

Tarea 7:  
**Cálculo del tamaño de un impactor  
de un cráter del Sistema Solar**

Ciencias Planetarias

Camilo Ospinal

Septiembre, 2023

## Introducción

Los planetas del Sistema Solar, los planetas enanos, las lunas, los asteroides y los cometas se formaron todos en un proceso de colisiones temprano como ya hemos revisado en anteriores tareas. Luego de la estabilización del Sistema Solar, pasando a ser tal y como lo conocemos hoy en día, las colisiones entre cuerpos, aunque mucho menos frecuentes, continuaron sucediendo. Se puede decir que todos los cuerpos mayores del Sistema Solar, unos más otros menos, reciben impactos de asteroides o cometas cada año. A la Tierra entra material que, gracias a su discreto tamaño, termina desintegrándose en la atmósfera, provocando estelas de luz a las cuales conocemos en la cultura general como "estrellas fugaces", otras catalogaciones son bólidos, meteoroides, y si llega a ser el caso de que la masa y tamaño del asteroide sea el suficiente para no colapsar en la región atmosférica y chocar contra la superficie del planeta, se dice que es un meteorito. Se estima que menos de 10000 meteoritos golpean la Tierra cada año, cosa que no sucede con otros cuerpos como la Luna, que es impactada todos los días por miles de toneladas cada día [1]. Los planetas sin atmósfera, como es de esperarse, son más propensos a que un cuerpo deje un cráter de una colisión sobre su superficie.

La morfología de un cráter depende de muchas características a considerar, dependiendo del tipo de colisión estos adquieren diferentes formas, aquellas más masivas dejan un cráter circular con un domo central del material de la zona impactada debido a que la colisión genera altas temperaturas que moldean la superficie haciéndola comportar como cuando una gota de agua cae sobre un estanque. Se han hecho experimentos de laboratorio que relacionan los parámetros justos que indican cuál va a ser el diámetro del cráter según la densidad, radio y velocidad del impactor, y densidad y gravedad local del planeta. . En *Planetary Science* podemos encontrar la ecuación que nos permite calcular lo mencionado [2]:

$$D \approx 2\rho_m^{0.11}\rho_p^{-1/3}g_p^{-0.22}R^{0.13}E_k^{0.22}(\sin\theta)^{1/3}$$

Donde  $\rho_p$  y  $\rho_m$  son las densidades del planeta y el impactor respectivamente.  $R$  el radio del impactor,  $E_k$  la energía cinética de impacto y  $\theta$  el ángulo de impacto. Con esta ecuación se calculará el tamaño que tuvo que haber tenido el impactor que dejó el cráter Herschel en Marte (ver *Fig. 1*). El cráter Herschel fue nombrado así por William Herschel y John Herschel, padre e hijo, ambos astrónomos, que posiblemente recuerde gracias a la primera temporada de *Cosmos*: una odisea de tiempo y espacio, episodio 3.

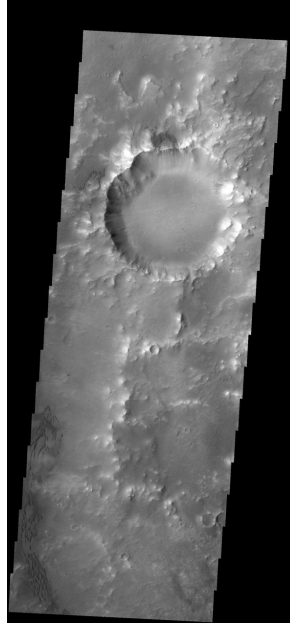


Figure 1: Imagen del cráter Herschel en Marte tomada por la misión 2001 Mars Odyssey. NASA/JPL

## Cálculos

El diámetro del cráter es aproximadamente de 304.5 km, vamos a suponer dos casos, que el impactor fue un asteroide o fue un cometa, además que el rango de velocidades posibles iban desde los 10 hasta los 40 km/s para el asteroide y de 40 a 70 km/s para el cometa. Los ángulos de impacto con los que vamos a trabajar son de  $30^\circ$  y  $90^\circ$ . Para el asteroide supondremos la densidad típica de una condrita,  $\rho_a = 3.5 \text{ g cm}^{-3}$  y para el cometa una densidad de  $\rho_c = 0.6 \text{ g cm}^{-3}$  [3]. La densidad de la superficie de Marte se tomará como  $\rho_p = 2.582 \text{ g cm}^{-3}$  [4] y la gravedad  $g_p = 3.71 \text{ m/s}^2$ . Finalmente, para la energía cinética, ya que desconocemos la masa del impactor, es necesario colocarla en términos de la densidad, por lo tanto, la ecuación resultante es:

$$D \approx 2\rho_m^{0.11}\rho_p^{-1/3}g_p^{-0.22}R^{0.13}\left(\frac{2}{3}\pi R^3\rho_m\right)^{0.22}(\sin\theta)^{1/3}$$

En la *Fig. 2*, se muestran los resultados solucionados numéricamente para  $R$  dependiendo de cada caso mencionado anteriormente. Para un ángulo de  $30^\circ$  se obtuvo un asteroide de radio mínimo de 14.17 km para el máximo de velocidad y un radio máximo de 30.68 km para el mínimo de velocidad; para un ángulo de  $90^\circ$  se obtuvo un radio mínimo de 10.58 km para el máximo de velocidad y un radio máximo de 22.90 km para el mínimo de velocidad. En el caso del cometa a un ángulo de  $30^\circ$  se obtuvo un radio mínimo de 21.68 km para el máximo de velocidad y un radio máximo de 29.61 km para el mínimo de velocidad; para el ángulo de  $90^\circ$  se obtuvo un radio mínimo de 16.18 km para el máximo de velocidad y un radio máximo de 22.10 km para el mínimo de velocidad.

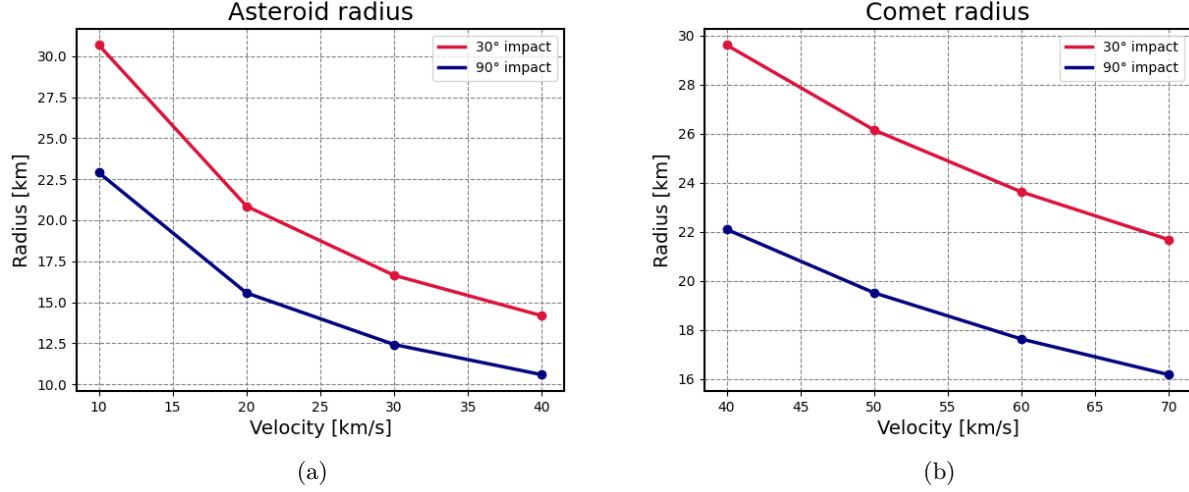


Figure 2: Variación del radio del impactor en función de su velocidad para ángulos de  $30^\circ$  (línea roja) y  $90^\circ$  (línea azul) con distintos parámetros de densidad propia y una densidad de corteza marciana de  $\rho_p = 2.582 \text{ g cm}^{-3}$ . **(a)** Para un asteroide con una densidad típica de una condrita ( $\rho = 3.5 \text{ g cm}^{-3}$ ). **(b)** Para un cometa de densidad  $\rho = 0.6 \text{ g cm}^{-3}$ .

## Conclusiones

En los intervalos de velocidades analizados los cometas muestran una tasa de cambio de radio más lineal que la tasa de cambio de los asteroides, es de esperarse que el comportamiento se mantenga para intervalos mayores de velocidades, no obstante, esto como resultado de las energías cinéticas de los primeros, puesto que al ser menos densos necesitan más energía para lograr resultados similares a los de un asteroide con energías más bajas. Se puede afirmar, entonces, que si se comparan los dos impactores en el mismo rango de velocidades, los radios del cometa serán mucho mayores que el del asteroide. Como se puede apreciar el radio tiende a 0 cuando la velocidad aumenta, así mismo que aumenta cuando la velocidad disminuye, esto se debe a que al aumentar la energía cinética del impactor la colisión va a ser más masiva y, por ende, se necesita menos masa para lograr el tamaño del cráter, el mismo razonamiento aplica para la disminución de la energía cinética, se necesita mucha más masa entonces para lograr el diametro dado. También se puede confirmar que las colisiones a  $90^\circ$  son más intensas que las colisiones de  $30^\circ$ .

¿Entonces a que cuerpo se le debe tener más temor en el caso de un impacto con la Tierra? Con lo encontrado a partir de las suposiciones de las velocidades no se puede afirmar que un impacto sea más violento que otro, los cometas tienen una velocidad mayor que los asteroides al provenir de zonas más distantes, esto les otorga la misma peligrosidad que un asteroide a velocidades menores provenientes de distancias menores. Un cometa de 30 km y un asteroide de 10 km de radio viajando a la misma velocidad tienen energías similares. Ahora, es evidente que un asteroide del mismo radio del cometa viajando a la misma velocidad causará estragos mayores. Por lo tanto, la respuesta es que la gravedad del impacto no solo depende del tamaño, sino también de sus otros parámetros físicos.

## References

- [1] Choi, C. Q. (2022). How many meteorites hit Earth every year? [livescience.com. https://www.livescience.com/how-many-meteorites-hit-earth](https://www.livescience.com/how-many-meteorites-hit-earth)
- [2] De Pater, I., & Lissauer, J. J. (2014). Planetary Sciences. <https://doi.org/10.1017/cbo9781316165270>
- [3] Weissman, P. R., Asphaug, E., & Lowry, S. C. (2004). Structure and density of cometary nuclei. En University of Arizona Press eBooks (pp. 337-358). <https://doi.org/10.2307/j.ctv1v7zdq5.27>
- [4] New gravity map suggests Mars has a porous crust. (2017). NASA. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/new-gravity-map-suggests-mars-has-a-porous-crust>