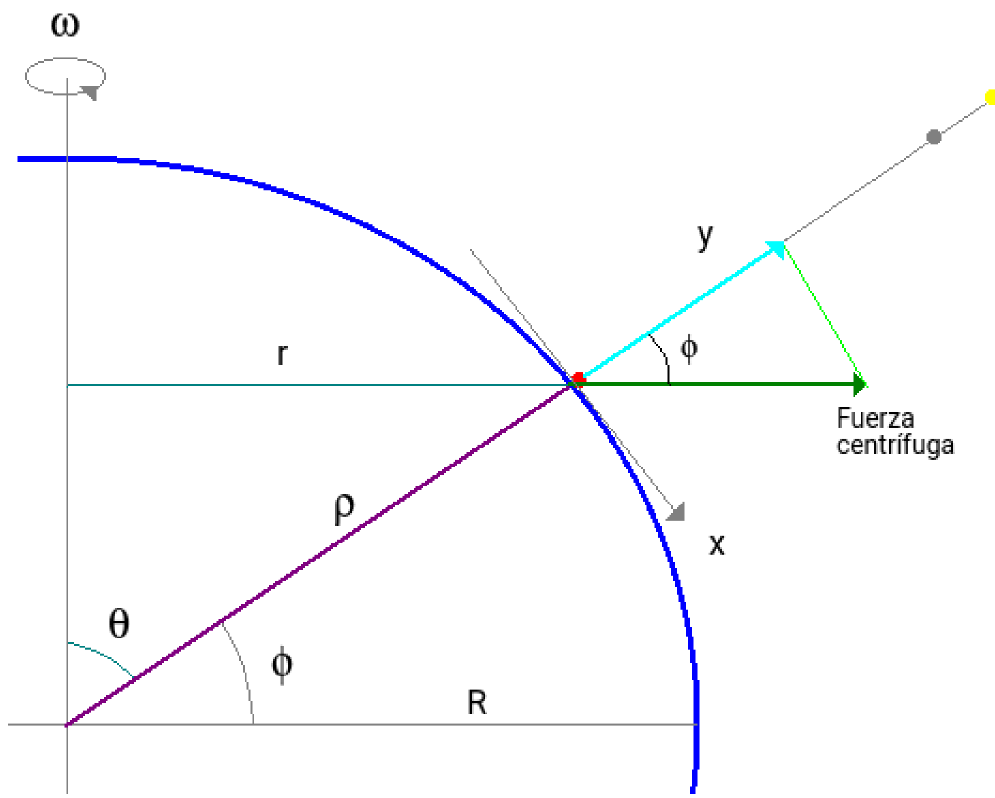

Figura 7: Para tomar en cuenta la fuerza centrífuga se debe obtener su componente en el eje y, ya que es la que actúa sobre la misma línea que las fuerzas gravitacionales producidas por la Tierra, la Luna y el Sol.

Determinemos ahora la magnitud de la fuerza centrífuga. Primero debe calcularse la velocidad angular de la Tierra. No obstante, dado que no cambia, el valor buscado es el mismo que se obtuvo en la sección precedente:

$$\omega = \frac{2\pi}{86164.1} Hz.$$

Por otro lado, necesitamos hallar el valor de la distancia al eje de rotación. Para ello, usamos la definición de la función trigonométrica Seno (ver Fig. 7):

$$\text{sen}\theta = \frac{C.Opuesto}{Hipotenusa} = \frac{r}{\rho}.$$

Como los ángulos θ y ϕ suman 90°, entonces podemos conocer el valor de θ y por lo tanto, derivar el valor de r:

$$r = \rho \text{sen}\,(90 - \varphi)\,.$$

Finalmente, sustituyamos los datos en la ecuación para encontrar la fuerza centrífuga:

$$\begin{aligned}
F_{cf} &= m\omega^2 r \\
&= M_p \left(\frac{2\pi}{86164.1s}\right)^2 \left(\left(6.3702264 \times 10^6 m\right) \text{sen}\,(90 - 37.5763)\right) \\
&= \left(0.02684628 {}^{m}\!/_{s^2}\right) M_p \\
&= \left(0.02684628 {}^{m}\!/_{s^2}\right) (80kg) \\
&= 2.1417N.
\end{aligned}$$

Note que la magnitud de la fuerza (en newtons) corresponde al caso de una persona de 80kg. Como se puede ver en la figura 7, la fuerza centrífuga total no actúa sobre la línea definida por el sistema Tierra-Luna-Sol. Siendo así, se necesita encontrar la componente de dicha fuerza en la dirección de la alineación definida por los astros citados; esto es, según el sistema de referencia impuesto, en dirección y. De nuevo, utilizamos la definición de una función trigonométrica, pero en este caso será el Coseno:

$$\cos\varphi = \frac{C.Adyacente}{Hipotenusa} = \frac{F_{cf_y}}{F_{cf}}$$

Así, la componente de la fuerza centrífuga en la dirección Tierra-Luna-Sol es:

$$\begin{aligned} F_{cf_y} &= F_{cf}\cos\varphi \\ &= \left(0.02684628 ^m/_{s^2}\right) M_p \cos\left(37.5763\right) \\ &= \left(0.02127675 ^m/_{s^2}\right) M_p \\ &= \left(0.02127675 ^m/_{s^2}\right)\left(80kg\right) \\ &= 1.7021N \end{aligned}$$

Observe que el valor de la componente en la dirección y es el 79 % de la fuerza total. De nuevo, el valor en newtons corresponde con la masa de una persona de 80kg.

Ahora, teniendo ya las magnitudes de todas las fuerzas que actúan sobre una persona parada en el lugar y a la hora del eclipse (ver Tabla 4) podemos hacer su sumatoria de manera análoga al del caso ecuatorial: $786.0304N - 0.4633N - 0.029N - 1.7021N = 783.8621N$. El peso de la persona se redujo en $2.1683N$.

Fuerzas en la latitud φ	Magnitud [N]
Peso de la persona (F_1)	786.0304
Fuerza que ejerce la Luna sobre la persona (F_2)	0.4633
Fuerza que ejerce el Sol sobre la persona (F_3)	0.0029
Fuerza centrífuga (componente en el eje ”y”, F_{cf_y})	1.7021

Cuadro 4: Fuerzas calculadas a partir de los valores mostrados en la Tabla 3.

Cuando una persona de 80kg se encuentra en la latitud $\varphi = 37.5763°N$, bajo el influjo de la gravedad terrestre y de la fuerza centrífuga debida a la rotación del planeta, pesará una cantidad igual a $786.0304N - 1.7021N = 784.3283N$. Sin embargo, cuando los efectos de la Luna y del Sol se toman en cuenta, su peso será de $783.8621N$. Suponiendo que la persona ignorara el efecto del eclipse, ¿cuánta masa pensaría que perdió si se ”pesara” justo en ese momento?

De forma análoga al caso ecuatorial, tomemos los valores de las sumatorias de las fuerzas:

$$\begin{aligned} F_1 - F_{cf} &= \left(9.82538 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p - \left(0.02127675 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p \\ F_i &= \left(9.804103 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_1 - F_{fc} - F_2 - F_3 &= \left(9.82538 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p - \left(0.02127675 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p \\ &\quad - \left(3.6628034 \times 10^{-5} {}^{m}/_{s^2}\right) M_p - \left(5.792345 \times 10^{-3} {}^{m}/_{s^2}\right) M_p \\ F_f &= \left(9.798274 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p \end{aligned}$$

Para obtener la diferencia de las masas:

$$\begin{aligned} M_f &= \frac{F_f}{F_i} M_p \\ &= \frac{\left(9.798274 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p}{\left(9.804103 {}^{m}/_{s^2}\right) M_p} M_p \\ M_f &= 0.999405 M_p \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dM &= M_p - M_f \\ &= M_p - 0.999405 M_p \\ &\approx 5.9454 \times 10^{-4} M_p \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dM &\approx 5.9454 \times 10^{-4} \left(80kg\right) \\ &\approx 0.04756kg \end{aligned}$$

Con esto, la persona pensaría que perdió una masa (aparente) de $dM \approx 0.04756kg$

o 47.56 gramos.

Finalmente, podemos calcular la disminución aparente de la masa para distintas personas (ver Tabla 5):

Masa de la persona (kg)	Masa aparente perdida durante el eclipse en la latitud φ (g)
50	29.72
60	35.67
70	41.62
80	47.56
90	53.51
100	59.45
110	65.40

Cuadro 5: Cálculo de la pérdida de masa aparente debida a los efectos gravitacionales de la Luna y el Sol en el momento y lugar del eclipse total de Sol del 21 de agosto de 2017.

4. Conclusiones

Los cálculos realizados muestran que, en definitiva, la afirmación de que durante el eclipse de Sol del próximo 21 de agosto "todas las personas bajaremos medio kilo de peso" es incorrecta. Lo que sí ocurrirá es que los individuos que se encuentren en el lugar de la Tierra donde el eclipse sea total y presente su mayor duración, experimentarán una disminución de su peso que estará determinada por la magnitud de su masa. Es decir, cuanto más masiva sea la persona, más peso perderá. No obstante, el efecto es pequeño. Si se expresa en términos de una disminución aparente de la masa, sería del orden de algunas decenas de gramos. Ahora bien, independientemente del eclipse, todo aquello que se encuentra en la superficie de nuestro planeta y en latitudes diferentes a las polares, siempre experimenta un efecto de disminución de su peso provocado por la fuerza centrífuga debida a la rotación terrestre. Si bien el efecto es mínimo para masas pequeñas como las de un ser humano, no lo es para masas de mucha mayor magnitud.

Por otro lado, vale la pena notar que el cálculo que se presentó en la página de la NASA no es consistente ya que para determinar el peso de la persona se supuso que se encuentra en el ecuador, es decir, se usó el valor del radio ecuatorial, al tiempo que para hallar las contribuciones de la Luna, el Sol y la fuerza centrífuga, se usó el radio que corresponde a la latitud de ocurrencia del eclipse, así como las distancias orbitales específicas del 21 de agosto de 2017. De ahí que obtengan como resultado un valor de 48.19 gramos (más parecido al primer cálculo de 48.87g) y no de 47.56g.

Finalmente, este ejercicio sirve para mostrar cómo la física que aprendemos en la formación básica puede ayudarnos a resolver problemas cotidianos sin la necesidad de grandes recursos, tales como supercomputadoras o software muy sofisticado.