



Universidad
del Atlántico



Atlántico, "Ventana al Universo"

**5^o CONGRESO INTERNACIONAL
DE ASTROBIOLOGÍA
VIRTUAL**

11 al 14 de Noviembre 2020

INSTITUTO
ASTROBIOLOGÍA[®]
COLOMBIA

LA VIDA SIN FRONTERAS EN EL UNIVERSO

10 Años

Habitabilidad de mundos oceánicos en el sistema solar



Julián Chela-Flores
The Abdus Salam
International Centre for Theoretical Physics
Trieste, Italy
Correo ICTP: chelaf@ictp.it

e

IDEA, Fundación Instituto de Estudios
Avanzados, Caracas, República Bolivariana de
Venezuela

Universidad Simon Bolivar: jchela@usb.ve

Agradecimientos

➤ *Co-autores en astrobiología:*

Narendra Kumar, físico
Instituto de Bangalore, India,

Joseph Seckbach, microbiólogo
Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel,

Roberto Aretxaga, filósofo
Universidad de Deusto, Bilbao, España,

Agradecimientos

➤ *Co-autores en instrumentación:*

Grupo Hidrobot/Criobot del JPL (USA) y el
Consortio de Penetradores (UK)

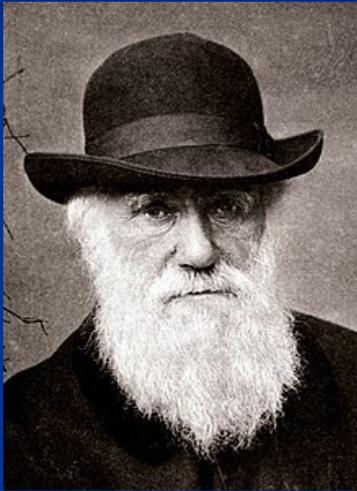
➤ *Co-directores de las conferencias de
Trieste:*

Cyril Ponnampерuma,
Tobias Owen y
François Raulin.

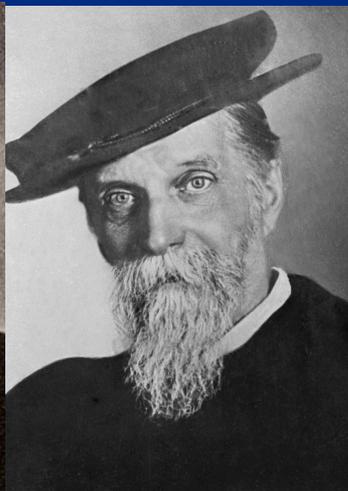
Para la habitabilidad en los mundos oceánicos tenemos un primer problema :

¿Es la biología una ciencia universal?

Chela-Flores, J. (2007). Testing the universality of biology. *International Journal of Astrobiology* 6, 241-248. (Cambridge University Press).



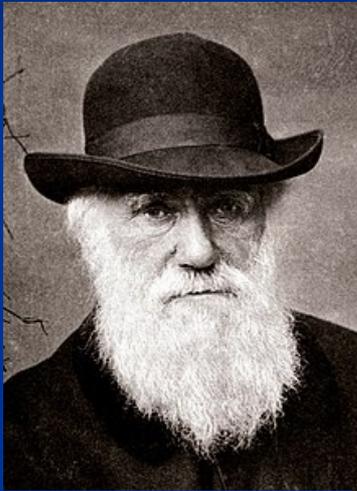
Charles Darwin
(1809-1882)



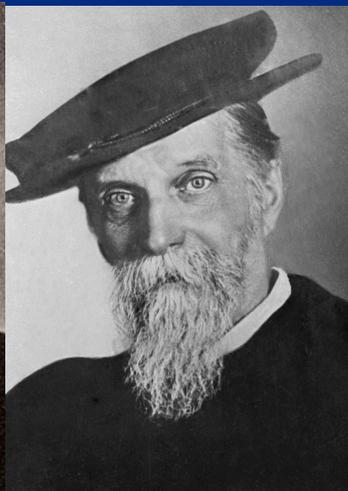
**Kliment
Timiriázev**
(1843-1920)



**Aleksandr
Oparin**
**(1894-
1980)**



Charles Darwin
(1809-1882)



**Kliment
Timiriázev**
(1843-1920)



Aleksandr Oparin
(1894-1980)
Cyril
Ponnamperuma
(1926-1994)

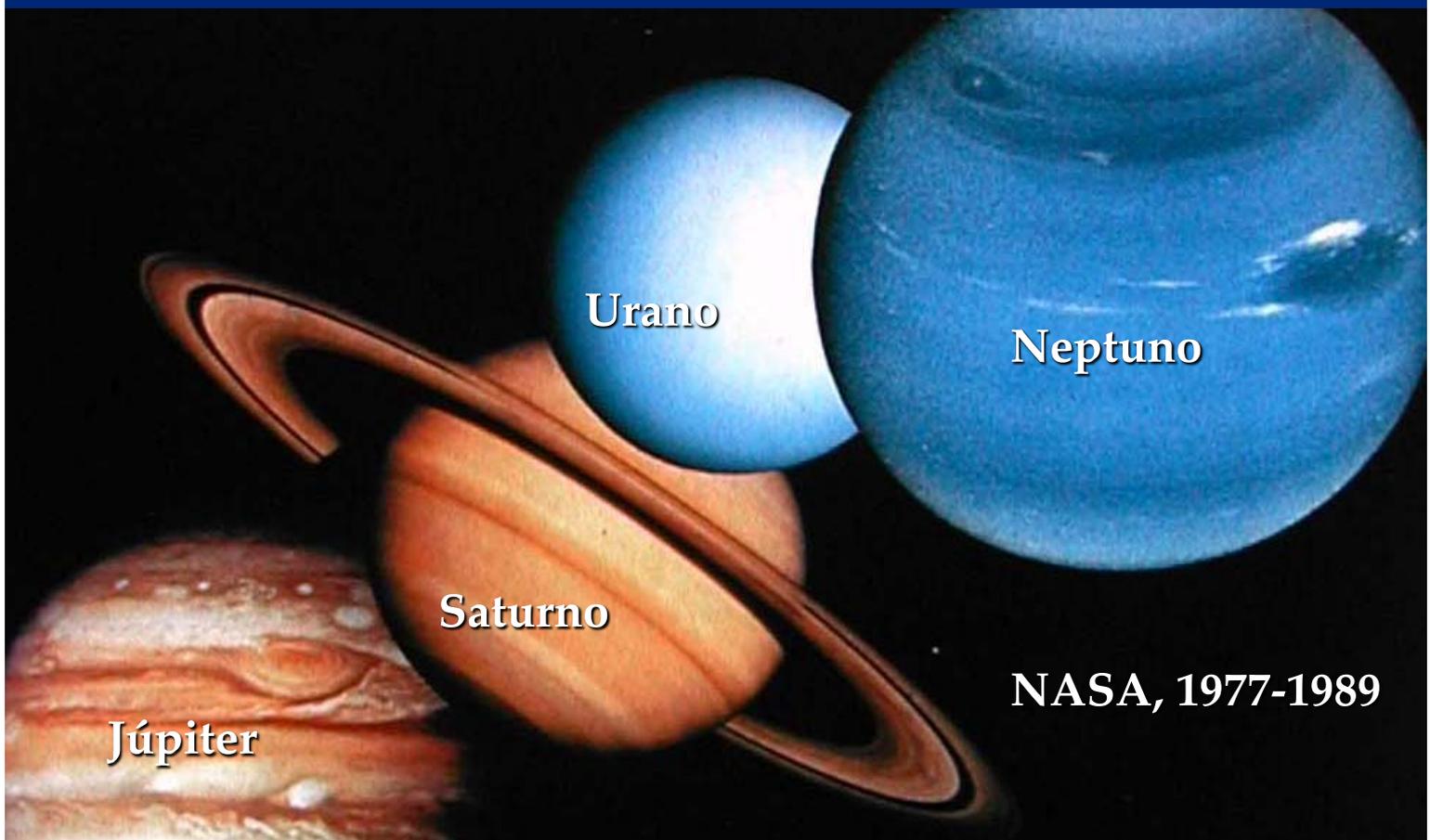
Esquema de la charla

1. Exploración del Sistema Solar.
2. Evolución de la instrumentación.
3. Geoquímica de isótopos estables.
4. Biomarcadores en mundos oceánicos.
5. Detección de biomarcadores
6. Resumen y agradecimientos institucionales.

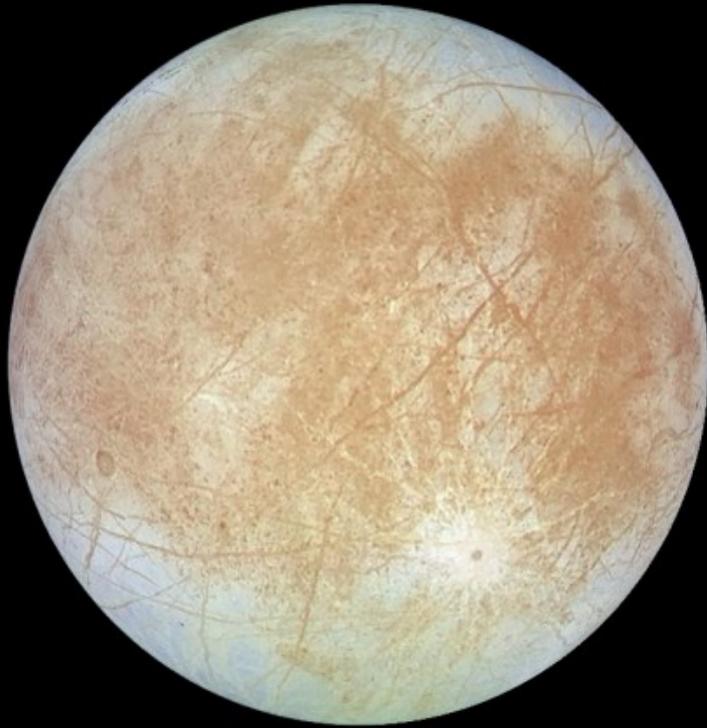


1. Exploración del Sistema Solar

Voyager 2 (1970-1980s)



La mision Galileo (1996-2003)



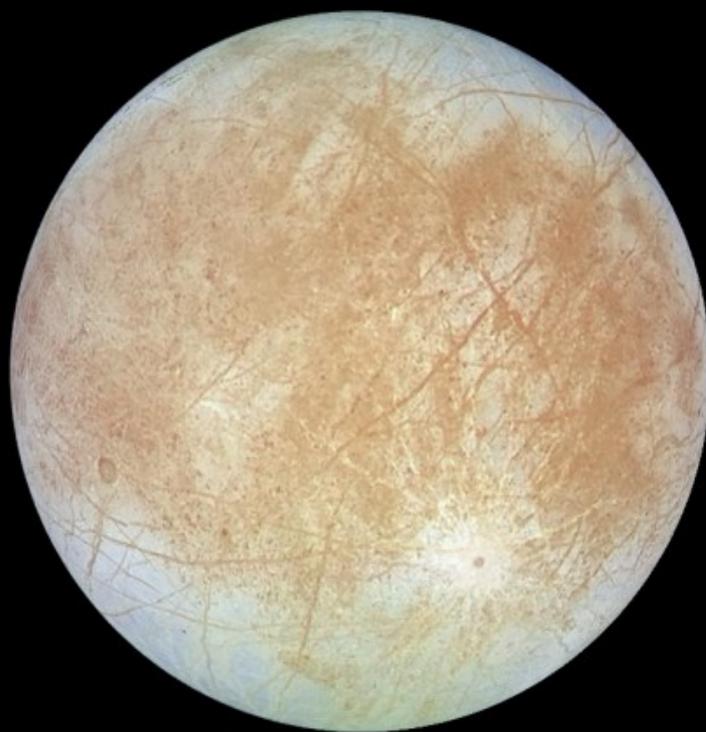
A la llegada de la misión Galileo al sistema de Júpiter, la NASA escogió este sitio para la discusión de los primeros datos sobre Europa (12-14 noviembre, 1996)

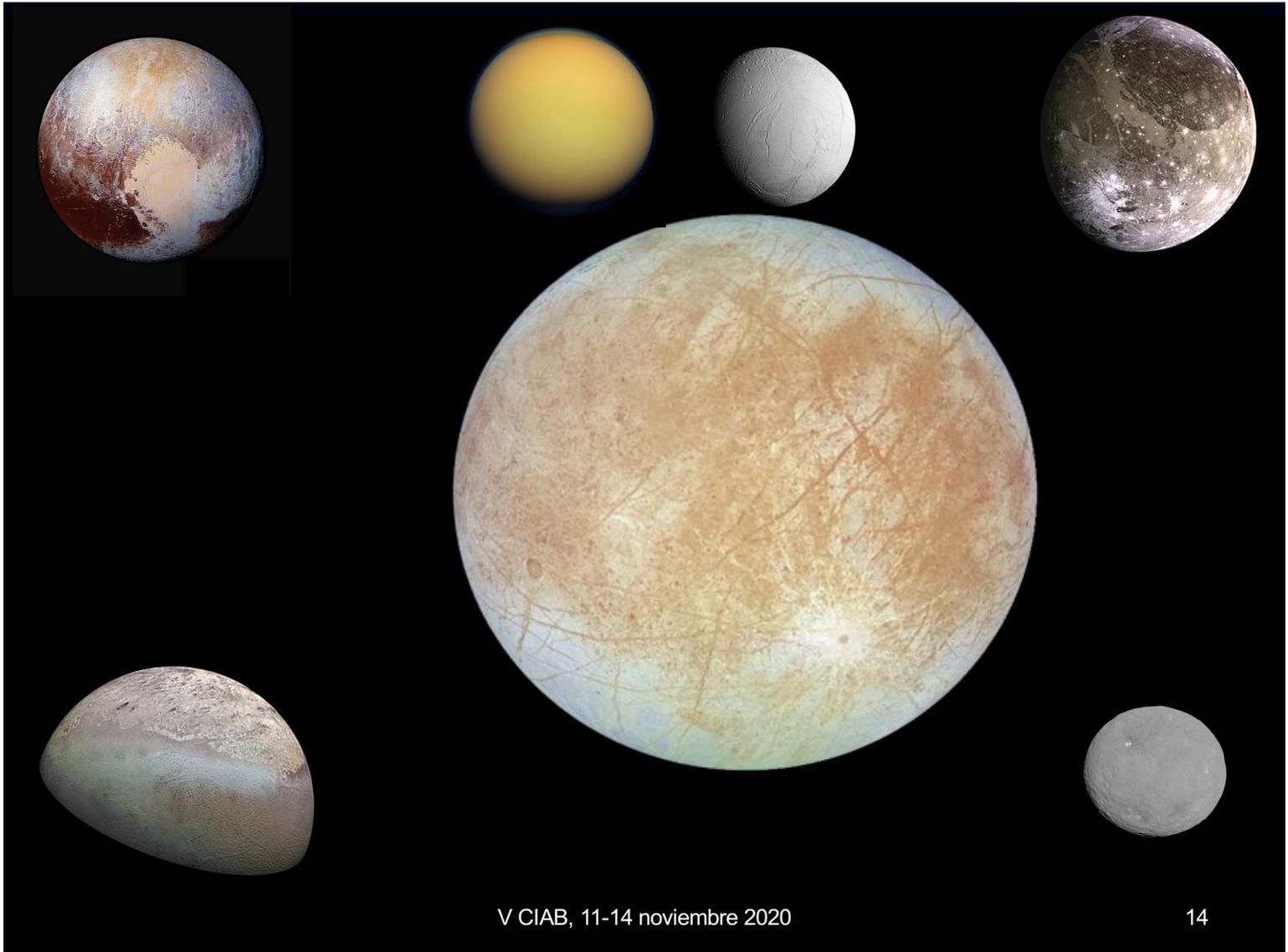


San Juan Capistrano, California

V CIAB, 11-14 noviembre 2020







V CIAB, 11-14 noviembre 2020



**Nuevos Horizontes
2006**

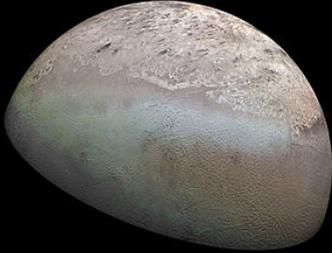


**Cassini
1997-2007**

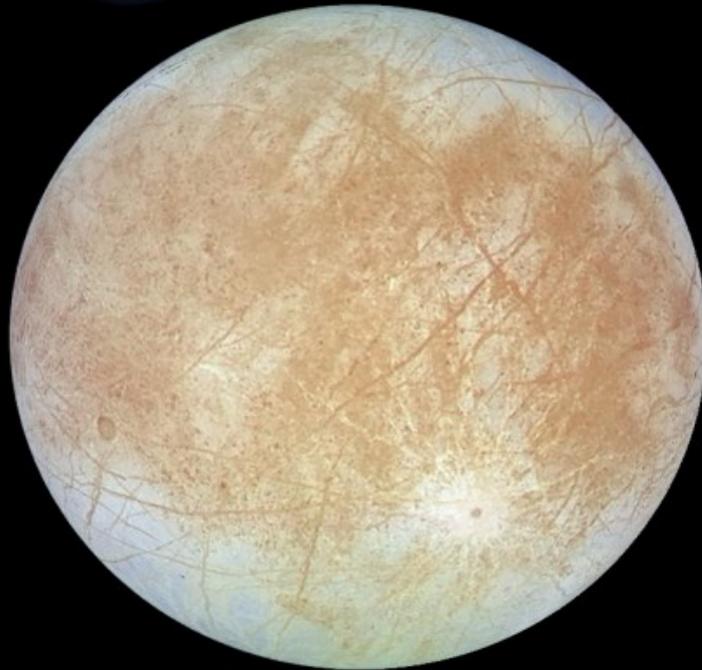


**Galileo
y
Juno
(2011)**

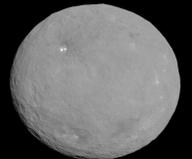
**Voyager
1977-1989**



**Dawn
2007**



**Galileo
1996-2003**





Mapa de senderos hacia mundos oceánicos

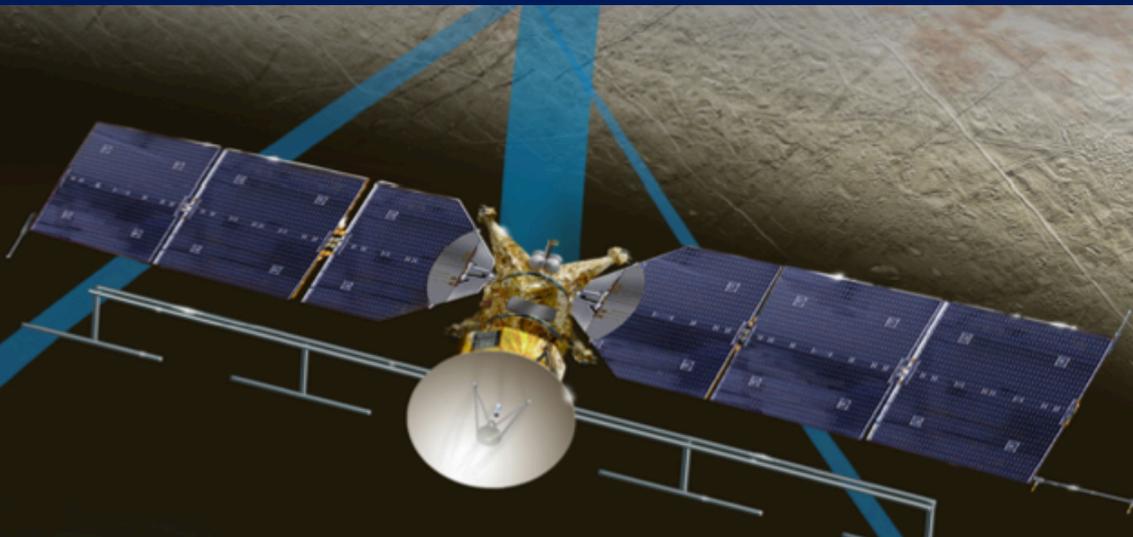
El listado de la NASA¹ muestra 19 posibles candidatos, de los cuales nos concentraremos en dos:

Europa y Ganímedes.

Entre los objetivos se subraya la búsqueda de vida y los correspondientes biomarcadores.

1. Amanda R. Hendrix, Terry A. Hurford, Laura M. Barge, Michael T. Bland, Jeff S. Bowman, William Brinckerhoff, Bonnie J. Buratti, Morgan L. Cable, Julie Castillo-Rogez, Geoffrey C. Collins, et. al. (2018). The NASA roadmap to ocean worlds *Astrobiology* 19, 1–27.

Europa Clipper (entre el 2022 y el 2025)



Howell, S.M., Pappalardo, R.T., 2020. NASA's Europa clipper: a mission to a potentially habitable ocean world. *Nat. Commun.* 11



Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

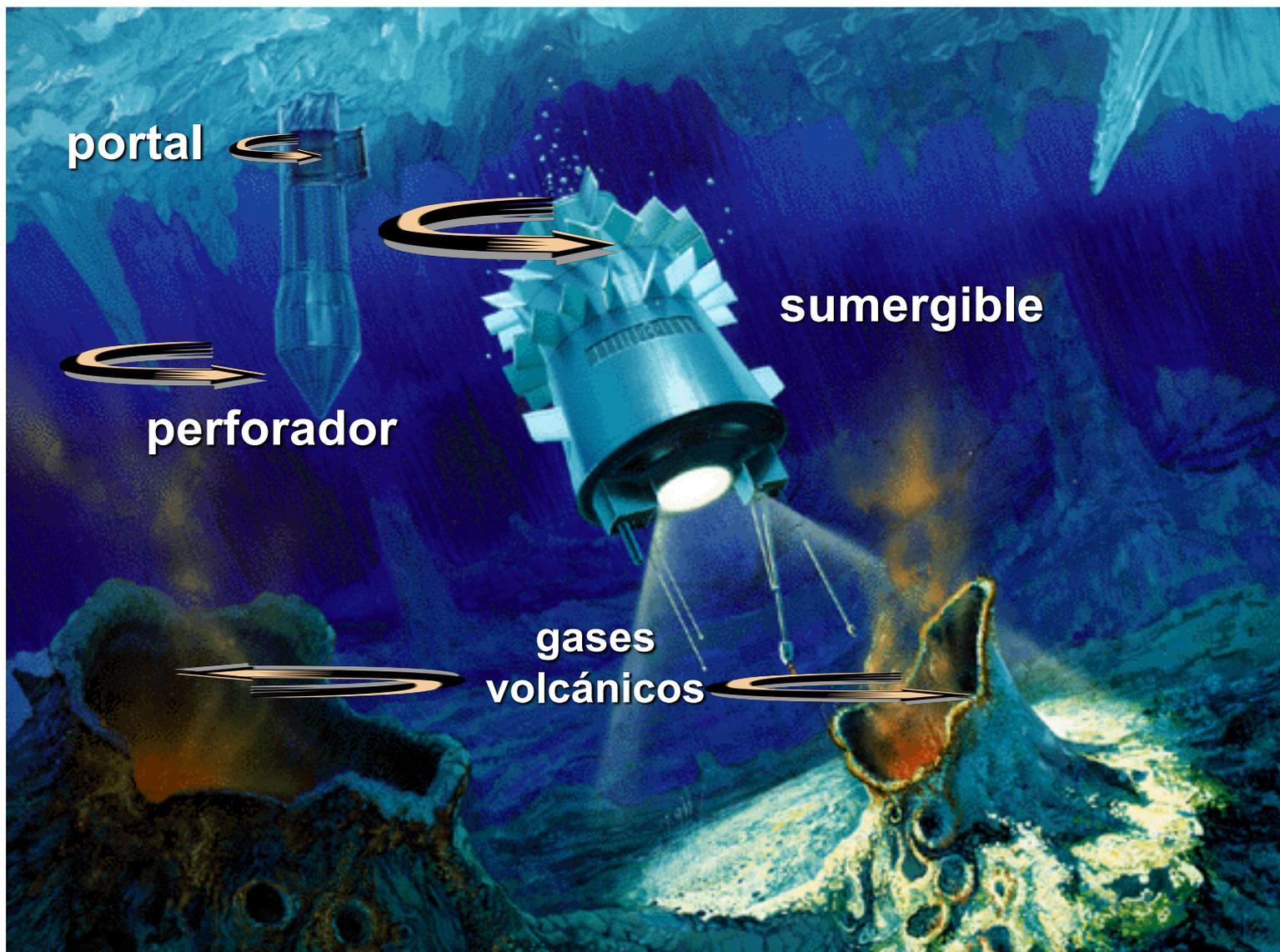
JUICE (Explorador de las lunas heladas de Júpiter) (ESA, a ser lanzada en el 2022)



Chela-Flores, J. (2010). Instrumentation for the search of habitable ecosystems in the future exploration of Europa and Ganymede.

International Journal of Astrobiology 9, 101-108.

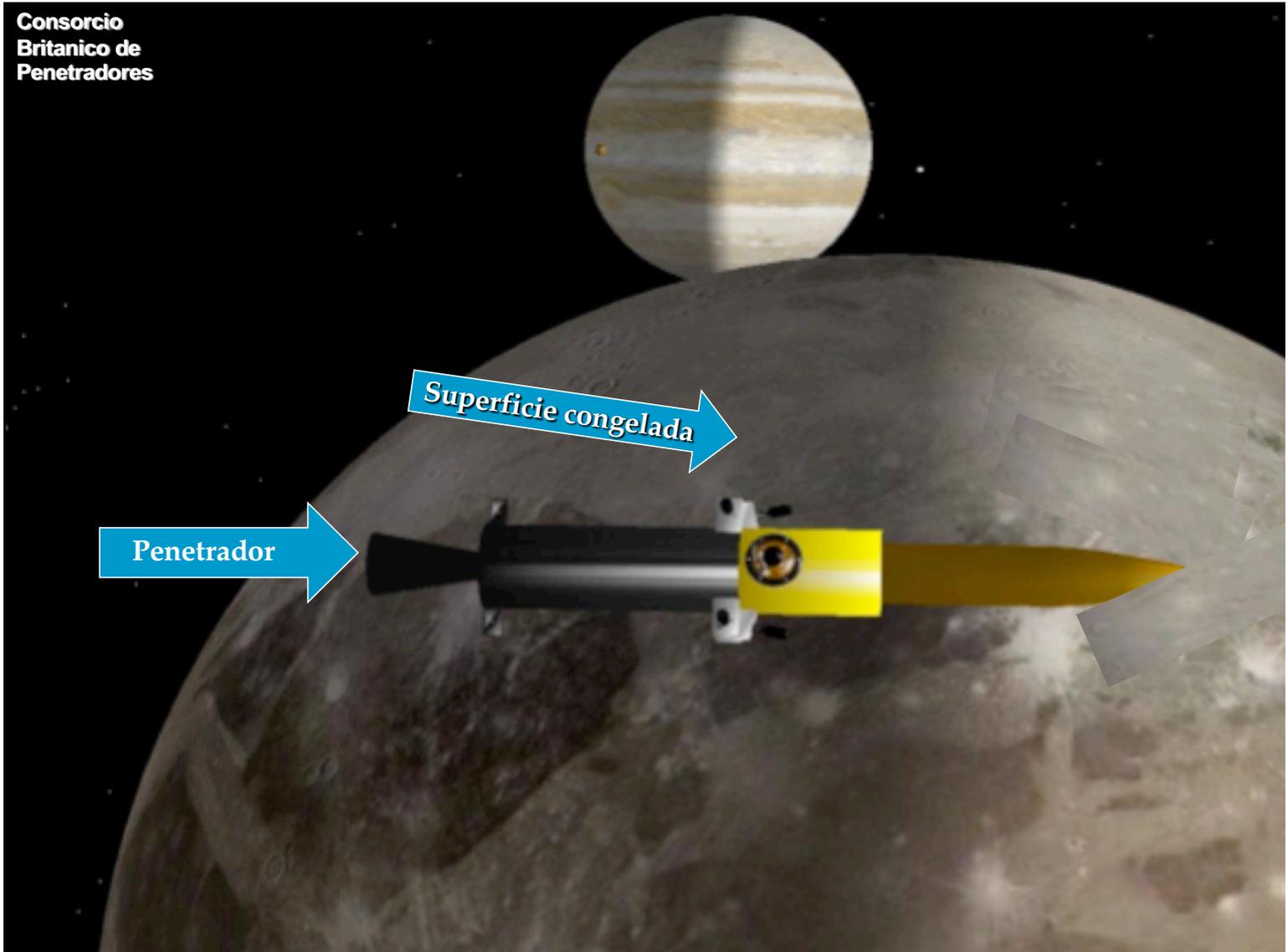
2. Evolución de la instrumentación



Joan Horvath, Frank Carsey, James Cutts, Jack Jones, Elizabeth Johnson, Bridget Landry, Lonnie Lane, Gindi Lynch, Julian Chela-Flores, Tzyy-Wen Jeng and Albert Bradley (1997). Searching for ice and ocean biogenic activity on Europa and Earth.

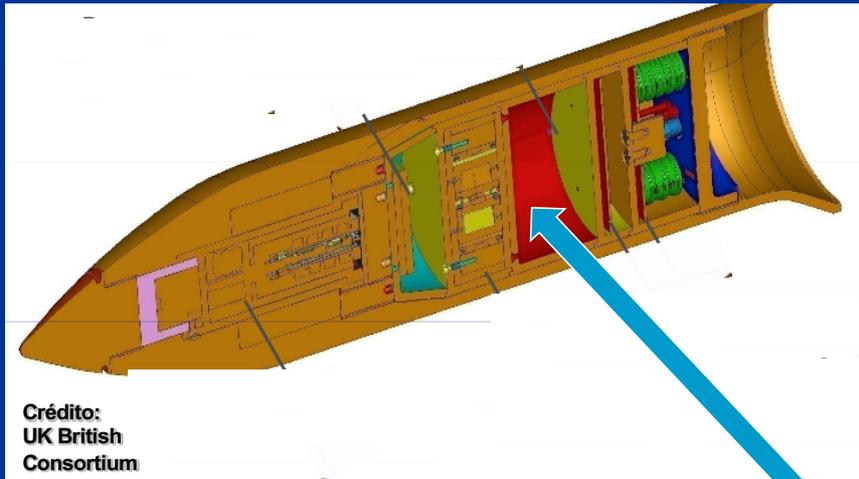
In: *Instruments, Methods and Missions for Investigation of Extraterrestrial Microorganisms*, R.B.Hoover (ed.). Proc. SPIE 3111, pp. 490-500.

Consortio
Britanico de
Penetradores



Gowen, R.A., Smith, A., Fortes, A.D., Barber, S., Brown, P., Church, P., Collinson, G., Coates, A.J., Collins, G., Crawford, I.A., Dehant, V., Chela-Flores, J., Griffiths, A.D., Grindrod, P.M., Gurvits, L.I., Hagermann, A., Hussmann, H., Jaumann, R., Jones, A.P., Joy, K.H., Karatekin, O., Miljkovic, K., Palomba, E., Pike, W.T., Prieto-Ballesteros, O., Raulin, F., Sephton, M.A., Sheridan, S., Sims, M., Storrie-Lombardi, M.C., Ambrosi, R., Fielding, J., Fraser, G., Gao, Y., Jones, G.H., Kargl, G., Karl, W.J., Macagnano, A., Mukherjee, A., Muller, J.P., Phipps, A., Pullan, D., Richter, L., Sohl, F., Snape, J., Sykes, J., Wells, N. (2010) Penetrators for in situ sub- surface investigations of Europa. *Advances in Space Research*, doi: 10.1016/j.asr.2010.06.026

Instrumentos para el penetrador



Crédito:
UK British
Consortium

Espectrómetro de masa,
para datos geoquímicos

24

Instrumentación en las próximas misiones

Los espectrómetros de masa miniaturizados por la Universidad de Berna, los cuales ya son parte de la misión JUICE.

Entre las posibles mediciones para JUICE se incluyen algunas propuestas del Centro de Física de Trieste, ICTP:

M. Tulej et al. (2015). *Astrobiology* 15, 669-682.



Espectrómetro de masas

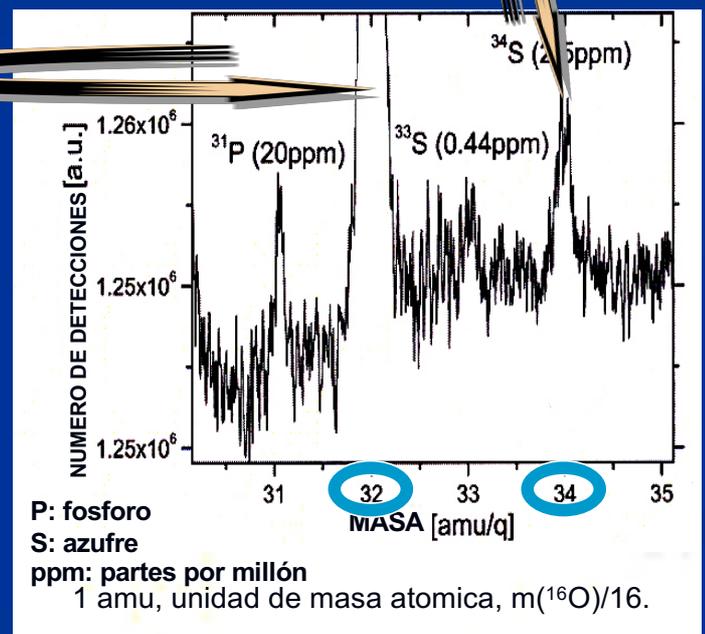


- Instrumento para analizar la composición de diferentes elementos químicos e isótopos.
- Calentando una muestra permite separar núcleos atómicos en término de masas (m) y cargas (q).
- En el caso del azufre se produce una distribución de iones por masa, un “espectro de masas”:

Un espectro de masas ¹



1. Riedo, A. et al. (2013). *J. Mass. Spectrom.* 48, 1-15

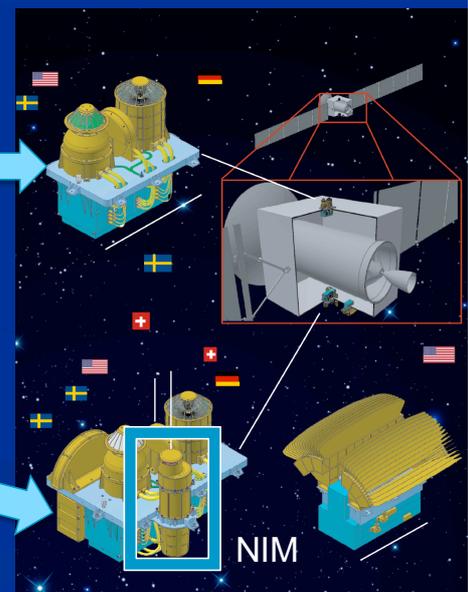


Instrumentos científicos de JUICE

Ahora deseo mostrarles lo que es relevante en la carga de instrumentos científicos que volarán dentro de sólo un par de años.

PEP: Paquete para estudiar partículas en el ambiente.

NIM: espectrómetro de masa de gas neutro e iones.



Mediciones de la biogenicidad

El espectro de masas para el azufre en Europa deberá ser medido con una precisión al nivel de partes por mil (partes de átomos de azufre contenidos en mil partes de la mezcla, o en la solución) ¹:

Chela-Flores, J. et al. (2015). *Intern. Journal of Astrobiology* **14**, 427-434.

Esta medicion está entre las posibilidades de PEP como parte de la carga de instrumentos ya aprobados para JUICE ²:

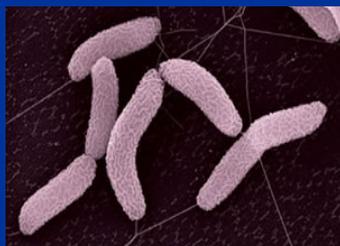
Wiesendanger R. et al (2018). *Astrobiology* **18**, 1071–1080.

3. Geoquímica de isótopos estables

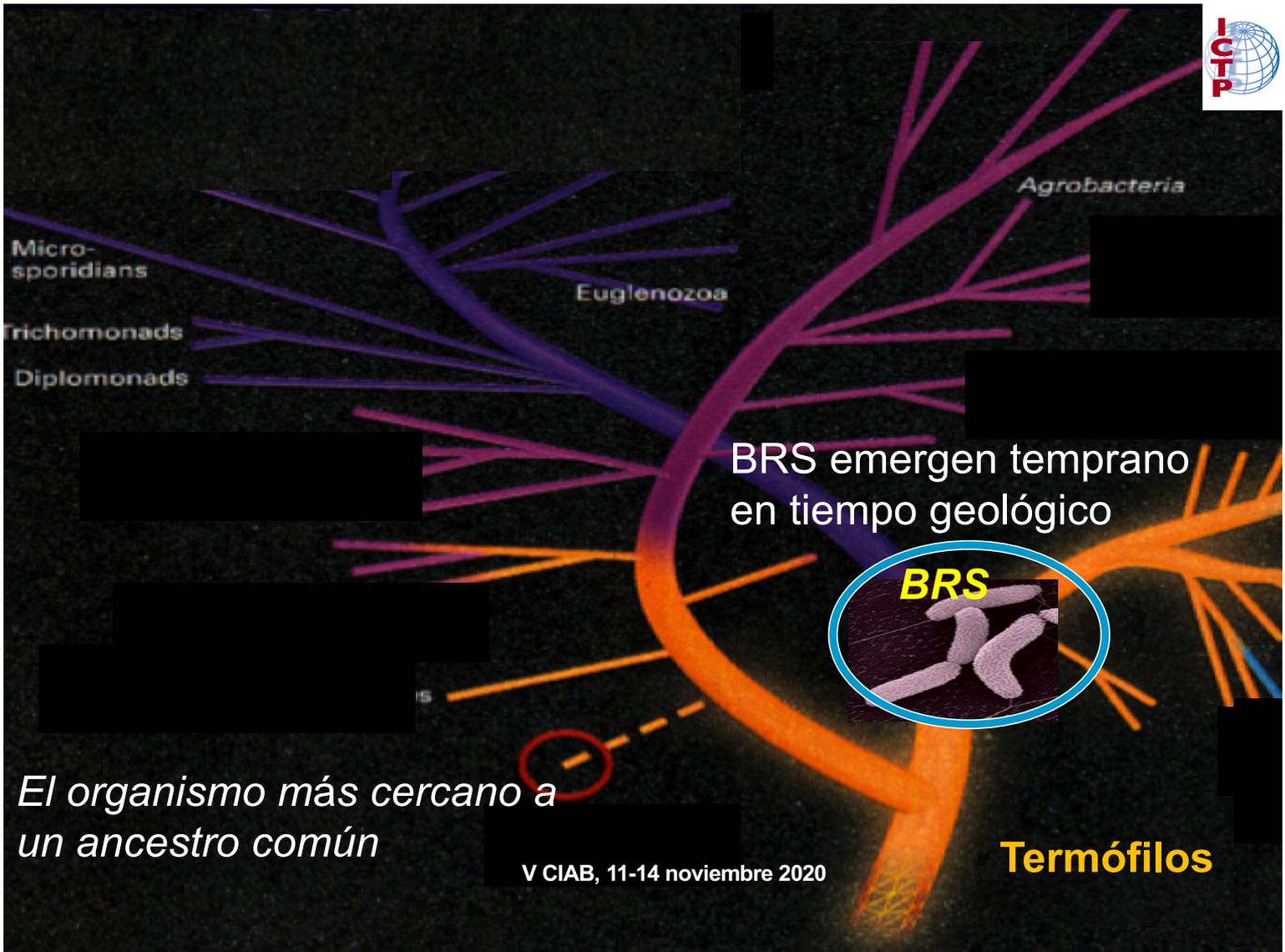
Bacterias reductoras de sulfato (BRS)



- Estas bacterias producen energía uniendo átomos de hidrógeno con átomos de azufre, los cuales son extraídos del sulfato (SO_4^-).
- Esta molécula del azufre está disuelta en el agua de mar. Así se produce el gas H_2S .
- Veamos un ejemplo del micro-organismo:



Desulfovibrio



BRS emergen temprano en tiempo geológico

El organismo más cercano a un ancestro común

V CIAB, 11-14 noviembre 2020

¿Qué podemos aprender de sedimentos marinos?



yeso

pirita

Dos minerales comunes: el yeso y la pirita



Yeso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
(sulfato de calcio hidratado)



Pirita: FeS_2
(disulfuro de hierro)

Minerales en sedimentos marinos

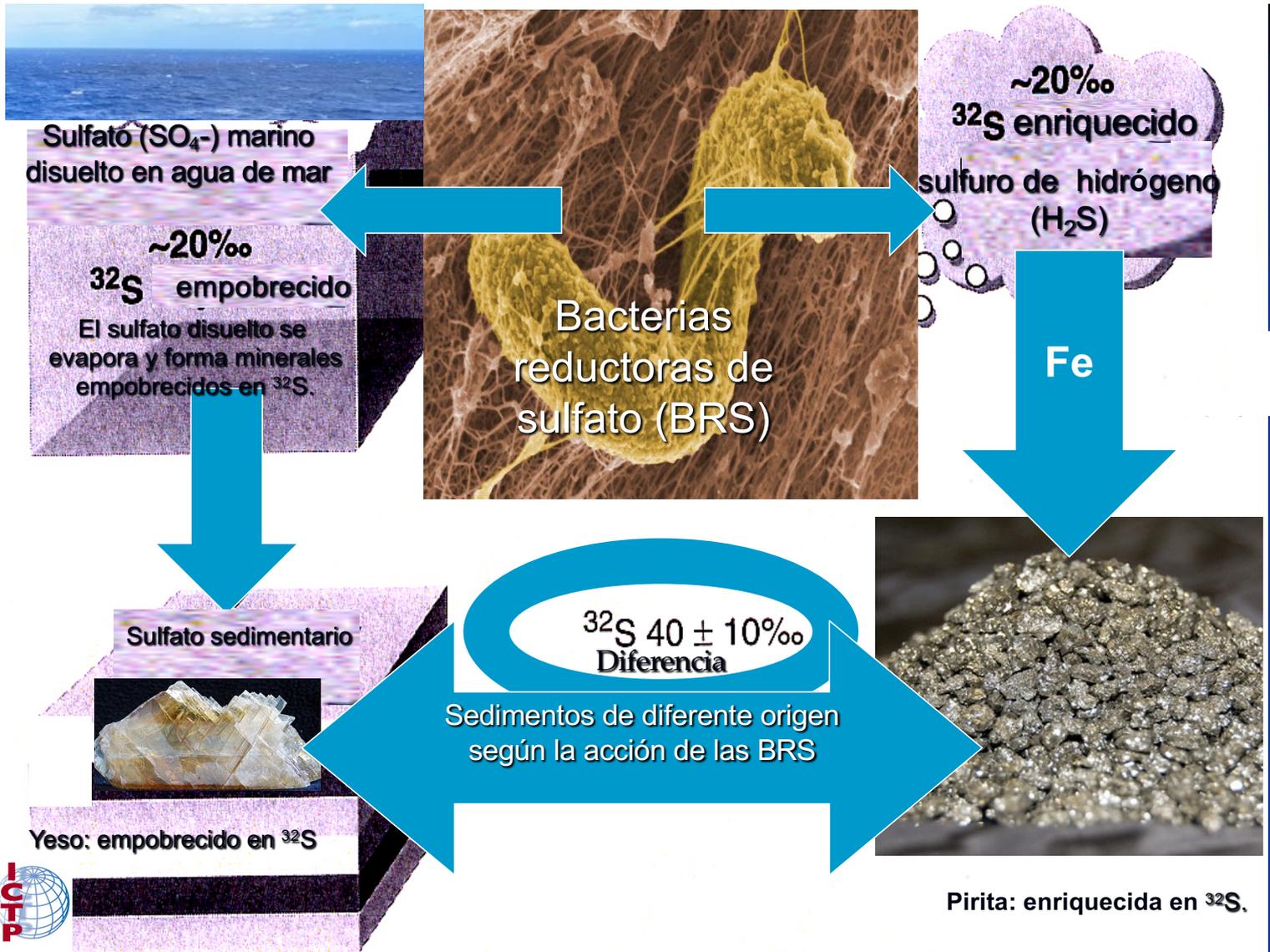
➤ Se ha descubierto en culturas que las BRS producen el gas (H_2S), enriquecido en ^{32}S , dependiendo de T, pH, concentración del sulfato).



➤ El gas, ya está enriquecido en ^{32}S relativo a la mezcla de ^{32}S y ^{34}S en la fuente marina del sulfato.

El gas reacciona con Fe para formar granos de **pirita** en los sedimentos también estn enriquecidos en ^{32}S (FeS_2).

➤ El sulfato en agua de mar queda empobrecido en ^{32}S . Al sufrir evaporación se forman en los sedimentos minerales de sulfato, empobrecidos en ^{32}S (por ej. **el yeso**).



Patrón para las abundancias isotópicas

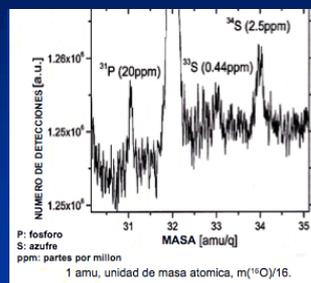
El cráter Barringer en la región del Cañón del Diablo, CD
(Arizona, USA).

El meteorito (M) que produjo el cráter lo abreviamos
como (MCD).

Un fragmento del MCD de 360 kg, que se toma como
patrón para las mediciones está conservado en el
Museo Nacional de Historia Natural de París.



Fraccionamiento isotópico



Del espectro de masas en la ilustración, con una mezcla del isótopo ^{32}S con el isótopo menos abundante ^{34}S , podemos definir un parámetro *delta* para una muestra dada (*mu*) con respecto a un patrón (*p*) :

$$\delta^{34}\text{S} = \left[\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{mu} / \left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_p - 1 \right] \times 10^3 \quad (\text{MCD}, \text{‰})$$

¿Qué nos dice el parámetro delta?

- Cuando la abundancia del isótopo S en una muestra es comparable con la mezcla de (^{32}S y ^{34}S) en el MCD,

$$\delta^{34}\text{S} = 0.$$

- Cuando la muestra haya sido alterada por las BRS y haya más abundancia de ^{32}S en la muestra que en la mezcla de (^{32}S y ^{34}S) en el MCD,

$$\delta^{34}\text{S} < 0.$$

- Cuando la muestra de sulfato sedimentario tiene mayor abundancia de ^{34}S que en la mezcla de (^{32}S y ^{34}S) en el MCD,

$$\delta^{34}\text{S} > 0.$$



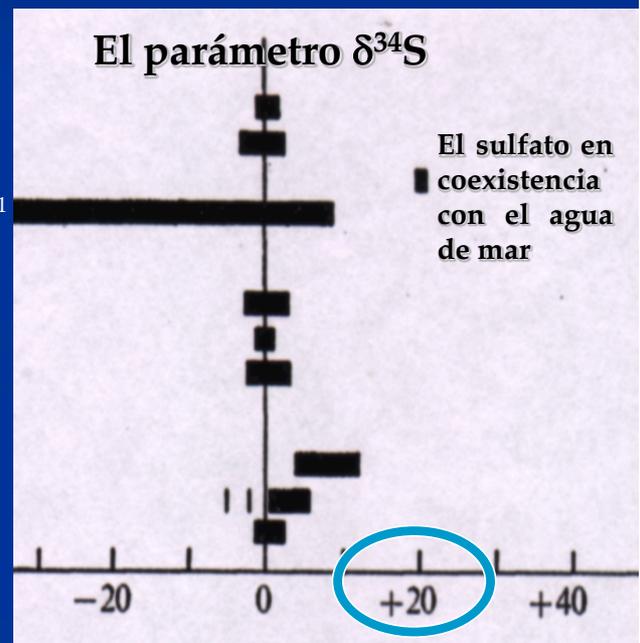
Fraccionamiento en el Sistema Solar

- Sabemos que el azufre puede ser fuertemente fraccionado por la actividad de bacterias que son capaces de reducir el sulfato.

En la Tierra

Hasta un -70‰ ¹

1. Wortmann et al. (2001). *Geology* **29**, pp. 647-650.



Kaplan, I.R. (1975). *Proc. Roy. Soc. Lond.*

B189, 183-211

40

4. Biomarcadores en mundos oceánicos

¿Porqué debemos investigar *in situ*?



Nuestra perseverancia en llevar instrumentos adecuados hasta las lunas galileanas está reconocido por:

Potter, R. S., et al. (2020). *Icarus* **351**,113940.

El dilema del azufre

El origen de las manchas de azufre descubiertas por Galileo:

Preguntas¹:

¿Serán ellas el producto de simple criovolcanismo,

o,

¿Ha sido el azufre ya procesado por BSRs?

1. JCF (2006). The sulphur dilemma: Are there biosignatures on Europa's icy and patchy surface? *International Journal of Astrobiology*, 5, pp. 17-22.





La mancha oscura (la “mácula”) de Castalia 0° N, 225° W, Galileo.

Los elementos químicos de la superficie son probablemente del océano interior

Prockter, L.M. y Schenk, P. (2005).
Icarus 177, 305–326.

La mácula de Castalia está
en una depresión con una
profundidad de 350m





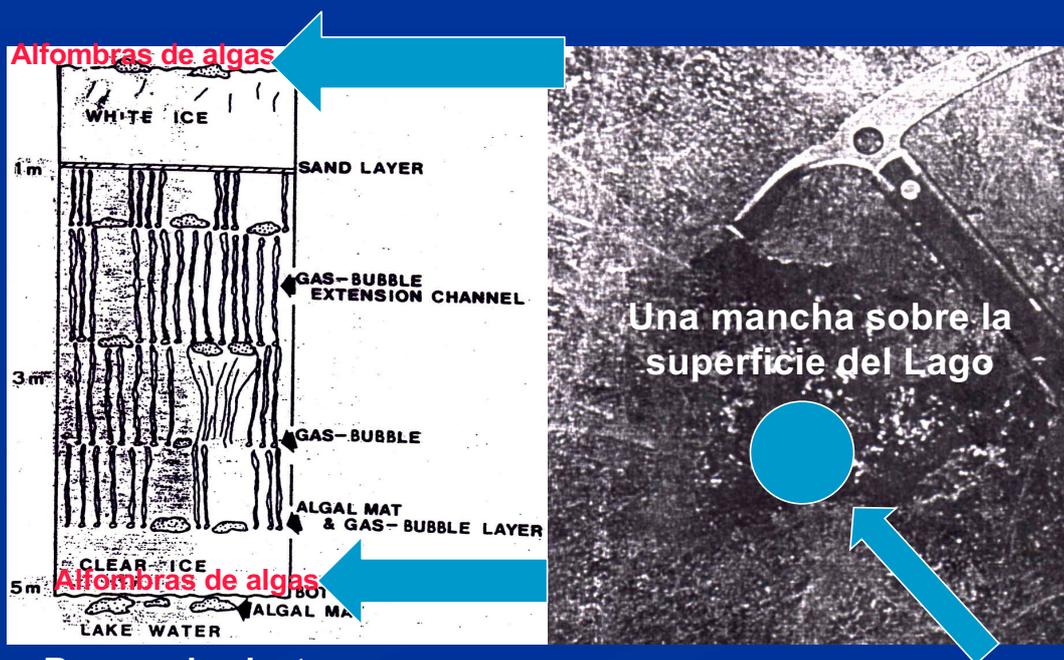
**Transportar del azufre
hasta las superficies heladas es frecuente en la
Tierra**

**C: Glaciar Canada
F: Lago Fryxell
H: Lago Hoare**

**El Valle de Taylor
Antartida**

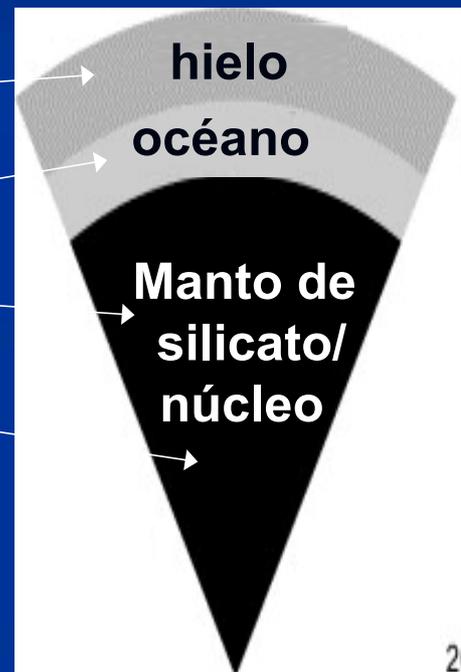
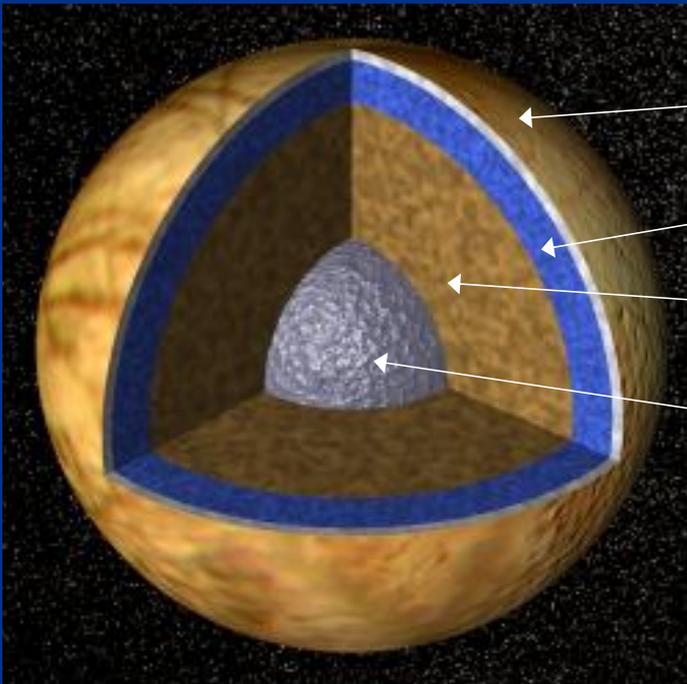
Manchas en la superficie del Lago Hoare

Viento catabático (> 50 – 200 kph)

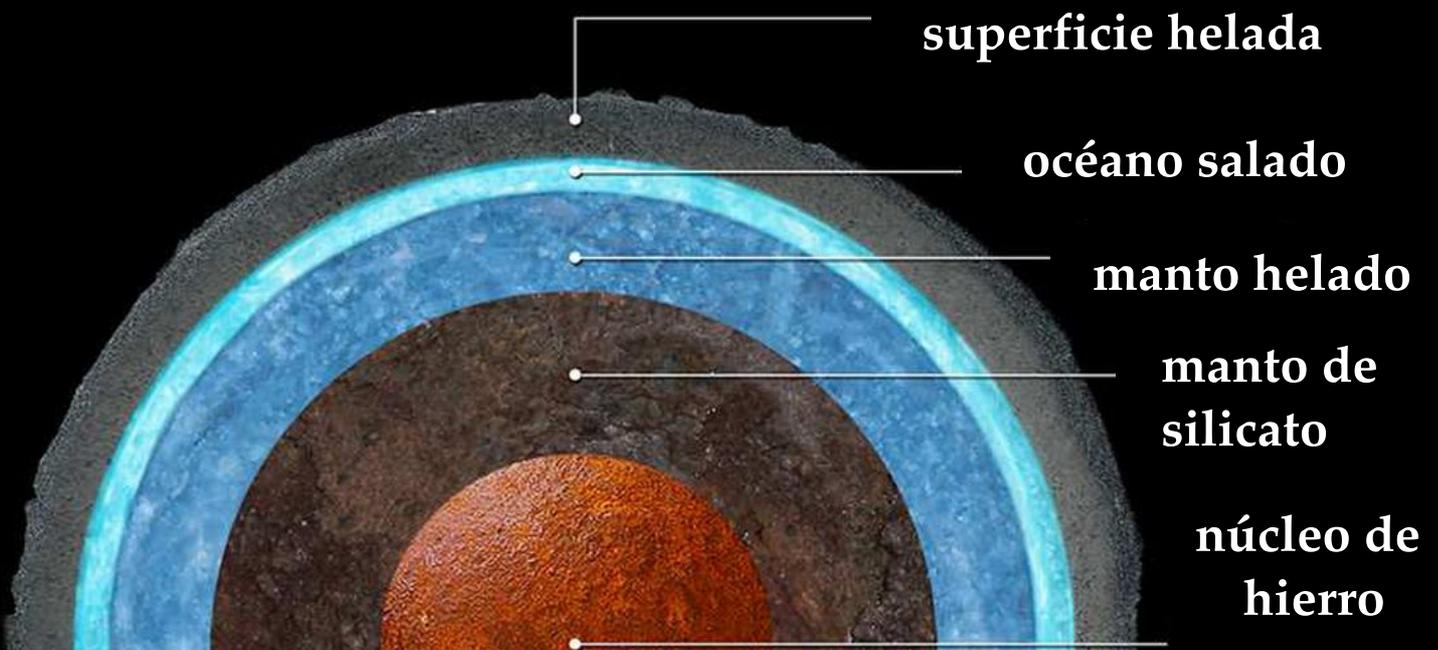


5. Detección de biomarcadores

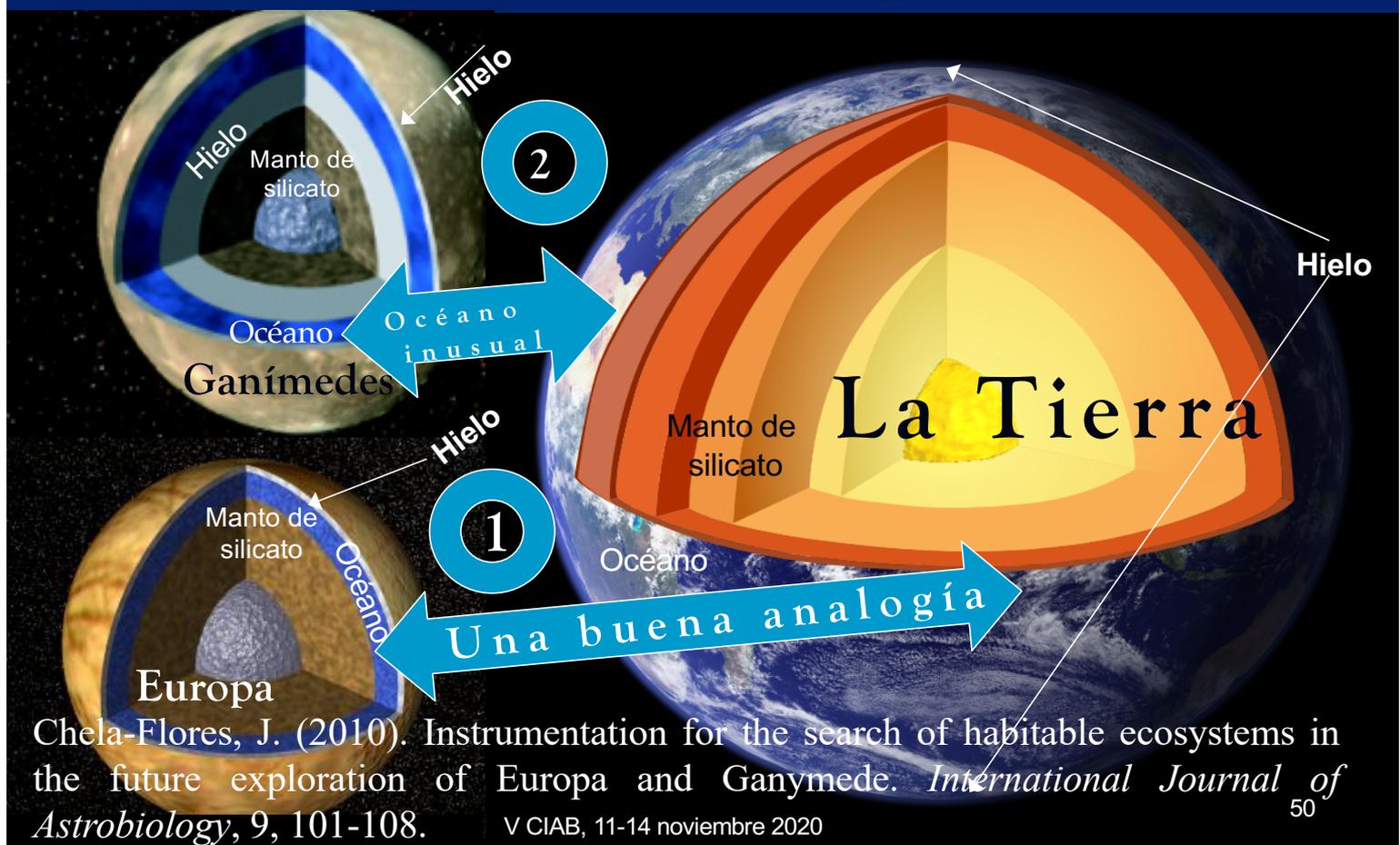
El segundo mundo oceánico es análogo al primero, la Tierra



El mundo oceánico, Ganímedes, no es análogo a la Tierra



Analogía entre la habitabilidad de la Tierra y las lunas de Júpiter



¿Hay vida en las lunas Galileanas?

Esperaríamos:

- Un valor grande y negativo de $\delta^{34}\text{S}$ para Europa.
- Un valor pequeño y negativo de $\delta^{34}\text{S}$ para Ganímedes si no hubiese contacto entre el núcleo y los océanos.

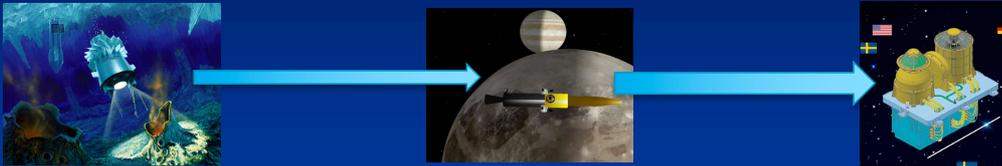
La presencia de vida no está excluida¹:

1. Barr, A. C., Pappalardo, R. T. and Stevenson, D. J. (2001). Rise of Deep Melt into Ganymede's Ocean and Implications for Astrobiology. *32nd Annual Lunar and Planetary Science Conference*, Houston, Texas, abstract no.1781, 2001.

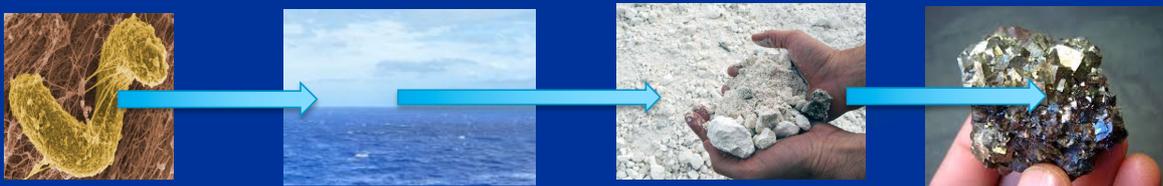


6. Resumen y agradecimientos institucionales

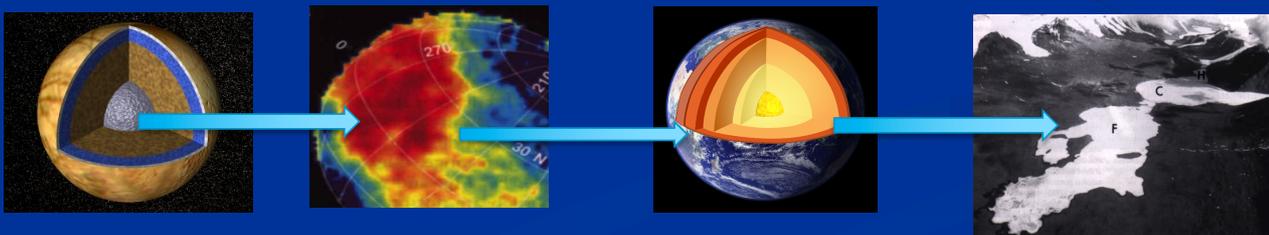
Evolución de la instrumentación:



Isótopos, al ser modificados por BRS, se convierten en biomarcadores:



Modificaciones por las BRS pueden llegar hasta sus superficies congeladas:



Gracias, amigos invisibles.

Con mi sincero agradecimiento a las dos generosas instituciones que han permitido compartir nuestras experiencias en astrobiología:

Al Instituto de Astrobiología de Colombia,
a su Director Dr. Jorge Enrique Bueno Prieto

y a

La Universidad del Atlántico,
a su equipo Rectoral que sabiamente supo apoyar
la ciencia de la astrobiología.