



Diciembre 2019 - ISSN: 2254-7630

## LUNA DE SATURNO CAPAZ DE ALBERGAR VIDA: CASO DE ESTUDIO "ENCÉLADO"

**José Alberto Acosta Guzmán<sup>1</sup>**

Fundación, Educación, Investigación y Ecoturismo  
[fuedinec@hotmail.com](mailto:fuedinec@hotmail.com)

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

José Alberto Acosta Guzmán (2019): "Luna de saturno capaz de albergar vida: caso de estudio "Encélado"", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (diciembre 2019). En línea: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/12/luna-saturno-vida.html>

### Resumen

La presente investigación tratará el descubrir alguna forma de vida similar a la tierra fuera de esta, básicamente en una de las lunas de Saturno "Encelado". Aunque se puede afirmar, recientemente el Observatorio de FUEDINEC también se ha incorporado a esta importante búsqueda. Además, se presenta una visión general del estado actual de la búsqueda de vida en una de las lunas de Saturno "Encélado" así como de los trabajos realizados que en este sentido en el Observatorio de FUEDINEC. Se puede afirmar, el origen de la vida en otros planetas ha sido considerado como la problemática científica más importante del pasado y presente siglo. Así mismo, se pretende ofrecer una descripción somera del papel del hidrotermalismo en el origen y desarrollo de la vida.

**Palabras clave:** Encélado, vida extraterrestre, espacial.

### Abstract

The present investigation will try to discover some form of life similar to the earth outside this, basically in one of the moons of Saturn "Enceladus". Although it can be affirmed, recently the FUEDINEC Observatory has also been incorporated into this important search. In addition, an overview of the current state of the search for life is presented on one of Saturn's moons "Enceladus" as well as the work done in this regard at the FUEDINEC Observatory. It can be affirmed, the origin of life on other planets has been considered as the most important scientific problem of the past and present century. Likewise, it is intended to offer a brief description of the role of hydrothermalism in the origin and development of life.

**Key words:** Enceladus, life, alien, space.

---

<sup>1</sup> Doctor en Administración de Empresas y Economía por la Universidad de Sevilla (España). Ph.D, en Economics, en Atlantic International University, United States of America. Coordinador Investigaciones "FUEDINEC".

## Introducción

Se puede afirmar, Encélado reúne todos los requerimientos para recopilados desde la sonda Cassini, desintegrada en el año 2017, un grupo de científicos logro descubrir que la capa de hielo que cubre a Encélado, con un grosor de 40 kilómetros, este reúne todos los requisitos básicos para albergar vida. El satélite representa el sexto más grande del planeta Saturno.

Las actuales investigaciones sobre Encélado continúan impresionando cada vez más. Anteriormente solo se había identificado moléculas orgánicas simples, y esto fascinaba. En el presente se ha descubierto moléculas orgánicas de más de 200 unidades de masa atómica. Con moléculas complejas que emanan de su océano de agua líquida, esta luna es el único cuerpo, se puede considerar que aparte de la madre naturales "tierra" que satisface al mismo tiempo todos los requisitos básicos para la vida como la conocemos", Christopher Glein.

En el año 2015, la sonda Cassini sobrevoló la sexta luna más grande de Saturno, cuando uno de sus sistemas detectó hidrógeno molecular. Los investigadores sobre la materia consideran que ese compuesto se forma por la interacción geoquímica entre el agua y las rocas en la superficie de la capa de hielo.

Finalmente, después de que llegara a su fin, Cassini sigue enseñándonos el potencial de Encélado para avanzar en el campo de la astrobiología", agrega Glein. Según los científicos, lo que se descubrió será muy significativo para los siguientes años de la exploración sideral.

## Antecedentes

El investigador italiano Galileo Galilei (1610) fue el primero en observar al planeta Saturno con su telescopio, asimismo le resulto muy difícil comprender la forma y el movimiento del planeta. Además, Galileo no pudo descubrir que la aparente forma irregular del planeta Saturno se debía, a que le rodeaban anillos. Más adelante Christian Huygens (1655) concluyó que el planeta estaba rodeado por un anillo, de enorme tamaño Ramírez (2014).

Saturno es considerado el segundo planeta más grande del sistema solar al cual pertenece la Tierra. Se considera que tiene aproximadamente más de 4000 millones de años que se formó, a partir de la misma nube de gas y polvo que giraba alrededor del Sol y que también formó la Tierra y los otros planetas de nuestra vía láctea. Según investigaciones la masa de Saturno es 95.18 veces la masa de la Tierra.

Este satélite de Saturno "Encélado" fue visualizado y descubierto en 1789 por William Herschel. Es considerada la luna más brillante de todo el sistema solar, ya que refleja casi el 100 % de la luz solar que incide sobre su superficie. Considerada también la sexta luna más grande de Saturno, mide 504 km, con un diámetro y orbita a 238,000 km con respecto al centro de Saturno, tiene una masa de aproximadamente  $1.08 \times 10^{20}$  kg, . Este pequeño

satélite con un periodo orbital de 1.37 días, con una densidad promedio de 1.61 g/cm<sup>3</sup> y una excentricidad de 0.0047 y una inclinación al ecuador de Saturno de 0.0083° (Porco 2008)

Albedo	≈ 1
Masa	1.08 × 10 <sup>20</sup> kg
Radio	252 km
Densidad	1.61 g/cm <sup>3</sup>
Excentricidad	0.0047
Distancia a Saturno	238, 000 km
Período orbital	1.37 días
Inclinación	0.0083°

La luna Encélado tiene una gran diversidad geológica; desde terrenos abruptos y cauterizados hasta superficies casi lisas. Se ha detectado una tenue atmósfera transitoria producto de las eyecciones criovolcánicas. El criovolcanismo en Encélado fue confirmado el 27 de Noviembre del año 2005 con una imagen tomada por la nave Cassini, en uno de sus acercamientos a Encélado Ramírez (2014) Además, la producción de calor que se manifiesta en el polo sur de esta luna es mucho mayor de lo que se preveía Spencer(1987)

Ramírez (2014) ha expresado: El Criovolcanismo puede ser considerado es una forma fría de vulcanismo, en el cual, en lugar de expulsar material magmático de altas temperaturas, la eyección es fría. El criovolcanismo en el Sistema solar no es raro. Lo podemos observar en varios satélites de planetas exteriores como Europa, Encélado y Tritón (satélites de Júpiter, Saturno y Neptuno respectivamente). Sin embargo, Encélado resulta especial porque se ha captado en plena erupción y parte del material que expulsa ha sido analizado por los instrumentos de la nave Cassini. Una de las cuestiones que no se ha resuelto satisfactoriamente es cual o cuales son y cuanto aportan las fuentes de calor que alimentan el criovolcanismo en Encelado.

Según las primeras imágenes enviadas por la nave Cassini mostraron que la superficie de Encélado se regenera de forma continua y que Encelado es uno de los cuerpos geológicamente más dinámicos del Sistema solar, Porco et al., (2006), y Helfenstein (2010).

Encelado en su hemisferio norte, es una zona de pocos cambios llena de cráteres que son más escasos en las regiones cercanas al Polo Sur (designaremos a esta zona SPT o South Polar

Terrain). El hemisferio sur, y en particular su zona polar, es una región joven de grandes fracturas y actualmente activa. Es ahí, donde se observan los geiseres de gas y polvo, y es, por supuesto, la región más interesante e intrigante del satélite.

Este satélite es Encélado, llamado así como leyenda a uno de los titanes de la mitología griega. Su diámetro es tan sólo el 14% de nuestra luna, y está situada a unos 280,000 kilómetros del planeta. Su superficie muestra una capa de hielo y cráteres formados por el impacto con rocas del espacio.

## **Propiedades físicas de Encélado**

Los horizontes temporales lejanos que se extienden ante la humanidad, aunque conocidos por todos los estudiosos de la astronomía, no han calado en nuestra cultura en la misma medida. El astro Sol aún no ha alcanzado la mitad de su vida útil. Se formó hace aproximadamente 4.500 millones de años, pero le quedan otros 6.000 millones de años antes de quedarse sin combustible. Entonces estallará, engullirá los planetas interiores y destruirá toda la vida que pudiera quedar en la Tierra.

Ese gran investigador del evolucionismo Darwin afirmó «ninguna especie viva en el globo terráqueo se parecerá a sí misma en un futuro distante». Ahora se sabe que ese «futuro» se prolonga mucho más allá y que las alteraciones de las especies pueden producirse mucho más rápido de lo que pronosticó Darwin. Además, se conoce que el cosmos, por el cual puede propagarse la vida, ofrece un hábitat mucho más extenso y variado de lo que jamás se habría imaginado. Sin duda, los humanos no son la rama definitiva de un árbol evolutivo, solo una especie surgida en una fase temprana en la sucesión temporal de especies, con aptitudes concretas para una evolución diversificada, y tal vez de importancia cósmica, como punto de partida de una transición hacia entidades basadas en el silicio (y potencialmente inmortales), que puedan trascender las limitaciones humanas con mayor facilidad.

Finalmente, Ramírez (2014) ha expresado: investigaciones han demostrado que diferentes valores en los parámetros físicos de Encélado pueden llevar a diferentes tasas de disipación de energía de marea en la luna de Saturno. Una investigación realizada hace algunos años (Ross y Schubert, 1989) demostró que la energía de disipación por marea podría llegar a ser de hasta  $1 \text{ T W}$ . Otros autores (Meyer y Wisdom, 2007, Roberts y Nimmo, 2008) estos investigadores han calculado una energía de marea de  $1.1 \text{ GW}$ , asumiendo un cuerpo con simetría radial con una capa de silicato uniforme, un océano y una capa de hielo en el que la temperatura y la viscosidad son propios de un entorno conectivo. También se encontró que la disipación de las mareas en los silicatos era insignificante para cualquier viscosidad probable (Collins y Goodman, 2007)

## **Realidad**

En la práctica, en un porcentaje alto, toda esa inmensidad temporal de 4.500 millones de años, el aspecto de la Tierra habría ido cambiando de forma muy paulatina. Los continentes se desplazaron; la capa de hielo creció y menguó; aparecieron, evolucionaron y se extinguieron sucesivas especies. Pero durante una mínima fracción de la historia de la Tierra, una millonésima parte, los últimos pocos miles de años, las pautas de vegetación se alteraron a mucha mayor velocidad.

Se puede afirmar, en un lapso de media centuria, poco más de la centésima parte de una millonésima de la edad de la Tierra, el dióxido de carbono en la atmósfera se ha incrementado de un modo anormalmente rápido. Así mismo, ha ocurrido algo más que tampoco tenía precedentes: los vehículos espaciales lanzados desde la superficie del planeta han abandonado por completo la biosfera.

## **Tecnologías de ultrapunta**

Lo que resta de este siglo XXI, existen tecnologías que serán determinantes en los avances científicos: la biotecnología avanzada, la inteligencia artificial (y la posibilidad de mejorar los cíborgs) y la capacidad para explorar el espacio. Estas tecnologías se desarrollan a una velocidad vertiginosa que no se puede predecir con certeza ni siquiera lo que pasará cuando termine este siglo.

Se puede indicar, con cierta precisión, en el campo de la biología, ha pasado media centuria desde el descubrimiento de la doble hélice por Crick y Watson hasta que se secuenció el genoma humano. Así mismo, exactamente en solo una década, el costo de cada una de estas secuenciaciones se ha dividido por diez mil. Las nuevas técnicas de edición de genes, y los llamados experimentos «de incremento de función» (gain of function) que permiten obtener virus más agresivos o transmisibles, ofrecen grandes esperanzas.

Las investigaciones indican, existen discrepancias acerca del camino a seguir para alcanzar un nivel de inteligencia humano. Unos opinan que debemos emular la naturaleza y aplicar ingeniería inversa al cerebro humano. Otros dicen que eso es tan disparatado como tratar de diseñar máquinas voladoras imitando el movimiento de las alas de los pájaros. Y los filósofos debaten si la «consciencia» es o no exclusiva del «hardware orgánico» de los cerebros de humanos, simios y perros, y que, de ser así, los robots, por muy sobrehumanos que parezcan sus intelectos, nunca tendrán conciencia de sí mismos ni vida interior.

## **Vida extraterrestre**

El agua en estado líquido es de suma importancia para la existencia de vida terrestre tal y como se conoce. Este preciado líquido sirve para el intercambio de alimentos y desechos entre el ser vivo y el exterior. Este líquido tiene además otras propiedades interesantes para los

seres vivos como la capilaridad y la dilatación anómala. Gracias a la capilaridad, el agua puede subir a través de las raíces y los tallos de las plantas hasta las hojas en contra de la fuerza de la gravedad. La densidad del agua en estado sólido (hielo) es inferior a la densidad del agua en estado líquido, lo que permite al hielo flotar en el agua permitiendo que la vida continúe en las capas inferiores y evitando que los océanos se congelen.

Se puede afirmar, la existencia de organismos simples en el planeta Marte, o tal vez fósiles congelados de criaturas que vivieron en el planeta en una fase temprana de este. Y, por supuesto, podría haber también vida flotando en los océanos cubiertos de hielo de Europa, el satélite de Júpiter, o en la luna Encélado de Saturno. Pero pocos apostarían por ello y desde luego nadie espera que exista una biosfera compleja en tales lugares. Por eso tenemos que mirar hacia estrellas más lejanas, fuera del alcance de las sondas que ahora mismo somos capaces de construir. Y aquí las perspectivas son mucho más halagüeñas: hemos sabido que hay, dentro de nuestra Vía Láctea, millones, incluso miles de millones de planetas que recuerdan a la Tierra en su juventud.

Así mismo, el vapor de agua no sólo es un ingrediente fundamental del medio interestelar en nuestra Galaxia sino también en las galaxias externas. Herschel ha permitido la observación de vapor de agua en la galaxia ultraluminosa Markarian 231 (González-Alfonso et al. 2010) y la galaxia con brotes de formación estelar M 82 (Weiß et al. 2010). El origen de la emisión es diferente en estas dos galaxias. En Markarian 231, la emisión procede del núcleo de la galaxia. Los rayos X producidos por el agujero negro que hospeda en su interior y los fuertes choques son los responsables de que gran cantidad de moléculas de agua se hallen formando vapor de agua en este núcleo activo.

Investigaciones realizadas han arrojado informaciones sobre el satélite Kepler de la NASA monitorizó el brillo de 150.000 estrellas con suficiente precisión para detectar tránsitos de planetas no mayores que la Tierra. Se sabe que algunas estrellas tienen hasta siete planetas en su órbita, y también que los sistemas planetarios muestran una variedad sorprendente. Es posible que nuestro sistema solar sea cualquier cosa menos típica. En algunos sistemas, planetas tan grandes como Júpiter orbitan tan cerca de sus soles que su «año» dura solo unos días. La cercana estrella Alfa Centauri tiene un planeta del tamaño de la Tierra orbitando tan cerca que su «año» dura cuatro días terrestres.

## **Géiseres y océanos en Encélado**

Estudios recientes han demostrado, Encélado, es considerado uno de los satélites de Saturno, salió a la actualidad hace varios años cuando la sonda Cassini detectó unos impresionantes géiseres emergiendo de su superficie. Estudios recientes muestran ahora que los géiseres podrían surgir de océanos líquidos, posiblemente agitados, escondidos bajo una corteza de unos 40 kilómetros de espesor.

Esta luna de Saturno posee unos 500 km de diámetro, Encélado es una de los pequeños satélites más interiores de Saturno. Las investigaciones han demostrado que posee una superficie es muy brillante, pues refleja prácticamente toda la luz que recibe del Sol. Debido esta alta reflectividad, posee una temperatura superficial muy fría, se mantiene en los 200 grados bajo cero.

Así mismo, la corteza de Encélado es muy inhomogénea. Se puede indicar varias partes muestran cráteres de hasta 35 km de diámetro, mientras que otras zonas son muy lisas (y por lo tanto jóvenes), y aún hay otras regiones que presentan profundas estrías y deformaciones diversas. Esto inicio conociéndose desde que las sondas Voyager pasaron por la proximidad de la pequeña luna de Saturno al principio de la década de los 1980.

Esto proporcionó un giro cuando en el año 1997, con el fin de visitar Saturno y sus satélites, la NASA en colaboración con la "ESA" lanzó la sonda Cassini, una nave espacial que protagonizó una auténtica odisea interplanetaria. Se puede afirmar, uno de sus mayores logros lo alcanzó Cassini en el año 2005, cuando en varias aproximaciones al satélite de Saturno Encélado descubrió unas enormes columnas de vapor emanando desde regiones cercanas a su polo sur. Tales géiseres revelaban una importante actividad geológica interna. Cassini sobrevoló los géiseres y determinó que las emanaciones estaban compuestas de vapor de agua mezclado con algunos hidrocarburos y pequeñas partículas heladas. También midió que la temperatura de este material estaba en torno a los cero grados centígrados. Todo ello sugería que bajo la corteza helada de Encélado debía existir una gran masa de agua líquida sometida a algún fenómeno de calentamiento.

## **Condiciones idóneas para la vida**

La sonda Cassini ha contribuido pruebas de la presencia de calor bajo la superficie de Encélado, pero se presenta la incógnita: cuál es el mecanismo físico capaz de calentar así el subsuelo. Una explicación plausible procede de las enormes fuerzas de marea ejercidas por un gigante gaseoso como Saturno sobre esta luna tan pequeña y próxima. En efecto, según describe su órbita alrededor del planeta de los anillos, Encélado se ve sometido a tensiones tan enormes que su forma llega a cambiar ligeramente dependiendo de su posición.

Además, las fricciones ocurridas internas ocasionadas por tales efectos de marea pueden dar lugar a una cierta actividad volcánica que calienta las regiones del subsuelo manteniendo los movimientos de convección. El subsuelo de Encélado reúne pues los tres ingredientes que son indispensables para que surja la vida: agua líquida, compuestos orgánicos y una fuente de energía. De hecho, en algunas regiones del planeta Tierra sometidas a condiciones similares, hay organismos que sobreviven sin mayores problemas. Hace tan solo unos años, Encélado era un satélite desprovisto de todo interés.

## Océanos subterráneos

En la revista *Geophysical Research Letters*, un equipo de astrónomos liderado por el Dr. J. Olgin de la Universidad de Texas han investigado la morfología de las estrías (conocidas como "rayas de tigre") por las que emanan los géiseres y han estimado que la corteza helada de Encélado, en esta región del sur, tiene un espesor de apenas 40 kilómetros. Siendo esta, muy delgada, la corteza es capaz de mantener fenómenos de convección en el interior. Los autores argumentan que quizás la corteza fue más espesa en el pasado, pero, según la convección va ganando importancia, la corteza va adelgazando y formando estrías hasta que se crean fisuras en las zonas más frágiles.

En este proceso se acumulan bolsas de este líquido burbujeante en oquedades bajo el hielo se originarían regiones de alta presión. Las altas presiones acabarían formando fisuras y rompiendo la superficie. Por tal fricción, el agua efervescente de los océanos subterráneos podría llegar a emerger para formar los espectaculares géiseres observados por Cassini. El resultado sería pues similar al que se observa cuando se abre, después de agitarla, una botella llena de refresco gaseoso.

Según Carl Sagan, el planeta Tierra es un «punto azul pálido», muy próximo a una estrella (nuestro Sol) que es miles de millones de veces más brillante: una luciérnaga junto a una linterna. Pero si los extraterrestres pudieran detectar la Tierra, apreciarían bastantes cosas. La sombra azulada variaría en función de si estuvieran situados frente al océano Pacífico o a la masa terrestre eurasiática. Se puede afirmar, la duración del «día», las estaciones, si hay océanos, rudimentos de su topografía y su clima. Analizando la débil luz, podrían deducir que la Tierra tiene una biosfera.

En la actualidad, los telescopios con que se tiene hasta el momento no permiten deducir en gran medida sobre planetas semejantes a la Tierra, aunque son capaces de determinar la luz de los júpiteres que orbitan estrellas cercanas. Pero todo apunta a que en la próxima década el telescopio espacial James Webb, un telescopio espacial con una lente de 6,5 metros de diámetro cuyo lanzamiento está previsto para 2018, nos dará más información. Mejor aún podría ser la próxima generación de telescopios terrestres gigantes.

En un plazo de 10 años, el telescopio E-ELT (Telescopio Europeo Extremadamente Grande, un nombre muy poco imaginativo), que se está construyendo en la cima de una montaña en los ojos de la humanidad "Chile" con un espejo primario de 39 metros de ancho, podrá llegar a las mismas conclusiones acerca de planetas del tamaño de nuestra Tierra orbitando otras estrellas semejantes al Sol.

Se debe tener presente, de haber surgido inteligencia en alguno de estos mundos, podría haberlo hecho antes que en la Tierra (si se dio en un planeta orbitando una estrella más antigua que el Sol) o evolucionado más rápidamente que aquí. En consecuencia, la vida en otra parte podría haber desarrollado ya capacidades que superarían con creces las nuestras.

Estos tiempos, han implicado las iniciativas de exploración de la inteligencia artificial buscando transmisiones electromagnéticas, en cualquier banda, que sean manifiestamente artificiales. Pero, aunque la búsqueda tuviera éxito (y muy pocos de nosotros apostaríamos por más del 1 % de probabilidades de que esto ocurra), en mi opinión seguiría siendo muy difícil que la «señal» contuviera un mensaje decodificable y dirigido expresamente a nosotros.

Así mismo, Acosta (2017), ha indicado, las actividades humanas, propias de la vida urbana, se constituyen en sí misma en fuentes contaminantes de las subcuencas y ríos con los cuales conviven. Esto implica que la no existencia de humanos en la luna de Saturno, Encélado otorga la oportunidad de la no contaminación del agua existente en ese satélite.

## **Conclusiones**

El agua líquida, representando un compuesto primario para la existencia de vida en el planeta Tierra, es una de las moléculas más abundantes del Universo. Debido a las condiciones de presión y temperatura del medio interestelar, el agua se encuentra generalmente en estado sólido o gaseoso fuera del planeta Tierra. El lanzamiento del Observatorio Espacial Herschel ha permitido conocer con detalle la distribución del vapor de agua en el Universo.

Se puede afirmar, en la actualidad se sabe, que en las nubes moleculares de la vía láctea el agua se encuentra esencialmente en estado sólido, siendo uno de los principales componentes de los mantos helados que rodean los granos de polvo. El vapor de agua sólo es abundante en las regiones cerca de las estrellas, donde debido a las altas temperaturas y a los choques que producen las eyecciones bipolares, los hielos se destruyen y las moléculas de agua se transfieren al estado gaseoso.

Finalmente, es sabido, en las últimas etapas de la vida de las estrellas, el agua se forma en cantidades apreciables en las envolturas de las gigantes rojas. Cuando las gigantes rojas llegan al estado de nebulosa planetaria, el gas de las envolturas va siendo expulsado poco a poco al medio interestelar donde las moléculas de agua son destruidas por la radiación ultravioleta liberando los átomos de O e H, que posteriormente servirán para formar nuevos compuestos (entre ellos, agua) en las nubes moleculares.

## **Bibliografía**

Acosta G. José (2017): "La contaminación del agua superficial del río Yaque del Norte", Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible, n. 28 (febrero 2017). En línea:<http://www.eumed.net/rev/delos/28/agua-contaminacion.html>  
<http://hdl.handle.net/20.500.11763/delos28agua-contaminacion>

A. Weiß, M. A. Requena-Torres, R. Güsten, S. García-Burillo et al (2010).. Astronomy & Astrophysics, 521, L1

Collins y J. C. Goodman.(2007): , Enceladus' south polar sea., Icarus, 189:72–82, 2007., doi:10.1016/j.icarus.2007.01.010.

González-Alfonso, J. Fischer, K. Isaak et al. (2010). Astronomy & Astrophysics, 518, L43

Helfenstein, (2010): Planetary science: Tectonic overturn on Enceladus., Nature Geoscience, 3:75–76, 2010., doi:10.1038/ngeo763.

Meyer, J. and Wisdom, J., (2007): Tidal heating in Enceladus., Icarus, 188:535-39, 2007., doi:10.1016/j.icarus.2007.03.001.

Porco C. (2008) The Restless Enceladus., Scientific American., 52-63.

Ramírez alma (2014): Impacto de Encélado en el ambiente que rodea Saturno. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Ciencias de la Tierra.

Roberts, J.H., Nimmo F., (2008): Tidal heating and the long-term stability of a subsurface ocean on Enceladus., Icarus, 194:675-689, 2008., doi:10.1016/j.icarus. 2007.11.010.

Ross, M. N. and Schubert, G.(1989) Viscoelastic models of tidal heating in Enceladus., Icarus, 78:90–101, 1989., doi:10.1016/0019-1035(89)90071-7.

Spencer, J.R. (1987). The Surfaces of Europa, Ganymede, and Callisto: An Investigation using Voyager IRIS Thermal Infrared Spectra., Ph.D. Thesis, University of Arizona.