



# Oráculo de DSCOVR

Participantes: Amato Juan Ignacio

Charras Tomás

Costantini Tomás

Gieco Marcos

Maldonado Horacio

Serra Misael





## ¿Qué es el DSCOVR?

El Observatorio Climático del Espacio Profundo (DSCOVR) es el satélite de reemplazo de la nave espacial Advanced Composition Explorer (ACE) de la NASA, este se encuentra monitoreando el viento solar cerca del punto L1. El lanzamiento de esta misión se produjo el día 11 de febrero de 2015, a las 23:03 hora UTC.

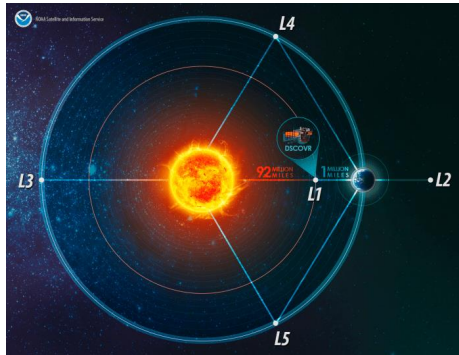


Imagen correspondiente al punto donde se ubica el satélite

Su principal objetivo es proporcionar mediciones del plasma del viento solar y del campo magnético para permitir a la NOAA (La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica) realizar predicciones del clima espacial. Otros objetivos científicos secundarios son la obtención de imágenes del disco terrestre iluminado por el Sol en varias bandas espectrales diferentes, el estudio de la capa de ozono, la cubierta de nubes y de vegetación, y la irradiancia reflejada por la Tierra.

Estos datos respaldan los pronósticos y la investigación de fenómenos que tienen el potencial de perturbar y dañar la infraestructura terrestre. Aquí, los datos se archivan, distribuyen y visualizan para mediciones con magnetómetro y copa de Faraday.

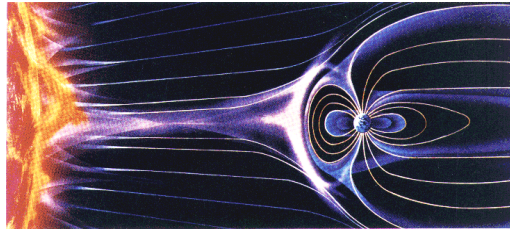
## ¿Cuál es la falla que tiene el DSCOVR?

En principio este satélite fue diseñado para un correcto funcionamiento durante 5 años, en la actualidad está cumpliendo su octavo año en el espacio. Como era de esperarse, ya no trabaja de la mejor manera, pues luego de un tiempo de exposición a los vientos solares, los componentes electrónicos suelen deteriorarse, en consecuencia, encontramos desfasajes o fallas al momento de la obtención de datos.

## ¿Qué son los vientos solares?

Para entender mejor lo que se estudia, primero necesitamos comprender que son los vientos solares y en que situaciones nos puede afectar.

El Sol produce una constante corriente de partículas que se mueve hacia el espacio. A esta corriente de partículas se le llama, viento solar.



Ejemplo de como afecta un viento solar a la atmosfera de la Tierra

En el viento solar el plasma es muy ligero. Cerca de la Tierra, este es de aproximadamente 6 partículas por centímetro cúbico, en comparación con  $2.5 \times 10^{19}$  moléculas/cm<sup>3</sup> que hay en la atmósfera de la Tierra a nivel del mar. Sin embargo, el viento solar es responsable de fenómenos poco comunes como:

- Aurora Boreal
- Ionización de la coma de los cometas
- Alimentar las tormentas magnetosféricas
- Formar la magnetosfera de un planeta, y forzar la circulación dentro de ella.
- Daños en la electrónica de naves.
- Sobrecargas de la red eléctrica e incendios de transformadores.
- Transferencias en las señales de radio.
- Pérdida de la señal GPS.
- Dificultades para la navegación aérea.
- Daños en el cableado terrestre.
- Mala conectividad en cables submarinos.

El viento solar consiste mayormente de protones y electrones, pero también está conformado de iones de casi cada uno de los elementos de la tabla periódica. Se considera que es una continua expansión de la atmósfera del Sol. Son restos de la fase T-Tauri de la evolución estelar de cuando el Sol recién encendido explotó en cantidades masivas, y lanzó sus residuos hacia el espacio.

El viento solar emana desde el Sol y va en todas direcciones, pero parece que, en su mayoría, emana desde los hoyos coronales del Sol. Aún no se sabe a ciencia cierta qué es lo que hace que el viento solar sea acelerado o "soplado" hacia el espacio.

Una vez comprendido que son los vientos solares, podemos explicar la siguiente problemática, cómo funciona el ciclo solar.

El ciclo solar es el ciclo que completa el campo magnético del Sol cada 11 años, aproximadamente. Pasado este tiempo el campo magnético del Sol cambia completamente. Esto significa que los polos norte y sur del Sol cambian de lugar. Luego, demoran unos 11 años en volver de nuevo a la posición inicial.

Este proceso afecta la actividad de la superficie del Sol, como las manchas solares causadas por los campos magnéticos. A medida que los campos magnéticos cambian, también lo hace la cantidad de actividad en la superficie del Sol.

Una forma de hacer un seguimiento del ciclo solar es contando el número de manchas solares. El comienzo de un ciclo solar es un mínimo solar, o cuando el Sol tiene menos manchas solares. La mitad del ciclo solar es el llamado máximo solar, o cuando el Sol tiene la mayor cantidad de manchas solares. A medida que el ciclo termina, vuelve al mínimo solar y comienza un nuevo ciclo.



Dicho esto, en los próximos párrafos se detallará como se calcula la probabilidad de que los datos que recibimos desde el DSCOVER sean correctos, dado que el satélite puede presentar fallas. Además, explicaremos en que desarrollo matemático nos basaremos para explicar la actividad solar.

### **Probabilidad de fallas del satélite.**

Como se mencionó anteriormente dentro de los ciclos solares se destacan periodos de alta actividad solar, ya que el sol sufre un proceso de interpolación magnética. Basándonos en el momento en el que se toma la medición podemos discernir si esta tiene altas probabilidades de ser errónea y almacenarlo en un dato. A la hora de calcular la predicción se tendrá en cuenta esta probabilidad porcentual, y, si llegara a haber un error se trabajará sobre este tipo de datos almacenados. Tomando en cuenta los datos con alta probabilidades de error y la diferencia entre la predicción y la medición en tiempo real se pueden predecir errores del mecanismo mediante la siguiente formula:

$$\frac{\int_{t_0}^{t_1} E_{acc} dt}{E_{real}} \cdot 100\%$$

Donde:

$t_0$  y  $t_1$  son la recopilación de tiempo que se tiene en cuenta.

$E_{acc}$  es el error recopilado durante el periodo de tiempo tenido en cuenta.

$E_{real}$  es el error en tiempo real.

100% es para que este cálculo sea una relación porcentual.

### **Fundamentación Matemática**

Además de la fórmula de predicción de posibles errores de medición, hemos investigado los distintos procesos que engloban el comportamiento del sol con respecto al magnetismo interplanetario. Estas tienen en cuenta:

- A la convección solar:

Es una de las tres formas de transferencia de calor que existe en la naturaleza (Las otras dos son la conducción y la radiación). Consiste en el movimiento que se produce en un fluido o en un gas debido a diferencias de calor combinado con la fuerza de la gravedad, es decir, lo que se encuentra caliente tiende a subir y lo que se encuentra frío tiende a bajar.

Esto se debe a que las moléculas de los fluidos que se calientan aumentan su velocidad entre sí por lo que su densidad disminuye haciendo que la sustancia sea más liviana por lo tanto sube, en tanto los fluidos que estaban arriba bajan porque son más densos y son atraídos por la fuerza de la gravedad.

La convección solar es un proceso fundamental para mantener el equilibrio termonuclear del Sol. Permite que el material caliente y rico en hidrógeno del núcleo sea reemplazado por material más frío y menos rico en hidrógeno, lo que mantiene la producción constante de energía solar a lo largo del tiempo.



- Al efecto dínamo del sol:

Las corrientes eléctricas creadas por la convección actúan como una especie de "dínamo", generando campos magnéticos a través de la ley de Ampere. La interacción entre las corrientes eléctricas y los campos magnéticos existentes refuerza y amplifica los campos magnéticos.

El proceso de cálculo del efecto dínamo implica la solución numérica de las ecuaciones de MHD en un dominio tridimensional que representa el objeto celeste en cuestión (como un núcleo planetario o una región del interior estelar). Debido a la complejidad de estas ecuaciones y a la necesidad de modelar fenómenos físicos complejos, los cálculos del efecto dínamo suelen requerir recursos computacionales significativos y métodos numéricos avanzados.

Las ecuaciones de MDH incluyen:

#### **Ecuación de continuidad**

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (pv) = 0$$

Donde:

P es la densidad del plasma.

V es la velocidad del plasma.

#### **Ecuacion momentum**

$$p \left( \frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla) \cdot v \right) = -\nabla p d + \frac{1}{u_0} (\nabla \cdot B) \cdot B$$

Donde

Pd es la presión del plasma.

B es el campo magnético.

u0 es permeabilidad del vacio.

#### **Ecuación de inducción magnética**

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \cdot (v \cdot B - \eta \nabla \cdot B)$$



Donde  $\eta$  es la resistividad del plasma.

### **Ecuacion del gas ideal**

$$pd = (\gamma - 1) \cdot (\rho \epsilon + \frac{1}{2} \rho v^2 + \frac{B^2}{2\mu_0})$$

Donde

$\gamma$  es el índice adiabático.

$\epsilon$  es la densidad de energía interna del plasma

- Al ciclo Solar:

Cuya explicación se encuentra en las páginas anteriores

- A la rotación diferencial

Se habla de rotación diferencial cuando, en un objeto en rotación, las diferentes partes del mismo se mueven con velocidades de rotación desiguales. Ello es indicativo de que el objeto no es sólido, sino líquido o gaseoso, con partes que se pueden considerar independientes. En objetos fluidos, como discos de acrecimiento, esto provoca su deformación por cizalladura.

Por lo general, las galaxias y las protoestrellas presentan rotación diferencial. En nuestro Sistema Solar tenemos como ejemplos de rotación diferencial al Sol, Júpiter y Saturno.

El valor de la rotación solar varía con la latitud debido a que el Sol está compuesto por plasma gaseoso. La razón por la que las masas situadas en diferentes latitudes giran en diferentes períodos es desconocida. Se observa que la tasa de movimiento de rotación de la superficie es más rápida en el ecuador solar (latitud  $\phi = 0^\circ$ ) y disminuye a medida que aumenta la latitud.

El período de rotación solar es de 24,47 días en el ecuador y de hasta casi 38 días en los polos; por consiguiente, podemos establecer una rotación promedio de unos 28 días.

### Ecuaciones:

La tasa de rotación diferencial generalmente se describe mediante la ecuación:

Donde  $\omega$  es la velocidad angular en grados por día,  $\phi$  es la latitud solar y A, B y C son constantes. Los valores de A, B y C difieren según las técnicas utilizadas para realizar la medición, así como el período de tiempo estudiado.

Un conjunto actual de valores promedio aceptados es:

$$A = 14.713 \pm 0.0491^\circ/\text{día}$$

$$B = -2.396 \pm 0.188^\circ/\text{día}$$

$$C = -1.787 \pm 0.253^\circ/\text{día}$$





### Número de rotación de Bartels:

El número de Rotación de Bartels es un recuento en serie que numera las rotaciones aparentes del Sol visto desde la Tierra, y se usa para rastrear ciertos patrones recurrentes o cambiantes de la actividad solar. Para este propósito, cada rotación tiene una longitud de exactamente 27 días, cerca de la velocidad de rotación sinódica de Carrington. Julius Bartels asignó el conteo de la rotación solar arbitrariamente a un día, el 8 de febrero de 1832. El número de serie sirve como una especie de calendario para marcar los períodos de recurrencia de los parámetros solares y geofísicos.

### Rotación de Carrington:

Es un sistema para comparar ubicaciones en el Sol durante un período de tiempo, lo que permite el seguimiento de grupos de manchas solares o el seguimiento de la reaparición de erupciones en un momento posterior.

Debido a que la rotación solar es variable con la latitud, la profundidad y el tiempo, cualquier sistema de este tipo es necesariamente arbitrario y solo permite que la comparación sea precisa durante períodos moderados de tiempo. La rotación solar se toma arbitrariamente como 27,2753 días para la rotación de Carrington. A cada rotación del Sol bajo este esquema se le asigna un número único llamado Número de rotación de Carrington, que comienza el 9 de noviembre de 1853.

La "longitud de Carrington" de la misma característica se refiere a un punto de referencia arbitrario fijo de una rotación rígida imaginaria, como fue definida originalmente por Carrington.

Carrington determinó la tasa de rotación de las manchas solares de baja latitud en la década de 1850 y llegó a 25,38 días para el período de rotación sideral. La rotación sideral se mide en relación con las estrellas, pero debido a que la Tierra está en órbita alrededor del Sol, este período mide 27,2753 días.

- A la eyección de masa coronal:

Se denomina eyección de masa coronal o CME a una onda hecha de radiación y viento solar que se desprende del Sol en el periodo llamado Actividad Máxima Solar. Esta onda es muy peligrosa ya que, si llega a la Tierra y su campo magnético está orientado al sur, puede dañar los circuitos eléctricos, los transformadores y los sistemas de comunicación, además de reducir el campo magnético de la Tierra por un período. Cuando esto ocurre, se dice que hay una tormenta solar. Sin embargo, si está orientado al norte, rebotará inofensivamente en la magnetosfera. La magnetosfera o magnetósfera es una región alrededor de un planeta en la que el campo magnético de este desvía la mayor parte del viento solar formando un escudo protector contra las partículas cargadas de alta energía procedentes del Sol.

### Descripción:

Las eyecciones de masa coronal lanzan ingentes cantidades de materia y radiación electromagnética hacia el espacio más allá de la superficie solar. En algunos casos





estas eyecciones se quedan en la corona o pueden adentrarse en el sistema solar o incluso más allá, en el espacio interestelar. El material eyectado es un plasma consistente principalmente de electrones y protones, pero puede contener pequeñas cantidades de partículas más pesadas como helio, oxígeno e incluso hierro. Esto se debe a los enormes cambios y turbulencias producidos en el campo magnético de la corona solar.

### Causas:

Investigaciones científicas recientes han demostrado que el fenómeno de reconexión magnética es responsable de las eyecciones de masa coronales y de las erupciones solares. Reconexión magnética es el nombre dado al reordenamiento de las líneas de campo magnético cuando dos campos magnéticos opuestos se acercan. Este reordenamiento está acompañado de una liberación espontánea de la energía almacenada en los campos originales dirigidos de forma opuesta.

En el Sol, la reconexión magnética puede comenzar por una pequeña curva en el campo magnético que poco a poco se va cerrando sobre sí misma. Las líneas de campo de fuerza se ven cada vez más curvadas hasta que de repente cortan la curva, volviendo a la forma original. Sin embargo, queda una parte sin conexión en forma de anillo. Este campo magnético en forma de anillo y el material que este contiene se pueden expandir violentamente hacia el exterior formando la eyección de masa coronaria. Esto también explica por qué las EMC y las erupciones solares ocurren desde los puntos donde el campo magnético solar es mucho más fuerte que la media.

### **Calculo de probabilidad de una tormenta geomagnética**

$$\frac{1}{1 + e^{-(Vtc)}}$$

Donde:

Vtc es el calculo de todas las variables tenidas en cuenta en el desarrollo anterior.

### **Implementación de IA en el proyecto.**

En nuestro proyecto, nos hemos propuesto implementar la inteligencia artificial para revolucionar el cálculo de variables y reducir errores en las mediciones de la actividad solar. Reconocemos que la precisión en las predicciones solares es esencial para diversas aplicaciones, desde la planificación de infraestructuras hasta la comprensión del cambio climático. Al aprovechar las capacidades de la inteligencia artificial, buscamos transformar la forma en que entendemos y predecimos la actividad solar.

Nuestra iniciativa se centra en el desarrollo de algoritmos avanzados respaldados por IA que puedan analizar grandes volúmenes de datos solares con precisión y rapidez. Estos algoritmos no solo se enfocarán en el cálculo de variables complejas, sino también en la identificación y corrección de errores en las mediciones. Al integrar técnicas de aprendizaje profundo y análisis predictivo, pretendemos mejorar significativamente la calidad de los datos solares que utilizamos para hacer predicciones.



Con esta implementación, esperamos lograr predicciones solares mucho más precisas y confiables. Esto no solo beneficiará a la comunidad científica y a los investigadores que estudian la actividad solar, sino que también tendrá un impacto significativo en sectores como la energía solar, la meteorología y la navegación, donde las predicciones precisas son fundamentales para la toma de decisiones informadas.

Además, al reducir los errores en las mediciones y mejorar la precisión en los cálculos, nuestra IA contribuirá a optimizar la eficiencia de las tecnologías solares y a anticipar de manera más precisa los cambios en la actividad solar. Este proyecto representa un paso crucial hacia un futuro donde nuestras predicciones sobre el comportamiento solar son más fiables y, por lo tanto, más útiles para una variedad de aplicaciones prácticas.

El segundo programa se centrará específicamente en identificar y corregir los errores cometidos en las mediciones solares. Utilizando algoritmos especializados, este programa analizará las discrepancias entre las mediciones reales y los datos procesados por el primer programa. Identificará patrones y anomalías para determinar dónde se han producido errores y, a través de técnicas de aprendizaje automático, desarrollará métodos para corregir estos errores de manera precisa y eficiente.

Lo que hace que este proyecto sea aún más poderoso es la interconexión estratégica de estos dos programas. Ambos estarán diseñados para comunicarse entre sí de manera continua y fluida. El programa encargado del procesamiento de datos enviará sus resultados al programa de corrección de errores, proporcionando datos procesados para su análisis. A su vez, el programa de corrección de errores proporcionará retroalimentación al programa de procesamiento de datos, permitiéndole mejorar su precisión con el tiempo a medida que aprende de los errores identificados y corregidos.

Esta colaboración sinérgica entre los dos programas no solo aumentará la precisión de nuestras predicciones solares, sino que también establecerá un ciclo de retroalimentación constante que permitirá la mejora continua del sistema en su conjunto. Con esta estrategia integral, estamos seguros de que nuestro enfoque innovador no solo reducirá los errores en las mediciones solares, sino que también abrirá nuevas posibilidades para comprender y predecir con precisión la actividad solar.

Hay que tener en cuenta, que se tiene registro de los valores en menos de 2 ciclos solares, lo que implica que hoy en día, esto no lograra ser tan preciso como en futuras décadas. Este proyecto hay que tenerlo en cuenta como algo para largo plazo.



Bibliografía:

[https://www.mdsc.nasa.gov/index.php/misiones-en-curso/dscovr\\_esp/](https://www.mdsc.nasa.gov/index.php/misiones-en-curso/dscovr_esp/)

Imagen 1:

<https://nautispots.com/noaa-busca-ayuda-para-predecir-el-nuevo-norte-magnetico/> 1

[https://www.windows2universe.org/sun/solar\\_wind.html&edu=high&lang=sp](https://www.windows2universe.org/sun/solar_wind.html&edu=high&lang=sp)

<https://spaceplace.nasa.gov/solar-cycles/sp/#:~:text=El%20campo%20magnético%20del%20Sol%20pasa%20por%20un%20ciclo%2C%20denominado,nuevo%20a%20la%20posición%20inicial.>

<https://www.xlsemanal.com/conocer/ciencia/20200814/que-es-tormenta-solar-consecuencias-tierra-humanidad-infraestructuras.html>

<https://www.todoelsistemasolar.com.ar/conveccion.php>

IA a la que se le consultó:

<https://chat.openai.com>

Libros:

Introducción a la física espacial:

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México