



PONIENDO EN CLARO

Astrobiología: una visión global

Javier Gutiérrez Fernández¹ y Sergio Valbuena Álvarez²

Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León. Los autores son alumnos de 4º de Biotecnología⁽¹⁾ y 2º de Biología⁽²⁾.

(btcjgf01@estudiantes.unileon.es)¹, (biosva00@estudiantes.unileon.es)²

La Astrobiología es la parte de la Astronomía que busca respuesta a preguntas tales como el origen de la vida o la posibilidad de encontrar seres vivos en otros lugares del Universo. A pesar de su juventud, en los últimos años ha sufrido un notable auge debido al gran interés que suscitan, tanto a nivel científico como público, los aspectos que investiga. Se trata de una ciencia interdisciplinar que se desarrolla aunando la mayoría de las ramas de experimentales del conocimiento, estando sobre todo relacionada con la Astronomía, la Biología y la Química. Debido a su creciente influencia sobre el panorama científico actual existen centros especializados en Astrobiología que incluyen departamentos de extremofilia, geología, ecología y evolución molecular. Por otro lado, la mejora de las técnicas de análisis y los conocimientos que se adquieren sobre sistemas extraterrestres contribuyen al avance de una disciplina con un futuro muy prometedor.

Palabras clave

Astronomía, exogénesis, moléculas prebióticas, meteoritos, migraciones, exobiología.

Origen de la vida y astronomía

Una de las cuestiones centrales que trata de resolver la Astrobiología es el origen de la vida. Son numerosos los experimentos que se han realizado en torno a este campo, con varias disciplinas implicadas en ello, como la química, biología, geología, física, etc. La astronomía juega un papel fundamental en este compendio de conocimientos, tanto en lo referente a la formación y búsqueda de planetas óptimos para la vida como por sus estudios sobre vida extraterrestre y su posible diseminación espacial.

No se puede hacer referencia al origen de la vida sin mencionar previamente las condiciones ambientales existentes durante la formación de la Tierra. Se estima que la formación de los océanos tuvo lugar en el eón Hádico (4.570 a 3.800 millones de años aprox.), bajo unas condiciones extremas de temperatura (100°C) y un pH variable de

ligeramente ácido a neutro. La formación de una atmósfera reductora también fue un factor más que relevante para el origen posterior de la vida en nuestro planeta. Todo ello nos permite obtener un marco relativamente útil en la búsqueda de ambientes óptimos para el origen de la vida fuera de la Tierra.

Moléculas prebióticas y origen de la vida

La Astrobiología presenta un especial interés en lo que al origen de las moléculas prebióticas se refiere, debido en parte a la alta probabilidad que existe de que la vida en otros planetas esté basada en estructuras de carbono muy similares a la nuestra. A día de hoy no existe nada concluyente en el campo de la bioquímica que nos indique con certeza y rigurosidad cómo se produjo el origen de las primeras formas de vida, pero existen ciertas ideas establecidas que se consideran necesarias para tal fin. Siguiendo el modelo de J. D. Bernal (1968), en un principio debieron formarse monómeros moleculares que darían lugar a polímeros posteriores, llegando estos a evolucionar hasta dar forma a la célula primitiva. Numerosos estudios sobre simulaciones ambientales, cinéticas de estados transitorios, espontaneidad de reacciones de polimerización y teoría del caos han servido para conocer cada vez más datos sobre las extensas posibilidades existentes en la combinación de moléculas inorgánicas (CH_4 ,

NH_3 , H_2S , CO_2 y agua) para llegar a formar moléculas orgánicas de complejidad variable. Stanley Miller y Harold Urey (*Figura 1*) fueron los pioneros en este tipo de experimentos, intentando simular unas condiciones que en 1953 se estimaban como posibles durante la formación de la Tierra. Sus trabajos a lo largo de esos años dieron lugar a avances realmente importantes sobre la existencia de un caldo primigenio en cuyo seno se originasen las primeras moléculas orgánicas. A estos estudios les siguieron los experimentos de espontaneidad de S. Fox en la década de 1960 y los de catálisis enzimática macromolecular de M. Eigen, basándose todos ellos en las condiciones de dicho caldo.

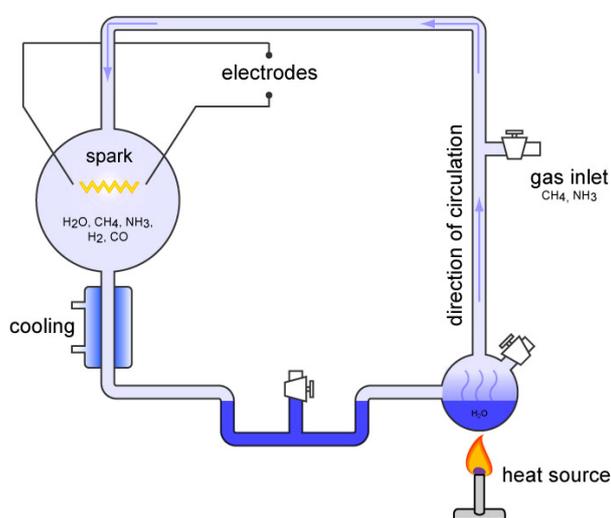


Figura 1. Esquema del dispositivo utilizado por Miller y Urey en su experimento.

Tras estos estudios de laboratorio se han descrito algunos modelos que explicarían en cierta medida el origen de la vida en la Tierra. Aquí es donde la Astrobiología se encuentra más implicada, ya que la extrapolación de estos modelos al estudio de planetas extrasolares puede aportar bastante información sobre la probabilidad de la existencia de vida en su superficie. Existen dos tipos de hipótesis básicas que tratan de explicar el origen de la vida en la Tierra, a saber, las denominadas *genes-first* y las *metabolism-first*, aunque actualmente se han propuesto modelos que toman características de ambas a la vez. En el caso de las *genes-first*, propuesto por primera vez por W. Gilbert (1986), se sugiere la formación espontánea inicial de cadenas de RNA autorreplicativo que mediante interacción con otros elementos generarían posteriormente las primeras proteínas encargadas de una catálisis más efectiva, relegando a los ácidos nucleicos a una posición puramente informativa. Los modelos *metabolism-first* se basan en la idea de la existencia de una ruta o ciclo metabólico previo que permitiese la fijación progresiva del carbono y la formación de estructuras cada vez más sofisticadas, llegando a los complejos catalíticos y el RNA. En este caso la importancia del hierro y el azufre es crucial, así como la existencia de un ambiente anaerobio estricto, por lo que existe una teoría de mucho peso basada en el origen de la vida en fuentes hidrotermales submarinas, propuesta por el químico G. Wächtershäuser. Otro modelo interesante desde el punto de vista de la Astrobiología es el propuesto por Z. Adam, en el que los procesos mareales mayores generados por una distancia Tierra-Luna menor a la actual pudieron acumular ciertos elementos radiactivos en determinadas zonas del globo, llegando a generar azúcares y aminoácidos básicos.

Exogénesis

Existe un conjunto de teorías que trasladan el origen de la vida al exterior de nuestro planeta, siendo estos estudios uno de los objetivos principales de la Astrobiología. Precisamente por trasladar el problema no solucionan la cuestión principal, es decir, el origen de la vida como tal. Una de las hipótesis más consolidadas en el pasado, la denominada Panspermia, sugiere que las “semillas” de la vida se encuentran diseminadas por el universo, pudiendo haber llegado a la Tierra mediante la ingente cantidad de asteroides que golpeó nuestro planeta desde su formación. Numerosos científicos de renombre han apoyado esta hipótesis, como los químicos S. A. Arrhenius, J. J. Berzelius y H. Helmholtz o los astrónomos F. Hoyle y C. Wickramasinghe, aunque la idea principal es originaria de los textos de Anaxágoras,

filósofo griego presocrático. A favor de la Panspermia se esgrimen varios argumentos, siendo el más destacable la resistencia de los microorganismos extremófilos a ambientes adversos. Actualmente, esta hipótesis está completamente descartada debido básicamente a las dificultades que entrañaría un viaje de microorganismos a través del espacio, ya que las radiaciones nocivas y la caída en nuestro planeta del cuerpo en el que viajasen son factores que juegan claramente en su contra. En este tipo de caídas se liberan cantidades ingentes de energía (del orden de varios millones de megatones en el caso de los cuerpos más grandes), que impedirían la supervivencia de cualquier forma de vida.

Seres vivos y Astronomía

Dejando a un margen la gran mayoría de las falsas creencias populares sobre la influencia de los cuerpos celestes en la vida de las personas, como las que sugieren una influencia solar y lunar en nuestras acciones, podemos asegurar que existe una clara relación causa-efecto entre diferentes acontecimientos astronómicos y biológicos. Esta relación se debe innegablemente a la integración de la biosfera, junto con el resto del planeta, en el marco de nuestro sistema planetario. Mostraremos ahora algunos ejemplos de esta influencia, tanto a pequeña escala en lo referente a número de especies (aunque llega a afectar a ecosistemas enteros), como a gran escala (afectando a la mayor parte de la biosfera).

Migración de las aves

Desde antiguo se han intentado esclarecer los medios que tienen las aves migratorias para localizar los lugares de destino de su desplazamiento estacional. Las hipótesis han sido de lo más variadas, encontrándose entre ellas las que sostenían que las aves conocían sus coordenadas geográficas a partir de ligeras variaciones de temperatura o humedad, las que defendían que las aves podían sentir de alguna manera la fuerza centrífuga terrestre, etc. Ninguna de ellas ha recibido jamás ningún apoyo experimental. Dentro del conjunto de hipótesis comprobadas y aceptadas se encuentran, entre otras, la que relaciona la capacidad de orientación con la posibilidad de percibir campos magnéticos a principios de los años 70 (W. Keeton, 1971), la que defiende que las aves pueden reconocer accidentes del terreno (probablemente una de las más

importantes) y las que asocian la orientación al conocimiento de la posición de las estrellas, el Sol y la Luna.

Se diferencian bien dos tipos de migración, a saber, migración diurna y migración nocturna. En la migración diurna, la orientación mediante accidentes del terreno tiene una gran importancia, pero sólo es útil en zonas continentales, donde hay puntos concretos de referencia. En zonas marítimas la orientación se realiza mediante la determinación de la posición del Sol, que junto con el sentido innato del tiempo que tienen las aves les permite saber la dirección en la que deben moverse. Este tipo de orientación se denomina azimutal. Dicha hipótesis fue demostrada por varios investigadores, como G. Kramer y S. T. Emlen (Emlen, 1966).

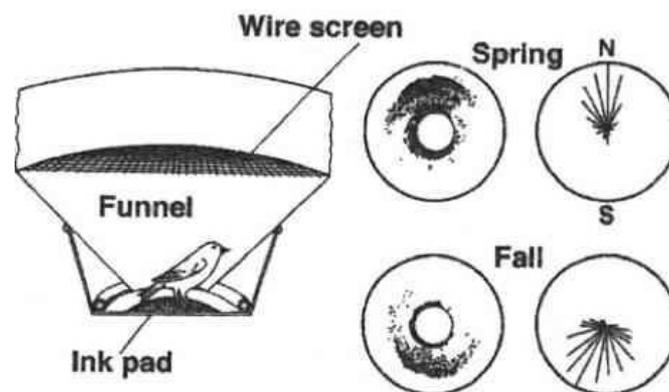


Figura 2. Cámara de Emlen.

Kramer introdujo una jaula (**Figura 2**) en una habitación donde el ave podía ver el Sol a través de algunas ventanas. Se observó que el animal tendía a dirigirse hacia el Sudoeste en otoño y hacia el Nordeste en primavera (las mismas direcciones que hubiese tomado en libertad). Para demostrar la hipótesis de la orientación basada en la observación de la posición del Sol colocó en la habitación unos espejos que cambiaban la dirección desde la que el ave veía el astro. Tras esto el animal reajustó la dirección de su movimiento en base al nuevo lugar donde veía el Sol.

En contraposición a la migración diurna, el reconocimiento de detalles topográficos se hace más complicado para las aves que realizan sus movimientos migratorios de noche, por lo que estas tienden a orientarse casi con exclusividad mediante la posición de los astros, en este caso de la Luna y las estrellas. Las aves pueden reconocer asterismos y orientarse en base a su posición, sobre todo ayudándose

de la Estrella Polar, que apunta al Norte (esta estrella es visible sólo desde nuestro hemisferio, por lo que las aves australes utilizan otras estrellas). Esto fue demostrado por varios investigadores en la década de los años 50 (entre ellos J. R. Sauer) utilizando la jaula de Kramer en planetarios y modificando la posición de las estrellas que se proyectaban en ellos.

Las mareas

Es bien sabido que las mareas son causadas por la atracción gravitatoria de la Luna (y, en menor medida, del Sol). Las masas de agua marina cubren y destapan la porción de costa más cercana a tierra cada, aproximadamente 6,2 horas, produciéndose al día dos pleamares y dos bajamares. Este fenómeno tan importante conlleva una gran cantidad de consecuencias, como por ejemplo el transporte de nutrientes desde el mar hacia la costa, motivar la aparición de zonas intermareales (hábitat exclusivo de muchas especies), permitir la entrada de peces e invertebrados en zonas rocosas donde buscar sustento y muchos otros efectos que condicionan en gran medida los ecosistemas litorales.

Ciclos día-noche

Quizá sean los ciclos día-noche, debido a su amplitud en cuanto a número de especies afectadas, los que generan la influencia más importante realizada por un cuerpo celeste sobre la vida en general. El giro de rotación de nuestro planeta provoca la iluminación durante unas horas de las diferentes zonas de la superficie terrestre, condicionando tanto la vida de los habitantes de zonas terrestres como la de aquellos que viven en la zona fótica del mar. De entre la infinidad de consecuencias que tienen estos ciclos para la vida mencionaremos simplemente uno de los más importantes, la fotosíntesis, que requiere una fuente de luz y que constituye uno de los principales “motores” de los ecosistemas al transformar materia inorgánica en orgánica y situando a las plantas en uno de los puestos basales de la pirámide trófica.

Impactos meteoríticos

Para finalizar esta sección nos gustaría mencionar otra influencia, curiosa pero importante, de los cuerpos celestes sobre la vida. Aparte del Sol y los planetas existen en el Sistema Solar infinidad de pequeños cuerpos entre los que se encuentran los cometas y los asteroides. La órbita de estos cuerpos puede sufrir variación debido a interacciones gravitatorias con los planetas, lo que hace que en ocasiones caigan sobre



éstos. La caída de uno de estos cuerpos no suele tener gran importancia, a no ser que su tamaño sea relativamente considerable. Entre los muchos ejemplos que encontramos tenemos el del meteorito que (junto con otras causas) provocó la extinción cretácica y dio paso a la gran diversificación de los linajes de mamíferos, la cual se produjo a principios de la era Terciaria y a la que debemos en última instancia nuestra existencia.

Un ejemplo aún más palpable de las consecuencias que tiene la entrada en la atmósfera de un cuerpo celeste fue la caída de un cometa de unos 100 metros de diámetro en Tunguska (Siberia) en 1908 que, habiendo explotado antes de llegar al suelo, generó una onda expansiva que produjo una huella de devastación, arrasando los árboles en un área de 2200 km².

Vida extraterrestre

La búsqueda de vida extraterrestre suele aparecer rodeada de un halo de ficción que interfiere negativamente con la seriedad y rigurosidad que presenta este ámbito de estudio de la Astrobiología. Los análisis tanto de mediciones espectroscópicas como de materiales *in situ* (meteoritos, planetas y satélites) nos permiten conocer detalles de la composición de la materia fuera de la Tierra.

Fracción orgánica de meteoritos

Es bastante común analizar la composición de meteoritos en busca de componentes orgánicos. El meteorito de origen marciano encontrado en la Antártida, denominado ALH84001, incluye estructuras en su superficie que se asemejan a nanobacterias terrestres, observándose además una cantidad importante de hidrocarburos policíclicos aromáticos en su interior pero no en la corteza. El hecho de que sea el único de los 57 meteoritos de origen marciano encontrados en la Antártida que contiene esas características da lugar a ciertas sospechas de contaminación posterior a la caída, aunque esto es difícil de defender en lo referente a los hidrocarburos internos. Otro meteorito interesante es el Murchison, caído en Australia en 1969. Los análisis realizados indican la presencia de un número elevado de aminoácidos en su interior, incluyendo algunos tan comunes en la Tierra como ácido glutámico, alanina y glicina. Lo realmente curioso es que dichos aminoácidos se encuentran en una mezcla racémica, siendo altamente improbable que los D-aminoácidos hallados estén presentes en el meteorito debido a contaminación terrestre. La existencia del isótopo ¹⁵N en bastantes

aminoácidos de la muestra refuerza aún más la idea de un origen extraterrestre en detrimento de la supuesta contaminación. Posteriores análisis del meteorito han determinado la existencia de hidrocarburos tanto alifáticos como aromáticos, ácidos carboxílicos y alcoholes, ampliándose la lista en 2008 con el descubrimiento de las bases nitrogenadas uracilo y xantina por Z. Martins y O. Botta, de origen indudablemente extraterrestre.

Posibles ambientes biogénicos en el Sistema Solar

Tanto por tradición como por la falta de tecnología para indagar fuera del Sistema Solar, la búsqueda de posibles lugares para la vida se ha orientado hacia ciertos planetas y satélites cercanos a la Tierra. Entre los que tienen más posibilidades de albergar vida se encuentran los siguientes:

- **Europa:** Es uno de los 4 satélites más visibles de Júpiter, los denominados satélites Galileanos o Jovianos (**Figura 3**). Se encuentra rodeado de una capa de hielo de varios kilómetros de grosor que dificulta la llegada de la radiación solar. En cambio, al estar muy próxima al planeta, es probable que las tensiones gravitatorias que se generan permitan la existencia de un núcleo fundido, lo que calentaría un hipotético océano subsuperficial que podría albergar vida (aunque, por supuesto, muy primitiva).

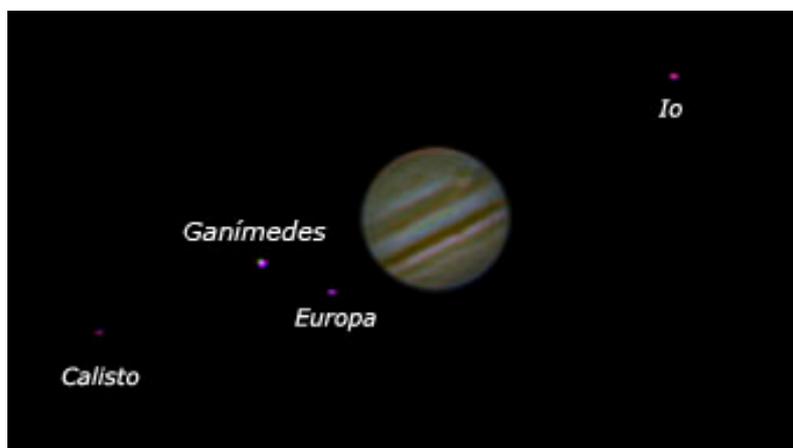


Figura 3. Astrofotografía realizada por los autores en la que se observa Júpiter y sus 4 satélites principales. (Fotografía realizada con un Maksutov-Cassegrain 127/1500, barlow 2x y filtro IR-UV, a partir de un video de 50'' a 5 fps grabado con la webcam Philips spc900).



- Titán: Este satélite de Saturno fue visitado en 2005 por la Sonda Cassini que lanzó a su superficie el módulo Huygens, pudiendo registrar durante algunos minutos la composición de la atmósfera del satélite y averiguando que era de naturaleza muy similar a la de la Tierra primitiva (comentado con anterioridad). La gran distancia al Sol es, sin embargo, un factor muy a tener en cuenta en este caso, porque su radiación llega tan atenuada que las temperaturas son del orden de $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Marte: Este planeta está siendo objeto de estudio constante desde hace varias décadas y se ha demostrado recientemente que existe agua líquida en el fondo de ciertos cráteres, pero nunca se ha podido demostrar que existiese vida y la debilidad de la atmósfera marciana hace que sea prácticamente imposible que ésta pueda sustentarse allí. Es sabido, sin embargo, que hace varios miles de millones de años, tras la formación de nuestro sistema planetario, Marte tuvo una atmósfera que retenía el calor haciendo posible la existencia de una notable cantidad de agua líquida, como atestiguan los numerosos relieves fluviales que presenta en su superficie. Este hecho apoya, sin duda, la hipótesis de que pudo haber vida en Marte en otras épocas, pero es muy posible que ahora ya no exista.

Uno de los problemas que se pueden presentar en el caso de encontrar vida en un planeta del sistema solar es determinar si su origen es terrestre o no. Hay que tener en cuenta que hasta hace pocos años no se esterilizaban adecuadamente los distintos vehículos espaciales que se enviaban en las misiones. Debido a las formas de resistencia de microorganismos extremófilos es probable que hayamos “contaminado” las zonas de caída de las distintas sondas planetarias (de hecho ya sucedió un incidente de estas características con la sonda Surveyor 3 destinada a la Luna, en 1967). Desde que se planteó esta posibilidad se realizan trabajos exhaustivos de esterilización con radiación gamma tras la fabricación de los vehículos espaciales.

Como conclusión indicar que la probabilidad de que existan ambientes propicios para la vida en nuestro Sistema Solar es elevada, pero por el momento no se han obtenido resultados concluyentes. Las esperanzas también están puestas en los sistemas extrasolares, ya que existen indicios de que las condiciones en determinados exoplanetas son las idóneas para albergar formas de vida similares a las terrestres.



Bibliografía

- Anand, M., Russel, S. (2006) Searching for signatures of life on Mars: an Fe-isotope perspective. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 361:1715–1720.
- Bernal, J. D. (1968) The relation of microscopic structure to molecular structure. *Q. Rev. Biophys.* 1:81–7.
- Bernstein, M. (2006) Prebiotic materials from on and off the early Earth. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 361:1689–1702.
- Emlen, S.T. (1966) A technique for recording migratory orientation of captive birds. *Auk.* 83:361-367.
- Emlen, S.T. (1969) The celestial guidance system of a migratory bird. *Sky Telesc.* 38:3-6.
- Emlen, S.T. (1970) Celestial rotation: its importance in the development of migratory orientation. *Science* 170:1198-1201.
- Gilbert, W. (1986) The RNA World. *Nature* 319: 618.
- Huber, C., Wächterhäuser, G. (1998) Peptides by activation of amino acids with CO on (Ni, Fe)S surfaces: implications for the origin of life. *Science* 281: 670-672.
- Keeton, W. (1971). Magnets interfere with pigeon homing. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 68: 102-106.
- Keeton, W. (1972) Effects of magnets on pigeon homing. En *Animal Orientation and Navigation*, pp. 579-594.
- Keeton, W., Larkin, T.S., Windsor, D.M. (1974). Normal fluctuations in the Earth's magnetic field influence pigeon orientation. *J. Comp. Physiol.* 95: 95-103.
- Leach, S., Smith, I., Cockell, C. (2006) Introduction: conditions for the emergence of life on the early Earth. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 361:1675–1679.
- Lu, Y., Freeland, S. (2006) On the evolution of the standard amino-acid alphabet. *Genome Biol.* 7:102.
- Luengo, J.M. (2002) The Convergence-Divergence Hypothesis. *World Futures* 58:45-60.
- Martins, Z. *et al.* (2008) Extraterrestrial nucleobases in the Murchison meteorite". *Earth Planet. Sci. Lett.* 270:130-136.

- Miller, S.L. (1953) Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions. *Science* 117: 528.
- Rummel J.D. (2001) Planetary exploration in the time of astrobiology: Protecting against biological contamination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98:2128-2131.
- Trainer, M., Pavlov, A. (2006) Organic haze on Titan and the early Earth. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103:18035-18042.

Centros de Astrobiología de interés

- Centro de Astrobiología (CSIC/INTA) - (<http://www.cab.inta.es/>)
- Centro de Astrobiología de la NASA - (<http://www.astrobiology.nasa.gov/>)
- Jet Propulsion Laboratory (NASA) – (<http://www.jpl.nasa.gov/>)
- Penn State Astrobiology Research Center – (<http://psarc.geosc.psu.edu/>)
- Asteroid and Comet Impact Hazards – (<http://impact.arc.nasa.gov/>)



Javier Gutiérrez Fernández nació en León en 1987. Actualmente estudia 4º de Biotecnología en la Universidad de León. Pertenece a la Asociación Leonesa de Astronomía desde 2007.



Sergio Valbuena Álvarez nació en León en 1989 y actualmente estudia 2º curso de Biología en la Universidad de León. Pertenece a la Asociación Leonesa de Astronomía desde 2003 y es su secretario desde 2006.