

## Algunos aspectos del presente y futuro de la exploración de Marte

### Some aspects of the present and the future of Mars exploration

Luis Vázquez Martínez<sup>1</sup>, María Pilar Velasco Cebrián<sup>2</sup>

lvazquez@fdi.ucm.es

#### RESUMEN

Se presentan algunos hitos relativos al Conocimiento y Exploración de Marte. De manera especial se describe la investigación actual en el Grupo Complutense de Estudios de Marte (Integrado en <https://plataforma-aeroespacial.es/pae/>).

**PALABRAS CLAVE:** Exploración de Marte, Misiones, Instrumentación Espacial, Computación en la Nube

#### ABSTRACT

We present some milestones related to the Knowledge and Exploration of Mars. We also describe the current research in the Complutense Group for Martian Studies (Integrated in <https://plataforma-aeroespacial.es/pae/>).

**KEYWORDS:** Mars Exploration, Missions, Space Instrumentation, Cloud Computing.

---

<sup>1</sup> Académico Correspondiente de la Sección de Ciencias Experimentales de la RADE. Facultad de Informática, Instituto de Matemática Interdisciplinar. Universidad Complutense de Madrid

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid

## 1.- ANTECEDENTES DE LOS ESTUDIOS MARCIANOS EN ESPAÑA

---

Se ha de destacar los estudios realizados Observatorio Astronómico de Madrid (1956). En este contexto se ha de destacar el video del NODO de 1956 relacionado con los estudios de Marte de los Profesores Gullón, Martín Lorón y López Arroyo del Observatorio de Madrid, citado en ABC del 8/9/1956. <https://www.youtube.com/watch?gl=SN&hl=fr&v=HYXnJHpKpdo>.

De forma especial se ha de resaltar el apasionante proyecto de creación (1998-2000) del Centro de Astrobiología, CAB, asociado a la NASA bajo la sombrilla del INTA y el CSIC.

## 2.- CONTEXTO DE LA EXPLORACIÓN DE MARTE

---

La historia de la Humanidad está asociada a la historia del progreso científico y tecnológico. Y hay un área en la que ese progreso exhibe además otras características muy humanas: la curiosidad, la fascinación y el instinto básico de explorar lo desconocido, que junto con la alegría que proporcionan los descubrimientos. Son motores que empujan al hombre a investigar lo que hay en otros mundos y buscar vida fuera de la Tierra.

Se parte de un objetivo científico de largo alcance para entender la formación e historia del Sistema Solar. Uno de los siguientes pasos gigantescos de esa “aventura del espacio” posiblemente será la llegada del hombre al planeta Marte y el posterior establecimiento de una colonia humana.

La exploración planetaria ha tenido una serie de hitos que han ido marcando los límites de la nueva frontera. Cada uno de ellos ha suscitado entusiasmo involucrando a nuevas generaciones de científicos e ingenieros, y ayudando a formar profesionales innovadores. Todo ello muestra una perfecta Convergencia de Ciencia y Tecnología.

Es suficiente recordar los acontecimientos mundiales asociados al lanzamiento del primer Sputnik (1957), primer vuelo tripulado Vostok 1 (Yuri Gagarin, 1961), llegada a la Luna con el Apolo 11 (1969), así como la exploración contemporánea de los robots Marcianos Spirit, Opportunity y Curiosity.

En todo ello, la fuerza de arrastre ha sido buscar si hay VIDA fuera de la Tierra. El concepto de vida es complejo e incluye otra serie de conceptos fundamentales como son:

- Metabolismo: Conversión de Energía.
- Reproducción: Sistema de autorreplicación.
- Información: Transmisión y procesado de la Información. Generar “Orden” a costa de la Energía.

- Evolución: Adaptación. Simbiosis. Parasitismo. Interacción con el Medio.
- Se necesitan: (1) Elementos “Estructurales”: C, H, N, O, S, P, Fe... (2) Energía, Agua. (3) Zonas Habitables.

### 3.- MARTE: EL GRAN OBJETIVO DE LA EXPLORACIÓN PLANETARIA

---

Galileo Galilei fue el primero que observó Marte con su primitivo telescopio en 1609. Mediante el telescopio fue posible observar la duración de un día, la existencia de estaciones en ambos hemisferios, la presencia de casquetes polares, así como de gigantescas tormentas de polvo en la superficie. Las características principales de Marte son las siguientes.

#### 3.1.- Comparación Tierra - Marte

- Masa (Tierra = 1): 0.107
- Radio Ecuatorial (Tierra = 1): 0.532
- Densidad Media (g/cm<sup>3</sup>, Tierra = 1): 0.72
- Volumen (Tierra = 1): 0.15
- Gravedad (Tierra= 1): 0.38
- Velocidad de Escape (Tierra=11.17 km/s): 5.03 km/s
- Día Marciano: 24 h 37' 22"
- Año Marciano: 687 días terrestres (23 meses terrestres)
- Satélites Marcianos: Fobos y Deimos
- Estaciones Marcianas: Sí
- Hemisferio Sur: Muchos cráteres
- Hemisferio Norte: Llanuras
- Existencia de casquetes polares.

#### 3.2.- Atmósfera de Marte

Gas	Abundancia
CO <sub>2</sub>	95.32% (Variable)
N <sub>2</sub>	2.7 %
Ar	1.6 %
O <sub>2</sub>	0.13 %
CO	0.07 %
H <sub>2</sub> O	0.03 % (Variable)
Ne	0.00025 %
Kr	0.00003 %
Xe	0.000008 %
O <sub>3</sub>	0.000003 % (Variable)

Se ha de destacar los relevantes Ciclos del CO<sub>2</sub>, del H<sub>2</sub>O y del polvo, siendo frecuentes los vientos y las tormentas de polvo a diferentes escalas y de forma especial a gran escala. Por otra parte, la presión atmosférica en la superficie es 6,35 mbar (0,7% la de la Tierra), que es similar a la presión de la atmosfera de la Tierra entre 28 y 40 Km. La atmósfera es en extremo oxidante, dando a Marte su color rojo característico. Por otra parte, al ser la atmósfera tan tenue, puede existir una diferencia de temperatura de hasta 15°C entre el suelo y 1 m de altura.

### **3.3.- Superficie y Estructura Interna**

El Hemisferio Norte es llano y más bajo (6 km) que el Hemisferio Sur caracterizado por la presencia de muchos cráteres. Es de destacar el Cráter de impacto Hellas Basin de 2300 km de diámetro y 9 km de profundidad. Tiene gran relevancia el Gran Cañón de Valles Marineris de hasta 10 km de profundidad, 100 km de ancho y 4000 km de largo. Por otra parte, el Olympos Mons con sus 25 km Sobre el nivel medio de Marte constituye el volcán más alto que se conoce en el Sistema Solar.

### **3.4.- Existencia de agua en la actualidad**

Se han descubierto:

- Depósitos de hielo cerca de la superficie.
- Agua en glaciares de latitud media y en los dos casquetes polares.
- Ciclo activo de agua que incluye hielo y nieve.
- La existencia de torrenteras (gullies) sugiere episodios recientes de formación debidas al agua.

Implicación: Marte no es un mundo estático y árido ya que ha sido configurado por el agua. Si la vida se desarrolló, podemos concebir que todavía sobreviva. [1,2,3,4]

### **3.5.- Magnetismo planetario**

La misión MGS (Mars Global Surveyor) descubrió y cartografió una magnetización intensa en la corteza de Marte. Los datos indican que Marte tuvo un campo magnético global generado por una dinamo que se detuvo.

El campo magnético protegía la superficie del viento solar, permitiendo que la atmosfera y el agua fueran retenidas. Su ausencia generó la transición de un planeta húmedo al árido actual de acuerdo con los datos geológicos. [5,6]

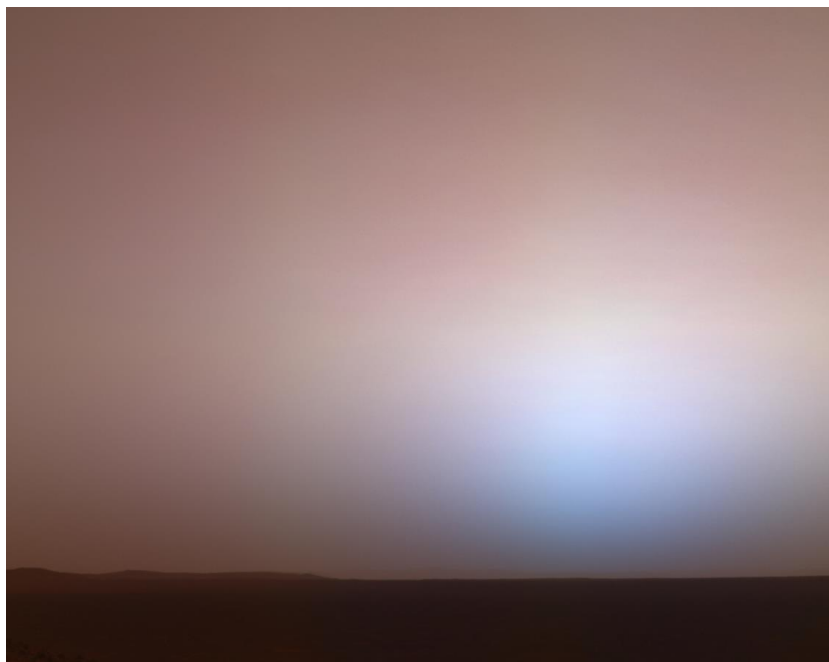


Figura 1: Puesta de sol en marte Cráter Gusev (Marte): Crepúsculo a las 18.20 del día marciano 464 de Spirit (23 abril 2005). Distribución de polvo en la atmósfera marciana.

### 3.6.- Procesos actuales

La obtención sistemática de imágenes durante tres años marcianos ha proporcionado datos sobre las velocidades de los diferentes procesos en la superficie de Marte. Se está comenzando a entender dicha evolución de Marte. [7,8,9]

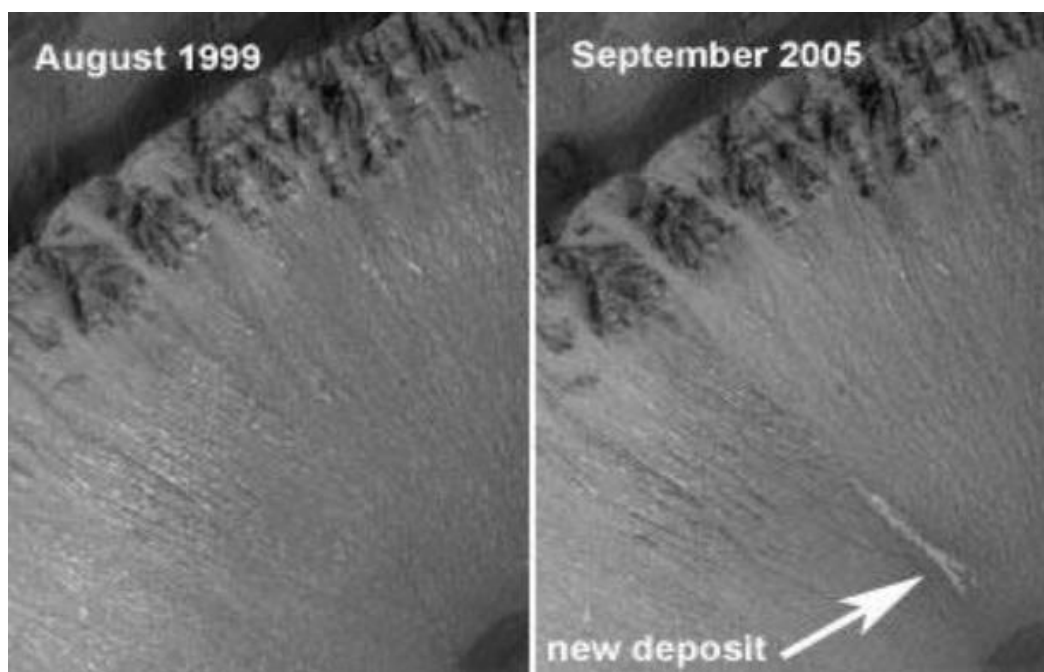


Figura 2: Mars Global Surveyor



Figura 3: MARS EXPRESS (Cámara estereoscópica HRSC , 2-10 m/píxel) Derrumbamiento en Meseta “Hebes Chasma”



Figura 4: Rover: Foto de Familia

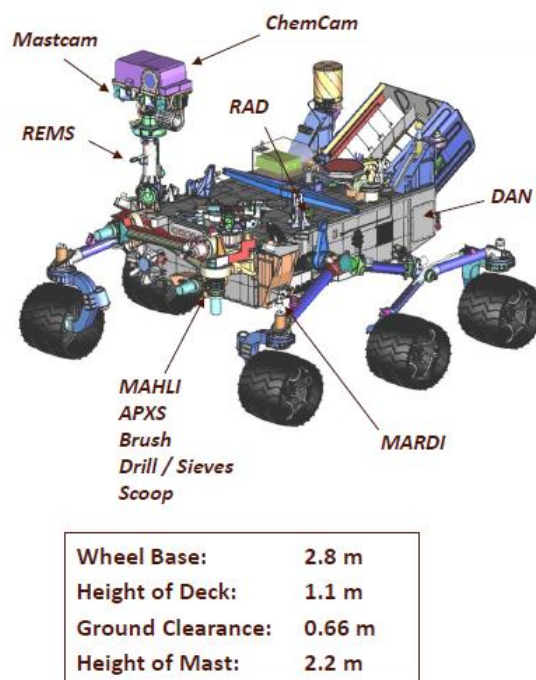


Figura 5: MSL Science Payload

#### Remote sensing

- Mastcam (M. Malin, MSSS) - Color and telephoto imaging, video, atmospheric opacity
- ChemCam (R. Wiens, LANL/CNES) - Chemical composition; remote micro-imaging

#### Contact instruments (arm)

- MAHLI (K. Edgett, MSSS) - Hand-lens color imaging
- APXS (R. Gellert, U. Guelph, Canada) - Chemical composition

#### Analytical laboratory (rover body)

- SAM (P. Mahaffy, GSFC/CNES) - Chemical and isotopic composition, including organics
- CheMin (D. Blake, ARC) - Mineralogy

#### Environmental characterization

- MARDI (M. Malin, MSSS) - Descent imaging
- REMS (L. Vázquez (2003-2007), J. Gómez-Elvira, CAB, Spain) - Meteorology / UV
- RAD (D. Hassler, SwRI) - High-energy radiation
- DAN (I. Mitrofanov, IKI, Russia) - Subsurface hydrogen

#### 4.- FUTURO: INVESTIGACIÓN ACTUAL EN EL GRUPO COMPLUTENSE DE ESTUDIOS DE MARTE

---

##### 4.1.- Proyecto Europeo IN TIME (2018-2023) (Gr. Agree. 823934) + NASA

- In-Situ Instrument for Mars and Earth Dating Applications
- 2018-2023
- Aspectos Fundamentales: luminiscencia, computación
- Alma, UCM, CSEO, Sensia, S3, Ud'A, Uniss, UTexas
- <https://intime-project.eu/>

Luminiscencia es todo proceso de emisión de luz cuyo origen no radica exclusivamente en las altas temperaturas sino que, por el contrario, es una forma de "luz fría" en la que la emisión de radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura ambiente o baja. Cuando un sólido recibe energía procedente de una radiación incidente, esta es absorbida por su estructura electrónica y posteriormente es de nuevo emitida cuando los electrones vuelven a su estado fundamental.

Las técnicas de datación basadas en la Luminiscencia están bien establecidas para proporcionar en la Tierra las edades de sedimentación de depósitos.

Los Elementos Básicos de Estudio Asociados a la Luminiscencia son los siguientes

- Estimación de los niveles de radiación en la superficie de Marte en un amplio espectro de escenarios (radiación electromagnética, partículas...)
- Códigos de las diferentes Agencias Espaciales e Instituciones dedicadas a la investigación espacial.
- Meteoritos (ALH84001...)

##### 4.2.- Colaboración con la Agencia Europea de Espacio (ESA) (Desde 2020): Cruce de las Bases de Datos de MARSIS (113 GB Ionosfera) and SPICAM (500 GB) para la detección de Auroras en Marte

Objetivos

- Identificar Auroras Marcianas con gran precisión.
- Realizar cruce de datos de dos instrumentos en tiempo real.
- Implementar una solución computacional en el contexto del cloud computing.
- Colaboración activa con los miembros de ambos experimentos.

En este proyecto se trabaja con los Instrumentos de Mars Express



- SPICAM
  - Espectrómetro Atmosférico de Ultravioleta e Infrarrojo
  - Mide el ozono que absorbe luz de 0,25 micrones (sensor UV) y el vapor de agua que absorbe a 1,38 micrones (canal infrarrojo)
- MARSIS
  - Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding
  - Sonda y altímetro de radar de baja frecuencia con pulsos limitados

Plan general de estudio está encaminado a establecer el algoritmo para comparar la coincidencia de datos en ambos conjuntos

- SPICAM: ozone readings from UV sensor
- MARSIS: magnetic field readings
- Definición de métricas

Proceso a seguir:

- Identificación de auroras en los datos de SPICAM
- Seleccionar intervalos de tiempo/espacio en los datos de MARSIS que cubren los intervalos de auroras desde SPICAM

EXTRA: Evaluar las correlaciones de los datos de ambos instrumentos antes y después del evento “aurora”. Mismo procedimiento seguido en el estudio de los remolinos “dust devils” de Marte. [10]

Procesado de datos del Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding (MARSIS) instalado en ESA Mars Express

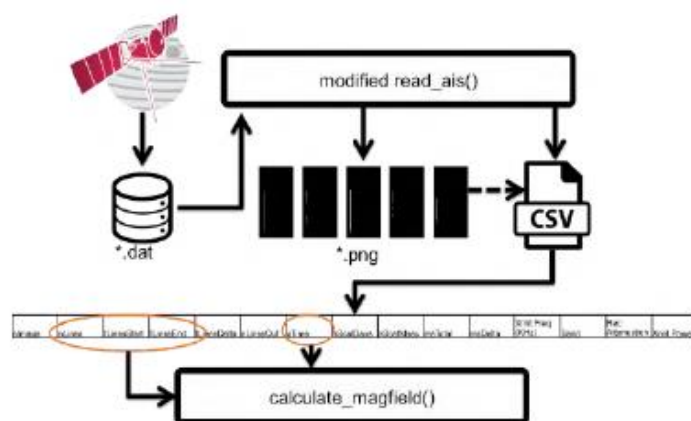


Figura 6: Perfil de la aplicación. Los datos del experimento AIS son convertidos en imágenes y después usadas para calcular los campos magnéticos.

La estrategia a seguir consiste en estudiar los datos de MARSIS en las áreas donde las auroras han sido observadas. Verificar alteraciones de la señal. Calcular los valores del campo magnético en la misma zona. Por otra parte, se trata de trabajar simultáneamente con los valores del TEC (Total Electron Content). El equipo de MARSIS puede predecir el valor de TEC en cada punto. Otro parámetro relevante a tener en cuenta es el polvo Marciano [11].

Retos iniciales incluyen los diferentes aspectos:

- Datos hasta 100GB para MARSIS + 500GB para SPICAM
- Procesamiento y almacenamiento usando tecnología de cloud computing.
- Se ha de tener en cuenta que ambos instrumentos pueden no operar al mismo tiempo
- Seleccionar datos a partir de los mismos intervalos en los dos instrumentos.
- Ambos instrumentos no tienen los mismos modos de observación
- MARSIS: solo nadir
- SPICAM: nadir y limbo
- Combinar datos de ambos instrumentos considerando la diferencia de tiempos

La primera aurora observada en Marte está descrita en [12]. La aurora fue observada por SPICAM: Orbita 716, 11 agosto 2004, tiempo de comienzo 05:52:30 UD. La aurora fue detectada dos veces desde diferentes puntos.

Desde entonces se han observado más auroras [13]. En este contexto tenemos en preparación el siguiente artículo:

\*\* “Martian Auroras: SPICAM versus MARSIS Data for identification, strategic measures and operations” UCM Martian Team. A enviar a Planetary and Space Science (2021)

#### **4.3.- Proyecto Europeo EYE: Seguimiento y Modelización de la Covid-19: 2021-2024**

Contexto:

- Propuesta enviada al Programa Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie Research and Innovation Staff Exchange
- Evaluations (RISE) Convocatoria de 2020 Aceptado el 20 de enero 2021 (Hasta 2024)

Palabras clave:

- Computación en la nube
- Inteligencia artificial
- Machine learning
- Economía
- Espacio
- COVID-19

Áreas científico-técnicas ANEP:

- Área de Ciencias de la Computación y Tecnología Informática (INF)
- Área de Ciencias del Espacio (CT)
- Área de Medicina Clínica y Epidemiología (MCLI)
- Área de Economía (ECO)
- Área de Ciencias Sociales (CS)

Motivación:

- Necesidad de evaluar daños ocasionados por crisis del COVID-19
- Gran cantidad de datos observables desde el Espacio
- Gran capacidad de computación para relacionar datos y realizar monitorización casi en tiempo real (cloud + serverless)

Objetivo:

- Desarrollar servicio prototipo basado en datos suministrados por Copernicus
- Procesado automático de imágenes, datos geoespaciales y estadísticos
- Monitorización y previsión econométrica y epidemiológica
- Modelo abierto de evaluación para usar a diferentes niveles geográficos

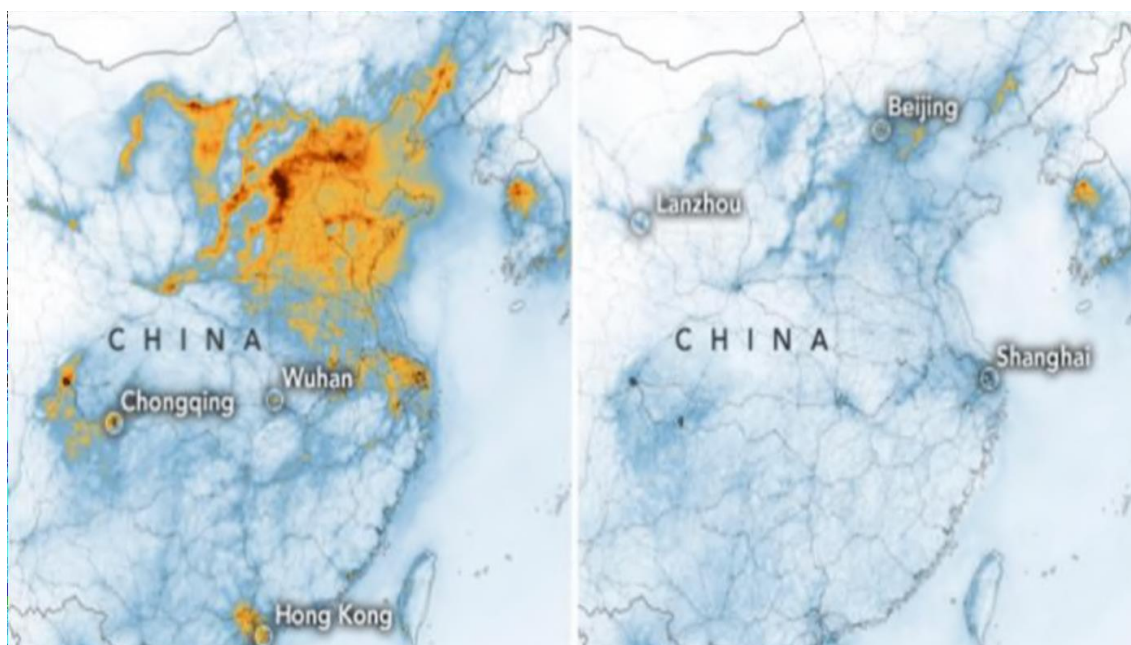


Figura 7: Imágenes de satélite de comienzos de 2020 que muestran una caída drástica de la contaminación en China durante la crisis del COVID-19 con sólo 1 mes de diferencia. En la ciudad de Wuhan puede apreciarse que no hay prácticamente rastro de dióxido de nitrógeno en el aire.

Fuente: Goddard Space Flight Center (NASA).

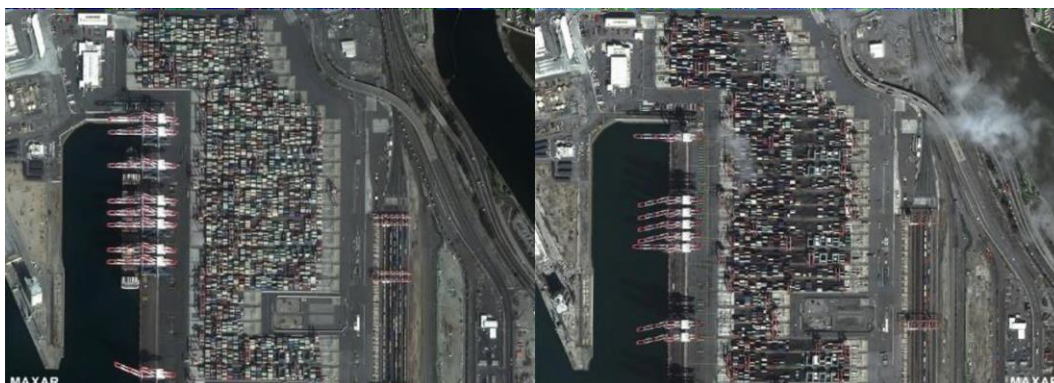


Figura 8: Imágenes de satélite del área de almacenamiento de contenedores de Long Beach (California, Estados Unidos) el 8 de febrero de 2020 (izquierda) y el 17 de marzo de 2020 (derecha), donde se puede ver una desaceleración del negocio de transporte de los mismos. Fuente: BBC/MAXAR

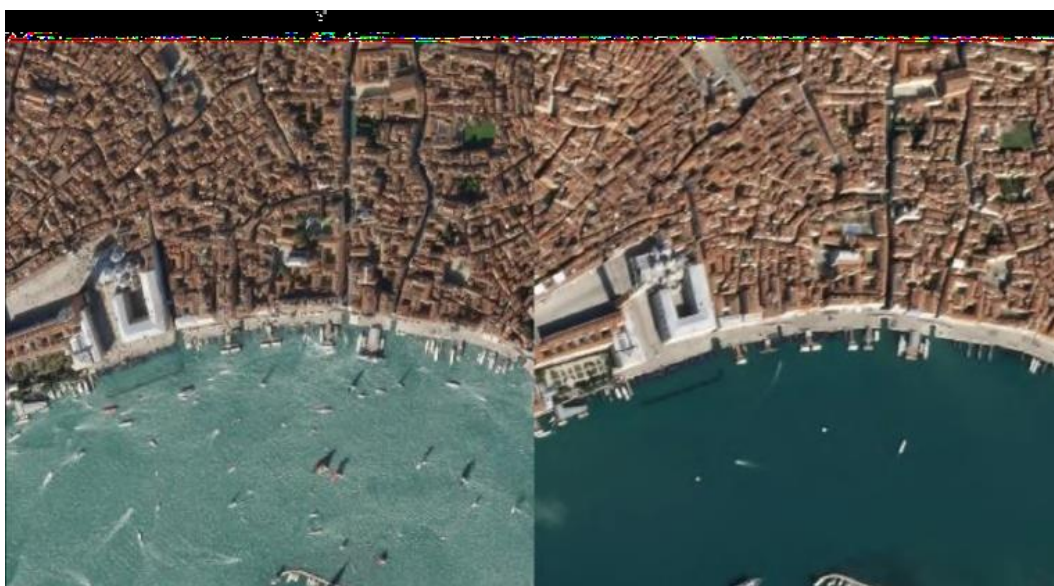


Figura 9: Imágenes de satélite de Venecia en octubre de 2019 (izquierda) y el 18 de marzo de 2020 (derecha), donde se puede apreciar la disminución del tráfico marítimo.

#### Actividades investigadoras

- Análisis y selección de parámetros EO (observables desde el Espacio)
- Uso de técnicas de machine learning con supervisión de expertos
- Selección del modelo y desarrollo basándose en estudio económico y epidemiológico
- Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes para la adquisición automática
- Procesado de datos EO y cálculo de parámetros EO para uso en modelos económicos y epidemiológicos

- Desarrollo de plataforma TI combinando modelos económicos y epidemiológicos con procesado de imágenes
- Calibrado y validación de la plataforma
- Inclusión de modelos económicos y epidemiológicos con casos de prueba a diferentes escalas geográficas

#### Consorcio del proyecto y experiencia aportada

- Universidad Complutense de Madrid (UCM, España): Misiones a Marte, computación cloud; economía; inteligencia artificial
- ALMA Sistemi SRL (ALMA, Italia): Coordinación de proyectos, análisis, diseño y verificación de la plataforma EYE; inteligencia artificial; computación cloud; diseño y desarrollo de modelos epidemiológicos; casos de negocio; plan de explotación, calibración y validación
- Università degli Studi di Roma Tor Vergata (UNITOV, Italia): Selección de parámetros EO; desarrollo del modelo econométrico; calibración y validación
- Wrocław University of Environmental and Life Sciences (UPWr, Polonia): Desarrollo del modelo econométrico; inteligencia artificial; calibración y validación
- Creotech Instruments Spolka Akcyjna (CREO, Polonia): Selección de parámetros EO; procesado de imágenes; computación cloud, calibración y validación
- Panepistimio Thessalias (UTH, Grecia): Selección de parámetros EO; diseño y desarrollo del modelo epidemiológico; calibración y validación
- Cyprus space Exploration Organisation (CSEO, Chipre): Selección de parámetros EO; desarrollo del modelo econométrico; calibración y validación
- Space Systems Solutions (S3, Chipre): Desarrollo del modelo econométrico; desarrollo GIS/Web-GIS; calibración y validación
- Geosystems Hellas SA (GSH, Grecia): Procesado de imágenes; diseño y desarrollo del WebGIS de la plataforma EYE; calibración y validación

#### **4.4.- Colaboración con la agencia Rusa de Espacio (IKI) (Desde 2014): Estructuras para protección de la Radiación e Invisibilidad**

El proyecto supone Retos Experimentales + Matemáticos + Computacionales en los que participan las siguientes instituciones:

- IMI-Departamento de Matemática Aplicada, Facultad de Informática, Universidad Complutense de Madrid.
- Universidad Politécnica de Madrid
- IKI: Institute for Space Researches, Russian Academy of Sciences, Moscow. (Dirección Científica de la Agencia Espacial Rusa).
- Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences.

## Objetivos

- Estudio de Estructuras Electromagnéticas con valores negativos de la permisividad eléctrica y/o permeabilidad magnética.
- Experimentación con Estructuras Dieléctricas:
- Relación de las longitudes de onda electromagnéticas y las longitudes características del medio: Límites Eikonal y Antieikonal

En conjunto el Contexto Conceptual del Proyecto es el siguiente:

Con la emergencia de las nuevas tecnologías es posible preparar materiales artificiales que permiten manipular las ondas electromagnéticas para generar escenarios imposibles en los materiales naturales. Por ejemplo los metamateriales pueden bloquear, absorber, mejorar o curvar las ondas electromagnéticas para crear regiones invisibles, antenas de gran rendimiento o lentes de gran resolución. En este contexto es fundamental el explorar la propagación de ondas electromagnéticas en el régimen Antieikonal que no está completamente caracterizado. Es bien conocido que en el Límite Eikonal: Las propiedades del medio (D) varían muy lentamente,  $\lambda / D \ll 1$ , en distancias del orden de la longitud de onda ( $\lambda$ ). Mientras que en el Límite Antieikonal: Las propiedades del medio (D) varían muy rápidamente en,  $\lambda / D \gg 1$ , distancias del orden de la longitud de onda ( $\lambda$ ).

En este contexto se encuadra el caso de materiales con valores negativos de la permisividad eléctrica  $\epsilon$  y/o la permeabilidad magnética  $\mu$ . Asociado a todo ello tenemos la aparición del efecto de invisibilidad que es muy útil para crear estructuras dieléctricas altamente transparentes o de camuflaje en los rangos ópticos, Tera Hertz y microondas. [14,15,16,17,18,19]

### ***Materiales Invisibles:***

- Área de investigación sugestiva y prometedora
- La Invisibilidad es un tema fascinante desde la Antigüedad.
- Mitología: Anillo de Giges (Platón, Libro II de “La República”). Comportamiento justo / injusto.
- J.R.R. Tolkien: “El Señor de los Anillos”
- Película de Harry Potter
- Titanfall 2

## REFERENCIAS

---

- [1] I. Mitrofanov et al. *Science* 297 (5578), 78 (2002).
- [2] P.H. Smith et al. *Science* 325, 58-61 (2009).
- [3] J.Holt et al. *Science* 322(5905), 1235-1238 (2008).
- [4] M.C. Malin et al. *Science* 314, 1573 (2006).
- [5] M.H. Acuña et al. *Science* 284, 790-793 (1999).
- [6] J.H. Roberts et al. *J. Geophys. Res.* 114, E04009 (2009).
- [7] M.C. Malin et al. *Science* 317, 1573 (2006).
- [8] P. Russell et al. *Geophys. Res. Lett.* 35, L23204 (2008).
- [9] J.D. Pelletier et al. *Geology* 36 (3), 211-214 (2008).
- [10] C. Aguirre, G. Franzese, F. Esposito, L. Vázquez, R. Caro-Carretero, R. Vilela-Mendes, M. Ramírez-Nicolás, F. Cozzolino and C.I. Popa: Signal-adapted tomography as a tool for dust devil detection. *Aeolian Research*, 39, pp. 12-22, 2017.
- [11] Cartacci et al. "Improved estimation of Mars ionosphere total electron content." *Icarus* 299 (2018):396-410
- [12] Jean-Loup Bertaux, François Leblanc, Olivier Witasse, Eric Quemerais, Jean Lilensten, S. A. Stern, B. Sandel and Oleg Korabely. "Discovery of an aurora on Mars", *Nature* 435, 790-794 (2005).
- [13] Observations of the Proton Aurora on Mars With SPICAM on Board Mars Express, 2017, *Geophysical Research Letters*, <https://doi.org/10.1002/2017GL076235>.
- [14] L. Vázquez, S. Jiménez and A.B. Shvartsburg "The wave equation: From eikonal to antieikonal approximation". *Modern Electronic Materials* 2, 51-53 (2016).
- [15] A.B. Shvartsburg, V.Ya. Pecherkin, L.M. Vasilyak, S.P. Vetchinin and V.E. Fortov, "Resonant microwave fields and negative magnetic response, induced by displacement currents in dielectric rings: theory and the first experiments". *Scientific Reports (Nature Group)* 7, 2180-2188 (2017).
- [16] A.B. Shvartsburg, V Ya Pecherkin, S Jiménez, L M Vasilyak, S P Vetchinin, L Vázquez and V E Fortov "Sub wavelength dielectric elliptical element as an anisotropic magnetic dipole for inversions of magnetic field", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 51 (2018) 475001
- [17] A.B. Shvartsburg, S Jiménez, NS Erokhin, L Vázquez. "Tunneling and Filtering of Degenerate Microwave Modes in a Polarization-Dependent Waveguide Containing Index Gradient Barriers". *Physical Review Applied*, 11 (4), 044056 (2019).
- [18] A.B. Shvartsburg, V Ya Pecherkin, S. Jiménez, L.M. Vasilyak, L. Vázquez and S.P. Vetchinin. "Resonant Phenomena in all rectangular dielectric circuit induced by plane wave" *Journal of Physics D: Applied Physics* 54 (2021) 075004 (9pp).

- [19. Luis Vázquez Martínez, María Pilar Velasco Cebrián y José Luis Vázquez Poletti (Editores y Coautores) “La Gran Aventura de la Exploración de Marte” (2021). Guillermo Escolar Editor S.L. ISBN: 978-84-18093-88-3.