

# Creación de magnetosferas artificiales como solución en contra de la radiación espacial.

Matías Cedeño-León

matiascedeno20@estudiantec.cr

Área académica de Ingeniería Mecatrónica

Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Resumen**—La exploración espacial trae muchos riesgos consigo, la protección contra la radiación es uno de ellos, debido a que el campo electromagnético de la tierra no protege totalmente a los astronautas en órbita ni a aquellos que se embarcan en viajes a larga distancia es necesario descubrir métodos para contrarrestar estos problemas. Se realiza una revisión bibliográfica de los efectos de la radiación en el cuerpo humano y se presentarán las magnetosferas artificiales como una posible solución.

**Palabras clave**—Magnetosfera, Magnetismo, Radiación, Exploración espacial.

## I. INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se mostrará la creación de magnetosferas artificiales como una solución para la protección de la radiación espacial. La exploración espacial es un tema en auge y cuya importancia probablemente sea mayor en años por venir, existen daños a la salud asociados con esto, la radiación que existe en el espacio puede producir efectos adversos en la salud de los cosmonautas que se sometan a largos periodos de exposición, es necesario evaluar soluciones a este problema antes de que el aumento de las lesiones sea mayor, conforme aumenta la población en riesgo. Se utilizará una investigación de base bibliográfica para examinar el estado del tema y su viabilidad. Con esta investigación se podrá presentar un análisis de la creación de campos magnéticos artificiales para la protección humana y su implementación. Actualmente la humanidad no cuenta con un hábitat que soporte la vida en otros planetas, por lo que esta tecnología tendría que esperar a ser probada en un escenario de un planeta exterior.

A parte de los peligros como cambios osteomusculares, cardiovasculares y psicológicos [3], la órbita de la ISS contiene de las tres principales radiaciones: rayos cósmicos galácticos, eventos de partículas solares y electrones y protones atrapados en los cinturones Van Allen. Debido a esto se produce un complicado ambiente radioactivo dentro y fuera de la misma.[5]

El regreso de emergencia de los astronautas debido a las reglas de vuelo nunca ha ocurrido por el campo magnético terrestre. La Agencia de exploración Japonesa ha llevado a cabo una serie de experimentos para evaluar los niveles de radiación dentro y fuera del Experimento Japonés Módulo

Kibo, parte del Dosímetro Pasivo para la Vida - Ciencia y Experimentos en el espacio.[5]

Actualmente en el programa Artemis de la NASA, los astronautas aterrizarán en la luna para el 2024. Para este programa aún no existe un plan para medir los niveles de radiación a los que se someterán los astronautas durante la misión.[5]

El campo electromagnético de la tierra protege a los astronautas de la ISS, lo que suele desviar las radiaciones en cierta medida, aunque a los astronautas durante largos períodos de tiempo se les hace mantener un seguimiento de sus niveles de radiación ya que puede tener efectos graves en la salud. [10]

En el estudio “Predicting chromosome damage in astronauts participating in International Space Station Missions” participaron 43 equipos que son parte del programa de la ISS, el estudio demuestra que la tasa de aberraciones cromosómicas y radiosensibilidad tiende a incrementarse con la edad, aunque pueden ser variables y que no se observa una diferencia significativa en la tasa aberraciones cromosómicas entre recién empezados en la misión y después de 6 meses post misión. [1]

Todo ser vivo conforme se aleja de la superficie terrestre pierde la protección de la magnetosfera y la atmósfera terrestre, y queda más expuesto a la radiación [5] y partículas energéticas controladas fundamentalmente por la actividad solar y la radiación ionizante aumenta el riesgo de padecer cáncer por la exposición a rayos X y Gamma [10]. Los eventos de partículas solares también suponen una gran amenaza a corto plazo para la salud humana, la piel es el órgano que más sufre la exposición debido a las partículas solares, muchos otros órganos con la protección actual, no electromagnética, superan los límites permitidos por la NASA. [12]

La Global Exploration Roadmap refleja que la exploración espacial, incluyendo los viajes a Marte son una meta para todas las agencias participantes, siendo las misiones sostenibles para humanos permitidas mediante cooperación internacional. Se encuentran riesgos posibles en Marte que pueden ser probados en el ambiente lunar. Se planea probar dispositivos y conceptos que trabajen con mínimo riesgo

en ambos ambientes y el transporte del espacio profundo validará los sistemas. En la fase 4 se pretenden las primeras misiones a Marte, llevando al primer humano a ambientes marcianos.[11]

En el estudio de M. Hada, H. Ikeda, J. R. Rhone, A. J. Beitman, I. Plante, H. Souda, Y. Yoshida, K. D. Held, K. Fujiwara, P. B. Saganti, y A. Takahashi se busca encontrar los efectos combinados de la microgravedad y la exposición a la radiación cósmica, este demostró que las células expuestas a la radiación en una micro gravedad simulada presentan más aberraciones cromosómicas que aquellas en estado estático irradiadas por rayos X o iones de carbono. También existe un problema con partículas negativas muy energéticas llamadas electrones asesinos [6], estos pueden dañar de forma crítica o permanente los satélites y esto producir un peligro para los astronautas. Los mismos también tienen factores de riesgo asociados a la exposición a la radiación ionizante [7] y a la falta de gravedad. Estos factores pueden causar que se produzcan cambios fisiológicos. [9]

La magnetósfera terrestre es el dominio espacial de las líneas de campo magnético terrestre. Un campo magnético tiene la propiedad de cargar con partículas positivas o negativas. Cuando los iones y electrones se aglomeran a cierta densidad se exhibe un comportamiento tal como las ondas de plasma. [2]

El viento solar se refiere al plasma presente en el espacio interplanetario, este plasma puede controlarse mediante campos electromagnéticos naturales y artificiales. La radiación producida por el sol es el obstáculo clave para las misiones tripuladas de larga duración. [2]

Existe la posibilidad de que las mini-magnetosferas sirvan como un escudo en contra de la radiación solar. Mediante la captura y contención del plasma se mejora la efectividad del escudo. Evidencia que apoya esta teoría es que se pueden estudiar las anomalías naturales conocidas como “lunar swirls”, las cuales son un tipo de mini-magnetosferas.[14]

Las magnetosfera suelen ser asociadas con el campo magnético planetario interactuando con el plasma del viento solar, mas las mini-magnetosferas se refieren a magnetosferas totalmente formadas mucho más pequeñas a las magnetosferas planetarias, aproximadamente en el orden de los cientos de kilómetros de diámetro.[14]

El tamaño de las mini magnetosfera depende de dos parámetros:

1.La magneto-pausa, que es donde la presión de plasma proveniente del sol es igualada o balanceada con la presión producida por la magnetosfera.

2.El ancho del límite de la Magneto pausa.

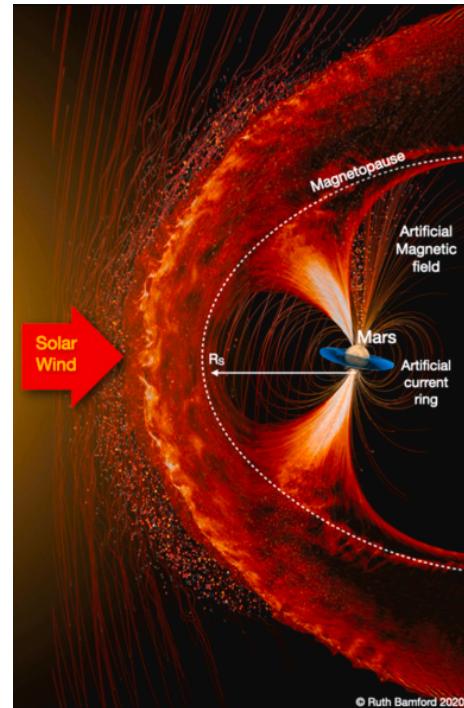


Figura 1. Campo magnético planetario.

El tamaño requerido de esta magneto-pausa solo puede ser medido en el espacio, por lo que debemos de empezar a experimentar físicamente con misiones a las estaciones espaciales para medir cuánto es el nivel de radiación recibido, cual es el efecto de la mini-magnetosfera en la nave espacial y cuánto es el ancho requerido para parar efectivamente el plasma solar.[14]

La potencia energética requerida para una mini-magnetosfera capaz de proteger a una tripulación de una pequeña nave espacial es de kW, no de MW, lo que quiere decir que no es un requerimiento de energía alto.[14]

La evidencia de que estas mini-magnetosfera realmente funcionan viene de las anomalías lunares, de las regiones alrededor de asteroides y cometas, tanto en la vida real como en simulaciones.[14]

## II. ESTADO DEL ARTE

Marte ha perdido gran parte de su atmósfera debido a la falta de una magnetósfera que permite la interacción directa entre la exosfera, ionósfera y atmósfera superior con el viento solar. En un futuro se proyecta una atmósfera mejorada con presión y temperatura suficiente para permitir agua líquida, útil para la exploración humana en los 2040s.[8]

Mediante una serie de simulaciones que permitan estudiar el comportamiento de las condiciones marcianas se pueden probar diferentes métodos para determinar la mejor manera de lograr parar el viento solar y devolver la atmósfera al

equilibrio.[8]

Modelos utilizados en el Coordinated Community Modeling Center (CCMC), muestran como se puede generar un dipolo magnético en el punto L1 de Lagrange para la creación de una magnetósfera artificial, aumentando este campo magnético hasta que la cola magnética de este cubra todo el planeta. Así se puede prevenir el deterioro producido por el viento solar a la ionosfera y la atmósfera superior para lograr aumentar la temperatura y presión con el tiempo. Un incremento de  $4^{\circ}$  es suficiente para derretir el CO<sub>2</sub> del polo norte marciano, permitiendo que Marte se convierta en un planeta habitable.[8]

Por más fantástico que suene esto, existen nuevas investigaciones demostrando que se puede crear magnetosferas miniatura que permitan proteger a humanos a bordo de naves espaciales mediante una estructura inflable que genere un campo de magnético en el orden de los 1 o 2 Teslas como escudo contra el viento solar.[8]

La energía necesaria para crear una magnetosfera artificial alrededor de marte es comparable con el consumo energía energía total del mundo en el 2020. Se recomienda la energía nuclear de fusión como una fuente de poder porque tiene la mayor densidad de energía, haciéndola compacta y reduciendo la masa necesitada.[15]

[15]Para obtener una magnetosfera se debe tener una corriente circulando, existen diferentes formas de obtener esta corriente en Marte:

1. Circulación dinamo del núcleo derretido planetario.
2. Un anillo de sólido continuo superconductor o un anillo de magnetos de estado permanente.
3. Una cadena de fuentes discretas de corriente emparejada hecha de un rayo controlado de partículas cargadas que forman una corriente eléctrica.
4. Un toro de plasma de partículas cargadas positivas y negativas con una corriente artificial que conduzca un ciclo de corriente del tipo solenoide.

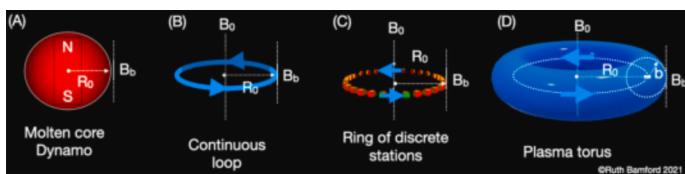


Figura 2. Formas de producir un campo magnético artificial.[15]

Los lugares para llevar a cabo estas opciones pueden ser el centro del planeta, la superficie el planeta, algunas locaciones de la órbita marciana, y el punto L1 entre el sol y Marte.[15]

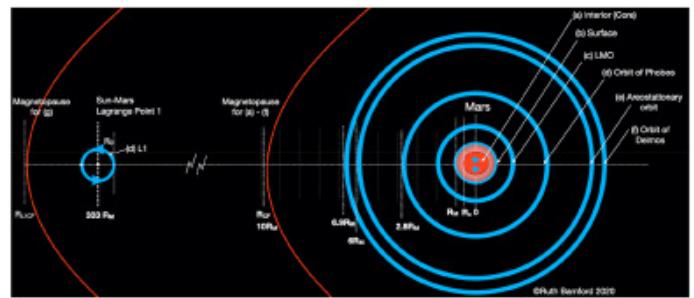


Figura 3. Lugares para producir un campo magnético artificial.[15]

La primera opción de la circulación dinamo del núcleo planetario derretido sugiere utilizar bombas de Hidrógeno de 1 megatón para excitar el centro fluido de marte y así volver a crear el efecto dinamo que produce el campo magnético planetario, mas es poco viable, debido a que las masas involucrados en los cálculos son vastas y es muy improbable que esta opción para ser llevado a cabo debido a que existen otras maneras más fáciles de crear una magnetosfera artificial.[15]

Con el anillo de solenoide se puede producir un dipolo magnético continuo indistinguible de uno natural. Despreciando el material que se utiliza para crear estos campos artificiales, no hay una diferencia física entre un campo artificial y uno natural, lo único negativo de esta opción sería el tamaño de la estructura, es demasiado grande y se tendría que buscar una forma de extraer el material y llevarlo a órbita.[15]

Los criterios necesarios del campo magnético artificial son:

1. El campo magnético debe tener la suficiente intensidad para crear una magneto-pausa artificial.
2. El tamaño de la zona protegida de la magnetosfera debe abarcar todo el planeta.
3. La magnetosfera no debe de entrar a la atmósfera del planeta durante algún evento de clima espacial extremo.

Una estructura de anillo de solenoide en órbita permite un mayor radio del ciclo de corriente y se disminuye el flujo magnético, evitando así problemas por alta intensidad de flujo magnético en las personas e instrumentos.[15]

Existe un problema con la masa debido a la densidad y resistividad de los conductores actuales, se piensa que para el momento de terraformar Marte ya se van a tener superconductores, mas con los materiales actuales, la masa necesaria para ya sea, tener imanes permanentes o un solenoide que actúe como imán solamente cuando una corriente fluye a través de él es exagerado. Se necesitaría un conductor con baja resistividad y densidad que sea fácil de transportar hasta la órbita.[15]

Para lidiar con el problema de la masa se pueden utilizar selenoides huecos o superconductores ultra delgados en forma de cinta, los cuales tienen la promesa de poder lidiar con el estrés de despegue y el ambiente térmico del espacio.[15]

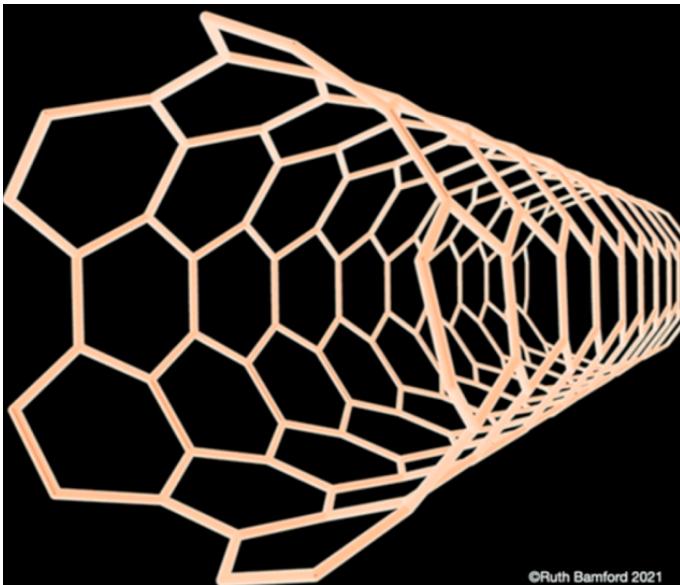


Figura 4. Solenoides huecos para solucionar el problema de masa.[15]

Otro problema que se presenta es llevar los materiales de tierra firme al espacio en órbita, una solución podría ser capturar los materiales, ya sea de alguna de las lunas marcianas o de un asteroide capturado. Eliminando el obstáculo de la gravedad.[15]

La opción para crear el campo magnético artificiales sin tanta masa es utilizar un toro de plasma, sin tener que crear una estructura sólida para poder conducir la corriente, el plasma puede conducir la corriente y mediante la ayuda de que el espacio es conductivamente frío, pero radiativamente caliente, se puede crear la ionización del toro de plasma. La principal ventaja de esta solución es que no se requiere una estructura física, sino que se puede contar con el plasma como conductor y se puede artificialmente generar una corriente eléctrica produciendo un campo magnético asociado que cubra el volumen requerido.[15]

Otra utilización de esta tecnología puede ser que la creación de una magnetosfera artificial utilizando equilibrio de plasma en el espacio interplanetario se puede aplicar a la navegación magnética de una nave, se ha mostrado que el empuje utilizando equilibrio de plasma es más de 3 veces el creado por navegación puramente magnética sin la liberación de plasma. Se aprovecha el plasma residual ubicado en el espacio interplanetario para generar empuje.[4]

Todas estas soluciones vienen con un vasto repertorio de dificultades técnicas que no se toman en cuenta, no solamente por la intensidad del campo magnético necesario, sino por las dimensiones necesarias de las estructuras que se

mencionan. [15]

### III. ANÁLISIS DE SITUACIÓN Y RESULTADOS.

La magnetosfera terrestre es el escudo principal de la humanidad en contra de la radiación producida por el sol, el campo magnético es creado desde el centro de la tierra por el núcleo fundido con propiedades magnéticas, esto produce el efecto conocido como "las auroras boreales" vistas en el Polo Norte y Sur, las mismas son causadas por los residuos de la radiación en la ionosfera, está magnetosfera es la responsable de permitir la vida en la tierra, sin ella la tierra sería arrasada por el voraz viento solar. [2]

En la estación espacial internacional los astronautas también se ven parcialmente protegidos por este campo magnético que encierra al planeta, mas están más expuestos a la radiación y por esto pueden desarrollar problemas serios en su salud.[1]

La creación de magnetosferas artificiales indistinguibles de los naturales ya está siendo investigada, dando básicamente tres opciones para la terraformacion de otros planetas, un proceso básico en la colonización y expansión de una civilización.[15]

Estos campos magnéticos pueden ser creados ya sea por la influencia del núcleo derretido en el centro del planeta como ocurre en la tierra, por la creación de una estructura de un conductor sólido, ya sean imanes permanentes o un solenoide con la suficiente corriente fluyendo a través de él como para producir un campo que encierre el planeta de interés o utilizar plasma como conductor y generar artificialmente la corriente para producir el campo asociado. Esta última se ve como la más viable puesto que no tiene la dificultad de llevar grandes cantidades de material desde tierra firme hasta la órbita deseada, además de que la magnetosfera terrestre ya se comporta como un plasma con una corriente circulando a través de ella.[15]

Los lugares donde se pueden poner estos campos magnéticos son la superficie del planeta, una órbita deseada, o en el punto de L1, refiriéndose al modelo de LaGrange entre el planeta y el ente de radiación.[15]

Además estas magnetosferas que utilizan plasma también son útiles para el desplazamiento de una nave espacial, se busca aprovechar el viento solar como método de propulsión, utilizando el equilibrio de plasma se puede generar un empuje más grande que no utilizando el plasma y de esta manera encontrar un método viable para la exploración espacial.[4]

Con la exploración espacial como un reto a mediano plazo debemos de empezar a buscar como mejorar las condiciones de viaje y de asentamiento para los humanos en ambientes extraterrestres, la radiación se vuelve un problema ya sea en el espacio como en la tierra, por lo que es importante

investigar el tema y llegar a soluciones como esta de la creación de mini magnetosferas. [14]

Se ha demostrado qué un planeta sin magnetosfera puede perder fácilmente gran parte de su atmósfera debido a la interacción con el viento solar. Mediante múltiples simulaciones computarizadas se puede llegar a determinar la mejor condición, ya sea de intensidad como de funcionalidad para un generador de campo magnético artificial qué no tenga efectos adversos para las personas ni los instrumentos utilizados dentro de él. [15]

Si bien es cierto, la generación de un campo de esta intensidad requiere de una gran cantidad de energía, por lo que como humanos también tenemos el reto de generar formas más compactas, eficientes y limpias de producirla si queremos ser una especie interplanetaria.[15]

Entre los requisitos necesarios para el campo magnético artificial esta crear una magneto-pausa artificial, lo que quiere decir que se debe producir un contacto entre el viento solar y el campo magnético capaz de desviar la radiación qué viene con él, además de que la zona protegida debe de ser todo el planeta y debe de proteger al planeta inclusive durante casos de clima espacial extremo.[15]

#### IV. CONCLUSIONES.

El viaje espacial es un proceso peligroso, tiene riesgos para los cuales debemos estar preparados sí optamos como civilización en ver a las estrellas como un futuro hogar. La radiación solar, los trastornos de comportamiento y los peligros constantes para la salud son algunos de los riesgos qué encontrarán los futuros humanos tratando de asentarse en planetas terraformados o naturalmente habitables.

Existen distintas formas de generar un campo magnético artificial que simula al campo magnético terrestre llamado magnetosfera, la creación de estas magnetosfera es clave para la protección en contra de la radiación solar y de otros cuerpos celestes en planetas donde no existen de forma natural.

Hay diversos lugares dónde pueden colocarse las estructuras formadas para la producción de un campo magnético con suficiente intensidad como para protegernos de las condiciones de clima espacial. Esta decisión debe de tomar en cuenta el bienestar de las personas e instrumentos que están resguardados por la estructura, debido a que un flujo magnético de alta intensidad puede ser dañino.

La tecnología actual debe avanzar un poco más en el campo de conductores, transporte de material y extracción de recursos para poder optar por partir hacia las estrellas. La expansión espacial es un asunto de interés general planetario, es nuestra misión expandirnos para algún día tener un lugar en todo nuestro sistema solar, vecindario local y galaxia.

La mejor manera de crear un campo magnético artificial es mediante el uso de plasma como conductor con una corriente artificial que fluye a través de él en la órbita planetaria, de esta manera se reduce drásticamente la utilización de material, debido a que no se requiere una estructura sólida para el flujo de la electricidad, sino que se puede utilizar el plasma para transportar a la misma. La magnetosfera terrestre se comporta similar a esta estructura con iones cargados positiva y negativamente qué producen un ambiente seguro en la superficie del planeta, por lo que así tenemos una idea de como serían las condiciones en un planeta próximo a la terraformación.

Es necesario realizar investigaciones más a profundidad del tema, debido a que no existen muchos proyectos que se centren en la utilización de estructuras electromagnéticas para la protección de naves y planetas en contra de la radiación proveniente de otros cuerpos celestes, múltiples ejemplos retratan como esta tecnología produce optimismo en todos aquellos interesados en la investigación espacial y en los viajes tripulados a largas distancias para la expansión de nuestra especie.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Feiveson, K. George, M. Shavers, M. Moreno-Villanueva, Y. Zhang, A. Babiaak-Vazquez, B. Crucian, E. Semones, and H. Wu (2021). *Predicting chromosome damage in astronauts participating in International Space Station Missions*. Nature News.
- [2] Axford, W.I. (1985). *The Solar Wind*.
- [3] F. Muñoz, M. Pinzón, L. Zuñiga, L. Mahecha, J. Saavedra (2019). *RIESGOS DE SER UN ASTRONAUTA: HÉROES DEL ESPACIO*. researchgate.net.
- [4] Funaki. Y, Kajimura. Y, Ashida. H, Nishida. Y, Oshio. I, Shinohara. H, Yamakawa (2017) . *The Use of Dipole Plasma Equilibrium for Magnetic Sail Spacecraft, Fusion Science and Technology*.
- [5] Furukawa. S, Nagamatsu. A, Nenoi. M, Fujimori. A, Kakinuma. S, Katsube. T, Wang.B, Tsuruoka.C, Shirai.T, Nakamura. A, Sakaue-Sawano.A, Miyawaki.A, Harada.H, Kobayashi.M, Kobayashi.J, Kunieda.T, Funayama.T, Suzuki.M, Miyamoto.T, Hidema.J, Yoshida.Y, Takahashi.A.(2020). *Space Radiation Biology for "Living in Space"*. Hindawi BioMed Research International.
- [6] Hinojosa. C. (2022) *UN ASESINO EN EL ESPACIO* infoAnalítica.
- [7] Jacome. A, (2019) *MEDICINA AEROESPACIAL EN EL CINCUENTENARIO DEL ALUNIZAJE* revistamedicina.net.
- [8] J. L. Green , J. Hollingsworth , D. Brain , V. Airapetian , A. Glocer , A. Pulkkinen , C. Dong and R. Bamford.(2017). *A future Mars Environment for Science and exploration*. Planetary Science Vision 2050 Workshop. NASA.
- [9] M. Hada, H. Ikeda, J. R. Rhone, A. J. Beitman, I. Plante, H. Souda, Y. Yoshida, K. D. Held, K. Fujiwara, P. B. Saganti, A. Takahashi (2018)*Increased chromosome aberrations in cells exposed simultaneously to simulated microgravity and radiation*. MDPI
- [10] Mira.A, Escobar. M (2018). *Efectos del vuelo espacial humano y cuidados enfermeros para su prevención*. Universitat de Lleida.
- [11] M. Rucker, J. Connolly, (2018). *Deep space gateway - enabling missions to Mars - NASA Technical Reports Server (NTRS)*. NASA.

- [12] Pérez. A. (2019). *Caracterización del clima espacial a partir de registros del Observatorio Astronómico de Madrid (1876-1986)*. Universidad de Extremadura.
- [13] Perla. L. (2018). *Análisis de la radiación en Marte mediante el software OLTARIS* Universidad Carlos III de Madrid.
- [14] R.A. Bamford, B. Kellett, J. Bradford, T.N. Todd, M.G. Benton, R. Stafford-Allen, E.P. Alves, L. Silva, C. Collingwood, I.A. Crawford, R. Bingham. (2021). *An exploration of the effectiveness of artificial mini-magnetospheres as a potential solar storm shelter for long term human space missions* Acta Astronautica.
- [15] R. A. Bamford, B. J. Kellett, J. L. Green, C. Dong, V. Airapetian, and R. Bingham (2021). *How to create an artificial magnetosphere for Mars* Acta Astronautica.