

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

Microbiología y exploración espacial

***Profesor - ¡He oído que un astronauta contrajo una
infección en el espacio!
¿Cómo es posible?***



Rosa Santomartino

Centro de Astrobiología del Reino Unido, Escuela de Física y Astronomía, Universidad de Edimburgo, Edimburgo, Reino Unido.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

Microbiología y exploración espacial

Línea temporal

Los **microbios** son omnipresentes y fundamentales para nuestra vida en la Tierra. El cuerpo humano contiene miles de millones de **bacterias**, **hongos** y otros **microorganismos**, que constituyen el **microbioma humano**, y son esenciales para nuestra salud y supervivencia. Los módulos de las estaciones y naves espaciales se montan en **salas blancas** en la Tierra para mantener su **esterilidad**. Sin embargo, cuando los astronautas van al espacio, se llevan consigo sus **microbios**, que acaban colonizando las superficies de las naves espaciales. Las condiciones que se dan en el espacio son muy diferentes a las de la Tierra. En el espacio abierto:

- *las temperaturas* alcanzan extremos que pueden ir de muy altos a muy bajos (cerca al cero absoluto, que es la temperatura más baja que puede alcanzar la materia),
- *la ausencia de atmósfera* crea un **vacío**, lo que significa que la **presión** es cercana a cero y el oxígeno está ausente,
- *se experimenta una mayor dosis de radiaciones*, procedentes del Sol y del universo. Esto también se debe a la ausencia de **atmósfera**, que nos protege de algunas de estas radiaciones en la Tierra,
- cuanto más nos alejamos de la Tierra, o de otros objetos en el espacio, menor es la **gravedad** que experimentamos. Puede llegar a ser tan cercana a cero -pero nunca realmente cero- que parece estar ausente. El nombre científico de este fenómeno es **microgravedad**, a veces denominada ingravidez.

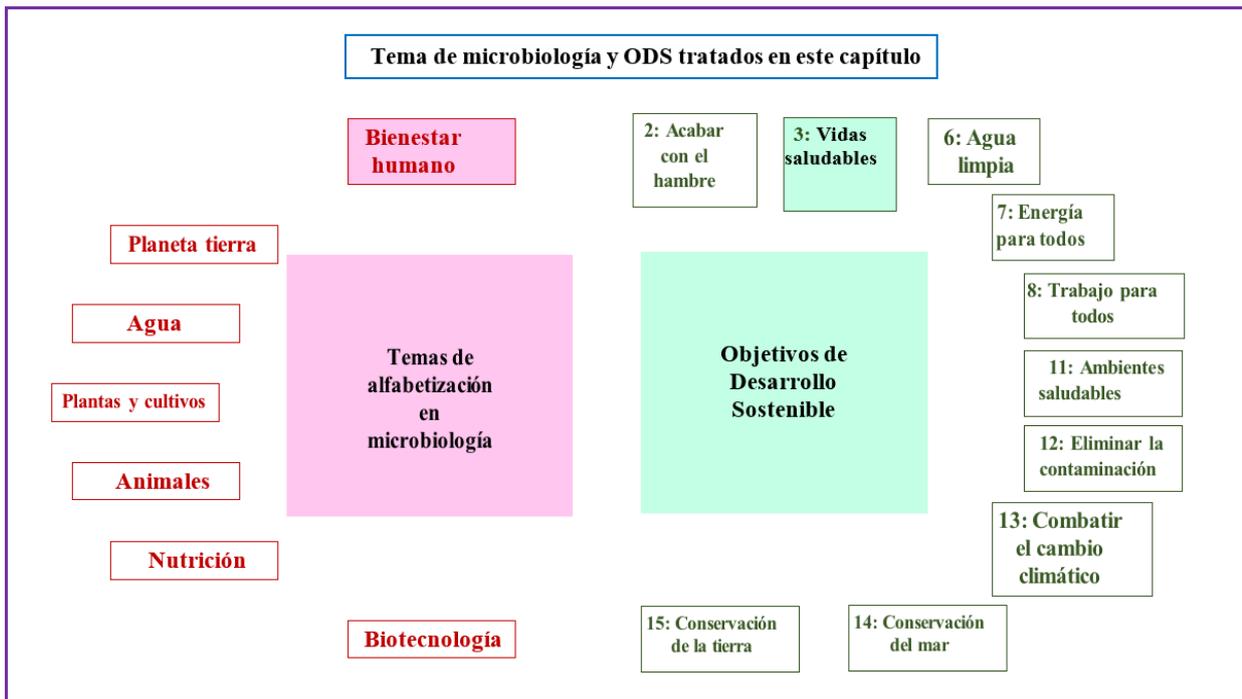
Todas estas condiciones cambian si estamos en la Luna, Marte o en una **nave espacial**. Por ejemplo, dentro de la **Estación Espacial Internacional (ISS)** la temperatura y la presión están controladas. Por eso los astronautas llevan trajes espaciales fuera de la estación espacial, pero no dentro. En Marte, estas condiciones son diferentes a las de la Tierra, pero también a las del espacio abierto. Las condiciones en el espacio son, por tanto, excepcionalmente extremas y tienen grandes efectos en todos los seres vivos. Comprender si organismos simples como los **microbios** resisten, o incluso prosperan, en estas condiciones y cómo lo hacen puede aportar información sobre el origen de la vida, así como sobre la posibilidad de **vida extraterrestre**. Descubrir las respuestas microbianas a las condiciones espaciales también tiene grandes implicaciones para la salud humana, sobre todo si se tiene en cuenta que el **sistema inmunitario** de los astronautas no funciona tan bien en el espacio como en la Tierra. Las investigaciones han demostrado que algunos **microbios patógenos** u **oportunistas** pueden aumentar su **virulencia** cuando están en el espacio. Los **microbios** también pueden resultar peligrosos para las **naves espaciales**, causando corrosión y deterioro. Dado que los **microorganismos** realizan innumerables tareas para nosotros en la Tierra, adquirir conocimientos sobre su comportamiento en el espacio proporciona ideas directas sobre posibles usos en la exploración espacial. Por ejemplo, podrían utilizarse para la producción de alimentos, la formación de suelo a partir de **regolito extraterrestre**, la producción de oxígeno, la extracción de elementos útiles en **biominería** y otros procesos destinados a mantener asentamientos autosuficientes. Esto es especialmente importante si se tiene en cuenta que las futuras misiones espaciales pretenden ampliar la duración actual de los **vuelos espaciales**. Por ejemplo, se calcula que viajar a Marte llevará un mínimo de 6 meses. Estos conocimientos también pueden aplicarse a la biotecnología terrestre.

La Microbiología y el Contexto Social

La microbiología: astrobiología; microbioma; esterilidad; extremotolerancia; biopelículas; infecciones; patógenos oportunistas; resistencia a los antimicrobianos; biocorrosión;

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

biotecnología; biorremediación; biorreciclaje. Cuestiones de sostenibilidad: acabar con el hambre; vidas sanas; agua limpia; entornos sanos; eliminar la contaminación.



Microbiología y exploración espacial: la Microbiología

1. *¿Qué es la microgravedad?* La **gravedad** es la fuerza universal de atracción que actúa entre objetos con masa o energía. Controla las trayectorias de los cuerpos en el sistema solar y en el cosmos, por ejemplo, los planetas que orbitan alrededor de una estrella. La **gravedad** se mide por la aceleración que da a los objetos en caída libre, y es de unos $9,8 \text{ m/s}^2$ en la Tierra, o $1 \times g$. La aceleración de la gravedad es menor en la Luna y Marte: $1,6 \text{ m/s}^2$ ($0,16 \times g$) y $3,8 \text{ m/s}^2$ ($0,38 \times g$), respectivamente.

Se suele creer que no hay **gravedad** en el espacio, pero esto no es cierto y el término «gravedad cero» es científicamente inexacto. De hecho, la **gravedad** está presente en todas partes en el espacio, pero puede llegar a ser tan débil que parece estar ausente. **Microgravedad** (micro = muy pequeño. Por eso también es el prefijo en **microorganismos** o **microbios**), sinónimo de «ingravidez», es el término correcto para indicar las condiciones en las que la **gravedad** es efectivamente muy pequeña, pero nunca nula.

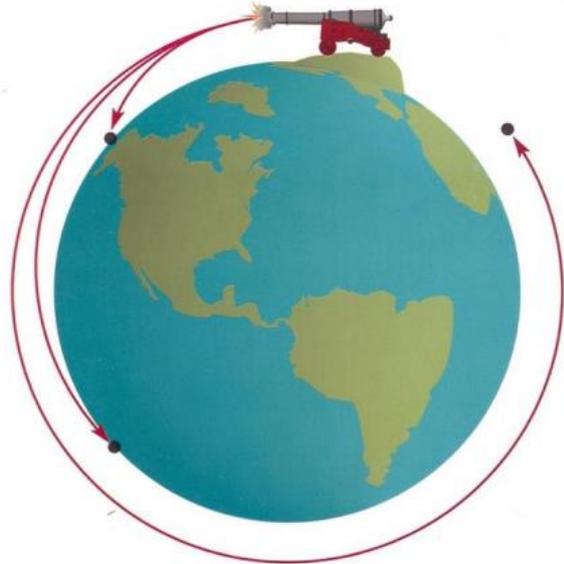
Quizá le resulten familiares las imágenes de **astronautas** y **objetos orbitando** en el espacio, por ejemplo, en la **Estación Espacial Internacional (ISS)**. La ISS se encuentra a una altitud de unos 400 km sobre el nivel del mar. A esta altitud, la aceleración de la gravedad sigue siendo el 90 % de la de la superficie terrestre.

2. **Microbiomas de astronautas.** El **microbioma humano** es el conjunto de **microbios** (bacterias, hongos, arqueas y virus) que viven dentro y sobre nuestro cuerpo. Están presentes en nuestra piel, dentro de nuestro intestino, estómago, boca, nariz, oídos y genitales. El microbioma humano tiene una función protectora y beneficiosa para nuestra salud, por ejemplo, produciendo vitaminas, digiriendo nutrientes de los alimentos que no se asimilarían de otro modo y limitando la proliferación de microbios patógenos. El **microbioma** es muy susceptible de sufrir variaciones, dependiendo de una gran variedad de estímulos y estilos de vida. Por ejemplo, una persona vegetariana desarrolla un **microbioma** muy diferente del de una persona omnívora, en términos de especies microbianas.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

¿Por qué flotan personas y objetos en la ISS?

En la ISS se experimenta microgravedad, pero en realidad es una consecuencia de su órbita alrededor de la Tierra. Los objetos en órbita (incluida la Luna, pero también la Tierra en órbita alrededor del Sol, etc.) se encuentran en un estado de **caída libre** constante: en el **vacío**, la **gravedad** hace que todos los objetos caigan hacia la Tierra con la misma aceleración, independientemente de su masa. Una persona que dejara caer algo al principio de una **caída libre** vería que el objeto cae con ella con la misma aceleración y, por tanto, el objeto parecería flotar delante de esa persona. La **ISS** se encuentra en caída libre constante hacia la Tierra. Sin embargo, también se mueve a una velocidad tan alta (7,7 km/s) que su curva de caída coincide con la curva de la Tierra. Como resultado, la **nave espacial** sigue cayendo hacia la Tierra, pero alrededor de ella. Debido a que la **ISS** y cualquier tripulación u objeto en el exterior están **cayendo libremente** juntos alrededor de la Tierra, todos ellos parecen como si estuvieran flotando.



Cuando se lanza un objeto a la velocidad adecuada (además de otras condiciones, por supuesto), su curva de caída coincidirá con la curva de la Tierra, permitiendo que el objeto comience a orbitar alrededor de la Tierra (Astronomy: Viaje a la frontera cósmica Copyright 1995, Mosby-Year Book, Inc.).

¿Es posible experimentar la microgravedad en la Tierra?

Pues sí. Por ejemplo, los aviones pueden crear un breve periodo de microgravedad volando en parábolas ascendentes y descendentes: en la parte superior de la parábola, las personas y los objetos del interior del avión experimentan unos segundos de caída libre. Puede ser divertido, pero no siempre es placentero, y por eso a estos aviones se les suele llamar «cometas vomitivos». Otras instalaciones son las torres de caída, torres muy altas en las que se crea un **vacío** bombeando aire hacia fuera, y se pueden realizar experimentos de caída dejando caer diversos objetos o muestras. Estos dos principios también se utilizan en los parques de atracciones (montañas rusas y torres de caída).



La astronauta Jessica Meir observa una esfera flotante de agua (NASA)

Así que, la próxima vez que disfrute de una de estas atracciones, ¡podrá sentirse astronauta por unos instantes! Otra forma en que los científicos pueden estudiar la microgravedad es simulándola. Pueden utilizar dispositivos especiales (por ejemplo, clinostatos) en los que se aplican rotaciones constantes a las muestras de tal manera que la **gravedad**, aunque siempre presente, se contrarresta y neutraliza.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

El estrés también puede modificar el **microbioma**. Los astronautas están sometidos a factores de estrés únicos relacionados con los **vuelos** y las condiciones espaciales (por ejemplo, **microgravedad**, **radiaciones**, etc.), pero también causados por el aislamiento social y la presión de un trabajo de alta responsabilidad. Como consecuencia, el **microbioma** de los **astronautas** sufre variaciones. Las investigaciones han demostrado que la diversidad general del **microbioma** intestinal de los astronautas se mantiene similar o aumenta durante los **vuelos espaciales**, y esto se debe a un cambio en las abundancias relativas, la adquisición o la pérdida de especies bacterianas. Se han encontrado algunas especies asociadas a enfermedades intestinales y a la inflamación, pero una correspondencia clara entre estas variaciones y la salud de los astronautas requiere más estudios.

Curiosamente, los **microbiomas** intestinales de distintos astronautas tienden a parecerse, incluso entre personas que habitan la **ISS** en distintos periodos de tiempo. Esto se debe probablemente al hecho de que comen alimentos similares a bordo de la **ISS**.

Los astronautas sufren a veces infecciones cutáneas, erupciones cutáneas y síntomas de congestión. Sin embargo, los microbiomas de la piel y la nariz no variaron mucho en el espacio, aparte de unas pocas especies microbianas cuya presencia varió. Algunas de ellas, en particular el *Staphylococcus*, se han asociado a enfermedades respiratorias y pueden explicar en parte los síntomas experimentados por la tripulación espacial. Los cambios observados aparecieron poco después del inicio del **vuelo espacial** y se mantuvieron constantes durante un periodo de tiempo prolongado. Curiosamente, el **microbioma** de las superficies de la **ISS** se asemeja al de la piel de la tripulación, y algunos de estos microbios se consideran **patógenos oportunistas**.

Los módulos de las estaciones y **naves espaciales** se ensamblan en **cuartos limpios** en la Tierra para mantener su **esterilidad**. Cuando los astronautas van al espacio, los **microbios** de su **microbioma** acaban colonizando las superficies de las **naves espaciales**, lo que explica el parecido. Las similitudes observadas son temporales y cambian rápidamente cuando llegan nuevos tripulantes a la **ISS**, aunque algunas especies microbianas de larga duración siguen presentes de forma estable a bordo.

3. Enfermedades infecciosas en el espacio. Las investigaciones han demostrado que los astronautas experimentan una gran variedad de cambios en su cuerpo durante los **vuelos espaciales**. La **microgravedad** afecta a los huesos y los músculos, que se deterioran de forma natural porque en el espacio no tienen que sostener el peso del cuerpo como en la **gravedad** terrestre. Por eso es muy importante que los astronautas hagan ejercicio todos los días cuando están en el espacio. La **microgravedad** también afecta a la circulación de la sangre y otros fluidos corporales. La **radiación** puede penetrar en los tejidos y las células y causar daños a largo plazo en el cerebro, el **sistema inmunitario** y otros órganos.

Además, es importante tener en cuenta el estrés psicológico causado por el aislamiento social, los miedos, la alteración de los ritmos diurno y nocturno, el alejamiento de la familia y los amigos y, de hecho, de la propia Tierra. Los astronautas suelen mostrar un **sistema inmunitario** debilitado, por lo que podrían ser más susceptibles a enfermedades o reacciones alérgicas durante los **vuelos espaciales**.

Algunas enfermedades infecciosas experimentadas en el pasado por los astronautas durante su estancia en el espacio son los resfriados, las infecciones de las vías respiratorias superiores, las infecciones del tracto urinario y las infecciones cutáneas. Aunque en la Tierra suelen ser enfermedades leves, en el espacio pueden ser más graves y perjudiciales. Por ejemplo, las infecciones por resfriado se extendieron entre los astronautas de las misiones Apollo 7, 8 y 9, en los años 60. El impacto en la tripulación fue tan perturbador que los astronautas se vieron obligados a abandonar el espacio. El impacto en la tripulación fue tan perturbador que la NASA decidió posteriormente que en futuras misiones se aplicaría una cuarentena previa al **vuelo**

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

espacial a todos los miembros de la tripulación, para asegurarse de que no se introdujera ninguna enfermedad infecciosa en la nave espacial.

4. Las condiciones del espacio también influyen en los microorganismos. Los científicos han descubierto que los virus latentes (no activos), como el herpes simple (que causa el herpes labial que aparece en los labios y alrededor de la boca, etc., cuando nos estresamos), pueden reactivarse durante un vuelo espacial. Algunos microorganismos muestran una mayor virulencia durante los vuelos espaciales. Esto se demostró por primera vez en 2007, cuando un grupo de investigadores descubrió que la bacteria patógena *Salmonella typhimurium*, causante de gastroenteritis, respondía a las condiciones espaciales induciendo cambios moleculares y alterando su virulencia.

Los microbios son organismos unicelulares, pero pueden crear comunidades y construir complejas microestructuras, a menudo adheridas a superficies, denominadas biopelículas. Vivir en biopelículas ofrece algunas ventajas a los microbios, como el intercambio de nutrientes y moléculas y la protección frente a tensiones externas, incluidos fármacos y antibióticos. Dado que las condiciones experimentadas durante los vuelos espaciales también se consideran estresantes para los microorganismos, algunos de ellos reaccionan produciendo una biopelícula más gruesa. En consecuencia, se vuelven más resistentes al tratamiento con antibióticos y las infecciones pueden resultar más difíciles de tratar.

5. La vida en condiciones extremas. Como ya se ha mencionado, las condiciones ambientales presentes en el espacio abierto son bastante singulares y extremas. Incluyen temperaturas y presiones extremas (vacío), altas dosis de radiación y diferentes condiciones de gravedad, como la microgravedad. En los cuerpos planetarios pueden existir tensiones adicionales, como la presencia de compuestos tóxicos y condiciones de pH extremadamente ácidas o básicas. También hay que tener en cuenta la presencia de agua.

Los astrobiólogos se interesan, sobre todo, aunque no exclusivamente, por la pregunta "¿hay vida en algún otro lugar del Universo?". Una de las formas de responderla es buscar en lugares de la Tierra en los que las condiciones sean bastante duras y buscar allí vida. Estos lugares, a veces denominados "análogos extraterrestres", pueden proporcionar indicaciones útiles sobre la posibilidad de encontrar realmente vida en planetas que tengan condiciones similares. Por ejemplo, si queremos saber si puede haber vida a temperaturas extremadamente frías o calientes, podemos intentar buscar cualquier forma de vida cerca de volcanes y fuentes hidrotermales, o en la Antártida y Groenlandia. Así es como los científicos descubrieron que muchos entornos de la Tierra, que antes se creían muertos, en realidad albergan muchas formas de vida, que a menudo son microorganismos (por eso, cuando los astrobiólogos imaginan una posible forma de vida extraterrestre, suelen pensar en un microbio, no en un aterrador humanoide verde con una cabeza enorme). Nos referimos a ellos como extremotolerantes, si pueden resistir en condiciones extremas pero preferirían vivir en entornos más suaves, o extremófilos (philia = amor) si prosperan en condiciones extremas y considerarían "extremo" lo que nosotros describiríamos como un entorno bastante placentero.

¿Por qué suelen ser microorganismos? Porque los microbios son bastante simples, en comparación con los organismos pluricelulares complejos (como las plantas, los animales y nosotros, por ejemplo), lo que les permite ser muy plásticos y adaptables. Además, existen en la Tierra desde hace unos 4.000 millones de años, lo que es mucho tiempo para la evolución, y durante este tiempo han explorado todo tipo de formas de vida y de explotación de todos los recursos planetarios disponibles que pueden servir como fuentes de alimento y energía. En conjunto, los microbios han desarrollado una asombrosa diversidad de capacidades metabólicas que les permiten habitar entornos demasiado hostiles para los organismos complejos.

Los extremotolerantes y los extremófilos pueden adoptar distintas estrategias para

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

sobrevivir o prosperar en unas condiciones determinadas, y éstas pueden ser específicas de cada especie. Por ejemplo, el microbio *Pyrococcus furiosus* (una **Archaea**) crece muy feliz alrededor de los 100 °C porque sus **enzimas** son más rígidas y no se rompen fácilmente cuando se calientan. También tiene proteínas cuyas estructuras reducen la evaporación del agua. Por el contrario, **los microbios** que crecen a temperaturas frías (menos de 15 °C, pero el límite inferior se sitúa en torno a -80 °C), por ejemplo, *Chryseobacterium greenlandense*, se adaptaron manteniendo sus membranas y **enzimas** más flexibles, pero también produciendo agentes anticongelantes específicos y ralentizando su metabolismo. Los ambientes muy salinos (por ejemplo, el Mar Muerto) y muy secos (por ejemplo, los desiertos) requieren estrategias similares, porque el principal problema en ambos casos es la falta de agua líquida. Las estrategias suelen consistir en reducir la pérdida de agua.

Otra estrategia interesante es entrar en un estado latente llamado **espora**, una condición en la que una célula simplemente deja de estar activa para evitar los daños causados por un entorno adverso, y se limita a esperar a que se den condiciones más favorables para "despertar" de nuevo. No todas las especies microbianas pueden formar **esporas**, pero las que pueden son de gran interés desde el punto de vista **astrobiológico**, porque pueden sobrevivir en condiciones como **el vacío** espacial.

Algunos microbios fascinantes también son capaces de sobrevivir a dosis extremadamente altas de **radiación**. *El Deinococcus radiodurans*, por ejemplo, puede sobrevivir a dosis de **radiación** 2000 veces superiores a las que matarían a un ser humano. Su estrategia de protección pasa por la rápida reparación de las moléculas dañadas por **la radiación**, y también por la producción de moléculas específicas que absorben la radiación y las apantallan, de forma similar a las cremas solares que utilizamos nosotros. Otra estrategia consiste en reducir la exposición a la radiación, por ejemplo, viviendo bajo la superficie de la Tierra, dentro de las rocas, por ejemplo, en las que **la radiación** suele ser reducida.

Hay que decir, sin embargo, que los entornos naturales presentan a menudo más de una condición extrema, los llamados entornos poliextremos. Esto también es cierto para otros planetas, por ejemplo, Marte presenta en su superficie falta de agua, baja **presión**, temperaturas extremas, altas concentraciones de sal y alta **radiación**. Sin embargo, algunas de las estrategias de defensa microbianas contribuyen a la tolerancia de múltiples condiciones extremas.

Aprender sobre la vida en entornos extremos en la Tierra no nos dice directamente si hay vida en otros **planetas**, pero nos ayuda a entender cuáles son los límites de la vida, al menos para los microbios en la Tierra. Muchos experimentos microbiológicos que se han realizado en **naves espaciales**, por ejemplo, en el transbordador, la **Mir** y la **ISS**, estudiaban **microbios** extremófilos o extremotolerantes. En estos casos, los experimentos podían realizarse dentro o fuera de la **nave espacial**. Cuando los experimentos se realizan dentro de la **nave espacial**, las células microbianas suelen insertarse en un hardware diseñado específicamente para el experimento. Al estar dentro, no están sometidas a todo el espectro de condiciones espaciales descritas anteriormente, sino sólo a mayores dosis de **radiación** y **microgravedad**, mientras que la temperatura y la **presión** son suaves y controladas (¡de lo contrario los astronautas no estarían muy cómodos!). En cambio, cuando el experimento se realiza fuera de la **nave espacial**, los **microbios** también están expuestos al **vacío**, a variaciones extremas de temperatura y a **radiaciones** más fuertes. Para ello se necesita hardware específicamente diseñado e instalaciones específicas, como es el caso de la instalación EXPOSE de la Agencia Espacial Europea (ESA) presente a bordo de la **ISS**.

6. Microbios corrosivos. Las naves espaciales son entornos estrictamente cerrados. Esto es necesario para mantener la presión, temperatura y composición del aire adecuadas en el interior de la nave, con el fin de proteger a la tripulación de unas condiciones espaciales mortales e incompatibles con la vida humana. Sin embargo, la corrosión de las naves y

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

estaciones espaciales se ha documentado en varias ocasiones. Las estructuras y superficies de las naves espaciales están sometidas a daños físicos debidos a las altas dosis de radiación y al vacío que se encuentran en el espacio. Además de las tensiones físicas, la acción microbiana también puede potenciar el deterioro de las superficies de las naves espaciales.

En el apartado 2 hemos explicado cómo los microbios suelen producir biopelículas más gruesas en respuesta a las condiciones espaciales, lo que puede hacer más peligrosas las enfermedades infecciosas en el espacio. Las biopelículas también influyen en la corrosión y el deterioro de las superficies a las que se adhieren. La estación espacial Mir sufrió la colonización microbiana y la corrosión de las juntas de goma alrededor de las ventanas, en los trajes espaciales, cables, tubos aislantes y dispositivos de comunicaciones. También corroían las estructuras metálicas. Las especies más peligrosas eran los hongos y no las bacterias. Se están realizando estudios sobre corrosiones biológicas similares que se producen en la ISS.

Algunos microbios que se han encontrado en las superficies de la ISS son capaces de deteriorarlas y corroerlas en la Tierra, pero su posible papel en la corrosión en el espacio requiere más investigación. La investigación en este campo es importante, porque nuestro objetivo es prolongar la duración de los vuelos espaciales en el futuro. Por lo tanto, es necesario comprender cómo limitar la colonización microbiana de las superficies de las estructuras, pero también cómo producir materiales más resistentes.

7. Biotecnología espacial y manufactura. Hasta ahora hemos hablado sobre todo de lo peligrosos que pueden ser los microbios para los astronautas. Sin embargo, también realizan innumerables tareas para nosotros en la Tierra, y sería injusto mencionar únicamente los aspectos negativos de los microorganismos, sin mencionar lo beneficiosos que podrían ser para nuestra supervivencia en el espacio

La ISS es un sistema muy eficiente, que recicla el agua del aire y de la orina de los astronautas mediante reacciones químicas, y limpia constantemente su aire utilizando filtros de depuración específicos. Sin embargo, esto no es suficiente, y la ISS sigue dependiendo de un constante reabastecimiento de recursos desde la Tierra, que es necesario, pero también muy caro y no del todo sostenible. El objetivo para las futuras décadas de exploración espacial es llegar cada vez más lejos, alcanzar la Luna y después Marte. Cuanto más lejos lleguemos, más caro y menos sostenible será depender de un reabastecimiento constante de materiales desde la Tierra.

Las biotecnologías que implican a microbios y plantas podrían ser la solución. Los microbios podrían, por ejemplo, ser útiles para la producción de alimentos, bebidas y complementos alimenticios. Un ejemplo es el uso de la *espirulina*, que es un tipo particular de bacteria (cianobacteria) que requiere muy poco espacio para crecer y se considera un superalimento porque está lleno de nutrientes. Los microorganismos también podrían ayudar a producir oxígeno, ya que algunos de ellos pueden realizar la fotosíntesis como las plantas. Con sus biopelículas, podrían ayudar a descontaminar el agua, la atmósfera y las superficies del planeta (biorremediación).

También pueden ayudar a extraer materiales útiles de las rocas extraterrestres, un proceso muy utilizado en la Tierra y denominado biominería, y a producir biocombustible que será necesario para el uso de cohetes y máquinas.

Se está investigando si podemos aprovechar los microbios resistentes a la radiación para crear edificios con propiedades de blindaje y autocuración en el espacio. Por último, cuando los seres humanos se asienten por completo en un entorno extraterrestre, los microbios serán necesarios para el establecimiento de biotecnologías avanzadas, por ejemplo, industrias farmacéuticas para producir medicamentos, con el fin de que el asentamiento sea

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

completamente autosuficiente.

Un proyecto de la ESA llamado MELiSSA lleva 30 años estudiando cómo reciclar productos de desecho para producir oxígeno, agua y alimentos en misiones espaciales utilizando **microbios** y plantas. El concepto se basa en **los ecosistemas** terrestres: cada componente, o compartimento, de MELiSSA utiliza material de desecho del anterior (incluidos los desechos humanos) como forma de nutriente o fuente de energía, produciendo finalmente material de desecho que puede ser utilizado por el compartimento siguiente. Aplicando este concepto a los asentamientos extraterrestres, se puede reducir la producción de residuos y, naturalmente, se potenciará el reciclaje. De este modo, el asentamiento no sólo sería muy eficiente, sino también ecológico. El proyecto aún requiere investigación, pero es un buen ejemplo de cómo **los microbios** serán importantes para nosotros en el espacio.

8. Aplicaciones terrestres. La mayoría de las agencias espaciales (ESA, NASA, Agencia Espacial Británica, etc.) apoyan actualmente los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas y se han comprometido a utilizar la investigación espacial para mejorar la vida en la Tierra. ¿Sabía que algunas de las tecnologías más interesantes que utilizamos en nuestra vida cotidiana se inventaron para su aplicación en el espacio? Esto se debe a que el espacio es un entorno bastante desafiante, que requiere las mejores innovaciones que la ciencia puede ofrecer. Una vez que las tecnologías se producen para la exploración espacial, también están disponibles para aplicaciones terrestres.

Un ejemplo son los satélites, originalmente desarrollados para la exploración espacial, pero ahora necesarios para nuestras telecomunicaciones, así como para vigilar el tiempo, las catástrofes naturales, la contaminación y la deforestación.

La investigación sobre cómo reducir la pérdida de masa muscular y ósea de los astronautas durante los vuelos espaciales ha ayudado a tratar enfermedades musculoesqueléticas graves. Según el mismo principio, comprender cómo algunos **microbios** se adaptan a las duras condiciones espaciales y prosperan en ellas es relevante para aplicaciones espaciales por supuesto, sino que también nos informa sobre cómo aprovechar el poder de **los microorganismos** para aplicaciones en la Tierra. Por ejemplo, los procedimientos de limpieza y esterilización más eficaces para el ensamblaje de **naves espaciales** pueden aplicarse a las **salas blancas** de las industrias farmacéuticas. Los sistemas de filtrado que utilizan **biopelículas** para depurar el aire y el agua podrían utilizarse en entornos terrestres contaminados. **Los microorganismos** naturales o artificiales (es decir, por ingeniería biológica) capaces de degradar moléculas tóxicas **del desagradable regolito** extraterrestre (polvo y fragmentos de roca) podrían utilizarse para la descontaminación y fertilización del suelo en la Tierra. Además, al aprender a utilizar **microorganismos** para optimizar el reciclaje de residuos en el espacio y crear asentamientos extraterrestres autosuficientes, también estamos aprendiendo a mejorar la sostenibilidad en la Tierra y a resolver problemas medioambientales.

Estudiando los cambios del **microbioma** humano en el espacio podríamos predecir qué ocurre con nuestros **microbios** intestinales y cutáneos cuando las personas están confinadas en un entorno cerrado, o cuando están sometidas a tensiones físicas y psicológicas extremas en la Tierra (por ejemplo, durante una pandemia, en hospitales o en prisiones), y cómo afecta esto a su salud. Podemos aprender más sobre las enfermedades infecciosas observando lo que les ocurre a los astronautas y la **virulencia** microbiana en el espacio.

Es importante saber que gran parte de la investigación realizada en la **ISS** tiene como principal objetivo beneficiar a la Tierra y a las aplicaciones terrestres, más que a la exploración espacial. Además, no necesitamos ir al espacio para encontrar investigaciones sobre **microbiología espacial** útiles para aplicaciones en la Tierra. El estudio de **los microbios** que prosperan en condiciones extremas ya nos ha aportado varios avances tecnológicos. Por ejemplo, la técnica PCR, ampliamente utilizada en los laboratorios de biología y especialmente

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

importante para el diagnóstico de COVID-19, es posible gracias al descubrimiento de **enzimas** que se encuentran en el interior de **microorganismos** amantes de las altas temperaturas. Otras **enzimas** encontradas en **microbios** similares se utilizan en detergentes líquidos para lavar.

9. Protección planetaria. El avance científico en la ciencia espacial convirtió la exploración del espacio en una aventura rutinaria, y ahora enviamos varias **naves espaciales** a explorar otros planetas. Por ejemplo, sólo en julio de 2020 se enviaron tres misiones espaciales diferentes a Marte, ¡a pesar de la pandemia! Las agencias espaciales deben asegurarse de no introducir ningún tipo de contaminación biológica terrestre en otros planetas o **cuerpos planetarios** que los científicos piensen que pueden tener potencial para la vida pasada o presente (contaminación hacia adelante). Esto es necesario no sólo para no perjudicar a las formas de vida autóctonas, sino también para no poner en peligro los estudios sobre la **vida extraterrestre**.

Una forma de evitarlo es ensamblar los módulos de las estaciones y **naves espaciales** en **salas blancas** en la Tierra para mantener su **esterilidad**. También es importante que no traigamos a la Tierra ninguna forma potencialmente dañina de **vida extraterrestre** (contaminación retrospectiva), si es que existe, que pueda suponer un peligro para la vida terrestre. Sin embargo, no todos los planetas o lunas requieren el mismo nivel de protección: depende de la probabilidad de que alberguen o hayan albergado **vida extraterrestre**, según los científicos. Por ejemplo, mientras que Marte está actualmente muy protegido por ser de gran interés desde el punto de vista **astrobiológico**, la Luna tiene una probabilidad muy baja de albergar formas de vida autóctonas, por lo que los científicos consideran que se necesita menos protección.

Estos conceptos se describen en la política de protección planetaria, formulada por el Comité de Investigaciones Espaciales (COSPAR) para orientar el cumplimiento del Tratado de las Naciones Unidas sobre el Espacio Ultraterrestre. La política de protección planetaria debe actualizarse constantemente, siguiendo los avances y aspiraciones de la exploración espacial, por lo que el COSPAR y los científicos se reúnen cada dos años.

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Retos

Como ya se ha mencionado, la mayoría de las agencias espaciales apoyan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas y se han comprometido a utilizar la investigación espacial para mejorar la vida en la Tierra. Esto incluye **la microbiología espacial**:

- **Objetivo 2. Acabar con el hambre.** Uno de los principales problemas de la exploración espacial a largo plazo es cómo producir alimentos con recursos limitados y en un entorno hostil. Las estrategias que pretenden utilizar **microorganismos** como superalimentos, como productores de compuestos nutraceuticos o como agentes que pueden enriquecer el **regolito** extraterrestre para producir suelo fértil pueden aplicarse a entornos terrestres con recursos limitados, para implementar la producción de alimentos y mejorar la eficacia del reciclaje de residuos humanos.

- **Objetivo 3. Vidas sanas.** El entorno espacial es bastante singular y hostil, y tiene efectos no sólo en la tripulación espacial, sino también en su **microbioma** y en los **microbios** que colonizan la **nave**. Las investigaciones destinadas a estudiar los cambios en estos aspectos y sus consecuencias en la salud humana pueden enseñarnos a mejorar nuestra vida en la Tierra.

- **Objetivo 6. Agua limpia.** Las **naves espaciales** son entornos estrictamente cerrados, en los que el reciclaje del agua reviste una importancia esencial. Se depura constantemente del aire y de la orina de la tripulación mediante sofisticados sistemas de filtrado que están en constante desarrollo. Se está investigando el uso de **biopelículas** para biofiltrar y descontaminar el agua, y estas tecnologías podrían utilizarse también para aplicaciones terrestres.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

- **Objetivo 11. Entornos saludables.** De forma similar al objetivo 2, sabemos cómo los **microorganismos**, los seres humanos y los entornos están estrictamente correlacionados y se influyen mutuamente en un entorno cerrado como una **nave espacial**. También estamos estudiando cómo crear futuros asentamientos espaciales extraterrestres de la forma más sostenible y eficiente, y los **microorganismos** serán componentes esenciales de este futuro. Este conocimiento será de gran impacto no sólo para mejorar las misiones espaciales, sino también para mejorar la calidad de nuestras vidas en la Tierra y de los entornos que nos rodean. Esta investigación es preciosa para aprender a mejorar la sostenibilidad, el reciclaje de recursos y apoyar la economía circular.

- **Objetivo 12. Eliminar la contaminación.** La depuración del aire es esencial en una **nave espacial**, y las estrategias de filtrado utilizadas pueden aplicarse a la Tierra. Además, establecerse en un planeta como Marte probablemente requeriría descontaminar el **regolito** marciano de moléculas tóxicas y compuestos desagradables. Los **microbios** podrían hacerlo por nosotros, gracias a una estrategia llamada biorremediación. La biorremediación ya se utiliza en la Tierra para descontaminar entornos contaminados. Aprender a hacer que los mecanismos funcionen en las duras condiciones del espacio puede abrir posibilidades de potenciarlos y mejorarlos para aplicaciones terrestres, y permitir la descomposición microbiana de contaminantes recalcitrantes. Además, los asentamientos extraterrestres requerirán un nivel muy eficiente de reciclaje de residuos. En condiciones en las que los recursos son limitados, es obligatorio reciclar todo lo posible y limitar la producción de residuos. Esto significa que, al estudiar cómo hacer posible la exploración espacial, estamos aprendiendo que la sostenibilidad es obligatoria y que los **microorganismos** serán clave para el éxito de un asentamiento. Esto nos sensibiliza sobre la importancia de invertir en sostenibilidad y economía circular, y en particular en biotecnologías **microbianas** que podrían hacer esto realidad, para reducir la contaminación en la Tierra.

Posibles Implicaciones para las Decisiones

1. Individual

- a. Manténgase al día de los últimos avances en microbiología espacial, ciencia espacial y exploración del espacio, así como de sus aplicaciones.
- b. Reducir la producción de residuos y fomentar el reciclaje, tomando como ejemplo lo que se hace en las **naves espaciales** y los asentamientos extraterrestres.
- c. Ser conscientes de que los distintos entornos pueden tener comunidades microbianas diferentes, de cómo éstas pueden afectar a nuestra salud y de cómo nosotros les afectamos a su vez.
- d. Asista a actos sobre el tema, vaya a exposiciones y museos que le enseñen sobre la exploración espacial.

2. Políticas comunitarias

- a. Del mismo modo, es útil e interesante mantenerse al día sobre los avances en el campo de la microbiología espacial y la exploración del espacio en general.
- b. Sensibilizar sobre cómo la microbiología espacial puede influir en las aplicaciones terrestres y apoyarlas.
- c. Las sociedades y comunidades podrían apoyar actos con científicos y divulgadores científicos para enseñar el tema a la comunidad.
- d. Creación de exposiciones, espacios dedicados en los museos, etc.
- e. Promover la sostenibilidad, la gestión de residuos y el reciclaje en la comunidad, utilizando como ejemplo las estrategias de autosuficiencia y sostenibilidad utilizadas para las exploraciones espaciales.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

- f. Promover la mejora de la sostenibilidad de las exploraciones espaciales.

3. Políticas nacionales relativas a los microbios, la exploración espacial y el comportamiento de los microbios en el espacio

- a. Promover el conocimiento de la microbiología espacial y su impacto en la exploración espacial y las aplicaciones terrestres.
- b. Aprovechar el apasionante tema de la microbiología espacial para enseñar ciencia al público y concienciar sobre la sostenibilidad, la salud, la tecnología y la importancia de la investigación.
- c. Implicar al público como parte interesada en las decisiones sobre el próximo objetivo a perseguir en microbiología y exploración espacial, promoviendo especialmente campañas que apoyen su sostenibilidad.
- d. Promover la inversión y la financiación de la investigación sobre este tema.
- e. Promover la aplicación terrestre de la investigación, los conocimientos y las tecnologías desarrolladas para la exploración espacial.
- f. Facilitar el desarrollo de una economía circular y de biotecnologías observando las estrategias adoptadas para las naves espaciales y los asentamientos extraterrestres.
- g. La mayoría de las agencias espaciales apoyan actualmente los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas y se han comprometido a utilizar la investigación espacial para mejorar la vida en la Tierra. Es importante seguir promoviendo este compromiso para el futuro de la exploración espacial humana.

Participación de los alumnos

1. Debate en clase sobre las cuestiones relacionadas con los microbios, la exploración espacial y el comportamiento de los microbios en el espacio.

- a. ¿Conoces alguna película, serie de televisión o videojuego que trate alguno de los temas aquí tratados (relacionados con los **microorganismos**)? ¿Sabe distinguir cuáles tienen una base científica sólida y cuáles se basan en la pura fantasía?
- b. Imagina que vives en la **ISS** durante 6 meses. Analiza qué recursos (de cualquier tipo) y tareas serán esenciales para tu supervivencia en el espacio. ¿Cómo cambiarían si tuvieras que permanecer más tiempo a bordo? ¿Y si viajas a Marte?
- c. ¿Sabe cuáles de estos recursos y tareas son o podrían ser producidos/realizados por **microbios** en la Tierra?
- d. ¿Podrían los **microbios** producirlas/realizarlas en el espacio? En caso afirmativo, ¿qué parámetros y cambios habría que tener en cuenta?

2. Sensibilización de los alumnos

- a. ¿Cómo afectará a su vida la exploración espacial? ¿A dónde cree que viajará el hombre durante su vida?
- b. ¿Qué cambiará en nuestra sociedad si descubrimos que en el pasado existió vida en Marte o en otro planeta?
- c. ¿Cómo puede ayudarnos la **microbiología espacial** a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)?

3. Ejercicios y experimentos en clase

- a. Haz un estudio de un planeta o cuerpo planetario de nuestro Sistema Solar: ¿qué condiciones físicas se dan en él? Después, discute si son compatibles con la vida. Si lo son, intenta dibujar y describir un microbio extraterrestre que podría vivir en ese planeta, según las condiciones que encontraría. Nota para los profesores: los **cuerpos planetarios** con mayor

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

interés desde el punto de vista astrobiológico son Marte, Europa, Encélado y Titán.

b. Aquí encontrará ideas estupendas:

https://www.nasa.gov/pdf/145916main_Astrobiology.Guide.pdf

c. Encontrará más ideas de ejercicios y experimentos en clase para comprender las condiciones del espacio en

- www.destinationspace.uk, aunque no estén estrictamente relacionados con los **microorganismos**. Por ejemplo:
- <http://www.destinationspace.uk/mission-modules/get-grips-space-disorientation/>
- <http://www.destinationspace.uk/mission-modules/learn-about-pressure-space/>

Base empírica, lecturas complementarias y material didáctico

<https://kids.frontiersin.org/article/10.3389/frym.2017.00035#:~:text=The%20human%20body%20is%20inhabited,with%20us%20throughout%20our%20lives.>

<http://www.destinationspace.uk/>

<https://spaceplace.nasa.gov/>

https://www.nasa.gov/pdf/145916main_Astrobiology.Guide.pdf

https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/microbiology-101-space-station-microbes-research-iss

<https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-microgravity-58.html>

<https://spacemicrobes.com/>

<https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-Astro-Microbiology.aspx>

<https://www.youtube.com/watch?v=eJTfcV1ZceE&t=6s>

<https://www.bbc.com/future/article/20200311-how-do-you-keep-a-space-station-clean>

https://www.youtube.com/watch?time_continue=72&v=IEyCq2KRZik&feature=emb_title

Limpieza de una nave espacial: <http://www.destinationspace.uk/resources/cleaning-spacecraft/>

https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2007/11may_locad3

<https://gameon.nasa.gov/2020/01/30/how-is-biotechnology-preparing-us-to-live-on-the-moon-and-mars/>

Protección planetaria por la ESA:

https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars/Planetary_protection

http://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/ESA_and_the_Sustainable_Development_Goals

Horneck G, Klaus DM, Mancinelli RL. Space microbiology. *Microbiol Mol Biol Rev.* 2010;74(1):121-156. doi:10.1128/MMBR.00016-09

Voorhies AA, Mark Ott C, Mehta S, Pierson DL, Crucian BE, Feiveson A, Oubre CM, Torralba M, Moncera K, Zhang Y, Zurek E, Lorenzi HA. Study of the impact of long-duration space missions at the International Space Station on the astronaut microbiome. *Sci Rep.* 2019 Jul 9;9(1):9911. doi: 10.1038/s41598-019-46303-8. PMID: 31289321; PMCID: PMC6616552.

Mora M, Wink L, Kögler I, Mahnert A, Rettberg P, Schwendner P, et al. Space Station conditions are selective but do not alter microbial characteristics relevant to human health. *Nat Commun [Internet].* 2019;10(1):3990. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-019-11682-z>

Wilson JW, Ott CM, Höner Zu Bentrup K, Ramamurthy R, Quick L, Porwollik S, et al. Space flight alters bacterial gene expression and virulence and reveals a role for global regulator Hfq. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2007;104(41):16299–304.

Moissl-Eichinger C, Cockell C, Rettberg P. Venturing into new realms? Microorganisms in space.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

FEMS Microbiol Rev. 2016;40(5):722–37.

Checinska Sielaff A, Urbaniak C, Mohan GBM, Stepanov VG, Tran Q, Wood JM, et al. Characterization of the total and viable bacterial and fungal communities associated with the International Space Station surfaces. *Microbiome*. 2019;7(50):1–21.

Glossary

Antibiótico: tipo de sustancia antimicrobiana activa contra las bacterias.

Archaea: microorganismos unicelulares con estructura similar a las bacterias, pero evolutivamente distintos de las bacterias y los eucariotas. Forman el tercer dominio de la vida.

Astrobiología: a veces denominada exobiología, es la disciplina que estudia los orígenes, evolución temprana, distribución y futuro de la vida en el universo (incluida la Tierra).

Atmósfera: capa de gases (nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, etc.) que rodea un planeta o un cuerpo planetario.

Bacterias: microorganismos unicelulares con una estructura celular simple. Constituyen un amplio dominio de microorganismos procariotas que, a diferencia de la célula eucariota, no poseen núcleo ni orgánulos.

Biodiversidad: variabilidad de los organismos vivos.

Biopelícula: microestructuras complejas compuestas por uno o varios tipos de microorganismos que pueden crecer adheridos a superficies. Un ejemplo común de biofilm es la placa dental.

Biominería: proceso de utilización de microorganismos para extraer metales de interés económico a partir de minerales de roca o residuos mineros.

Biotecnología: el aprovechamiento de los procesos biológicos (celulares y biomoleculares) en la tecnología, para producir estrategias y productos con mayor eficiencia y sostenibilidad.

Salas blancas: instalaciones utilizadas en fabricación o investigación diseñadas para mantener el nivel de partículas y microorganismos extremadamente bajo.

Ecosistema: "área geográfica donde plantas, animales y otros organismos, así como el clima y el paisaje, trabajan juntos para formar una burbuja de vida". Los ecosistemas contienen partes bióticas o vivas, así como factores abióticos o partes no vivas. Los factores bióticos incluyen plantas, animales y otros organismos. Los factores abióticos son las rocas, la temperatura y la humedad. Todos los factores de un ecosistema dependen de todos los demás, directa o indirectamente" (de National Geographic).

Enzima: tipo particular de proteína que puede acelerar las reacciones bioquímicas en un organismo.

Vida extraterrestre: vida hipotética que puede darse fuera de la Tierra.

Caída libre: un objeto está en caída libre cuando la única fuerza que actúa sobre él es la gravedad. Los objetos o cuerpos planetarios (por ejemplo, una nave espacial o la Luna) que orbitan alrededor de un planeta también están en caída libre, pero no caen realmente sobre el planeta debido a su velocidad orbital (Recuadro I).

Hongos: reino de organismos eucariotas que incluye microorganismos como las levaduras y los mohos, así como las setas.

Gravedad: fuerza de atracción universal que actúa entre toda la materia. Controla las trayectorias de los cuerpos en el sistema solar y en el cosmos. La gravedad se mide por la aceleración que da a los objetos en caída libre, y es de unos $9,8 \text{ m/s}^2$ en la Tierra, o $1 \times g$. Es menor en la Luna y Marte, al ser objetos más pequeños: $1,6 \text{ m/s}^2$ ($0,16 \times g$) y $3,8 \text{ m/s}^2$ ($0,38 \times g$), respectivamente.

Microbioma humano: conjunto de todas las comunidades microbianas (microbiota) que residen sobre o dentro de los tejidos humanos. Los tipos de microbiota humana incluyen bacterias, arqueas, hongos, protistas y virus.

Sistema inmunitario: Compleja red de células, tejidos, órganos y las sustancias que producen que ayudan al organismo a combatir las infecciones y otras enfermedades. El sistema inmunitario incluye anticuerpos, glóbulos blancos y órganos y tejidos del sistema linfático, como el timo, el bazo, las amígdalas, los ganglios linfáticos, los vasos linfáticos y la médula ósea (Diccionario del

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

NCI).

Estación Espacial Internacional (ISS): estación espacial modular que orbita alrededor de la Tierra desde el año 2000. Desde entonces ha estado continuamente ocupada por astronautas, lo que permite una presencia humana constante en el espacio. La ISS es una instalación única para la investigación científica en el espacio y la microgravedad, y es un proyecto de colaboración multinacional.

Microorganismos o microbios: organismos microscópicos unicelulares que no son visibles a simple vista. Pertenecen a los dominios de Archaea, Bacteria y Eukarya (por ejemplo, levaduras y mohos).

Microgravedad: condición en la que la gravedad es tan baja que es casi nula, pero nunca realmente ausente. Véase el recuadro I.

Mir: la estación espacial modular rusa que estuvo activa en el espacio antes que la ISS (1986- 2001).

Oportunista: un microorganismo oportunista es un microbio que suele estar presente en o sobre nuestro cuerpo sin causar daño, pero que puede producir enfermedad cuando el sistema inmunitario del huésped está comprometido o cuando el huésped está débil.

Patógeno: algo que puede causar una enfermedad. Cuando se refiere a una bacteria, indica un microbio que puede causar una infección u otra enfermedad.

Cuerpo planetario: cualquier cuerpo secundario geológicamente diferenciado o en equilibrio hidrostático y, por tanto, con una geología similar a la de un planeta. Puede designar un planeta, un planeta enano o las lunas y asteroides de mayor tamaño. Por lo general, el término planetas se refiere a los 8 principales cuerpos celestes del Sistema Solar (Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno), mientras que "cuerpos planetarios" se utiliza de forma más amplia para definir a todos ellos, pero también a la Luna, las lunas de otros planetas y, a veces, los grandes asteroides.

Presión: medida de la fuerza que se aplica sobre una superficie.

Radiación: emisión o transmisión de energía en forma de ondas o partículas.

Regolito: polvo y fragmentos de roca, generalmente sueltos y heterogéneos, que cubren las rocas sólidas. Está presente en la Tierra, la Luna, Marte, algunos asteroides y otros planetas y lunas terrestres.

Microbiología espacial: estudio de los microorganismos (microbiología) en condiciones espaciales o aplicado a la ciencia espacial.

Nave espacial: vehículo o máquina diseñado para volar en el espacio. Los satélites artificiales, las estaciones espaciales, los transbordadores y las sondas espaciales son ejemplos de naves espaciales.

Vuelo espacial: generalmente referido a cualquier viaje de vuelo más allá de la atmósfera terrestre.

Espora: una espora bacteriana es una estructura que algunas especies bacterianas producen cuando se exponen a algunos factores de estrés, por ejemplo, un entorno adverso, temperaturas altas o bajas, falta de agua líquida, vacío, etc. Cuando está en estado de espora, la célula está inactiva y no se alimenta ni se reproduce. Cuando las condiciones son más favorables, la espora puede germinar y formar una célula vegetativa capaz de metabolizar y crecer. Las esporas pueden sobrevivir durante años: ¡algunos estudios afirman haber revivido esporas de 10.000 años y más! Este término no debe confundirse con el de espora fúngica, que es una forma reproductiva específica de los hongos.

Esterilidad: en microbiología, condición de ausencia de microorganismos viables en un medio determinado.

Vacío: ausencia de toda materia, incluido el aire (créditos: NASA).

Virulencia: capacidad de un patógeno o microorganismo de causar daños a un hospedador.

Virus: entidad biológica que se replica como parásito dentro de un huésped, como una célula viva o un organismo. Se discute si se consideran vivos o no, pero sin embargo suelen incluirse en la definición de microorganismos, o microbios.