

Astrofísica del Sistema Solar

Efectos de la Evolución Colisional:
Craterización y
Formación de regolitos

Introducción

El proceso colisional en un sistema planetario produce diferentes efectos sobre los objetos que forman las diferentes poblaciones:

- Familias de asteroides.
- Rubble-piles.
- **Craterización.**
- **Formación de regolitos.**
- Tasas de rotación.

Craterización

- Los cráteres de impacto son el resultado de la evolución colisional y se producen en todos los cuerpos del Sistema Solar con una superficie sólida.
- Son la forma más efectiva de cambio superficial en objetos geológicamente inactivos y sin atmósfera.
- Se pueden dividir en cuatro tipos:
 - microcráteres (< 1 cm).
 - cráteres simples (\sim km).
 - cráteres complejos (~ 10 - 100 km).
 - cráteres multianillo (> 100 km).

Cráter simple



Luna, $d = 2.5$ km



Meteor Crater
 $d = 1$ km

Cráter complejo



Luna, $d = 75$ km

Escala de Richter:

$$\log E_k = 12,24 + 1,44RS$$

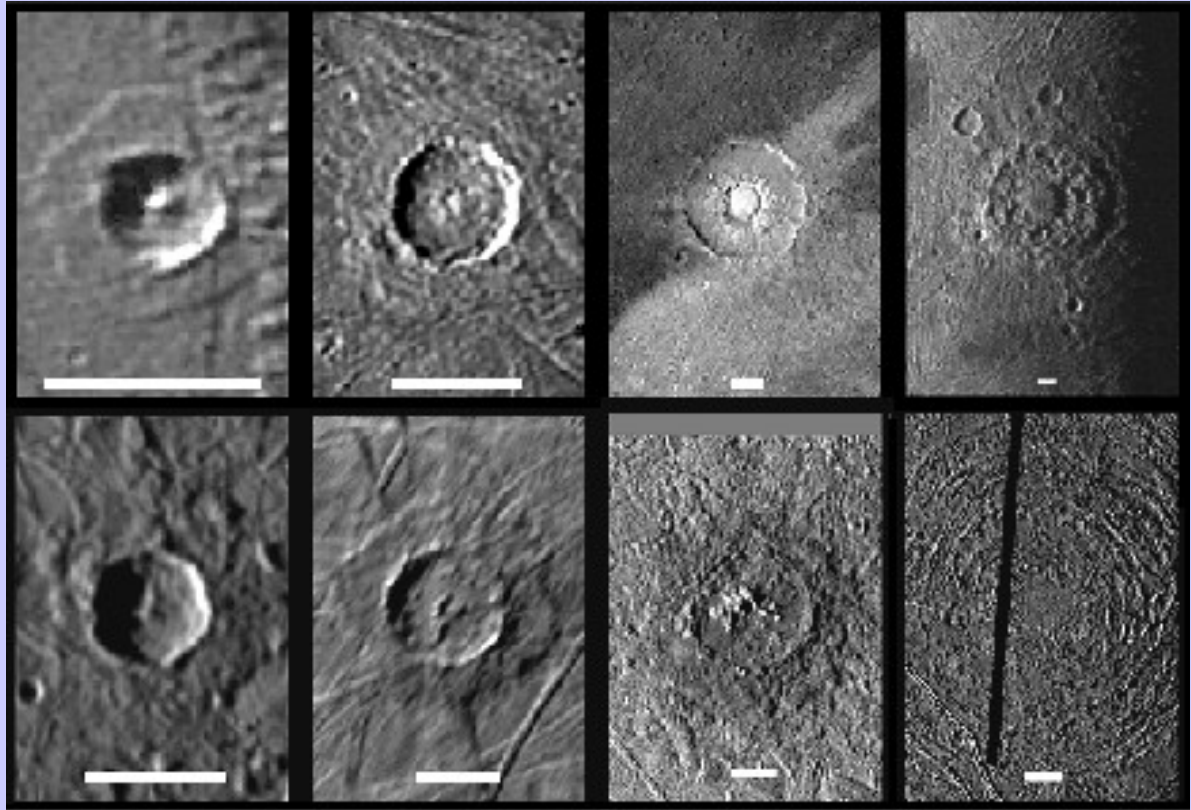
$$r = 30 \text{ m} ; v = 20 \text{ km s}^{-1}$$

$$\rho = 2.5 \text{ g cm}^{-3}$$

$$RS = 8$$

Cráteres (satélites de Júpiter)

Ganimedes y
Calixto



Europa

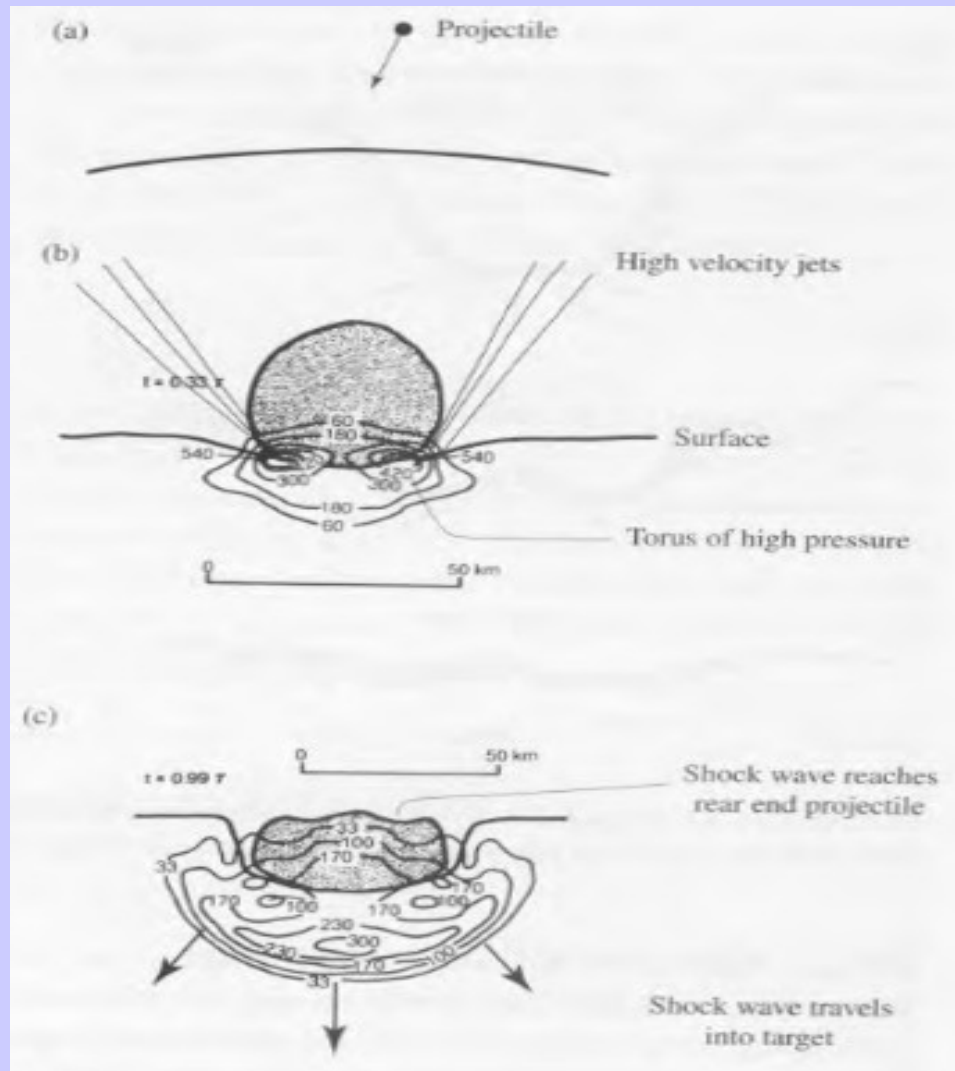
Craterización

- Los impactos pueden afectar la corteza del planeta hasta unos 20-30 km de profundidad.
- El efecto acumulativo del bombardeo micrometeorítico pulveriza la corteza más externa y crea una capa gruesa de escombros y polvo denominada **regolito**.
- El grosor del regolito dependerá de la edad de la superficie, del proceso colisional general y de la gravedad superficial en el cuerpo (en la Luna, varios metros en los mares y más de 10 metros en los terrenos más viejos).
- Los fragmentos eyectados por grandes impactos puede formar gruesos mega-regolitos de ~1 km de grosor que se integran con rocas de varios metros de diámetros, polvo, etc.

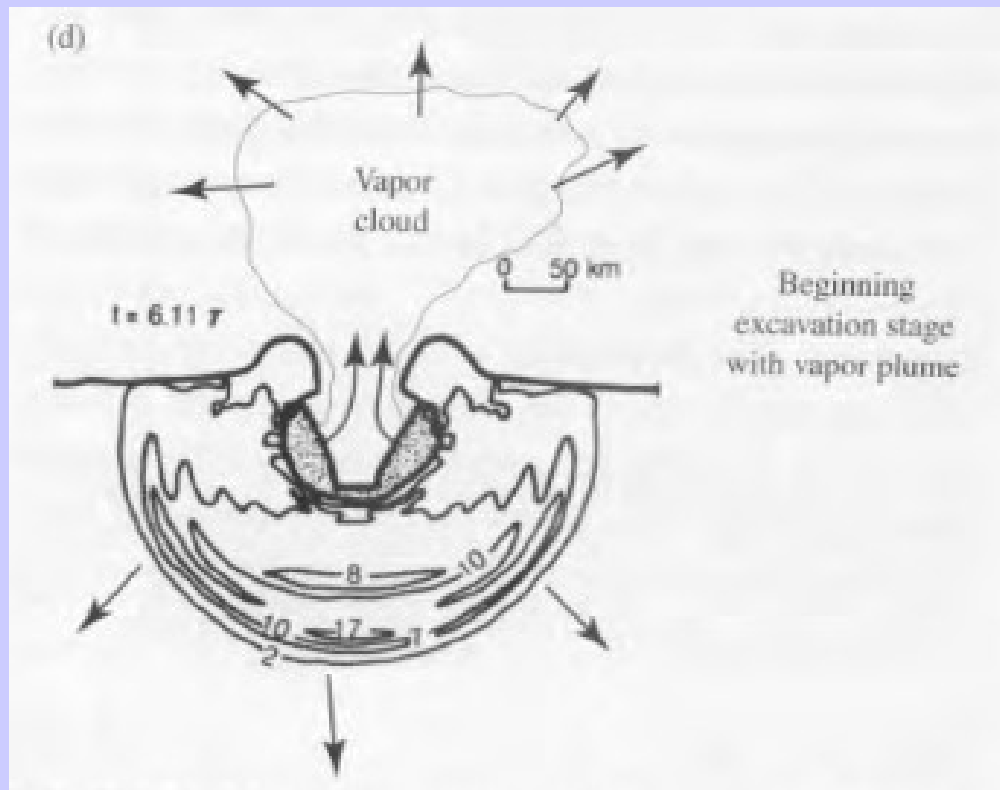
Craterización

- Un cráter primario se forma por un impacto directo.
- Los cráteres secundarios se producen por el impacto de escombros eyectados del cráter primario.
- Las estructuras lineales brillantes con centro en el cráter (rayos) están formadas por material pulverizado y resolidificado que es eyectado a gran velocidad. Se extiende cerca de 10 diámetros más allá del borde.
- Las brechas y los vidrios fundidos son minerales creados por gran temperatura y presión en el interior del cráter.
- Los grandes impactos producen ondas sísmicas de suficiente amplitud para propagarse por todo el objeto. En ciertos casos estas ondas se enfocan en las antípodas y pueden modificar significativamente el terreno.

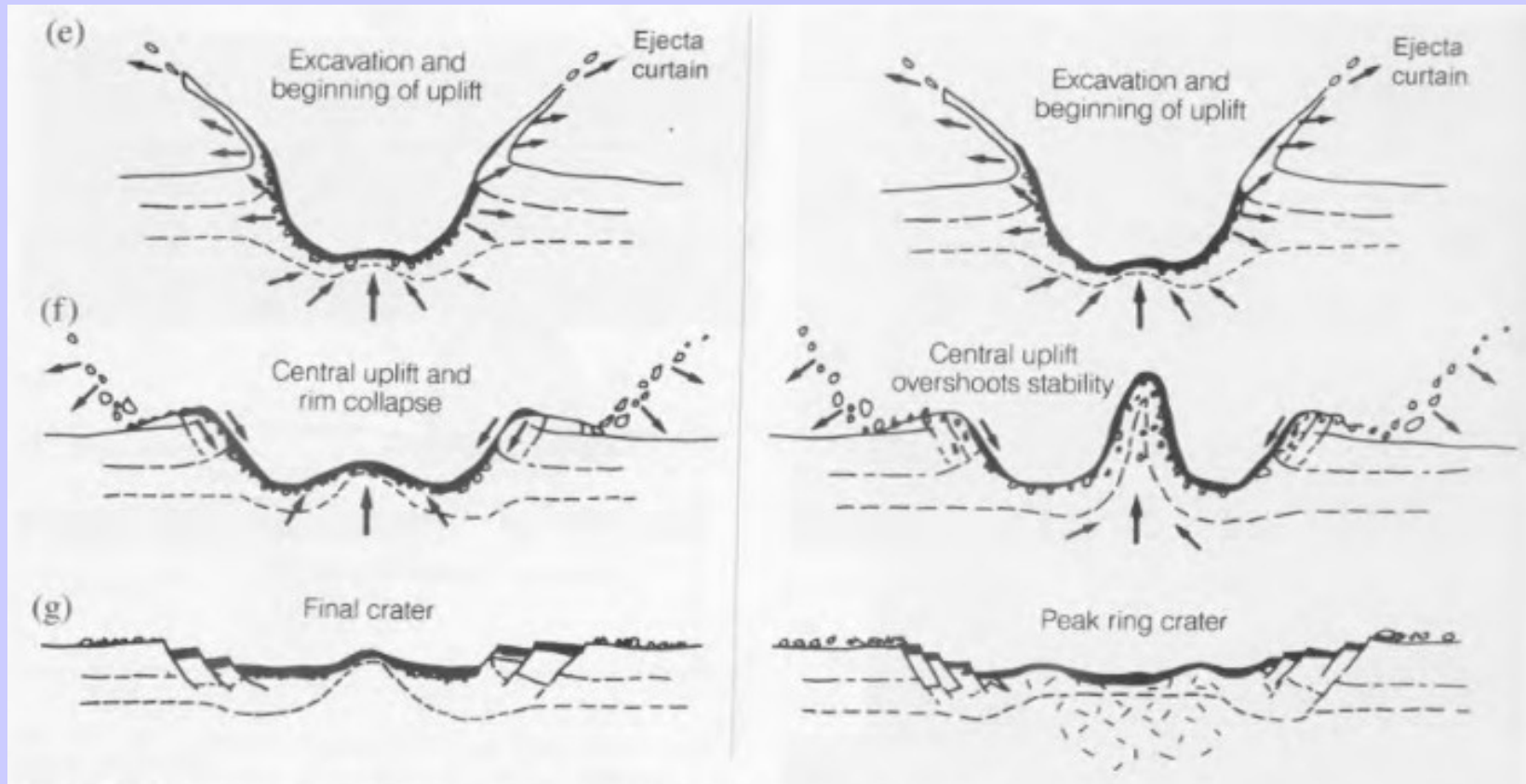
Formación de cráteres



Formación de cráteres



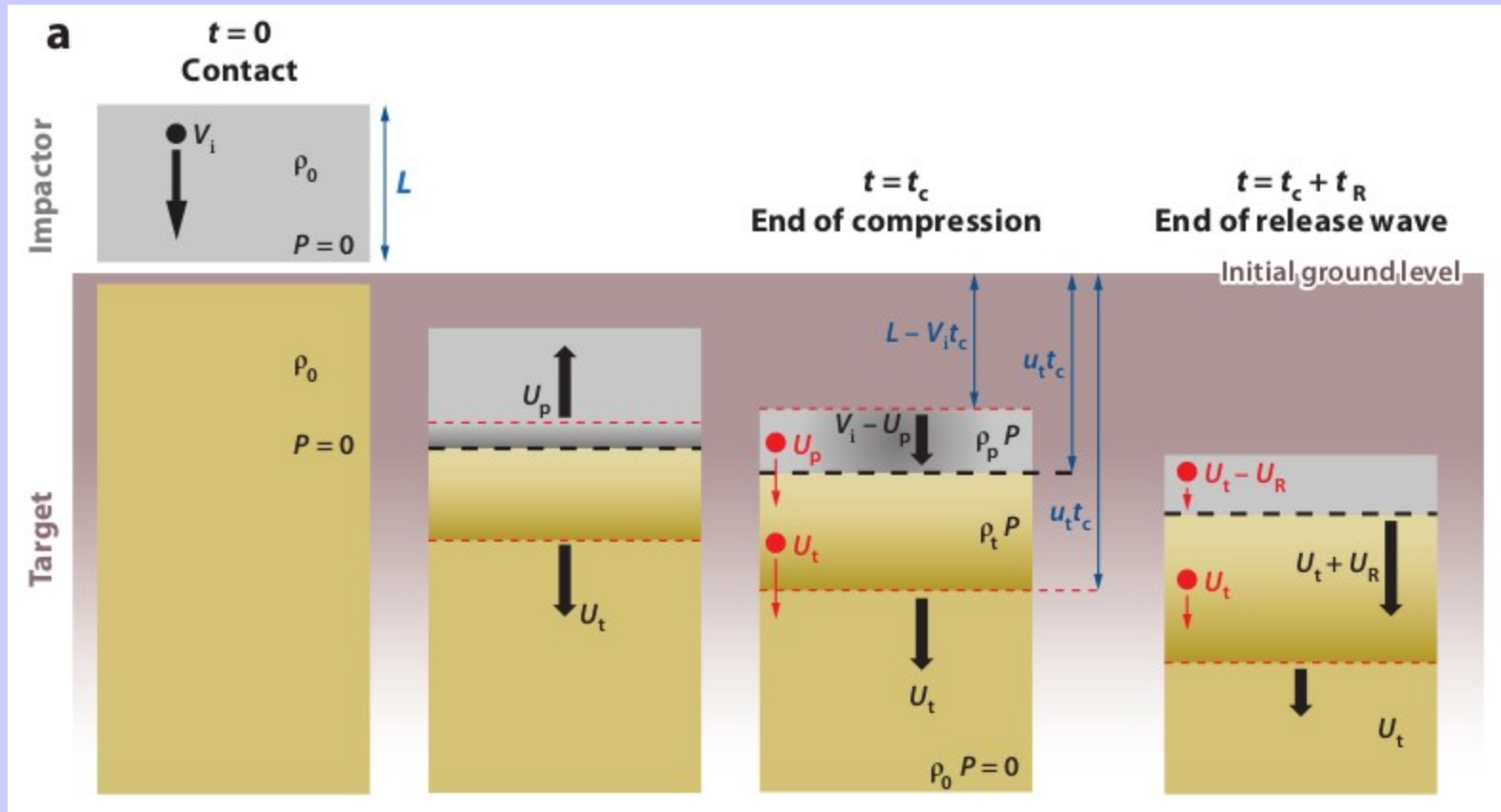
Formación de cráteres



forma un pico central

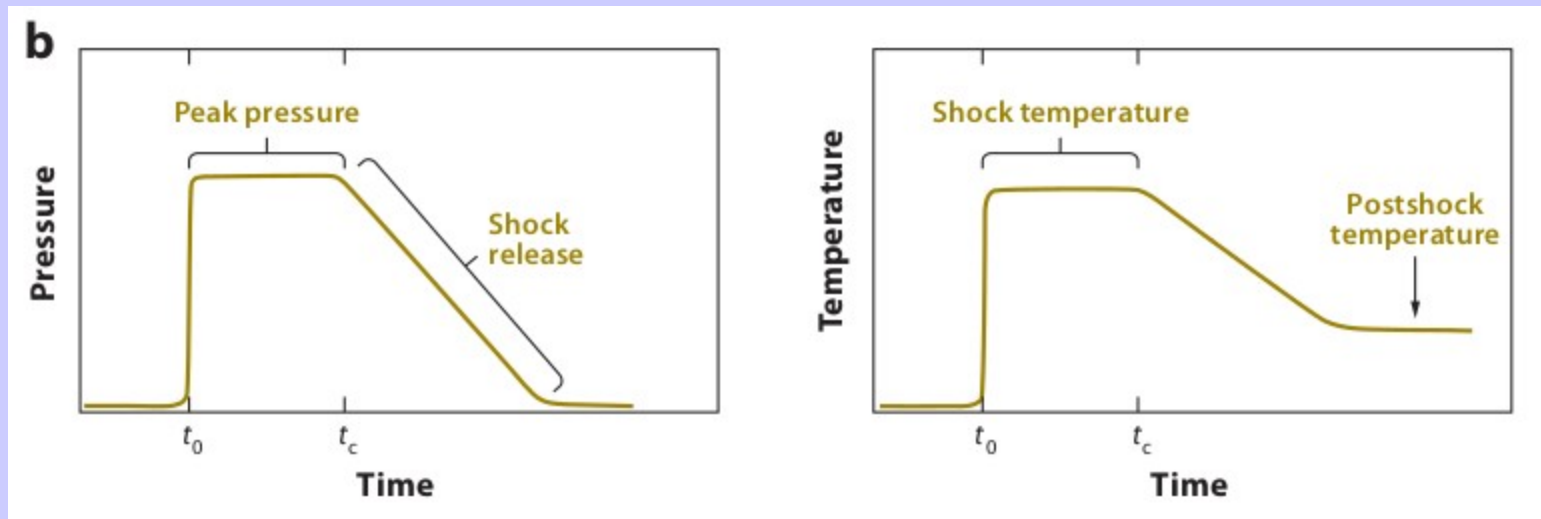
forma un anillo central

Formación de cráteres



Melosh (1989)

Formación de cráteres



Melosh (1989)

Las diferentes cantidades están relacionadas mediante las ecuaciones de Rankine-Hugoniot

$$\rho_p(U_t - u_t) = \rho_0 U_t$$

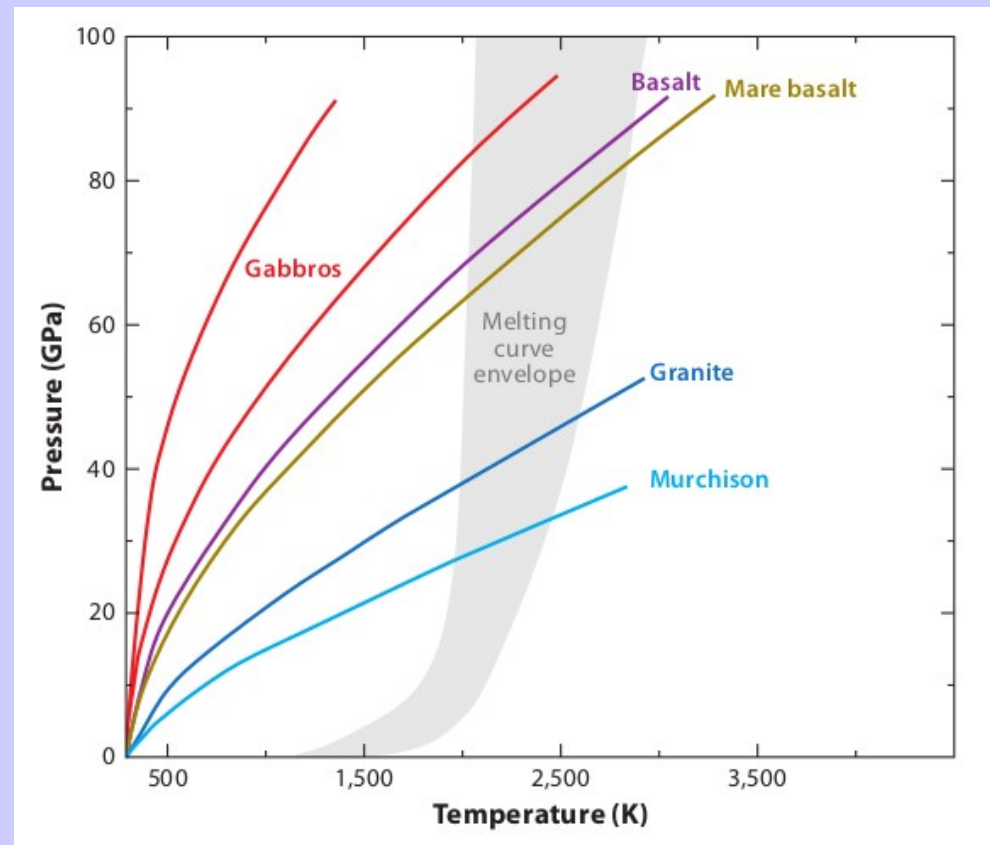
$$P - P_0 = \rho_0 U_t u_t$$

$$E^* - E_0^* = (P + P_0) \frac{(V_0^* - V^*)}{2}$$

Formación de cráteres

En el proceso se incrementa la temperatura del material (Benzerara et al. 2002):

$$dT = \frac{V_0 - V}{2C_V} dP + \left(\frac{P - P_0}{2C_V} - T \frac{\gamma}{V} \right) dV$$



Fiquet et al. (2010)

Diámetro del cráter

El volumen y diámetro aparente se refiere al cráter referido a la superficie original (Schmidt & Housen 1987):

$$V_{ap} = 0,13 \left(\frac{m_i}{\rho_t} \right)^{0,783} g^{-0,65} \left(\frac{\rho_i}{\rho_t} \right)^{0,217} (v_i \cos \theta)^{1,3} \text{ cm}^3$$

$$D_{ap} = 1,1 \left(\frac{m_i}{\rho_t} \right)^{0,26} g^{-0,22} \left(\frac{\rho_i}{\rho_t} \right)^{0,073} (v_i \cos \theta)^{0,44} \text{ cm}$$

Se asume un crater de forma paraboloides de diámetro D y profundidad δ . Para un cráter simple:

$$\delta_{ap} = \delta_s \left(\frac{D_{ap}}{D_s} \right)^2$$

$$\frac{\delta_s}{D_s} = 0,2$$

Diámetro del cráter

El cráter simple tiene un borde por arriba de la superficie de altura h_s :

$$\delta_s = \delta_{ap} + h_s \quad \frac{h_s}{\delta_s} = 0,15$$

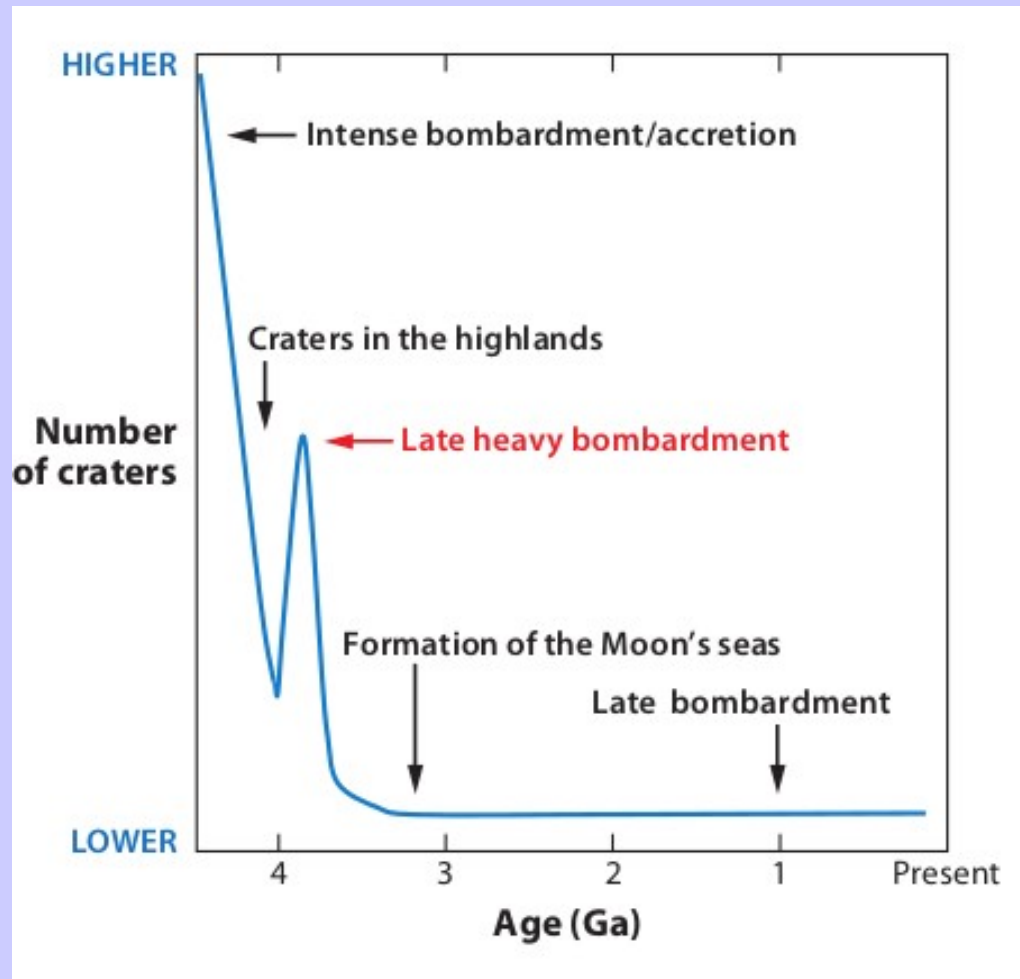
$$V_{ap} = V_s \left(1 - \frac{h_s}{\delta_s}\right)^2$$

Que permite estimar el diámetro del cráter simple y escalar a cráteres más complejos ($\xi \sim 0.13-0.15$; $D_c \sim 2.5 - 6.5$ km):

$$D_s = \left(\frac{8V_{ap}}{\pi}\right)^{1/3} \left(1 - \frac{h_s}{\delta_s}\right)^{-2/3} \left(\frac{\delta_s}{D_s}\right)^{-1/3} \text{ cm}$$

$$D = D_s \left(\frac{D_s}{D_c}\right)^\xi$$

Craterización en el Sistema Solar



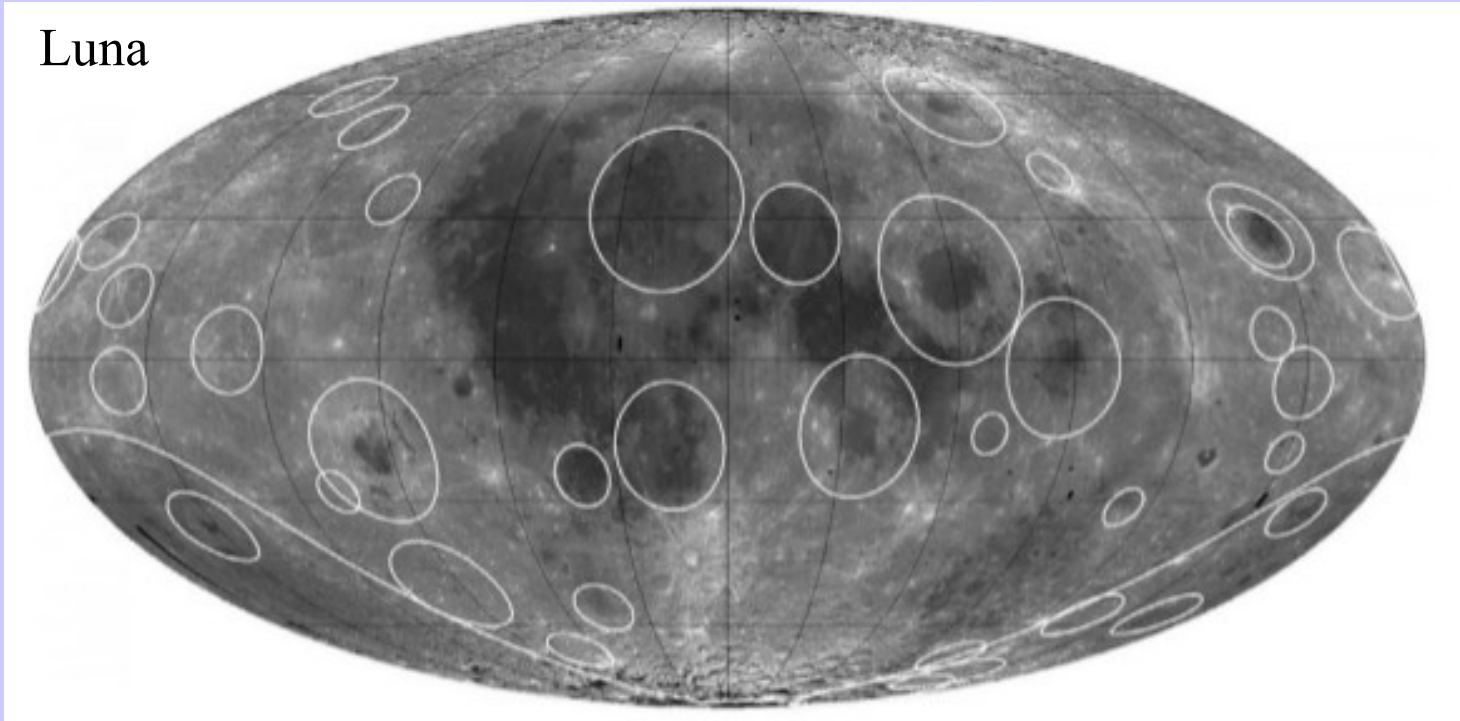
Strom et al. (2005)

Craterización en el Sistema Solar

- Los registros del proceso colisional se conservan mejor en objetos sin atmósfera (Mercurio, Luna, asteroides).
- El LHB produjo un incremento de la tasa de colisiones, modificó la composición y estructura interna (Bottke et al. 2012).
- El proceso de craterización puede ser utilizado para datar superficies y estimar la distribución de tamaños de la población de proyectiles (Hartmann 2002).
- La Luna tiene unos 1700 cráteres con $D > 20$ km y unos 15 con $300 < D < 1200$ km, indicando un proceso muy intenso.

Craterización en el Sistema Solar

Luna



Werner (2014)

Craterización en el Sistema Solar

Mercurio



Werner (2014)

