



# **La GRAN AVENTURA de la EXPLORACION de MARTE y su FUTURO**

**Luis Vázquez**

**Departamento de Matemática Aplicada**

**Facultad de Informática**

**Universidad Complutense de Madrid / 28040-Madrid**

[lvazquez@fdi.ucm.es](mailto:lvazquez@fdi.ucm.es)

[www.fdi.ucm.es/profesor/lvazquez](http://www.fdi.ucm.es/profesor/lvazquez)

[www.meiga-metnet.org](http://www.meiga-metnet.org)

*Academia das Ciências de Lisboa*

*Scientific Problems of Space Exploration-Mars and Beyond*

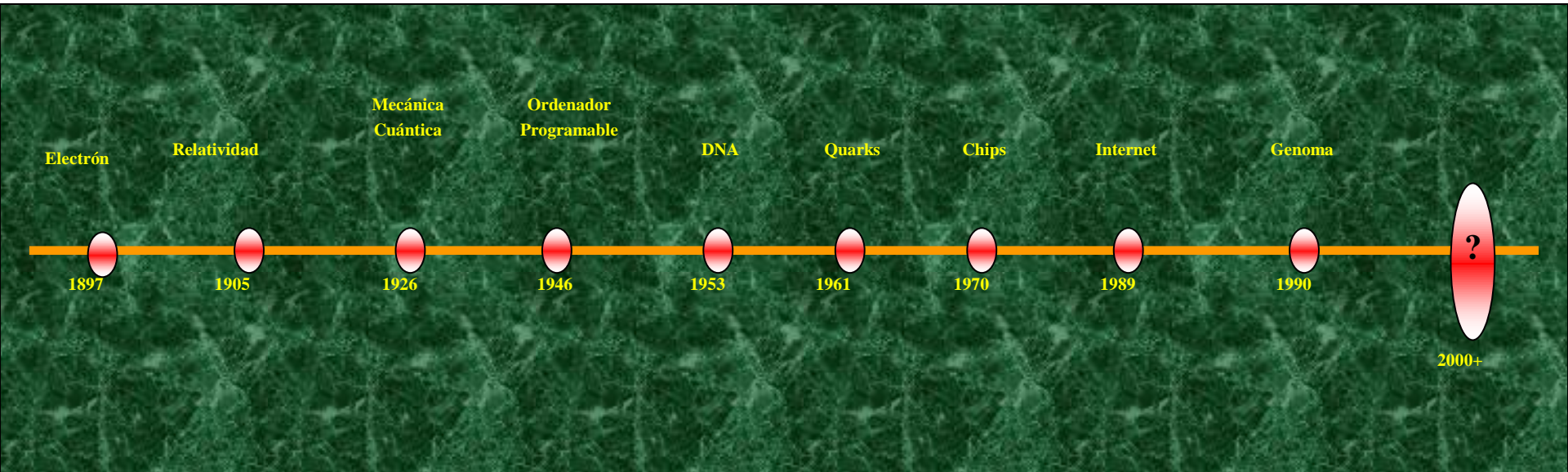
*June 29 – July 3, 2015*

# Resumen

1. **Exploración de Marte. Aspectos Generales de Marte.**
2. **Principales Descubrimientos de la Exploración de Marte.**
3. **Misiones a Marte.**
4. **Entorno de Estudios Marcianos en la Universidad Complutense de Madrid.**
5. **Referencia de Futuro.**
6. **Ejemplos Básicos de Estudio y Modelización:**
  - **Radiación Solar Ultravioleta en la Superficie Marciana.**
  - **Capa Límite de Marte.**
  - **Eclipses de Fobos.**

# **1. Exploración de Marte**

## **Aspectos Generales de Marte.**



**"La Investigación Básica es lo que hago cuando no conozco lo que estoy haciendo"**  
**Werner Von Braun (Investigador Aplicado)**

# Exploración de Marte

**Parte de un objetivo científico de largo alcance para entender la formación e historia del Sistema Solar.**

*Comunidad Científica Internacional:*

*-Colaboración de científicos e ingenieros. Arrastre científico y tecnológico*

**Buscar evidencias de la existencia de agua y de condiciones apropiadas para la vida en el pasado y presente en Marte.**

**Misión *Viking* (1976).**

**Meteorito Marciano ALH 84001 (1984,1996).**

**Misión *Mer: Spirit y Opportunity* (2004-?).**

**Misión *Phoenix* (2008)**

**Misión *MSL-Curiosity* (2012- ?)**

# Programa de Exploración de Marte

Creación del *International Mars Exploration Working Group (IMEWG)* en Wiesbaden (Alemania, Mayo 1993).

***Mars Exploration Program (MEP)*** de la NASA.

Los fines y objetivos de la exploración se actualizan cada dos años.

En 2003 se fijaron cuatro fines fundamentales para la exploración de Marte:

- Posibles evidencias de vida pasada y presente en Marte**
- Entender los procesos y la historia del clima de Marte**
- Determinar la evolución de la superficie y el interior de Marte**
- Preparación para la exploración humana de Marte**

Desarrollo de las capacidades básicas:

- Acceso a todas las zonas de Marte*
- Acceso al subsuelo de Marte*
- Acceso a los fenómenos que varían con el tiempo*
- Acceso a las escalas microscópicas*

# LA VIDA

**METABOLISMO:** Conversión de Energía.

**REPRODUCCION:** Sistema de autorreplicación.

**INFORMACION:** Transmisión y procesado de la Información. Generar “Orden” a costa de la Energía.

**EVOLUCION:** 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.



# MARTE

## EL GRAN OBJETIVO DE LA EXPLORACION 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.



# 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



# Atmósfera de Marte - I

<b>Gas</b>	<b>Abundancia</b>
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)

- Ciclo del CO<sub>2</sub>
- Ciclo del H<sub>2</sub>O
- Ciclo del polvo
- Radiación

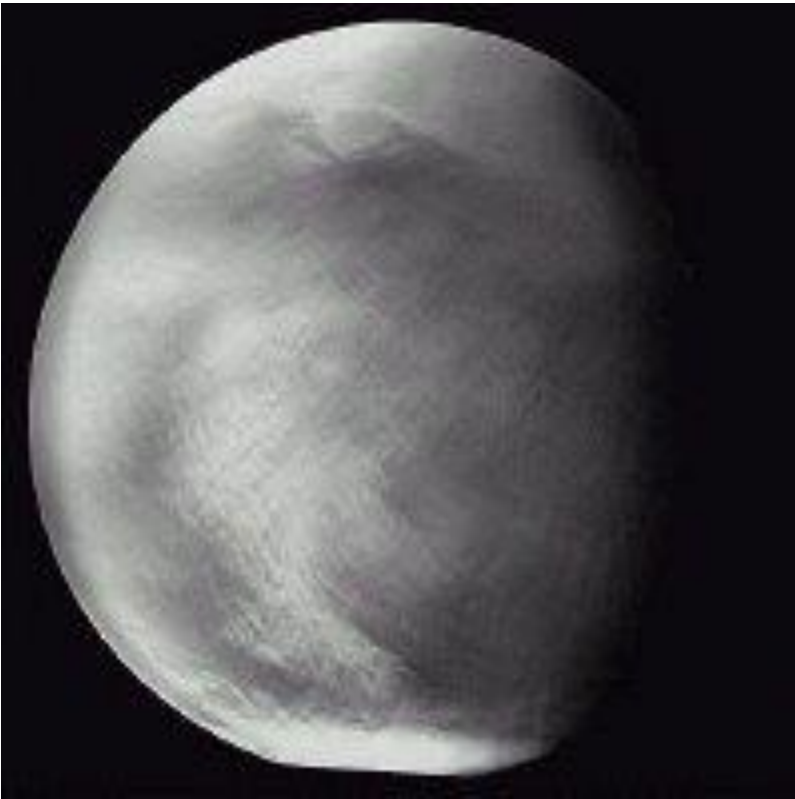
# Atmósfera de Marte - II

- Presión atmosférica en la superficie: 6,35 mbar (0,7% la de la Tierra). 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 ser la atmósfera tan tenue, puede existir una diferencia de temperatura de hasta 15°C entre el suelo y 1 m de altura.

- Son frecuentes las tormentas de polvo a gran escala.



# Superficie y Estructura Interna

Hemisferio Norte es llano y mas bajo (6 km) que el Hemisferio Sur caracterizado por la presencia de muchos cráteres.

Cráter de impacto Hellas Basin de 2300 km de diámetro y 9 km de profundidad.

Gran cañón de Valles Marineris de hasta 10 km de profundidad, 100 km de ancho y 4000 km de largo.

Olympos Mons con sus 25 km Sobre el nivel medio de Marte constituye el volcán más alto que se conoce en el Sistema Solar.

Casquetes polares

Ciclo del agua, CO<sub>2</sub> y polvo.

Vientos y tormentas de polvo.

## **2. Principales Descubrimientos de la Exploración de Marte**

***PRINCIPALES DESCUBRIMIENTOS DEL  
PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DE MARTE  
(MEPAG: Mars Exploration Program Analysis Group)  
<http://mepag.jpl.nasa.gov/science/index.html>***

- 1. EXISTENCIA DE AGUA LIQUIDA DURANTE LARGOS PERIODOS EN LA ANTIGUA SUPERFICIE MARCIANA.**
- 2. GEOLOGIA COMPLEJA DE LA SUPERFICIE.**
- 3. EXISTENCIA DE AGUA EN LA ACTUALIDAD.**
- 4. CAMBIO CLIMATICO RECIENTE.**
- 5. MAGNETISMO PLANETARIO.**
- 6. CLIMA Y METEOROLOGIA.**
- 7. PROCESOS MODERNOS.**
- 8. METANO.**
- 9. GRAVEDAD Y TOPOGRAFIA.**
- 10. ENTORNO DE RADIACION.**

# 1. EXISTENCIA DE AGUA LIQUIDA DURANTE LARGOS PERIODOS EN LA ANTIGUA SUPERFICIE MARCIANA.

- Este hecho aumenta la probabilidad que la vida o una forma de primaria de vida se haya desarrollado en Marte durante su historia temprana.
- Referencias:
  - S.W. Squyres et al. *Science* 306, 1698-1703 (2004) and *Science* 313, 1403-1407 (2006).
  - J. Grotzinger et al. *Geology*, 34, 1085-1088 (2006).
  - S.C. Schon et al. *Geology* 37, 207-210 (2009).

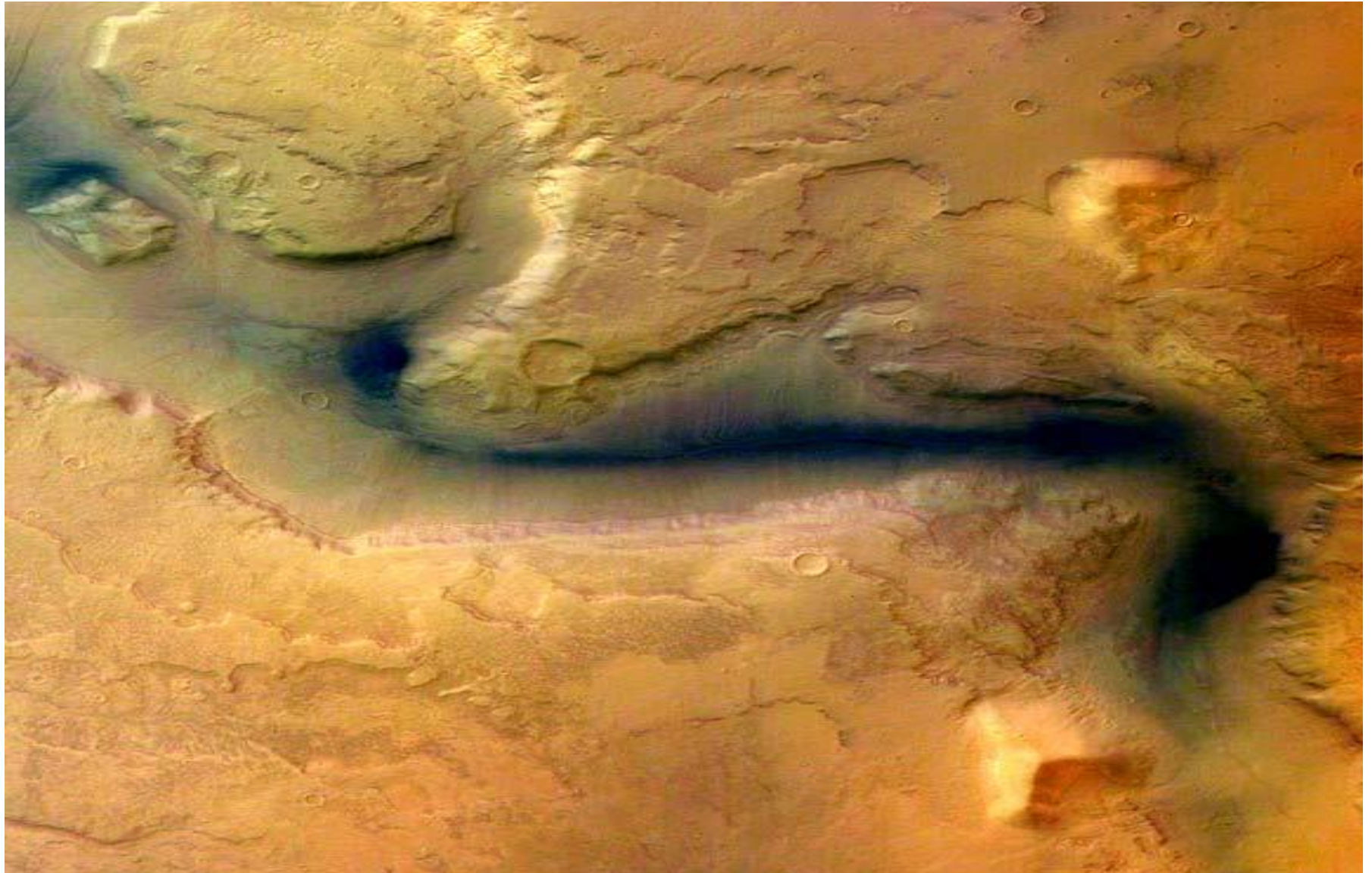
## ***2. GEOLOGIA COMPLEJA DE LA SUPERFICIE.***

- La superficie Marciana es muy variada desde el punto de vista geológico. Por otra parte, su evolución determina si la vida ha podido desarrollarse y evolucionar en Marte.
- Referencias:
  - S.W. Squyres et al. *Science* 320, 1063-1067 (2008).
  - R.E. Milliken et al. *Geology* 36 (11), 847-850 (2008).
  - J.M. Mustard et al. *Nature* 354, 305-309 (2008).



### 3. 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.*
- Referencias:
  - I. Mitrofanov et al. *Science* 297 (5578), 78 (2002).
  - P.H. Smith et al. *Science* 325, 58-61 (2009).
  - J.Holt et al. *Science* 322(5905), 1235-1238 (2008).
  - M.C. Malin et al. *Science* 314, 1573 (2006).



**Imagen de Reull Vallis obtenida por HRSC (Mars Express, 15/1/2004)**

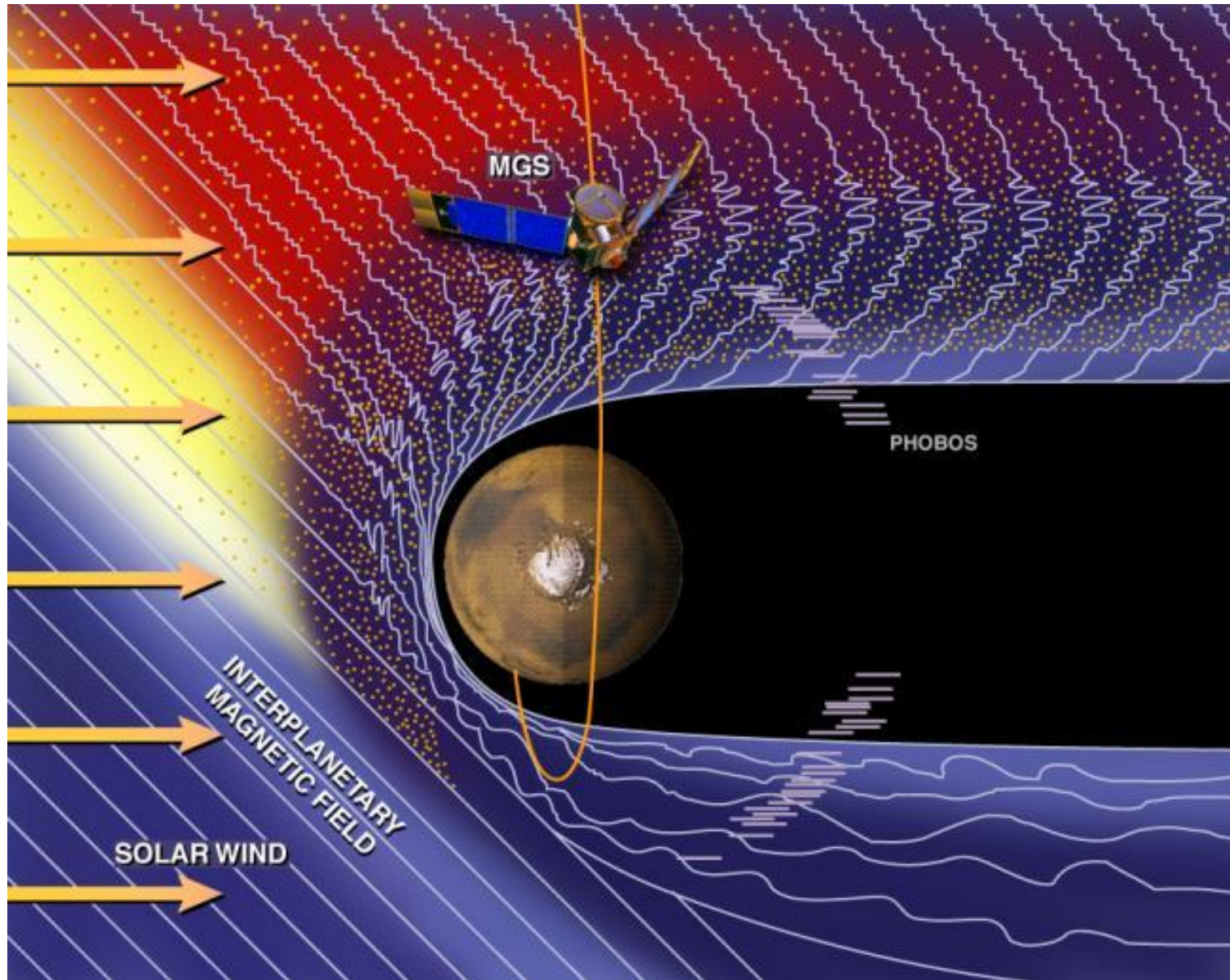
## 4. CAMBIO CLIMATICO RECIENTE.

- Se acumulan las evidencias de que Marte experimenta cambios climáticos periódicos muy dramáticos y que ahora parece estar en un proceso de calentamiento.
- Los cambios parecen debidos a grandes oscilaciones en la órbita de Marte y fluctuaciones de su eje de rotación.
- Los mecanismos del cambio climático global de Marte permitirán dar luz sobre el cambio en la Tierra.
- Referencias:
  - J.A. Laskar et al. *Nature* 419, 375-377 (2002); *Icarus* 170, 343-364 (2004).
  - J.W. Head et al. *PNAS* 105 (36) 13258-13263 (2008).
  - K.W. Lewis et al. *Science* 322, 1532 (2008).

## 5. MAGNETISMO PLANETARIO.

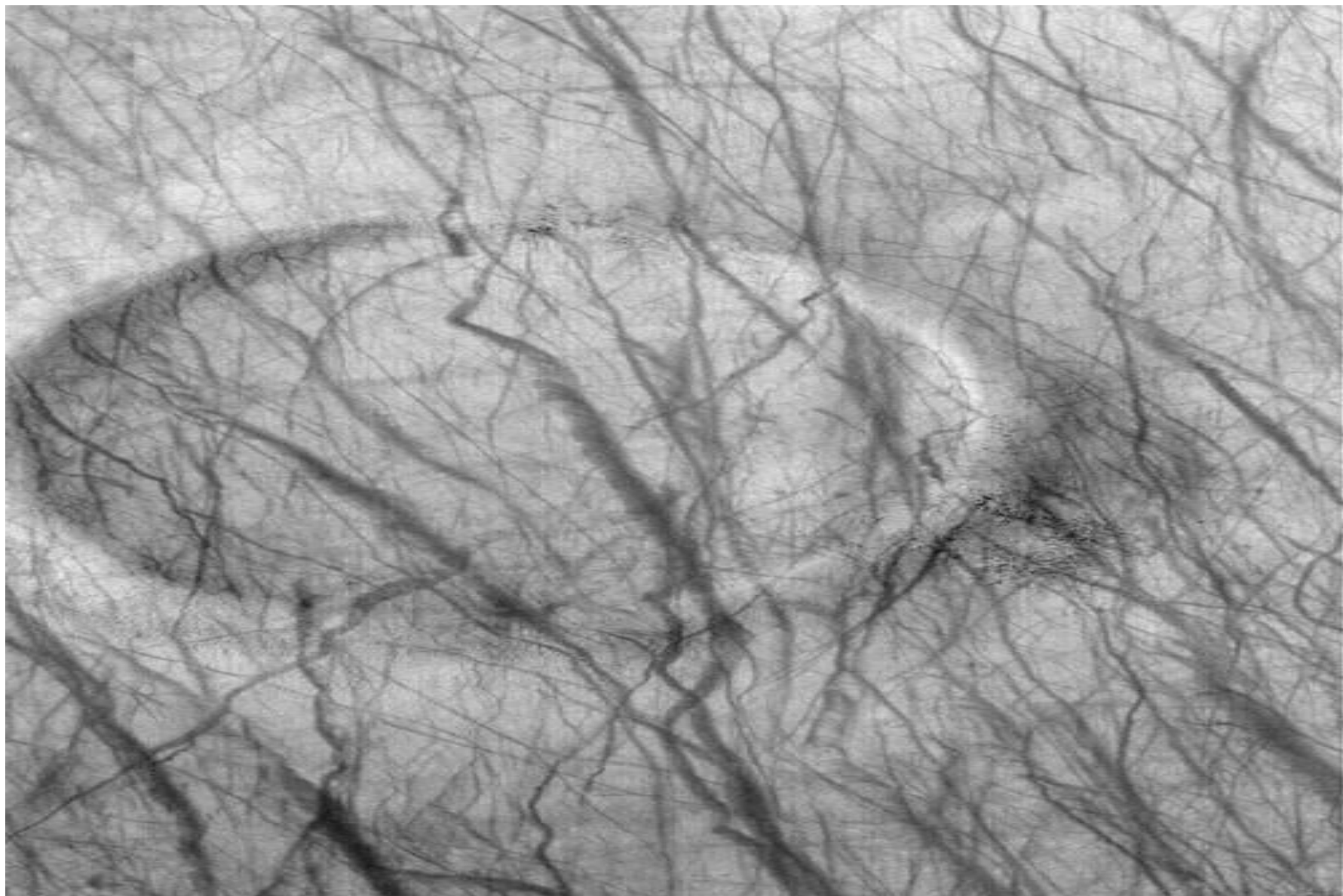
- La misión MGS (Mars Global Surveyor) descubrió y cartografió una magnetización intensa en la corteza de Marte. Los datos indican que Marte tuvo un campo magnético global generado por una dinamo que se detuvo.
- El campo magnético protegía la superficie del viento solar, permitiendo que la atmosfera y el agua fueran retenidas. Su ausencia generó la transición de un planeta húmedo al árido actual de acuerdo con los datos geológicos.
- Referencias:
  - M.H. Acuña et al. *Science* 284, 790-793 (1999).
  - J.H. Roberts et al. *J. Geophys. Res.* 114, E04009 (2009).

# Campo Magnético en Marte



## 6. CLIMA Y METEOROLOGIA

- Las observaciones proporcionan una imagen de la meteorología y la dinámica de la atmósfera. *El polvo es un elemento clave de la meteorología marciana.*
- Grandes diferencias de temperaturas → vientos (torbellinos) a todas las escalas → polvo en la atmosfera.
- *Marte: cielos rojos y puestas de sol azules. Tierra: cielos azules y puestas de sol rojas.*
- Referencias:
  - P.B. James et al. *Adv. Space Res.* 29 (2), 121-129 (2002).
  - N.T. Bridges et al. *Geophys.. Res. Lett.* 34, L23205 (2007).
  - M.D. Smith “Spacecraft observations of the martian atmosphere” *Annu. Rev. Earth. Planet Sci.* 36, 191-219 (2008).





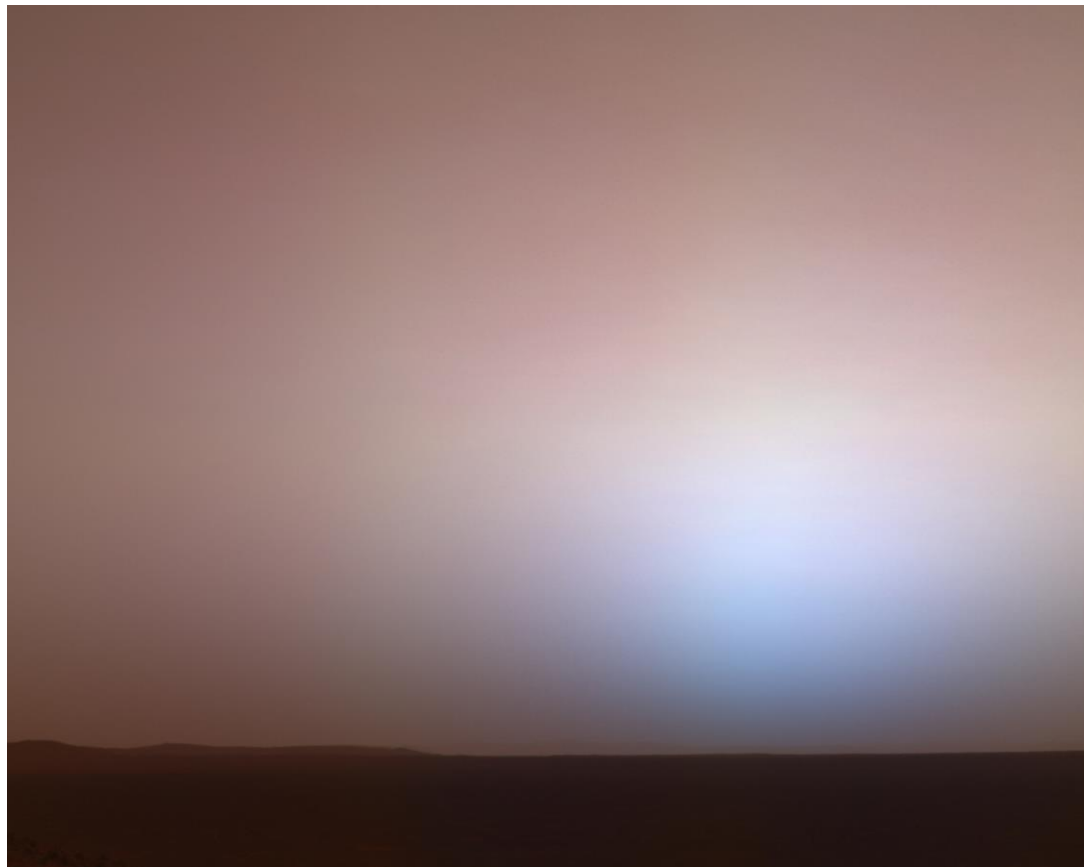
**Imagen obtenida por MER-Spirit**



## *PUESTA DE SOL EN MARTE*

Cráter Gusev (Marte): Crepúsculo a las 18.20 del día marciano 464 de Spirit (23 Abril 2005)

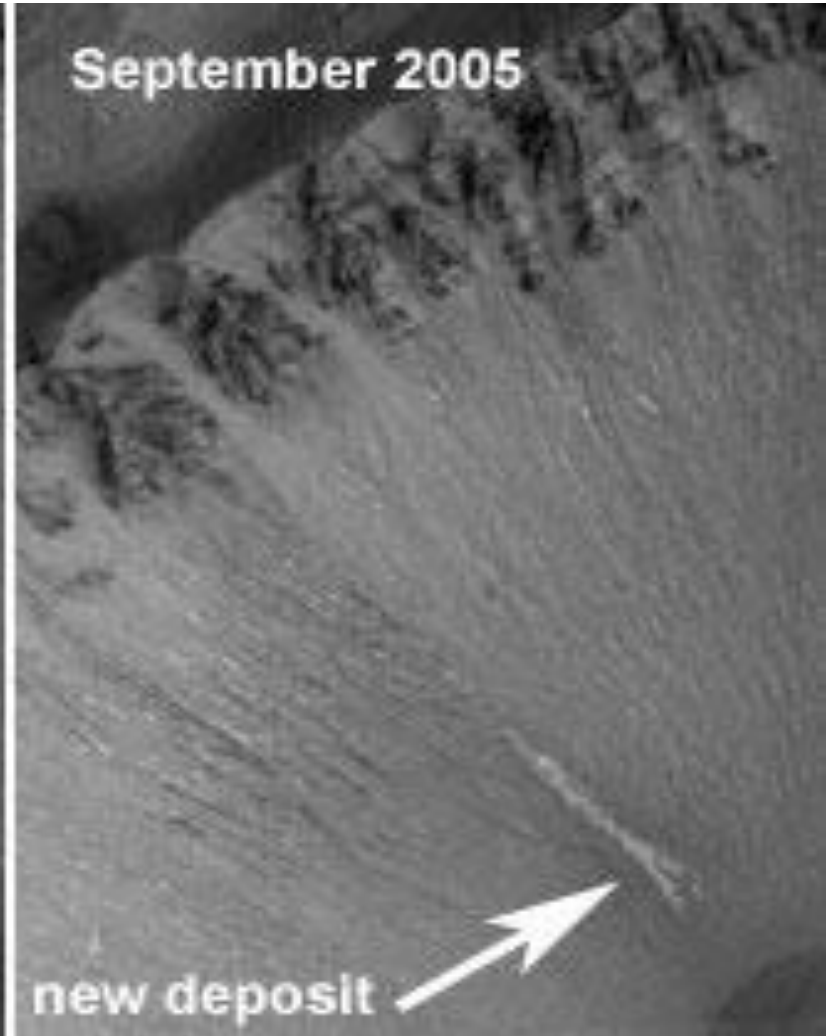
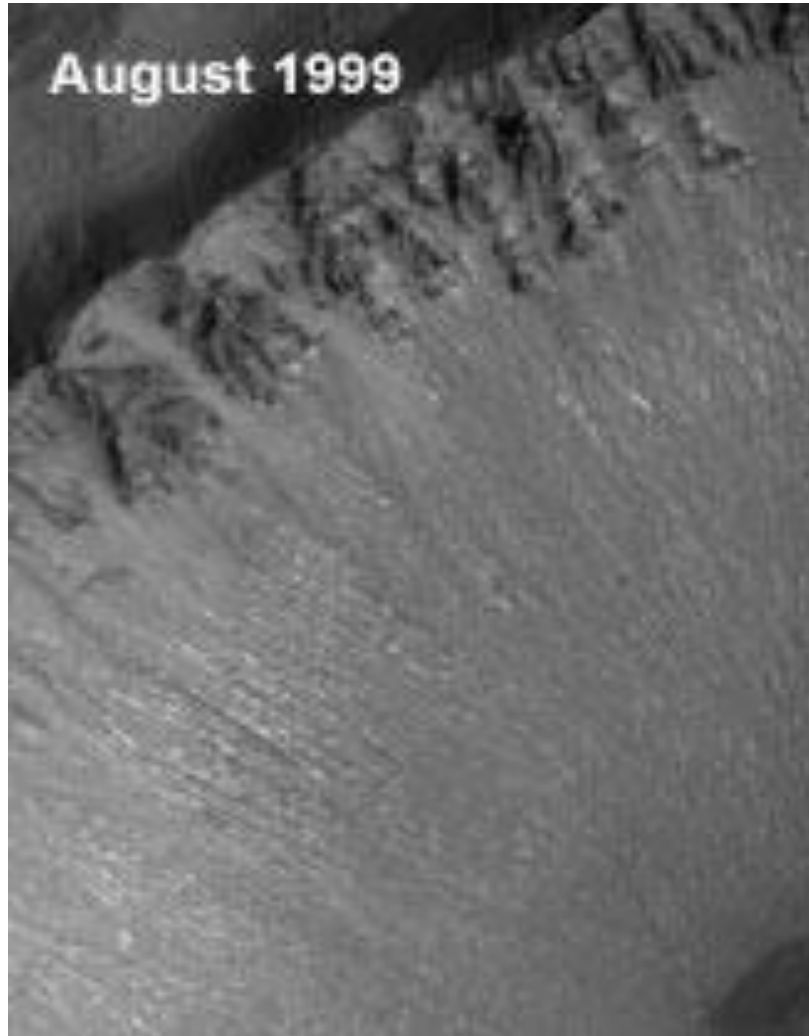
*Distribución de polvo en la atmósfera marciana*



## 7. 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.
- Referencias:
  - M.C. Malin et al. *Science* 317, 1573 (2006).
  - P. Russell et al. *Geophys. Res. Lett.* 35, L23204 (2008).
  - J.D. Pelletier et al. *Geology* 36 (3), 211-214 (2008).

# MARS GLOBAL SURVEYOR





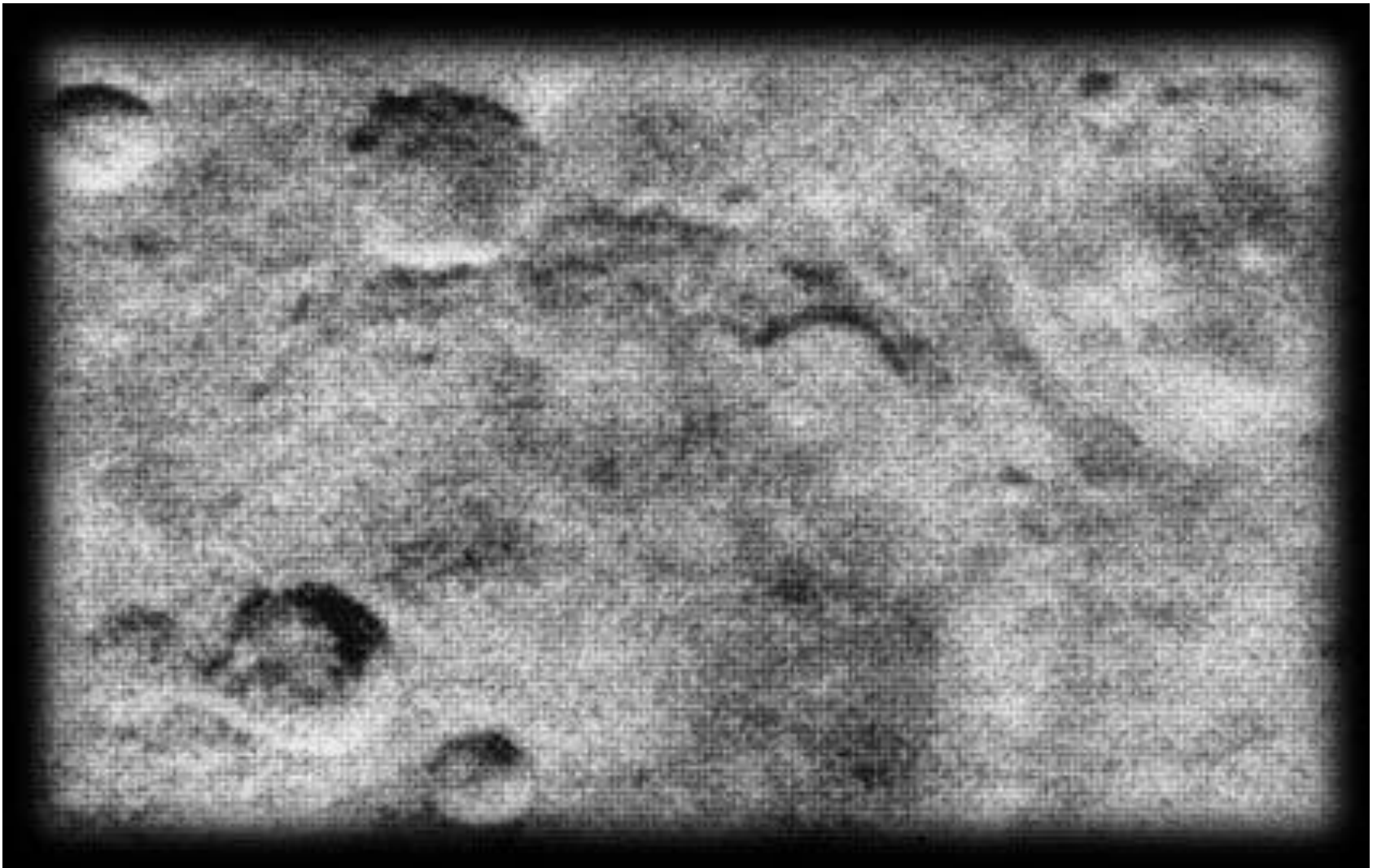
MARS EXPRESS (Cámara estereoscópica HRSC , 2-10 m/pixel)  
Derrumbamiento en Meseta "Hebes Chasma"

## 8. METANO.

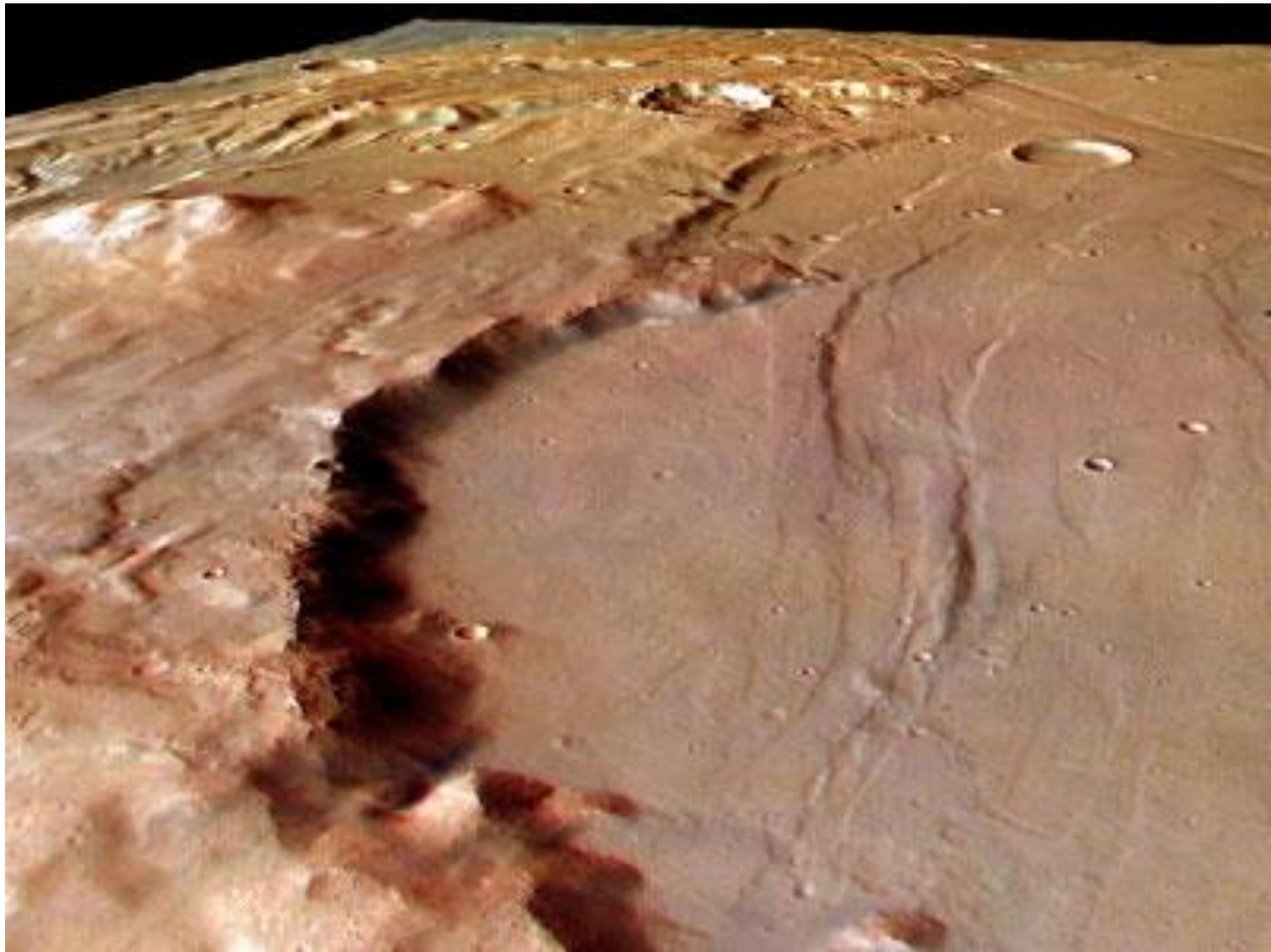
- Se ha detectado metano en la atmósfera de Marte. Aparece producido en regiones específicas de la superficie y ha sido confirmado por observaciones repetidas.
- Debe ser producido por un proceso activo geológico o biológico. Se produce en tiempo real.
- Inestable en la atmósfera debido a la destrucción por la radiación ultravioleta
- Referencias:
  - V. Formisano et al. *Science* 306, 1758-1761 (2004).
  - M. Mumma et al. *Science* 323, 1041-1045 (2009).
  - F. Lefevre et al. *Nature* 460, 720 (2009).

## 9. GRAVEDAD Y TOPOGRAFIA

- Se ha obtenido un mapa de gran resolución de la topografía global de Marte y del campo gravitatorio.
- Determinación remota de la estructura interna y de ciertos aspectos de la evolución. Las variaciones del campo gravitatorio afecta a las orbitas de los diferentes satélites.
- Una de los importantes enigmas es la asimetría entre los dos hemisferios: Hemisferio Norte es llano y mas bajo (6 km) que el Hemisferio Sur caracterizado por la presencia de muchos cráteres.
- References:
  - M.T. Zuber et al. *J. Geophys. Res.* 112, E05S07 (2007).
  - F. Nimmo et al. *Nature* 453, 1220-1223 (2008).
  - S. Zhong, *Nature Geoscience* 2(1), 19 (2009).



**Foto de Marte obtenida por el Mariner 4**



**Superficie de Marte (ESA)**





## 10. ENTORNO DE RADIACION.

- La radiación en la superficie de Marte es unas 2.5 veces (Mars Odissey) la radiación en la Estación Espacial Internacional. Relevante para la posible vida en la superficie de Marte y para las misiones tripuladas.
- Radiación: Electromagnética + Solar (intermitente: protones de baja energía) + Rayos Cósmicos Galácticos (extrasolares; continuos; núcleos atómicos muy energéticos que afectan al DNA).
- Referencias:
  - C. Zeitlin et al. *Adv. Space Res.* 33, 2204-2210 (2004).
  - D. M. Hassler et al. *40th Lunar and Planetary Science Conference*, March 23-27 (2009). The Woodlands TX.
  - L. Vázquez et al. *Optics Letters* 31(10), 1420-1422(2006); 32(17) 2596-2598 (2007). *Inverse Problems* 25, 115023 (2009). REMS-MSL.

## **3. Misiones a Marte**

# Misiones a Marte

	PAÍS	LANZAMIENTO	RESULTADO(S)
<b>Marsnik-1</b>	URSS	10 Octubre 1960	Explosionó antes de alcanzar la órbita terrestre
<b>Marsnik-2</b>	URSS	14 Octubre 1960	Explosionó antes de alcanzar la órbita terrestre
<b>Sputnik 29</b>	URSS	24 Octubre 1962	Explosionó en la órbita terrestre
<b>Mars 1</b>	URSS	1 Noviembre 1962	Pasó a 200000 Km. de Marte
<b>Sputnik 31</b>	URSS	4 Noviembre 1962	Fallo en la órbita terrestre
<b>Zond 1</b>	URSS	4 Junio 1964	Fallo antes de alcanzar la órbita terrestre
<b>Mariner 3</b>	USA	5 Noviembre 1964	Entró en una órbita alrededor del Sol
<b>Mariner 4</b>	USA	28 Noviembre 1964	Primeras fotos de Marte (21)
<b>Zond 2</b>	URSS	30 Noviembre 1964	Fallo en las comunicaciones
<b>Zond 3</b>	URSS	18 Julio 1965	Destruído en la órbita terrestre
<b>Mariner 6</b>	USA	24 Febrero 1969	Fotos de Marte. Pasó el planeta a 3215 Km.
<b>Mariner 7</b>	USA	27 Marzo 1969	Fotos de Marte. Pasó el planeta a 3516 Km.
<b>Mars 1969A</b>	URSS	27 Marzo 1969	Fallo en el lanzamiento
<b>Mars 1969B</b>	URSS	2 Abril 1969	Fallo en el lanzamiento
<b>Mariner 8</b>	USA	8 Mayo 1971	Fallo en el lanzamiento
<b>Cosmos 419</b>	URSS	10 Mayo 1971	Fallo en el lanzamiento

<b>Mars 2</b>	URSS	19 Mayo 1971	Segundo satélite artificial de Marte. Modulo de superficie destruido
<b>Mars 3</b>	URSS	28 Mayo 1971	Tercer satélite artificial de Marte. Modulo de superficie amortizó y emitió señales durante 20 segundos
<b>Mariner 9</b>	USA	30 Mayo 1971	Primer satélite artificial de Marte (7329 Fotos)
<b>Mars 4</b>	URSS	21 Julio 1973	Pasó a 9846 Km. de Marte
<b>Mars 5</b>	URSS	25 Julio 1973	Operativo durante 9 días en órbita Marciana. (60 Fotos)
<b>Mars 6</b>	URSS	5 Agosto 1973	El módulo de superficie envió datos durante el descenso pero se estrelló
<b>Mars 7</b>	URSS	9 Agosto 1973	El módulo de superficie pasó a 1500 Km de Marte
<b>Viking 1</b>	USA	20 Agosto 1975	Primeras medidas en la superficie. Operativo durante varios años
<b>Viking 2</b>	USA	9 Septiembre 1975	Segundo módulo de superficie con éxito. Operativo durante varios años
<b>Phobos 1</b>	URSS	7 Julio 1988	Fallo de las comunicaciones en el camino a Marte
<b>Phobos 2</b>	URSS	12 Julio 1988	Contacto perdido durante la obtención de fotos del satélite Phobos
<b>Mars Observer</b>	USA	25 Septiembre 1992	Contacto perdido en el camino a Marte

<b>Mars Global Surveyor</b>	<b>USA</b>	<b>7 Noviembre 1996</b>	<b>Continúa en funcionamiento</b>
<b>Mars-96</b>	<b>Rusia</b>	<b>16 Noviembre 1996</b>	<b>Falló al dejar la órbita terrestre</b>
<b>Mars Pathfinder</b>	<b>USA</b>	<b>4 Diciembre 1996</b>	<b>Primer vehículo robot que aterriza. Más de 16000 fotos enviadas</b>
<b>Nozomi</b>	<b>Japón</b>	<b>4 Julio 1998</b>	<b>Falló antes de entrar en órbita Marciana</b>
<b>Mars Climate Orbiter</b>	<b>USA</b>	<b>11 Diciembre 1998</b>	<b>Perdido antes de entrar en la órbita Marciana (23 Septiembre 1999)</b>
<b>Mars Polar Lander</b>	<b>USA</b>	<b>3 Enero 1999</b>	<b>Perdido en la operación de amortizaje</b>
<b>Mars Odyssey</b>	<b>USA</b>	<b>7 Abril 2001</b>	<b>Continúa en funcionamiento</b>
<b>Mars Express</b>	<b>ESA</b>	<b>2 Junio 2003</b>	<b>Módulo orbital en funcionamiento; Módulo de superficie (Beagle 2) perdido.</b>
<b>Mars Exploration Rover : Spirit</b>	<b>USA</b>	<b>10 Junio 2003</b>	<b>En funcionamiento</b>
<b>Mars Exploration Rover : Opportunity</b>	<b>USA</b>	<b>7 Julio 2003</b>	<b>En funcionamiento</b>

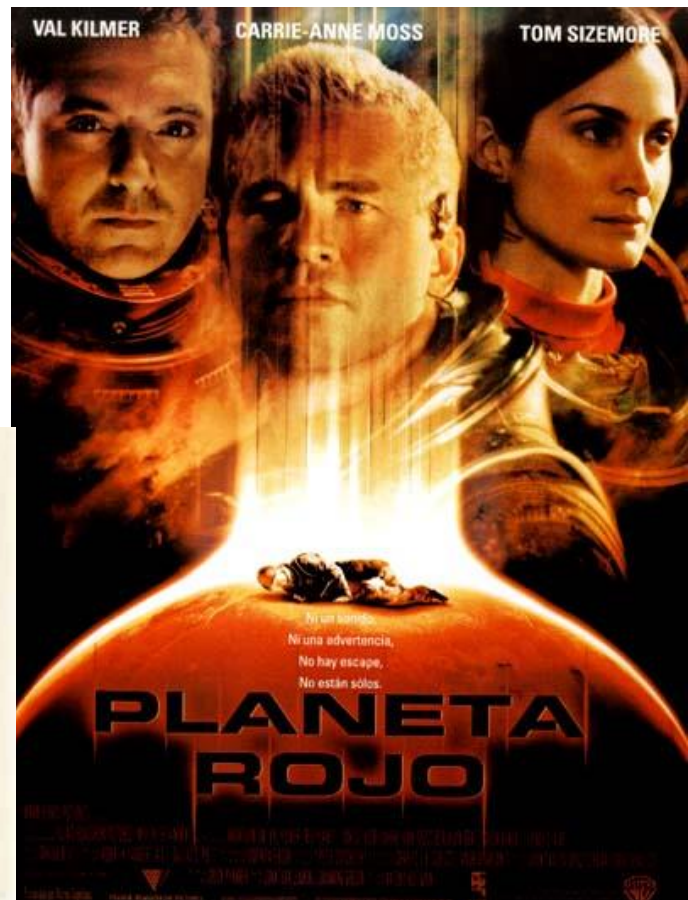
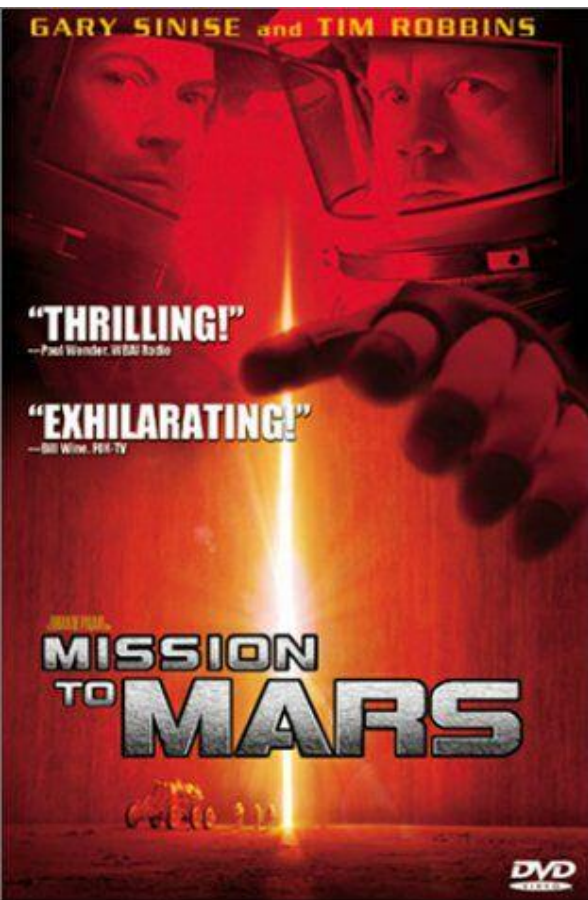
Mars Reconnaissance Orbiter	USA	12 Agosto 2005	En Funcionamiento
Phoenix	USA	4 Agosto 2007	Ha Funcionado lo previsto
Mars Science Laboratory	USA	26 Noviembre 2011	En Funcionamiento
Phobos Grunt	Rusia	8 Noviembre 2011	Fallo Orbita en Tierra

**Total 42 misiones : con éxito 18**

**India: Lanzamiento 5-Noviembre-2013 Mars Orbiter (MOM)**

**USA: Lanzamiento 18-Noviembre- 2013 MAVEN**

**Llegada: Septiembre 2014 (viaje de 10 meses)**





# INSTRUMENTACION

## ENTORNO TERRESTRE

Efecto Protector de la Atmósfera y  
Magnetosfera

## MISION PLANETARIA

Efectos ausentes o muy débiles  
Radiación Electromagnética (Sol)  
Radiación Cósmica  
Alto Vacío  
Ausencia de Vapor de Agua  
Microgravedad  
Entorno “limpio”: ventajoso para  
instrumentos ópticos  
Efectos de Cargas en diferentes  
fases.

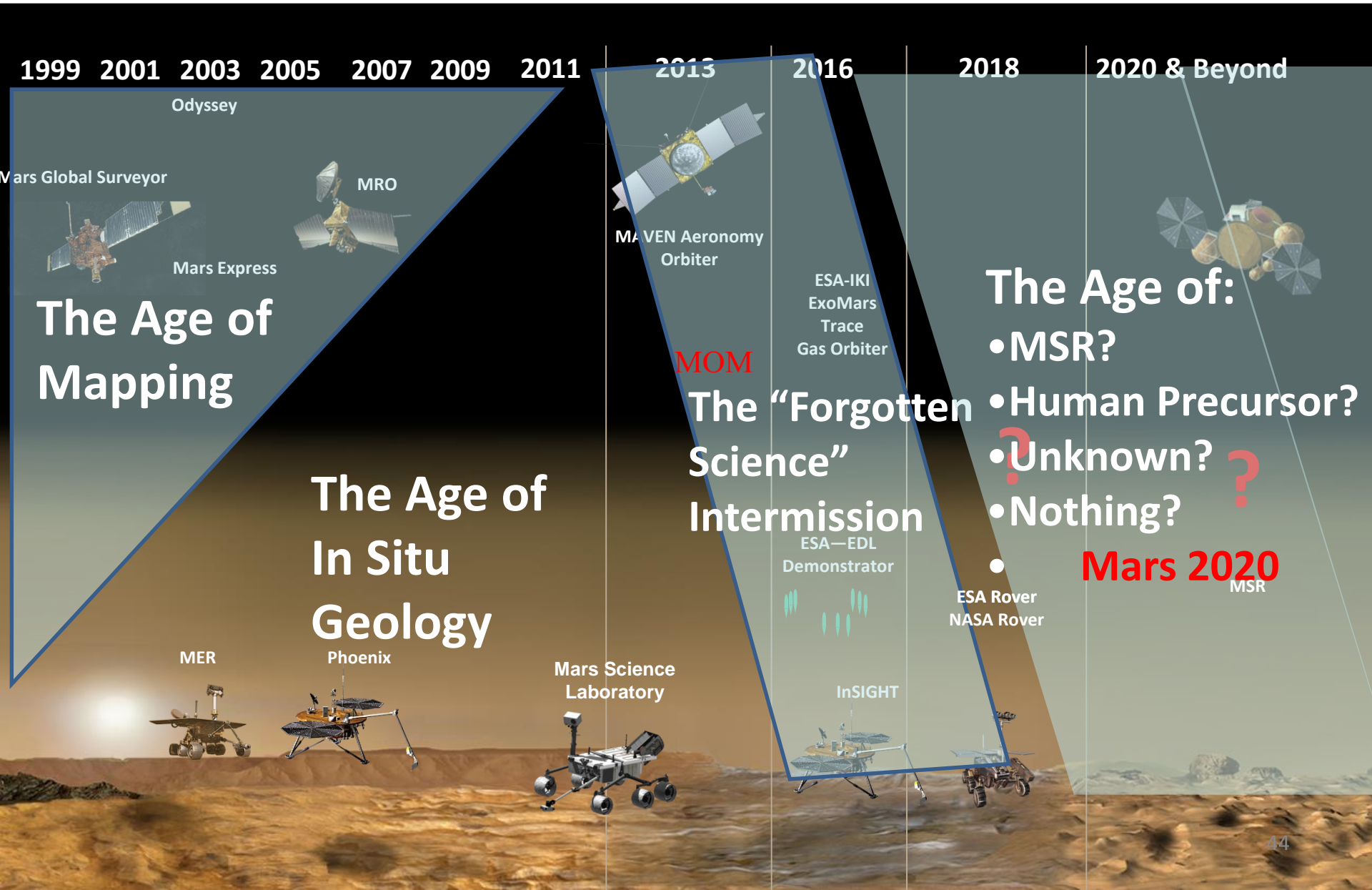
## INSTRUMENTOS ESPACIALES: RADIACION

- Efectos que degradan y dañan los componentes electrónicos o pueden causar un comportamiento anormal.
- Partículas de energía alta: errores en bits (Single Event Upset, SEU)
- Efecto “Cerrado de Golpe” (Latch Up): Una partícula pesada puede generar una corriente anormal en los semiconductores y destruir el componente si la corriente no está limitada.
- Dosis acumulativa de radiación cambia gradualmente las propiedades de los componentes electrónicos y se generan distorsiones de las señales de los sensores.



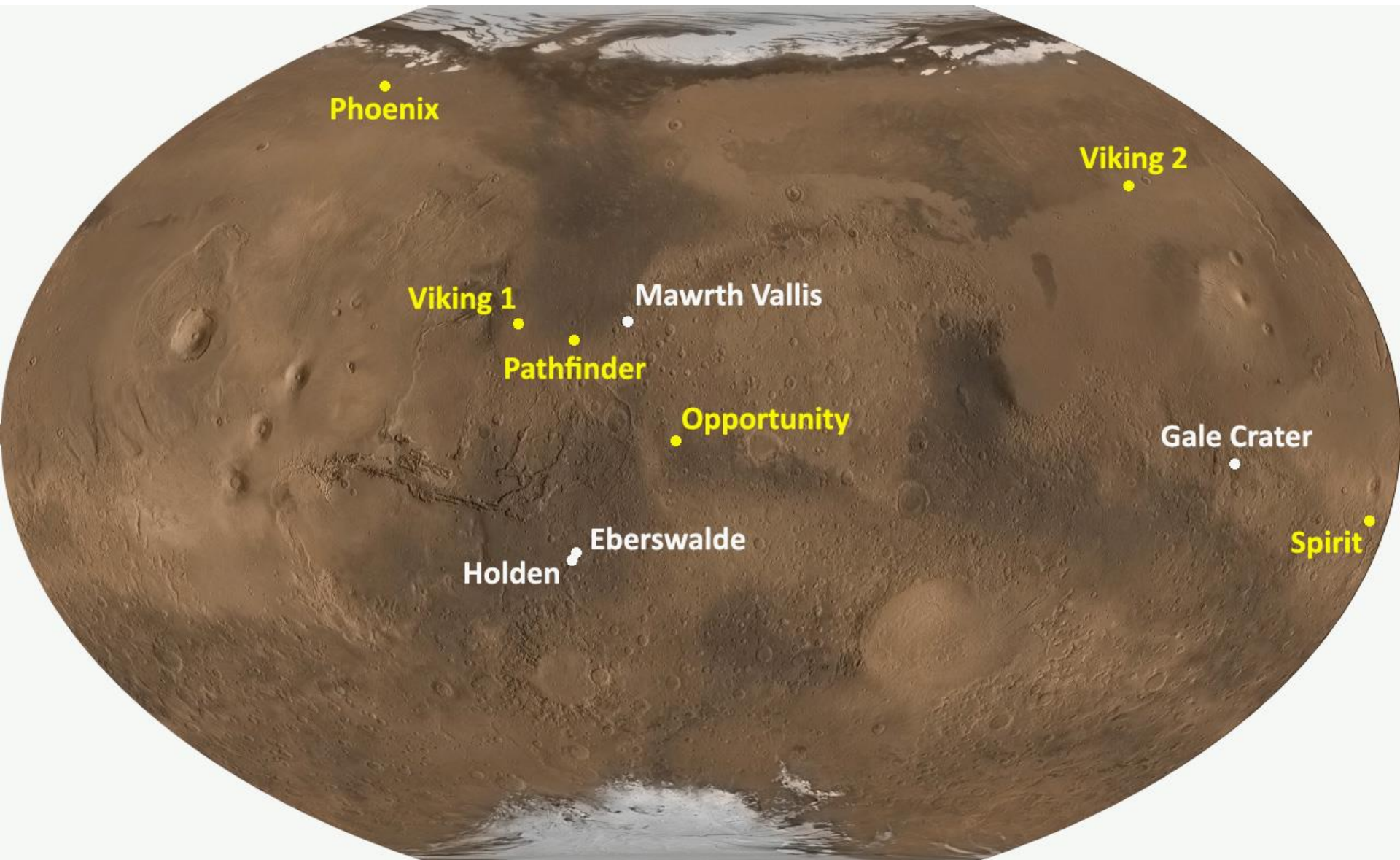
**Mariner 4 (NASA, 28/11/1964)**

# Panorámica de la Exploración de Marte



# Lugares de Aterrizaje en Marte

(Misiones Previas y Candidatos Finales de *Curiosity*-MSL)



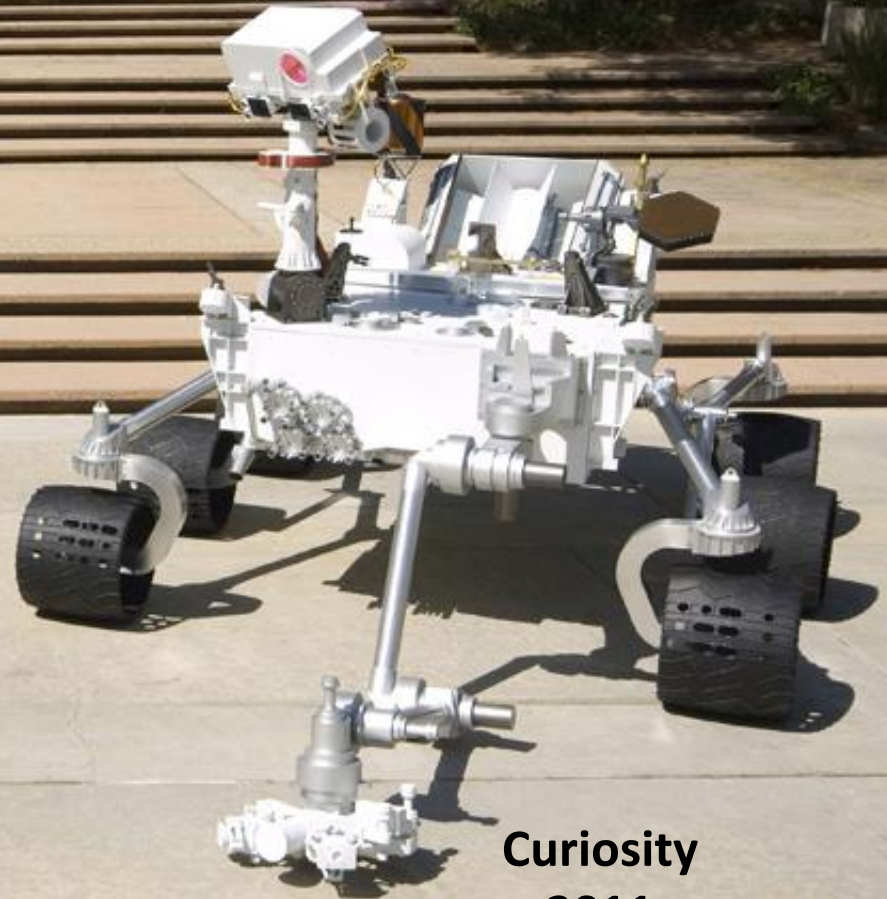
# Rover: Foto de Familia



**Spirit and  
Opportunity  
2003**



**Sojourner  
1996**

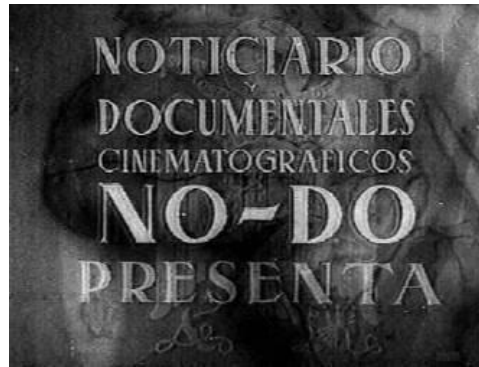


**Curiosity  
2011**

## **4. Entorno de Estudios Marcianos en la Universidad Complutense de Madrid**

# Antecedentes

- OBSERVATORIO DE MADRID (1956).



- GRUPO DE PLANETOLOGIA del [Prof. Francisco Anguita Virella \(1944- \)](#) de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM:

- F. Anguita, “Historia de Marte, Mito y Exploración”. Editorial Planeta. ISBN 978-84-0802-698-3. (1998)



# Realizaciones

**2001-2003: Beagle 2 (Mars Express, ESA)**

- **Coordinar el calibrado de los de los sensores de Ultravioleta (Luis Vázquez, UCM)**

**2004-2007: REMS-Curiosity (NASA)**

**Investigador Principal: Luis Vázquez (UCM)**

**Co-I: Francisco Valero (UCM)**

## **1. FORMACION DEL CONSORCIO**

- *Conseguir la máxima participación Española*

## **2. FORMACION DEL EQUIPO CIENTIFICO: CAB-INTA, UCM, UPC, FMI, USA (Ames, Michigan, Caltech).**

## **3. DEFINICION CIENTIFICA DE LOS INSTRUMENTOS DE REMS.**

## **4. DIMENSION TECNOLOGICA: CRISA**

**2007- : MEIGA-METNET (Rusia +Finlandia + España)**

**Director Español: Hector Guerrero (INTA)**

**Director Cientifico Español: Luis Vázquez (UCM)**

## • **ACCIONES EN REALIZACION.**

- *Consortio Español: INTA, UCM, C3M, Sevilla (Instituto de Microelectrónica)*
- *Desarrollos Tecnológicos: INTA ,ASICs*
- *Publicaciones*
- *Cursos de Verano ( El Escorial: 2009, 2010, 2011). Divulgación*
- *Desarrollos: Patentes, Cloud Computing*

# Referencias sobre Curiosity

**Mars Science Laboratory**

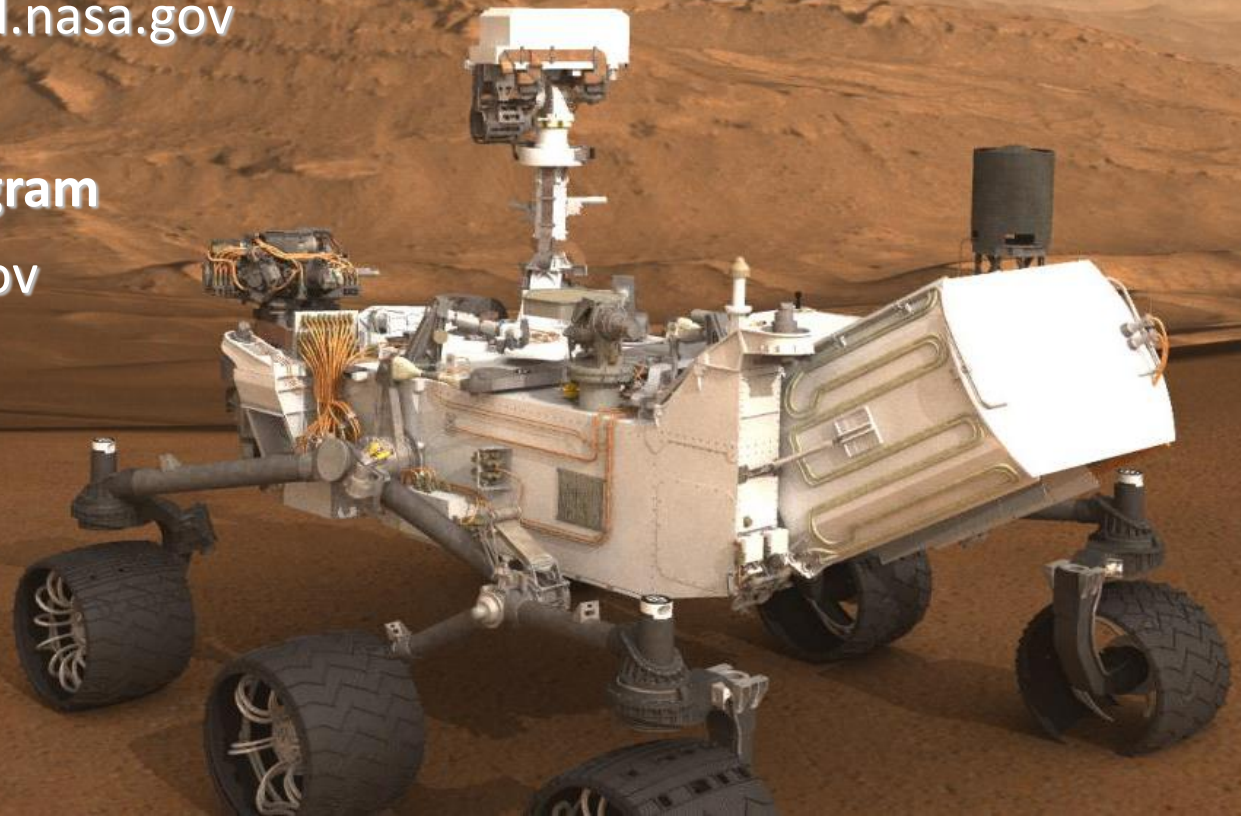
<http://mars.jpl.nasa.gov/msl>

**MSL for Scientists**

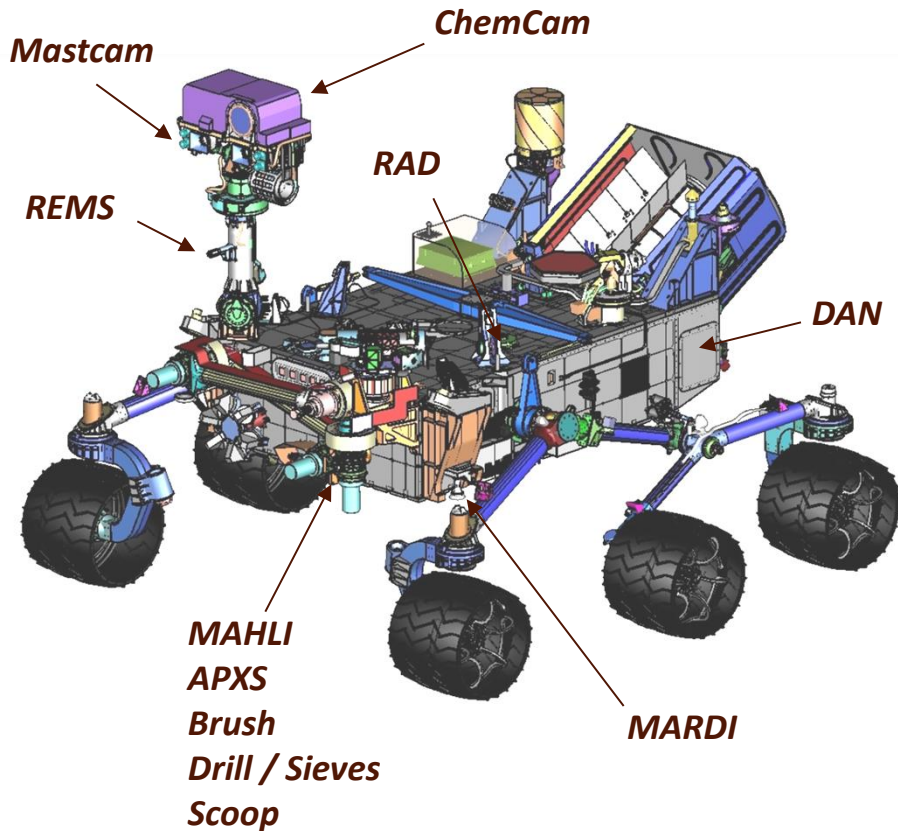
<http://msl-scicorner.jpl.nasa.gov>

**Mars Exploration Program**

<http://mars.jpl.nasa.gov>



# MSL Science Payload



<b>Wheel Base:</b>	<b>2.8 m</b>
<b>Height of Deck:</b>	<b>1.1 m</b>
<b>Ground Clearance:</b>	<b>0.66 m</b>
<b>Height of Mast:</b>	<b>2.2 m</b>

## 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** (J. Gómez-Elvira, CAB, Spain) - Meteorology / UV

**RAD** (D. Hassler, SwRI) - High-energy radiation

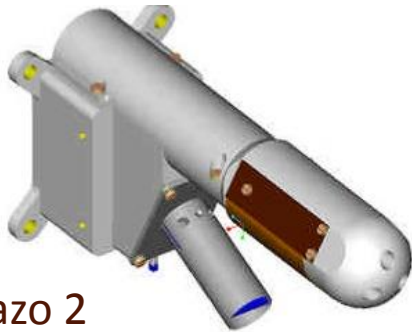
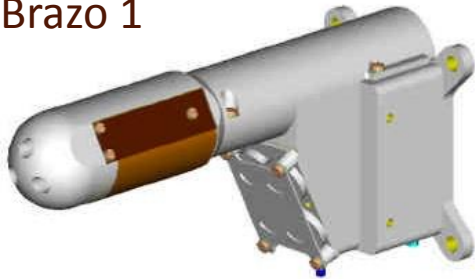
**DAN** (I. Mitrofanov, IKI, Russia) - Subsurface hydrogen

# Rover Environmental Monitoring Station (REMS)

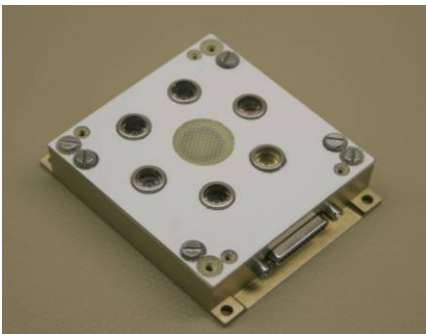
Investigador Principal: Javier Gómez-Elvira (CAB, Desde 2007)

Luis Vázquez (UCM-CAB, 2004-2007)

Brazo 1



Brazo 2



UV Sensor

**REMS mide el entorno meteorológico y la radiación UV.**

- Dos sensores de viento 3-D
- Sensores de temperature del Aire
- Sensor de temperatura del suelo (IR)
- Detector Radiación UV (200 to 400 nm)
- Sensor de Presión
- Sensor de la Humedad Relativa
- Medida a 1-Hz durante 5 minutos cada hora

**Jet Propulsion Laboratory**  
California Institute of Technology

4800 Oak Grove Drive  
Pasadena, CA 91109-8099

(818) 354-4321



December 17, 2004  
Refer to: 010-A-LTR04JJS

Dr. Luis Vázquez  
Centro de Astrobiología (CSIC/INTA)  
Carretera de Torrejón a Ajalvir, km. 4  
28850-Torrejón de Ardoz (Madrid)  
Spain

Dear Dr. Vázquez:

On behalf of the entire Mars Science Laboratory Project team at JPL, congratulations on the selection of your investigation by NASA to be part of the MSL Mission. Richard and I would like to offer our personal welcome to you and your team and express our commitment that MSL be the most productive and exciting project yet sent to Mars. Your investigation is one of the key elements to achieving that.

Over the next few months we will work together to define the accommodations and plans for your investigation and lay the groundwork for developing and implementing your Instrument and Investigation as well as the entire MSL Flight and Mission system. Together, we will work to maximize the capability of both your investigation and the overall Science return of the MSL mission within the constraints presented to us by our NASA/MEP sponsors.

We look forward to the challenges and rewards that lay ahead. Welcome Aboard.

Sincerely,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Peter C. Theisinger".

Peter C. Theisinger  
Manager Mars Science Laboratory Project

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Richard A. Cook".

Richard A. Cook  
Deputy Manager Mars Science Laboratory Project

*National Aeronautics and Space Administration*

*Presents the*

*Group Achievement Award*

*to*

*MSL REMS Instrument Development and Science Team*

*For exceptional achievement defining the REMS scientific goals and requirements, developing the instrument suite and investigation, and operating REMS successfully on Mars.*

*Luis Vazquez*



*Signed and Sealed at Washington, DC  
this eighteenth day of July  
Two Thousand Thirteen*

*C. F. Boldt*

*Administrator, NASA*



# Mars MetNet Precursor Mission

*A tri-Lateral International Consortium*



Project granted by MICINN



## MEIGA

Mars Environmental Instrumentation for Ground and Atmosphere



*Spanish consortium for Mars Exploration with MetNet*

Product Assurance



SCIENCE

Universidad Complutense de Madrid



## Scientific Instrumentation

## Technology



Wind Sensor\*

EM for the 2014



Magnetometer

MOURA

Anisotropic MagnetoResistance (with ASIC-MOURA for 2013)



Dust Sensor

IR Backscattered bi-band (EM with 5 bands for 2014)



Solar Irradiance Sensor

SIS + OWLS

(with ASIC-WLS 2012 & ASIC-PHOT for 2014)



ARQUIMEA



Flexible Actuator

with a Shape Memory Alloy



OWLS

Optical Wireless Links for intraSpacecraft communications



MEREX

Miniature Electronic Resources for Planetary EXploration



3 ASIC

Mixed signal OWLS-MOURA-PHOT

# CONSORCIO para la 1ª CÁPSULA METNET PRECURSOR

- RUSIA



IKI - The Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences



LA - The Lavochkin Science and Production Association of the Roskosmos

- FINLANDIA



FMI - Finnish Meteorological Institute



- ESPAÑA



INTA - Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

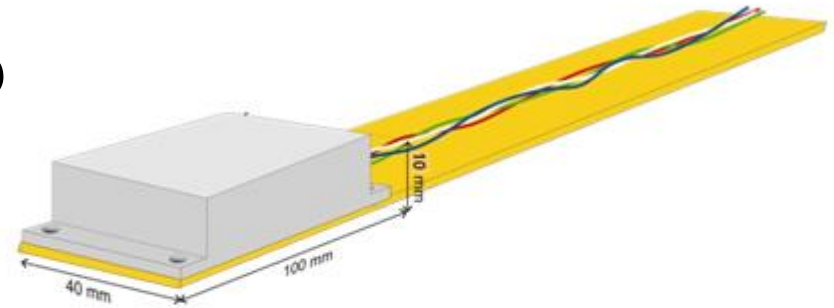




# MEIGA - INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS

- Magnetómetro Triaxial (+ ASIC\*<sub>MAG</sub>)

## MOURA



- Sensor Espectral de Irradiancia Solar

## SIS

- Conexiones Inalámbricas: OWLS\*\*  
(+ ASIC<sub>OWLS</sub>)



- Sensor de polvo depositado

## DDS



\* ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*)

\* OWLS (*Optical Wireless Links for intra-Satellite Communications*)



# Distribución de la Carga Útil Española en la Misión Mars MetNet Precursor: ~ 20% de la masa total asignada para instrumentos.



08-INTA-10479

## COOPERATION AGREEMENT

### BETWEEN

The FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE (FMI)

and

The SPACE RESEARCH INSTITUTE (IKI)  
of the RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES

and

The NATIONAL INSTITUTE of AEROSPACE TECHNOLOGY of SPAIN (INTA)

and

The LAVOCHKIN SCIENCE & PRODUCTION ASSOCIATION (LA)

FOR

The Mars MetNet Precursor Mission (MMPM):  
A Finnish-Russian-Spanish Mission to Mars

### BY and BETWEEN

The Finnish Meteorological Institute (FMI) (hereinafter referred to as FMI) represented by Director General Dr. Petteri Taalas, as the one party.

The Space Research Institute (IKI) of the Russian Academy of Sciences, hereinafter referred to as IKI, represented by its Director Prof. Lev Zelenyi, as the second party.

The National Institute of Aerospace Technology of Spain, hereinafter referred to as INTA, represented by its Director General Mr. Fernando González, as third party.

The Lavochnik Science and Production Association (LA) of ROSCOSMOS, hereinafter referred to as LA, represented by its First Deputy of General Designer and General Director Prof. Konstantin M. Pichkhadze, as fourth party.

All Parties acknowledging their respective capacity, power and authority to enter into Agreement, and

### RECALLING that

FMI is an Autonomous Organization, with its own legal status and assets, assigned to Ministry of Transport and Communications of Finland, and designated as a public service research organisation by the Finnish law 22.12.1967/585, and is regulated by the mentioned law and regulation 18.12.1987/1081. FMI is specialized in weather services research, and among other functions, space research through its own scientific and technological developments, and through the corresponding exchanges and cooperation with other nations.

with the EDLS (Entry, Descent and Landing System) controlled by the contract between FMI and IKI / J.V. Interastro).

- INTA will develop and provide three Scientific Instruments for the MMPM. The instruments will be:
  - a) Tri-axial magnetometer.
  - b) Solar Irradiance Sensor
  - c) An optical wireless channel (OWLS) and a dust deposition sensor (DDS).

### Fourth – TECHNICAL COMMITMENTS

**Units of Measure.** All technical documents required for implementing the work of this Agreement shall use Standard International Units (SI System) as the units of measure.

**Model Philosophy.** There will be two payload instrument model, an Engineering Qualification Model (EQM) and Proto-Flight Model (PFM).

**INTA Payload.** It will consist on three Scientific Instruments as follows:

- a) Tri-axial Magnetometer (based on anisotropic magneto resistors). This will be deployed with a flexible boom some distance apart from the lander in order to minimize the magnetic noise influence coming from it. It will rest on Martian soil without any possibility of being moved due to standard wind storms.
- b) Solar Irradiance Sensor (based on an array of silicon photodiodes and filters).
- c) An optical wireless channel (OWLS) for data interfacing between the Solar Irradiance Sensor (on the top of the boom) and the lander deck. On the deck it will be an OWLS module with a dust deposited sensor.

**Accessibility to Scientific Data:** FMI, the Russian contractors of FMI, and INTA will appoint a Primary Investigator for each of the instruments provided by them. Additionally, each party will nominate one Scientific Director governing all the scientific aspects of the experiments to be performed by the party. By INTA the Scientific Director will be the Professor and Academician Luis VÁZQUEZ (vazquezml@inta.es).

All the Primary Investigators and the Scientific Directors will be official members of the MMPM Science Team (MST). The MST chairman will be nominated by the MMPM Consortium Leader. The INTA Scientists and Engineers will have full accessibility to the whole scientific data of MMPM in the similar fashion as the scientists of FMI and IKI.

**Definition of the Landing site:** The Parties will work together in the definition of the landing site. This definition work will be performed by the MMPM science team (MST).

### Fifth – DEVELOPMENT SCHEDULE

**Scheduled Launch Period:** FMI / IKI will inform INTA (facsimile or mail) when they will have the **official information** of the scheduled launch period and any launch details, when it will be defined by the main spacecraft, the Phobos Sample Return (PSR). They will inform within the next week after their reception of this information. If the information is modified or actualized, INTA will be also notified in the similar fashion.

**The MetNet Lander (MNL) Delivery.** FMI and/or IKI will inform INTA (facsimile or mail) when they will have the **official information** of the scheduled delivery period of the MNL to be integrated in the main spacecraft, the Phobos Sample Return. They will inform the next week after their reception of this information. If the information is modified or actualized, INTA will be also notified in the same way.

## Referencias-1

- “Numerical integration of the discrete-ordinate radiative transfer equation in strongly non-homogeneous media”. M. P. Zorzano, A. M. Mancho and L. Vázquez. *Applied Mathematics and Computation* 164, 263-274 (2005).
- “Remote temperature retrieval from heating or cooling targets”. M. P. Zorzano and L. Vázquez. *Optics Letters* 31, 1420-1422 (2006).
- “Spectral information retrieval from integrated broadband photodiode Martian ultraviolet measurements”. L. Vázquez, M. P. Zorzano and S. Jiménez. *Optics Letters* 32, 2596-2598 (2007).
- “Retrieval of ultraviolet spectral irradiance from filtered photodiode measurements”. M. P. Zorzano, L. Vázquez and S. Jiménez. *Inverse Problems* 25, 115023 (2009).
- “The Martian Atmospheric Boundary Layer”. A. Petrosyan, B. Galperin, S.E. Larsen, S.R. Lewis, A. Määttänen, P.L. Read, N. Renno, L.P.H.T. Rogberg, H. Savijärvi, T. Siili, A. Spiga, A. Toigo and L. Vázquez. *Reviews of Geophysics* 49, RG3005, 1-46, (2011).
- **NASA Book chapter** “The Martian Planetary Boundary Layer” P. L. Read, B. Galperin, S. E. Larsen, S. R. Lewis, A. Määttänen, A. Petrosyan, N. Renno, H. Savijärvi, T. Siili, A. Spiga, A. Toigo, L. Vázquez. *Cambridge University Press* (2013).
- “Martian dust devils detector over FPGA”. E. de Lucas, M.J. Miguel, D. Mozos and L. Vázquez. *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.*, 1, 23–31, (2012).

## Referencias-2

- G. Martínez, F. Valero and L. Vázquez. *TKE Budget in the Convective Martian PBL*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, DOI:10-1002/qj.883. (2011).
  - G. Martínez, F. Valero and L. Vázquez. *Characterization of the Martian Convective Boundary Layer*. Journal of the Atmospheric Sciences 66, 2044-2057 (2009).
  - G. Martínez, F. Valero and L. Vázquez. *Characterization of the Martian Surface Layer*. Journal of the Atmospheric Sciences 66, 187-198 (2009).
  - **ECLIPSES DE FOBOS Y “ARQUEOLOGIA INFORMATICA”**
- Barderas, G., Romero, P., 2012. *Observations of Phobos shadow: Analysis of parameters connecting Earth-Mars reference frames*. Planetary and Space Science, 10.1016/j.pss.2012.06.008.
- Harri A., Schmidt W., Romero P., Vazquez L., Barderas G., Kempainen O., Aguirre C., Vazquez-Poletti J., Llorente I., Haukka H., Paton M., 2012. *Phobos eclipse detection on Mars: theory and practice*. In Reports 2012:2, Finnish Meteorological Institute.
- Romero, P., Barderas, G., Vazquez-Poletti, J., Llorente, I., 2011. *Spatial chronogram to detect Phobos eclipses on Mars with the MetNet Precursor Lander*. Planetary and Space Science 59, 1542–1550 (2011).
- Vazquez-Poletti, J.L., Barderas, G., Llorente, I.M., Romero, P., 2010. *A model for efficient onboard actualization of an instrumental cyclogram for the Mars Metnet mission on a public cloud infrastructure*. In: PARA 2010: State of the Art in Scientific and Parallel Computing. Lecture Notes in Computer Science. Elsevier, 2010.
- G. Barderas, P. Romero L. Vazquez, J.L. Vazquez-Poletti, and I.M. Llorente. *Phobos Eclipse Observation Opportunities with the Mars Science Laboratory*. Mon. Not. R. Astron. Soc.496, 3195-3200 (2012).

# Referencias-3

## *Mars Science Laboratory: REMS-Curiosity*

- **A.M. Harri, M. Genzer, O. Kempainen, H. Kahanpaa, J. Gomez-Elvira, J. A. Rodriguez-Manfredi, R. Haberle, J. Polkko, W. Schmidt, H. Savijarvi, J. Kauhanen, E. Atlaskin, M. Richardson, T. Siili, M. Paton, M. De La Torre-Juarez, C. Newman, S. Rafkin, M. T. Lemmon, M. Mischna, S. Merikallio, H. Haukka, J. Martin-Torres, M.-P. Zorzano, V. Peinado, R. Urqui, A. Lapinette, A. Scodary, T. Makinen, L. Vazquez, N. Renno and the REMS/MSL Science Team “*Pressure Observations by the Curiosity Rover – Initial Results*”. *Journal of Geophysical Research* (2014, in press).**
- **Gómez-Elvira, C. Armiens, L. Castañer, M. Domínguez, M. Genzer, F. Gómez, R. Haberle, A.M. Harri, V. Jiménez, H. Kahanpää, L. Kowalski, A. Lepinette, J. Martín, J. Martínez-Frías, I. McEwan, L. Mora, J. Moreno, S. Navarro, M.A. de Pablo, V. Peinado, A. Peña, J. Polkko, M. Ramos, N.O. Renno, J. Ricart, M. Richardson, J. Rodríguez-Manfredi, J. Romeral, E. Sebastián, J. Serrano, M. de la Torre Juárez, J. Torres, F. Torrero, R. Urquí, L. Vázquez, T. Velasco, J. Verdasca, M.P. Zorzano, J. Martín-Torres, “*REMS: The Environmental Sensor Suite for the Mars Science Laboratory Rover*”, *Space Sci. Rev* 170, 583-640 (2012).**

## Fractional calculus: theory and numerical methods\*

Editorial

Luis Vázquez<sup>1,†</sup>, Hossein Jafari<sup>2,‡</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Matematica Aplicada  
28040-Madrid, Spain*

<sup>2</sup> *University of Mazandaran, Department of Mathematical Sciences  
Pasdaran Street, P.O.Box 47416-95447, Babolsar, Iran*

Received 27 July 2013; accepted 29 July 2013

This issue represents a contribution to a panoramic view of the Fractional Calculus through a large spectrum of possible applications in different experimental scenarios. The included papers show the modelling potentiality of the Fractional Calculus as well as a vision of the associated many open fractional questions which deserve deeper studies and developments. A complete development of the Fractional Calculus similar to the Classical Calculus is still not achieved. They are many open questions and we could say that, at this moment, the limits exist in the imagination.

The Fractional Calculus is a suitable instrument to model non local phenomena either in space and/or in time. In many contexts the underground dynamics of the system depends either on its history and/or the environment. On the other hand, the Fractional Calculus provides a suitable instrument to analyse possible interpolating dynamics between the properties and dynamics characteristics of the integer derivatives. A relevant reference case is the possible interpolations between the classical diffusion and wave equations through the fractional derivative in time.

As we know the definition of fractional derivative is not unique, a basic constraint is to reproduce the established results for the integer case. It makes the Fractional Calculus a very powerful tool because it can be implemented to model a wide set of phenomena.

This issue includes papers dealing with basic questions as the fractional chain-rule to different contexts of applications modelled by ordinary and partial differential equations. Also numerical studies are included. We hope that this topical issue would be very stimulating and helpful for young researchers and Ph.D. students who are the basic vectors for the future developments of the Fractional Calculus.

Finally, we thank to Dr. Krzysztof Malarz, Managing Editor, for the opportunity to prepare this topical issue.

\*"Fractional calculus is the calculus of the future, with it, we can solve problems we couldn't have solved before.", Om P. Agrawal

<sup>†</sup>E-mail: lvazquez@fdi.ucm.es

<sup>‡</sup>E-mail: jafari@umz.ac.ir

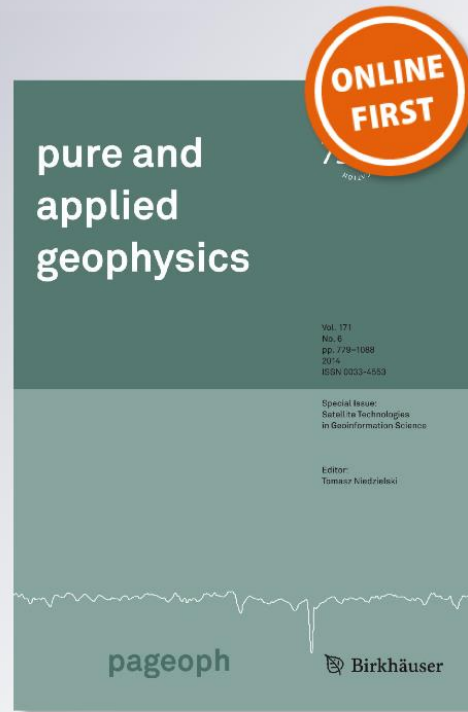
# *Mathematics and Mars Exploration*

**M. P. Velasco, D. Usero, S. Jiménez,  
C. Aguirre & L. Vázquez**

**Pure and Applied Geophysics**  
pageoph

ISSN 0033-4553

Pure Appl. Geophys.  
DOI 10.1007/s00024-014-0870-3







Seleccionar idioma Translation Disclaimer

Subscribe | Sign In



Search

Home News Topics Sectors Market Watch Events Multimedia Whitepapers Job Bank About

## Today's Top Feature

Oct 30, 2012

This Just In Most Read Behind the Cloud



### Cloud Lends Power to Next Generation Martian Missions

The latest Martian rover has performed an on-site validation of an application essential to the next generation of Martian missions. Cloud computing, specifically Amazon Web Services, played an important role. Read more...

### This Week's Headlines

- ▶ Jelastic Platform Supports Parallels Automation Billing System
- ▶ GreenQloud, Xeround to Provide 100% Renewable Energy-Powered IaaS
- ▶ Terremark Lands In Leaders Quadrant of Gartner's Magic Cloud
- ▶ Samplifv Announces APAX IP Core for Memory

[www.hpcinthecloud.com](http://www.hpcinthecloud.com)

# ESTUDIOS DE MARTE EN LA UCM



- **Capa Límite Marciana y Radiación en la Superficie de Marte.** Francisco Valero, M<sup>a</sup> Luisa Martín (UVA-UCM), Luis Vázquez, Salvador Jiménez (UPM-UCM), Germán Martínez (Postdoc. en Michigan Univ.) y Alvaro de Vicente-Retortillo y Antonio Manzano.
- **Estudios Magnéticos:** Miguel Herraiz, Marina Díaz-Michelena (INTA-UCM), Luis Vázquez, David Usero, Beatriz Sánchez-Cano (Postdoc. en Leicester Univ., UK) , María Ramírez y Miguel Cerdán.
- **Estudios Geodésicos:** Pilar Romero, Marta Folgueira, Gracia Rodríguez-Caderot, Gonzalo Barderas (Postdoc. en UCM).
- **Modelización y Estudios de Minería de Datos:** Carlos Aguirre (UAM-UCM), Pedro Pascual (UAM-UCM), Salvador Jiménez (UPM-UCM) y M<sup>a</sup> Pilar Velasco (Postdoc. en Univ. Zaragoza)).


COLABORACIONES: Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática (FDI-UCM)  
NASA, FMI (Finlandia), IKI (Academia Rusa de Ciencias del Espacio)  
ESA, ICTP de Trieste (Italia), Universidad de Michigan (USA)

# Proyectos

- Ministerio de Educación y Ciencia  
ESP2007-30839-E (2008)
- Ministerio de Ciencia e Innovación  
AYA2008-06420-C04-03 (2009)  
AYA2009-14212-C05-05 (2010-2011)
- Ministerio de Economía y Competitividad  
AYA2011-29967-C05-02 (2012-Sept/2015)

## ExoMars Project

Dr. Francesca Esposito  
INAF – Osservatorio Astronomico di Capodimonte,  
16, Salita Moiarriello,  
I-80131 Naples  
Italy

email: Francesca.esposito@na.astro.it      visa: Don McCoy   
your ref./votre réf.  
our ref./ notre réf. SRE-PEH/565909/13/AH      Noordwijk, 29 April 2013  
Subject/objet: DREAMS configuration in the E-ICD

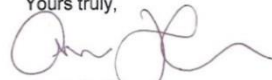
Dear Francesca and DREAMS team,

While the DREAMS E-ICD EXM-PL-ICD-ESA-00030 is still pending the final Joint CCB to reach its signature, I would like to take this opportunity to confirm to you and your Lead Funding Agency, and to the members of your consortium, that the configuration of DREAMS in the E-ICD, to which the ESA ExoMars project is implementing for interfaces is as specified in section 5.4.1 of the E-ICD:

- 6 sensors for meteorological and electric field measurements:
  - MarsTem,
  - DREAMS-P,
  - DREAMS-H,
  - MetWind,
  - SIS and
  - MicroARES
- a Common Electronic Unit (CEU), and
- a battery.

Changes to any interface are not agreed until a final configuration change is agreed.

Yours truly,



Albert Haldemann  
ExoMars Payload and AIV Manager

C.c: CISAS: Stefano Debei (PM)  
ASI: Raffaele Mugnuolo  
ESA: Thierry Blancquaert  
Jorge Vago  
Andrew Ball  
Leila Lorenzoni  
G. Gianfiglio

European Space Agency  
Agence spatiale européenne

Directorate of Science and Robotic Exploration (SRE-PE)  
European Space Research and Technology Centre  
Keplerlaan 1–2201 AZ Noordwijk– The Netherlands  
Postbus 299 –2200 AG Noordwijk – The Netherlands  
Tel.: +31 (71) 565 3723 – Fax +31 (71) 565 8013

## DREAMS for the ExoMars 2016 mission: a suite of sensors for the characterization of Martian environment

F. Esposito (1), S. Debei (2), C. Bettanini (2), C. Molfese (1), I. Arruego Rodríguez (3), G. Colombatti (2), A-M. Harri (4), F. Montmessin (5), C. Wilson (6), A. Aboudan (2), M. Zaccariotto (2), S. Abaki (5), G. Bellucci (7), J-J. Berthelier (5), J. R. Brucato (8), S. B. Calcutt (6), F. Cortecchia (1), F. Cucciarrè (2), G. Di Achille (1), F. Ferri (2), F. Forget (9), E. Friso (2), M. Genzer (4), P. Gilbert (5), J-P. Goutail (5), H. Haukka (4), J. J. Jiménez (3), S. Jiménez (10), J-L. Josset (11), O. Karatekin (12), G. Landis (13), R. Lorentz (14), L. Marthy (1), J. Martinez (3), V. Menella (1), D. Möhlmann (15), E. Palomba (7), M. Patel (16), J-P. Pommereau (5), C.L. Popa (1), S. Raikin (17), P. Rannou (18), N.O. Renno (19), P. Schipani (1), W. Schmidt (4), E. Segato (2), F. Simoes (20), A. Spiga (9), F. Valero (10), L. Vázquez (10), F. Vivat (5), O. Witasse (ESA-ESTEC) (21), S. Yahi (5), R. Mugnuolo (22), S. Pirrotta (22)

(1) INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli, Italy, (2) CISAS - Università degli Studi di Padova, Padova, Italy, (3) INTA, Spain, (4) Finnish Meteorological Institute (FMI), Helsinki, Finland, (5) LATMOS - CNRS/UVSQ/IPSL, France, (6) Oxford University, Oxford, United Kingdom, (7) INAF - Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario (IFSI), (8) INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, (9) CNRS, LMD, France, (10) Universidad Complutense de Madrid (UCM), Spain, (11) Space Exploration Institute, Switzerland, (12) Royal Observatory of Belgium, Belgium, (13) NASA, GRC, USA, (14) Univ. of Arizona, USA, (15) DLR PF Leitungsbereich, Berlin, Germany, (16) Open University, UK, (17) SwRL, Switzerland, (18) GSMA, France, (19) University of Michigan, USA, (20) NASA, GSFC, USA, (21) ESA-ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, (22) Italian Space Agency, Italy

### Abstract

The DREAMS package is a suite of sensors for the characterization of the Martian basic state meteorology and of the atmospheric electric properties at the landing site of the Entry, descent and landing Demonstration Module (EDM) of the ExoMars mission. The EDM will land on Meridiani Planum in October 2016, during the statistical dust storm season. This will allow DREAMS to investigate the status of the atmosphere of Mars during this particular season and also to understand the role of dust as a potential source of electrical phenomena on Mars. DREAMS will be the first instrument to perform a measurement of electric field on Mars.

### 1. Introduction

The ExoMars mission is carried out by European Space Agency (ESA) in cooperation with the Russian federal Space Agency (Roscosmos). It is a two-steps mission. It includes an orbiter, the *Trace Gas Orbiter*, and an EDM, that will be launched on January 2016, and a descent module and surface platform, plus a rover, to be launched in 2018.

The mission will allow Europe to acquire the technologies necessary for the entry, descent and landing of a payload on the surface of Mars, to move

on the Martian surface with a rover, to penetrate into the subsurface and acquire samples, to distribute the collected samples to on-board instruments for analysis. From the scientific point of view, the mission will search signs of extant or extinct life forms, will monitor the trace gases in the atmosphere of Mars and their sources, will study the Martian environment during the dust storm season and will perform the first ever measurement of electric field on Mars. The last two represent the scientific objectives of the DREAMS payload on-board the EDM 2016.

### 2. The DREAMS scientific suite of sensors

DREAMS (*Dust characterization, Risk assessment and Environment Analyzer on the Martian Surface*) is a meteorological station with the additional capability to perform measurements of the electric field close to the surface of Mars. It is an autonomous system that includes its own battery for power supply. It is constituted by the following subsystems (see Figure 1): MarsTem (thermometer), DREAMS-P (pressure sensor), DREAMS-H (humidity sensor), MetWind (2-D wind sensor), MicroARES (electric field sensor), SIS (Solar Irradiance Sensor), a CEU (Central Electronic Unit) and a battery. All systems in DREAMS have a solid heritage from other missions and have very high TRL.

The ExoMars 2016 EDM mission is foreseen to reach Mars during the statistical dust storm season. DREAMS will have the unique chance to make scientific measurements able to characterize the Martian environment in this dust loaded scenario. DREAMS will perform:

- Meteorological measurements
  - The measurement of pressure, temperature, wind speed and direction, humidity and dust opacity will supply the needed parameters to characterize the basic state meteorology and its daily variation at the landing site.
  - Such information will directly be ingested by climate models.
  - Characterization of the Martian boundary layer in dusty conditions.
- Hazard monitoring
  - DREAMS will provide a comprehensive dataset to help engineers to quantify hazards for equipments and human crew: velocity of windblown dust, electrostatic charging, existence of discharges, and E.M. noise potentially affecting communications, intensity of UV radiation.
- The first ever investigation of atmospheric electric phenomena at Mars
  - A global atmospheric electrical circuit is likely to exist on Mars, between the surface and the ionosphere, with similarities and differences with the Earth's circuit. Atmospheric ionization should be similar to that of the Earth's stratosphere but impact charging through collisions between dust particles moved by the wind and the surface, or between dust particles themselves, is expected to be the dominant charging mechanism. Intense electric fields, possibly capable of producing electrical breakdown, are expected at the time of dust storms and in the vicinity of dust devils.
  - Atmospheric electricity is also involved in several processes that have a noticeable impact on the surface and atmosphere. At times of dust storms, electrostatic forces on fine electrically charged dust grains may become larger than aerodynamic forces due to the wind. They are expected to play a significant role in the dynamics (including lifting) of suspended dust particles and their interaction with the surface, thus on the

processes that contribute to the erosion and long-term evolution of the surface.

- By energizing the free electrons, the atmospheric electric fields control their interaction with both the surface and the atmospheric gases. They have thus a definite role in the chain of physical and chemical processes that govern the chemical state of surface materials and the production of oxidized constituents in the atmosphere with consequences on the sustainability of proper conditions for life.

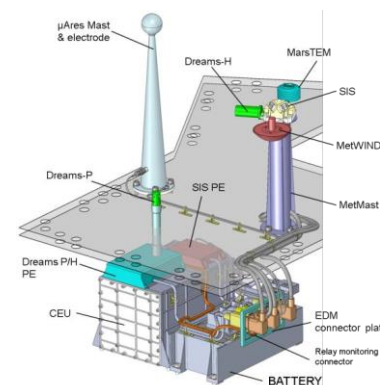


Figure 1: DREAMS payload accommodated on the EDM.

DREAMS is in an advanced state of development. The Flight Model will be delivered to ESA on February 2014.

### Acknowledgements

The activities related to the DREAMS project have been supported by the Italian Space Agency, CNES, ESA, INTA (Spain), Oxford University, that we greatly thank.



# RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES SPACE RESEARCH INSTITUTE

№ 11204 /

February 20, 2014

Prof. L. Vazquez  
Departamento de Matematica Aplicada  
Facultad de Informatica  
Universidad Complutense de Madrid  
Ciudad Universitaria  
28040-Madrid

Dear Prof. Vazquez,

Since 2011 Russian Space Agency (Roscosmos) is cooperating with European Space Agency (ESA) in the ExoMars programme, consisting of two launches scheduled for 2016 and 2018. For the 2016 Trace Gas Orbiter (TGO) our Institute is contributing a suite of three spectrometers dedicated for the studies of the martian atmosphere and climate cycles: the Atmospheric Chemistry Suite (ACS). The ACS will cover the spectral range from 0.7 to 17  $\mu\text{m}$ , operating in nadir and solar occultation modes. The main goal of ACS is the characterization of minor atmospheric constituents, potentially of biological and/or volcanic origin. The 2018 launch is intended to deliver at the surface of Mars the ExoMars 2018 Rover, and the 2018 Surface Platform. A number of instruments at the Surface Platform will be dedicated to monitor the meteorological parameters and the state of the Martian atmosphere.

As a renowned scientist actively working on the mathematical methods of quantitative analysis of planetary atmospheres and the boundary layer, and deeply involved in the Mars meteorology with REMS operating on Mars Science Laboratory (the Opportunity Rover), we would like to invite you to join our ACS team as a Co-Investigator. We would welcome that you and your team to collaborate with us during the science part of the mission, but also during the instrument preparation phase. In particular, I would suggest the role of Team Collaborators to Prof. F. Valero, Prof. I. M. Lorente, and Prof. J.L. Vázquez-Poletti, who could contribute to development of the retrieval algorithms of ACS and to data management and archiving procedures.

You are equally welcome to reply to the ESA-Roscosmos AO on the participation in the Surface Platform payloads, which is expected later this year.

We are looking forward to a successful collaboration.  
With best personal wishes,

Oleg Korablev,  
Deputy Director of IKI,  
PI of the ACS experiment on ExoMars 2016



# EXOMARS 2018

**Asunto:** M-DLS science working team meeting on December 2015  
**Fecha:** Fri, 27 Mar 2015 17:42:57 +0300  
**De:** Alexander Rodin <[alexander.rodin@phystech.edu](mailto:alexander.rodin@phystech.edu)>  
**Para:** Luis Vazquez <[lvazquez@fdi.ucm.es](mailto:lvazquez@fdi.ucm.es)>

Dear Luis,

you are probably aware that we prepare an instrument for the ExoMars landing platform to be launched in 2018. This is a laser spectrometer with heterodyne channel which measures absorption spectra by direct Sun observations with unique spectral resolution of  $10^8$ . This allows Doppler measurements of wind field in the lower 1-2 scale height and opens an opportunity to detect mesoscale turbulence. Besides other goals, the instrument is planned to measure methane with an accuracy 70 ppt, i.e.  $\sim 30$  times better than current observations by Curiosity rover. I am a co-PI of the experiment and lead a group at Phystech who develops heterodyne channel. Another co-PI is Imant Vinogradov from IKI.

If you are interesting in involvement in this work, I'm happy to invite you as a member of science working team. Regardless of your intention to participate in this project, I invite you to take part in the M-DLS science working team meeting to be held on December in Dolgoprudny, at Phystech campus (North margin of Moscow), as an invited speaker. Possible topic may include, but not be limited to, results of meteorological measurements onboard Mars rover. Hope to hear a positive answer from you.

With best regards

Sasha

## **5. Ejemplos Básicos de Estudio y Modelización:**

**\*Bases de Datos**

**\* Capa Limite de Marte**

**\* Radiación Solar Ultravioleta  
en la Superficie Marciana**

**\* Eclipses de Fobos**



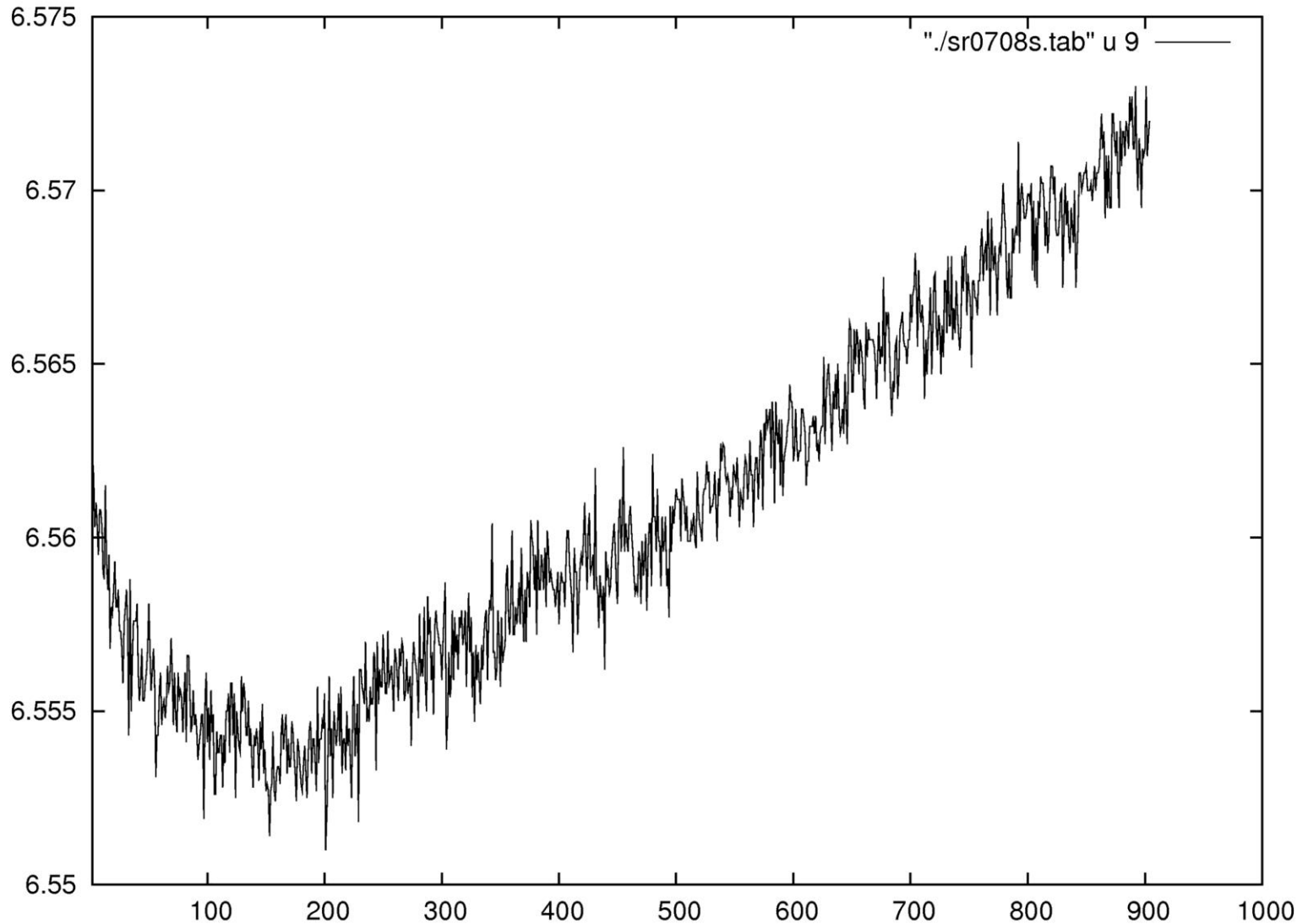
# Some Remarks about the Data

- Data of Pathfinder as a good Laboratory
- Eclipses of Phobos: MetNet, Viking, Pathfinder, Phoenix.
- Viking Data.
- Cloud Computing: Transversal instrument
  - European Project

# Format of the Data

- The good news.
  - Huge amounts of data are readily available.
  - Data is well documented and ordered.
  - Data is easily readable (plain text files).
- The bad news
  - Data is spreaded over many files.
    - A Mars day is stored in several files placed usually in several different folders (sessions).
  - Data is not uniquely sampled.
    - Sampling rate can vary from 1 to 4 seconds.
- Tools has been developed to manage these data sets
  - Extracting usable time scales (Sun, hour)
  - Unify sampling rates (by average of higher rates).
  - Compute relevant quantities.

# Example



Pressure in Millibars. Duration 15 mins, one sample per second.

# Data Analysis

- Three main sets of analysis are being applied.
  - Data adjust to a given partial differential equation.
  - Statistical Analysis
  - Spectral, Wavelet and Tomographic analysis.

# Adjust to a given partial differential equation

- We are now focusing on this method.
- We assume that the data can be modelled by a known homogeneous partial differential equation with unknown parameters.
- Following a finite difference scheme this parameters can be stimated by an highly overdimensionated linear equations system.

# Statistical Analysis

- The usual techniques of statistical analysis will be taken in account.
  - Reduction of dimensionality (PCA).
  - Linear Modelling (ARIMA Models)
  - Linear and Nonlinear Regression
    - Previous studies carried by us show that data is most nonlinear, showing to fit better to a cubic approximation.
  - And many others.
- But with a difference....
  - Existing statistical packages (R, SPSS, Matlab) are not suitable for cloud computing, we are developing our own methods and routines.

# Spectral, Wavelet and Tomographic Methods

- Analysis of stationarity, frequency and resolution.
  - Previous studies show that data are mainly nonstationary and multi resolution.
- The use of a tomographic analysis of the data.
  - Tomographic analysis consists on using as projecting basis the eigenvectors of linear combinations of operators (time-frequency, time-resolution, time-conformal).
    - Dust Devils and plasma effects: size and duration

## 1. Definicion

- **Capa Límite Planetaria:** la parte inferior de la atmosfera influenciada directamente por la superficie del planeta. Responde a forzamientos superficiales con una **escala de tiempo** del orden de **una hora o menos**. Estudiada por la Micrometeorología.
- Característica Fundamental: **Naturaleza Turbulenta.**
- La atmosfera libre está encima de la Capa Límite.

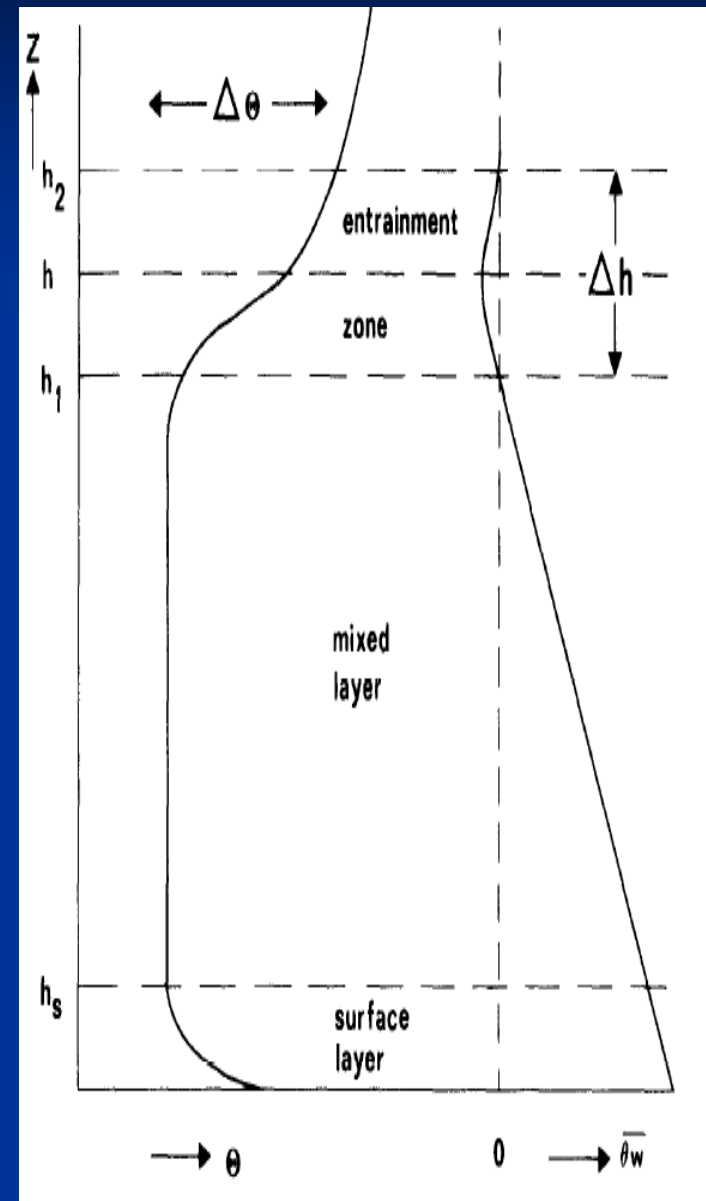


## Partes de la Capa Limite Planetaria

Bajo condiciones convectivas características durante el día:

**Capa Superficial:** Region inferior de la capa límite donde los flujos turbulentos varían menos del 10% de su magnitud. Las mayores variaciones en las magnitudes meteorológicas tienen lugar en esta capa. Consecuencia: cambios más significativos en los intercambios de momento, calor y masa.

➤ **Capa de Mezcla:** Caracterizada por una acción vertical intensa de mezcla que tiende a dejar las variables: temperatura potencial y humedad ~ constantes con la altura



# 1. Importancia

- El lugar donde operan los **landers** y los **rovers** .  
Diseño de los **sensores**



- **Habitabilidad** (Radiación UV, Contenido de Agua del Suelo).
- Los modelos de Circulación Global y Mesoscala necesitan incorporar los fenómenos de la Capa Limite. Existe una **retroalimentación** en ambas direcciones



## 2. Datos

Conjunto de Datos utilizados:

- **In situ Temperatura promediada cada hora**
- **In situ Velocidad horizontal del viento promediada cada hora**
- **Simulación de la Temperatura de la superficie cada hora**

Corresponden a algunos soles seleccionados (1 Sol es un día Marciano = 88775 s) pertenecientes a:

➤ Viking 1: Soles 27, 28, y 35

➤ Viking 2: Soles 20 y 25

➤ Pathfinder: Sol 25

Altura de Medida 1.6 m

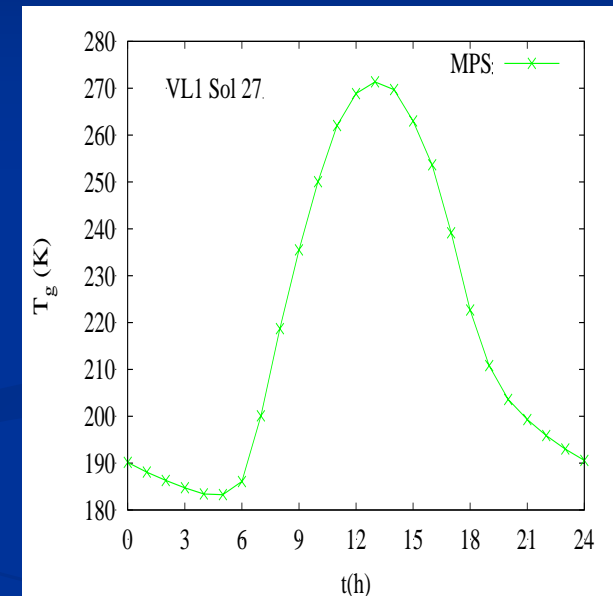
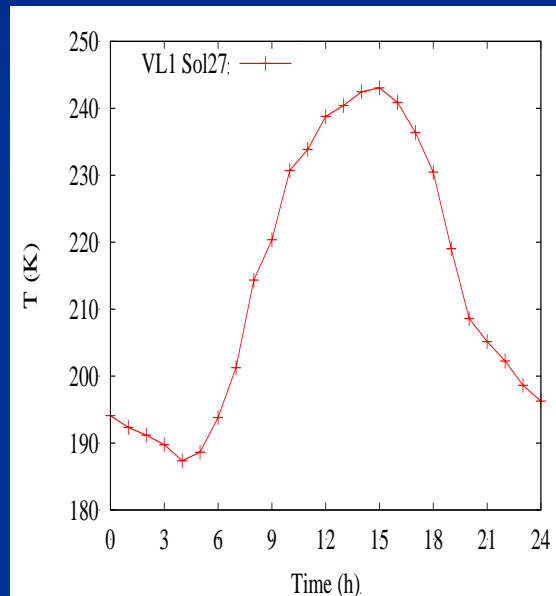
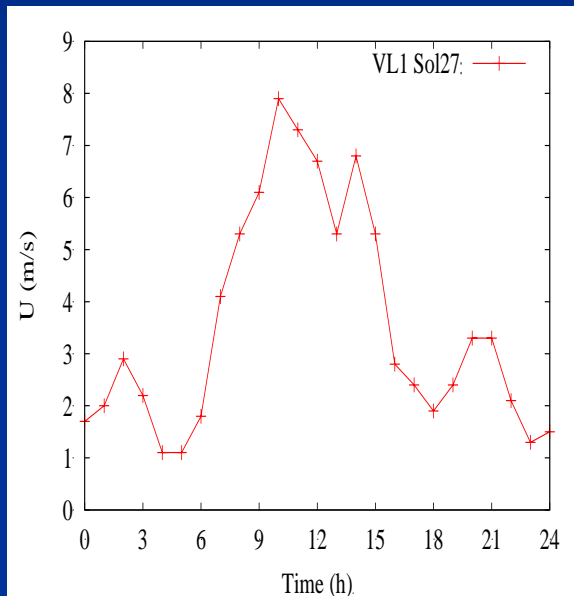
Altura de Medida 1.3 m

## Viking Lander 1 Sol 27

Velocidad Horizontal

Temperatura

Temperatura Superficie



Dada la naturaleza de los datos disponibles in situ hemos hecho una adaptación a Marte de:

➤ **Teoría de la Semejanza de la Capa Límite:**

Monin, A. S., and A. M. Obukhov 1954, AN SSSR, 24, 163-187



➤ **Teoría de la Semejanza de la Capa de Mezcla Convectiva:**

Deardorff, J. W. 1972, 29, JAS, 91-115



Todas las variables termodinámicas claves pueden ser obtenidas mediante modificaciones apropiadas de ambas teorías

## Limitaciones de la Metodología:

Los resultados son válidos bajo las siguientes condiciones:

- Terrenos Moderadamente Planos
- Ausencia de Perturbaciones Sinópticas
- Carga de Polvo bajo (forzamiento radiativo < calentamiento convectivo)
- Los resultados son especialmente apropiados para los Soles del hemisferio norte en verano.

## 5. Comparación con la Capa Limite de la Tierra

### Capa Limite

- Valores típicos de la longitud de Monin-Obukhov y velocidad de fricción concuerdan en ambos planetas
- Escala de temperatura: un orden de magnitud más alta en Marte.
- TKE (Energía Cinética Turbulenta) valores son similares en ambos planetas, así como el balance de TKE (cualitativa y cuantitativamente).

### Capa de Mezcla Convectiva

- Altura de la Capa de Mezcla Convectiva: mayor en Marte (~8 Km vs ~1 km).
- Lo mismo para: escalas de velocidad y de temperatura convectiva (más del doble del valor terrestre).
- Valores de TKE: más del doble de valores en la Tierra.
- Balances de TKE: similares cualitativamente en ambos planetas, con la excepción del término de transporte (comparable al término de fuerza ascensional).
  - Cuantitativamente: balances de TKE muestran comportamiento similar.

# Radiación Solar Ultravioleta en la Superficie Marciana (I)

## ***Objetivo Científico Primario :***

- Conocer el potencial de la radiación UV (directa y difusa) para eliminar organismos vivos en la superficie de Marte.
- Conocer el potencial destructivo de la radiación UV (directa y difusa) sobre material orgánico en la superficie de Marte.
- Conocer las variaciones diurna y estacional del Ozono en Marte.

## ***Motivo:***

- Necesitamos conocer el flujo de UV para determinar las escalas de tiempo asociadas a la eliminación de organismos y destrucción de material orgánico en la superficie de Marte.
- El Ozono es un buen absorbente de UV y su abundancia está controlada por procesos fotoquímicos en la atmósfera Marciana. Comparación con las medidas del MRO (Mars Reconnaissance Orbiter).



# Radiación Solar Ultravioleta en la Superficie Marciana (II)

## ***Objetivos Científicos Secundarios:***

- Caracterizar las propiedades ópticas del polvo marciano en el rango UV.
- Proporcionar ligaduras a las proporciones de fotólisis y producción de oxidantes.

## ***Motivo:***

- La medida del flujo de UV en la superficie proporcionará algunas ligaduras a las propiedades ópticas del polvo en la atmósfera de Marte.
- Obtener algunas ligaduras sobre la fotólisis del H<sub>2</sub>O y, por tanto, sobre la producción de oxidantes.

# Escenario de Simulación: 5 fotodiodos

- 200-280 nm UV-C
- 280-320 nm UV-B
- 320-400 nm UV-A
- 245-290 nm UV-D
- 310-335 nm UV-E

**Se trata de determinar la función espectral de irradiancia  $I(\lambda)$  en la superficie de Marte y en el intervalo asociado a la radiación ultravioleta:**

**[200 nm, 400 nm]**

# Información Disponible (I)

- Se conoce la integral de la función  $I(\lambda)$  en algunos subintervalos:

$$C_k = \int_{\lambda_k}^{\lambda_{(k+1)}} I(\lambda) d\lambda$$

- Se conoce la función de irradiancia espectral  $F(\lambda)$  en la parte alta de la atmosfera de Marte procedente del Sol (de acuerdo con la ley de Planck).

- En la superficie tenemos tenemos dos componentes

$$I(\lambda) = I(\lambda)_{\text{Dir}} + I(\lambda)_{\text{Dif}}$$

Los detectores pueden medir solamente la componente directa o las dos a la vez.

# Información Disponible (II)

- Simulaciones mediante el código de Transferencia Radiativa:  $I(\lambda)_{\text{Dir}}$

- Parametros:

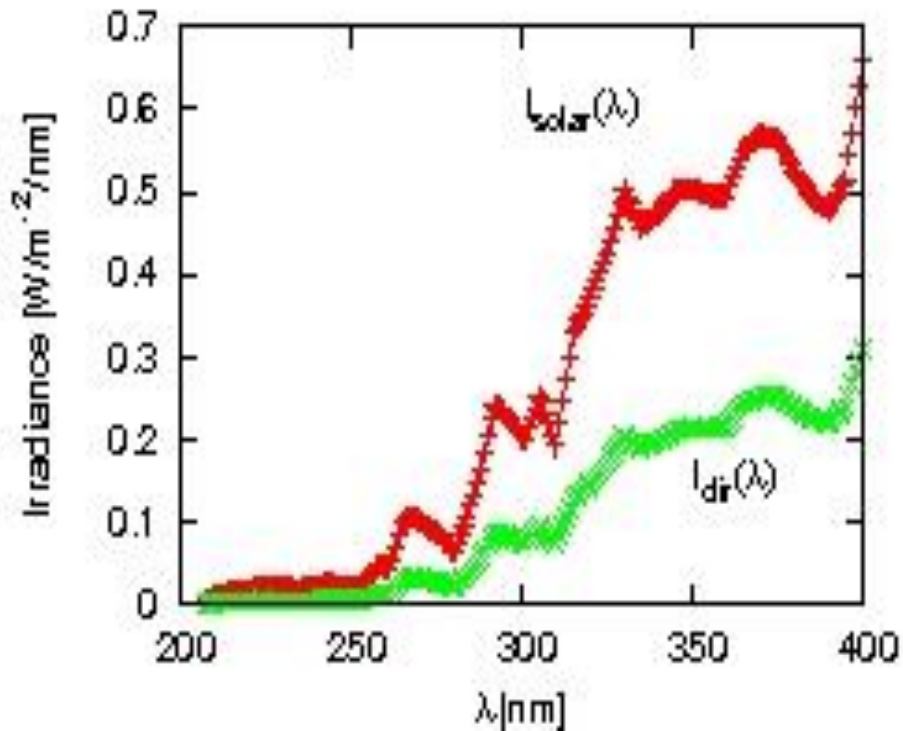
***Profundidad Optica:***  $\tau = -\text{Ln}[I(\lambda)_{\text{Dir}} / F(\lambda)]$

Movimiento y propiedades de absorción del polvo en la atmósfera.

***Exponente de Angstrom  $\alpha$ :***  $\tau = \beta / \lambda^\alpha$

(tamaño de las partículas suspendidas)

# A partir del código de Transferencia Radiativa



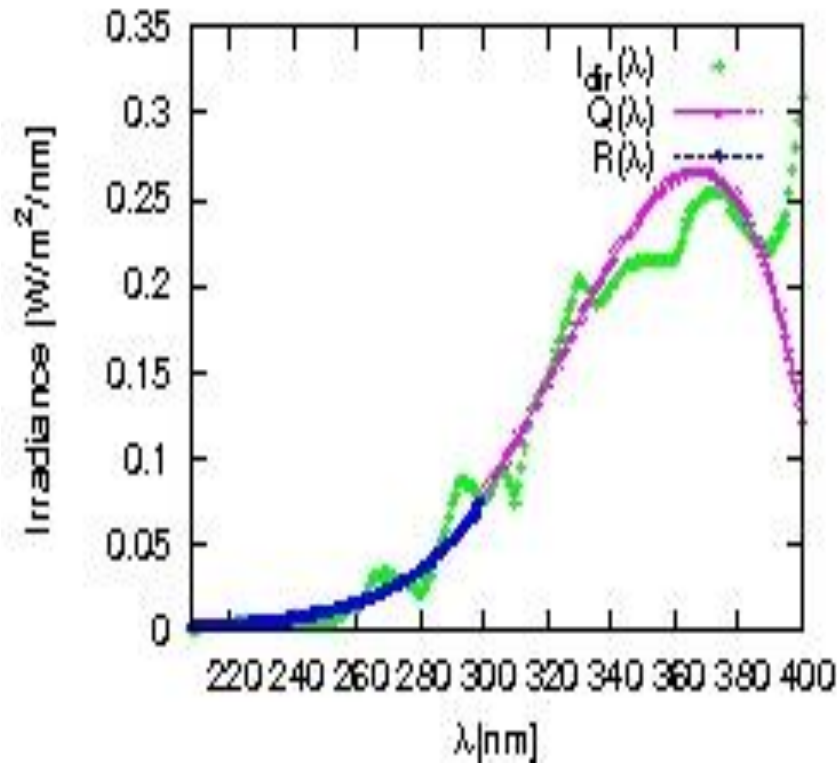
Radiación incidente en la parte alta de la atmósfera Marciana y en la superficie: en el ecuador a mediodía y distancia media

(1.52 AU) del Sol con un escenario de presión 6 milibars, relativamente claro (0.45 de profundidad óptica)

## Ajuste de $I(\lambda)_{\text{Dir}}$ obtenida por simulación

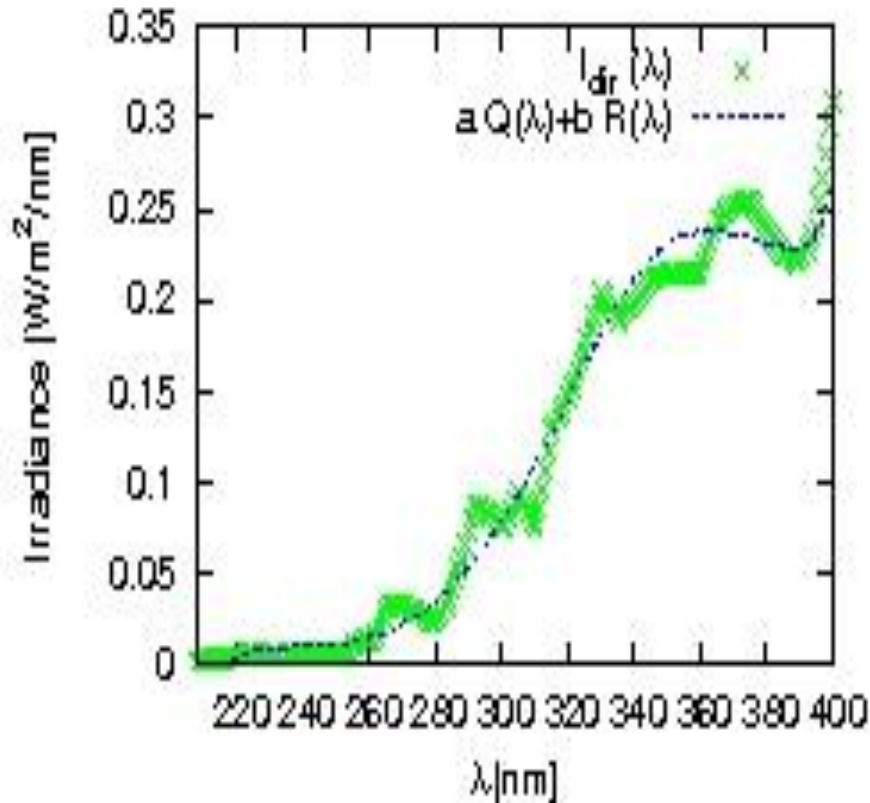
- $I(\lambda)_{\text{Dir}}$  es aproximada por  $Q(\lambda) = dP(\lambda)/d\lambda$ , siendo  $P(\lambda)$  un polinomio de orden cinco
- **Interpolación Racional:**  $I(\lambda)_{\text{Dir}}$  es aproximada por  $R(\lambda) = dT(\lambda)/d\lambda$ , siendo  $T(\lambda) = P_1(\lambda) / P_3(\lambda)$ , cociente de dos polinomios de orden 1 y 3 respectivamente.
- Combinación lineal:  $a Q(\lambda) + b R(\lambda)$ .  
 $a+b=1, a=0.77$

# Información integral asociada a las bandas: UV-A, UV-B, UV-C, UV-D, UV-E (I)



- Dos funciones de interpolación para la irradiancia directa, obtenida de las 5 integrales medidas con los fotodiodos asociados.

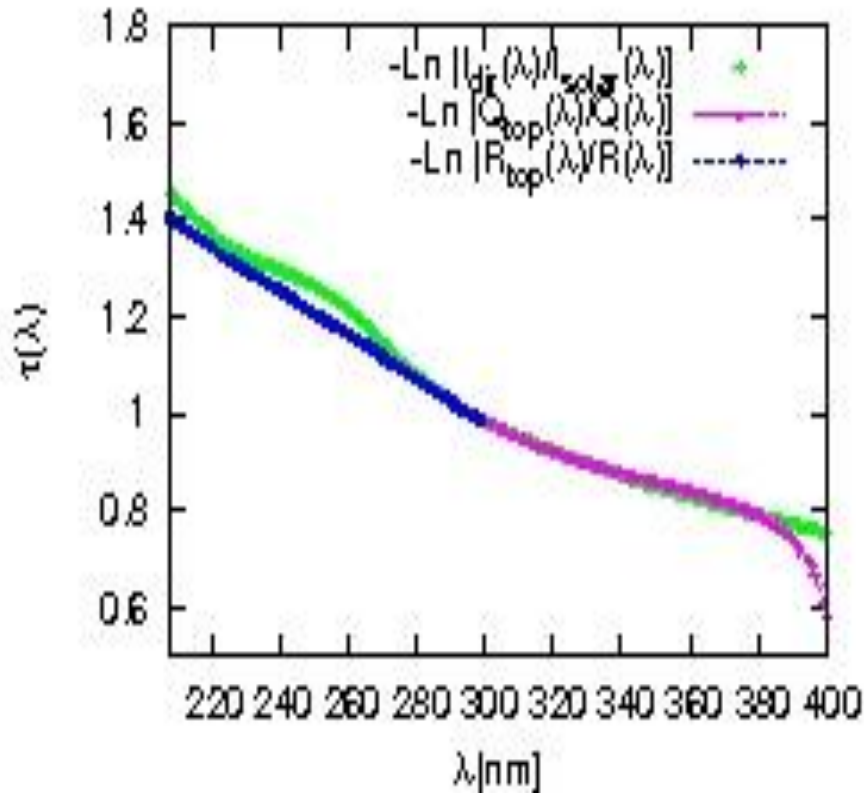
# Reconstrucción de la irradiancia espectral directa(II)



- Combinación lineal de dos funciones interpolantes que ajustan optimamente la irradiancia directa.



# Parámetros

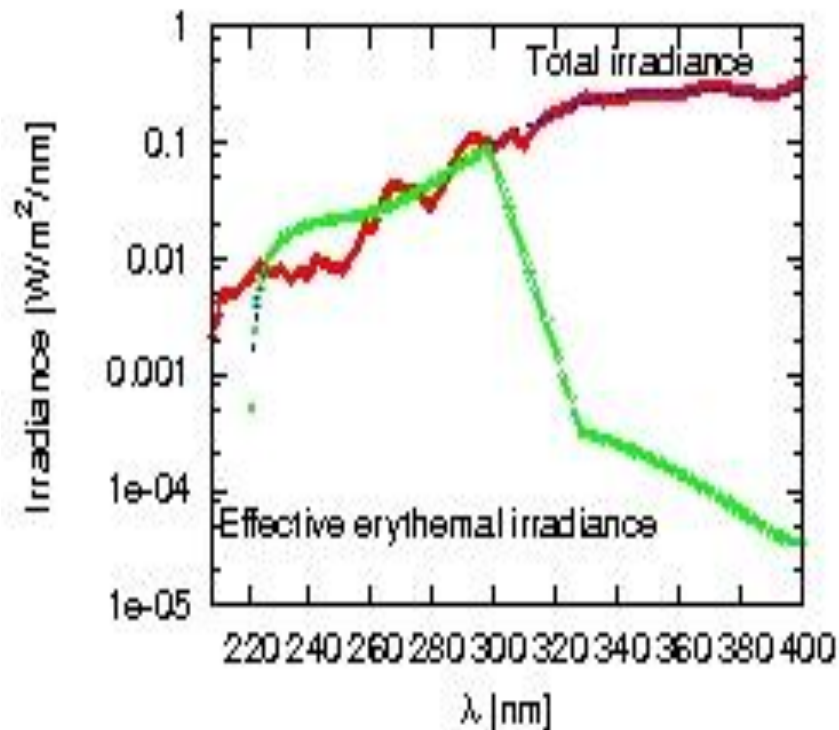


- Reconstrucción de la opacidad o profundidad óptica.
- Reconstrucción del exponente de Angstrom:  $\alpha \approx 1$

# Dosis de UV con Relevancia Biologica

- Dosis Biologica:  $D = \int I(\lambda) B(\lambda) d\lambda$ , que se representa como el UVI: Indice de ultravioleta.  
 $B(\lambda)$ = Sensividad espectral; Respuesta biologica de un organismo o estructura biologica (DNA, piel, proteinas,..) a la radiación UV.
- En el caso de la piel humana:  $B(\lambda)$ 
  - 1 para  $\lambda < 298$  nm
  - $10^{0.094(298-\lambda)}$  para  $298$  nm  $< \lambda < 328$  nm
  - $10^{0.015(139-\lambda)}$  para  $328$  nm  $< \lambda < 400$  nm

# Aplicación Biológica



- Estimación del índice ultravioleta :
- $UVI = 2.88$  ( $I(\lambda)$  total).
- $UVI = 2.76$   
(Interpolación de  $I(\lambda)$  )

# Cuestiones Abiertas

- Cuestiones generales asociados a la propagación de de la radiación electromagnética en la atmosfera Marciana:

$\lambda / d$  (diámetro de las partículas suspendidas)

- Mejorar los Códigos de Transferencia adaptados a la atmosfera de Marte. Similar a la adaptación de los modelos atmosfericos. Códigos: SHDOM, DISORT.

- Los fotodiodos tienen un filtro caracterizado por una función  $S(\lambda)$ , entonces se conoce la integral de la función promediada  $I(\lambda)$  en algunos subintervalos:

$$C_k = \int_{\lambda_k}^{\lambda_{(k+1)}} I(\lambda) S(\lambda) d\lambda$$

- Si la función filtro depende del ángulo:  $S(\lambda, \theta)$  con lo que el dato de medida es

$$C_k = \int_{\lambda_k}^{\lambda_{(k+1)}} I(\lambda) S(\lambda, \theta) d\lambda$$

- **Exponente de Angstrom  $\alpha$ :**  $\tau = \beta / \lambda^\alpha$

¿Ecuación diferencial fraccionaria?

# Publicaciones

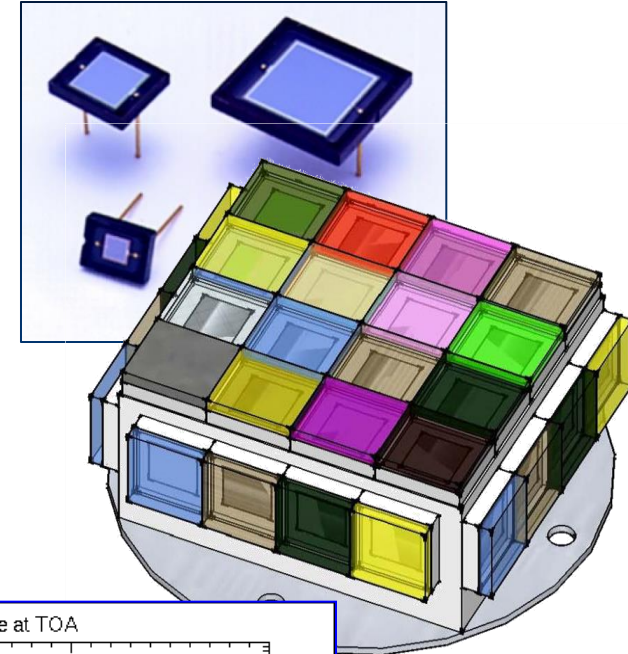
1. “Numerical integration of the discrete-ordinate radiative transfer equation in strongly non-homogeneous media”. M. P. Zorzano, A. M. Mancho and L. Vázquez. *Applied Mathematics and Computation* 164, 263-274 (2005).
2. “An UV radiative transfer model for Mars”. G. Gilbert and R. M. Haberle. Space Science Division, NASA Ames Research Center (2005).
3. “Astrobiological significance of minerals on Mars surface environment”. G. Amaral, J. Martínez-Frías and L. Vázquez. *Reviews in Environmental and Biotechnology* (European Science Foundation). Special issue on “*Extreme Life*” 5, 219-231 (2006).
4. “Remote temperature retrieval from heating or cooling targets”. M. P. Zorzano and L. Vázquez. *Optics Letters* 31, 1420-1422 (2006).
5. “UV shielding properties of Jarosite versus Gypsum: Astrobiological implications for Mars”. G. Amaral, J. Martínez-Frías and L. Vázquez. *W. Applied Sci. J.* 2, 112-116 (2007).
6. “Spectral information retrieval from integrated broadband photodiode Martian ultraviolet measurements”. L. Vázquez, M. P. Zorzano and S. Jiménez. *Optics Letters* 32, 2596-2598 (2007).
7. “Retrieval of ultraviolet spectral irradiance from filtered photodiode measurements”. M. P. Zorzano, L. Vázquez and S. Jiménez. *Inverse Problems* 25, 115023 (2009).
8. “Solar irradiance spectral sensor for planetary atmospheric studies”. J. J. Jiménez et al. *Proceedings of 7ª Reunion Española de Optoelectrónica, OPTOEL'11*. Pag. 1-6, (2011).

# MEIGA-METNET: SIS - Sensor de Irradiancia Solar

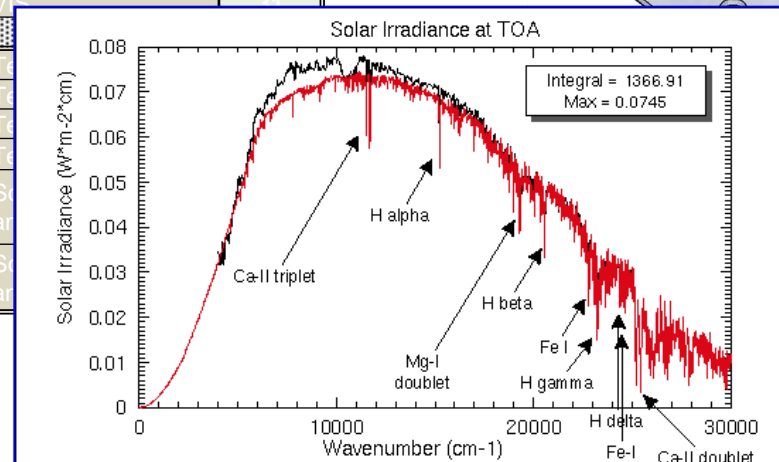
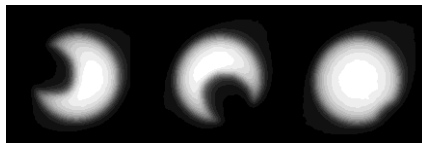
## Propuesta inicial de bandas de detección

SOLAR IRRADIANCE SENSOR ACQUISITION CHANNELS							
Channel	Wavelength	Use	Position	Wavelength	Use	Channel	
1	----	Background reference	Top Surface	440 / 660 nm	Dust Optical Depth	21	
2	190 - 1100 nm	Total luminosity reference		Side 2	700 - 1100 nm	IR	22
3	710 - 730 nm	H <sub>2</sub> O		Side 3	400 - 700 nm	VIS	23
4	810 - 830 nm	H <sub>2</sub> O			24		
5	930 - 950 nm	H <sub>2</sub> O		Side 4	440 / 660 nm	Dust Optical Depth	25
6	759 - 771 nm	A Band - O <sub>2</sub>			700 - 1100 nm	IR	26
7	315 - 400 nm	UVA		Additional features	400 - 700 nm	VIS	27
8	280 - 315 nm	UVB			28		
9	200 - 280 nm	UVC		Side 1	440 / 660 nm	Dust Optical Depth	29
10	200 - 310 nm	Hartley Band - O <sub>3</sub>			700 - 1100 nm	IR	30
11	300 - 345 nm	Huggins Band - O <sub>3</sub>		Additional features	400 - 700 nm	VIS	31
12	440 nm	Dust Optical Depth			non optical	Te	
13	600 nm	Dust Optical Depth			non optical	Te	
14	700 - 1100 nm	IR			non optical	Te	
15	400 - 700 nm	VIS		non optical	Te		
16	245 - 290 nm	UV Redundancy		non optical	Te		
17	440 / 660 nm	Dust Optical Depth		760 - 1100 nm	Solar		
18	700 - 1100 nm	IR		760 - 1100 nm	Solar		
19	400 - 700 nm	VIS		760 - 1100 nm	Solar		
20							

Fotodiodos de Si



Detección de Eclipses (Fobos y Deimos)



Irradiancia Solar. Medida de las trazas de gases en la atmósfera

Image Credit: NASA/JPL-Caltech/MSSS

# Eclipses de Fobos



# **Aspectos científicos:**

## ***a-1) Metodología y software desarrollados.***

### ***Objetivos:***

1. Diseño de la estrategia observacional para detectar eclipses de Fobos.
2. Validación de los modelos orbitales y parámetros conectando Sistemas de Referencia involucrados
3. Método de determinación de coordenadas a partir de los datos de observación de eclipses



## **Aspectos científicos:**

### ***a-2) Aplicación en misiones a Marte pasadas y futuras:***

4. Oportunidades de observación de Eclipses de Phobos con Mars Science Laboratory
5. Detectar eclipses de Fobos para la misión Metnet Precursor.
6. Análisis de datos de Viking del FMI

## PHOBOS ECLIPSE BEGINNING (UTC) FOR THE MSL ELLIPSE LANDING SITE USING THE TEMPORAL CHRONOGRAM APPROACH.

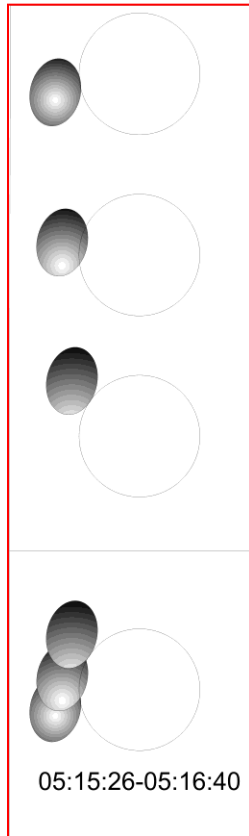
*We compute the times in which the shadow pseudo-ellipse intersects the MSL landing ellipse.*

2012		2013		2014	
Sept. 13	05:15	Aug. 13	21:32	Aug. 03	16:59
Sept. 16	09:56	Aug. 17	02:19	Aug. 04	15:50
Sept. 17	23:19	Aug. 19	08:25	Aug. 07	12:09
		Aug. 20	07:12	Aug. 08	11:00

Observational dates and times for the eclipses to occur over MSL landing ellipse applying the temporal chronogram approach in 2012, 2013 and 2014, when some point of the 25x20 landing ellipse border is within the shadow ellipse.

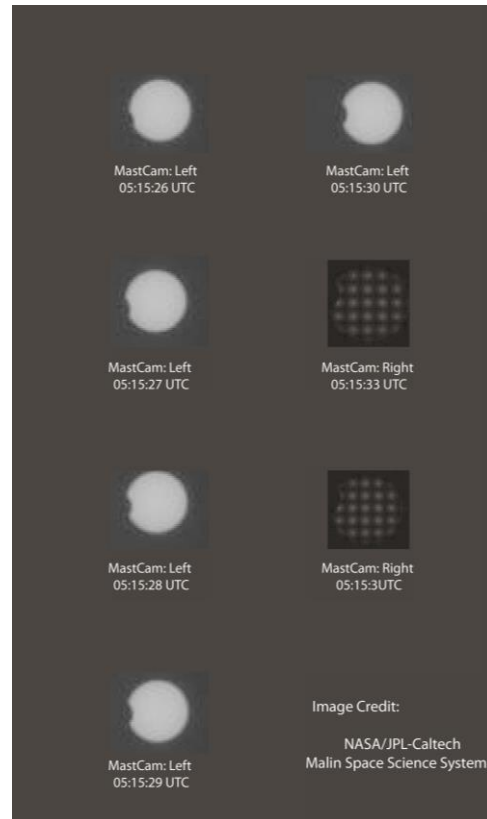
# ECLIPSES OBSERVADOS

Eclipses del 13 y 17 Sept. 2012 han sido detectados por *Curiosity- MSL*

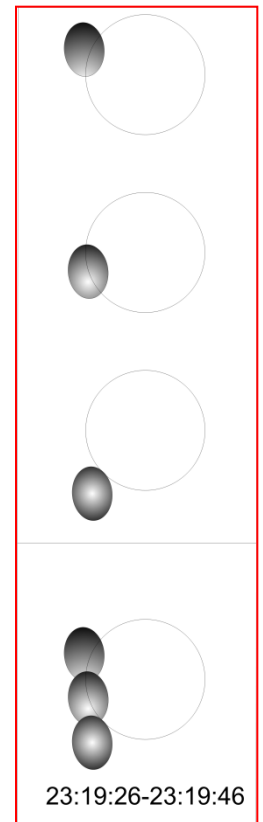


Sept. 13, 2012 solar eclipse simulated views from:

- $\varphi = 4.59^\circ \text{ S}$
- $\lambda = 137.44^\circ \text{ E}$



Raw Images of the Sept. 13, 2012 solar eclipse (credit:NASA/JPL/Caltech/Malin Space Science Systems ).

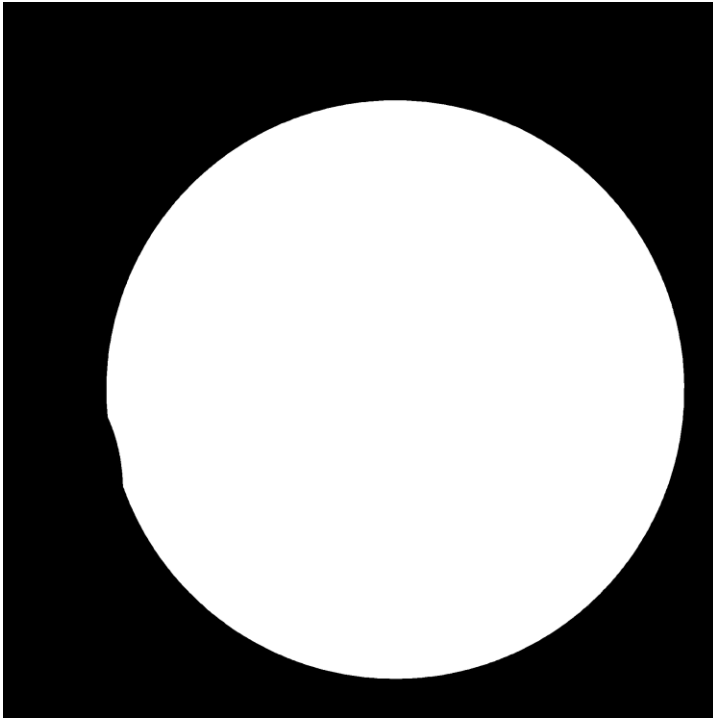


Sept. 17, 2012 solar eclipse simulated views from:

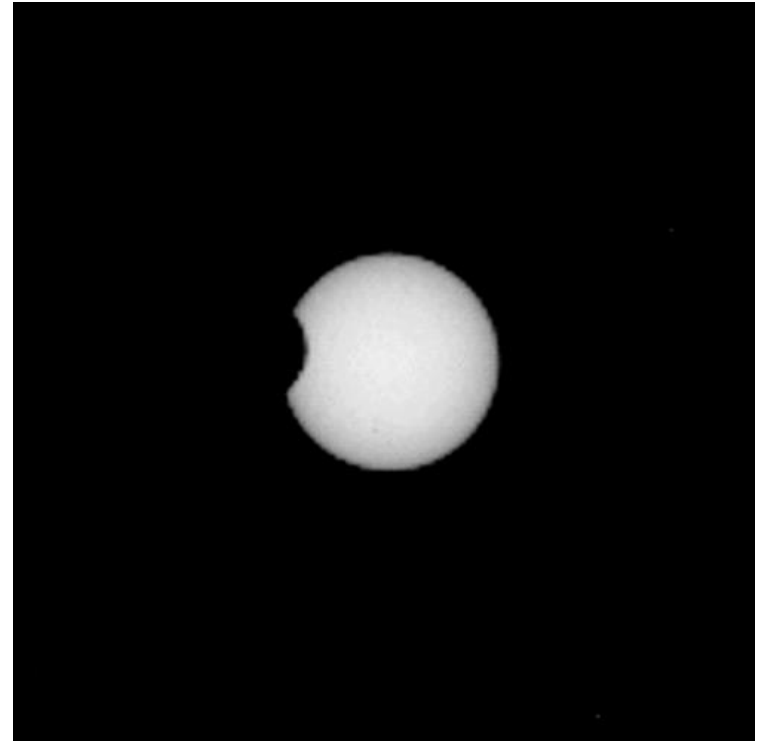
- $\varphi = 4.59^\circ \text{ S}$
- $\lambda = 137.44^\circ \text{ E}$

## Sept. 13, 2012 eclipse solar

Las predicciones para los instantes de contacto inicial y final concuerdan con la precisión de las observaciones al nivel de 1 s.



Créditos :Equipo de Estudios Geodésicos de Marte (Astronomía y Geodesia, UCM), composición de imágenes simuladas para el eclipse del día 13 de septiembre de 2012 siguiendo el modelo descrito en Barderas, Romero et al. (\*).



Créditos :NASA/JPL-Caltech/MSSS, eclipse solar fotografiado el 13 de septiembre por la MSL.

(\* ) **G. Barderas, P. Romero L. Vazquez, J.L. Vazquez-Poletti, and I.M. Llorente. 2012.** Opportunities to observe solar eclipses by Phobos with the Mars Science Laboratory. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Vol 426,3195-3200. November 2012

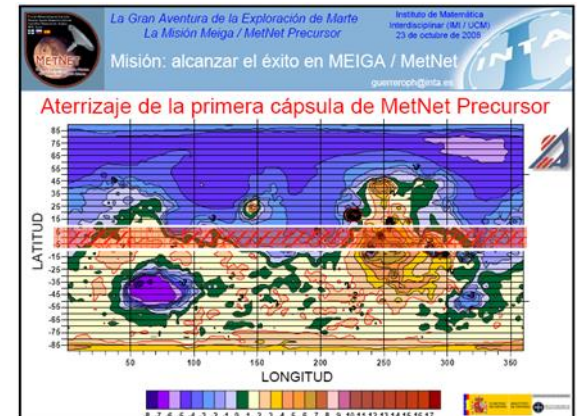
# ESTRATEGIA PARA OBSERVAR TRANSITOS DE FOBOS en la misión MMPM

Table 2: Dates for observing eclipses in the band of latitude  $\delta\varphi = \pm 5^\circ$ .

Year	Number of days	Starting date	Ending date	Cyclogram Start (UTC)
2011	26	07/Sept.	02/Oct.	04:19:39
2012	24	10/Sept.	04/Oct.	07:30:45
2013	29	23/July	21/Aug.	04:47:44
2014	23	02/Aug.	24/Aug.	01:48:44
2015	32	02/Jun.	03/July	03:46:36
2016	23	25/Jun.	17/July	01:41:46

## DAYTIME during 1h with offsets of 7:657 h

Romero, P., Barderas, G., Vazquez-Poletti, J., Llorente, I., 2011. Spatial chronogram to detect Phobos eclipses on Mars with the MetNet Precursor Lander. Planetary and Space Science 59, 1542–1550 2011, Planetary and Space Science, 59, 1542.



# Análisis de datos de Viking del FMI

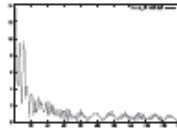


Figure 4.23: Tomography analysis for Viking 2 (sols 174-183).

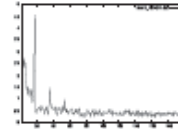


Figure 4.24: Tomography analysis for Viking 2 (sols 193-211).

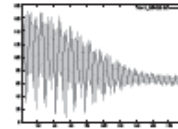


Figure 4.25: Tomography analysis for Viking 2 (sols 208-220).

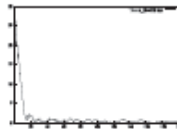


Figure 4.26: Tomography analysis for Viking 2 (sols 326-332).

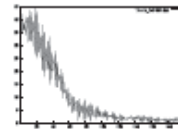


Figure 4.27: Tomography analysis for Viking 2 (sols 348-367).

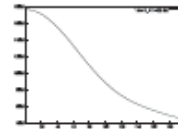


Figure 4.28: Tomography analysis for Viking 2 (sols 411-422).

applying a cubic spline interpolation to make the data sequence evenly spaced. Tomographic analysis for Viking 2 temperature data are shown in Figures 4.23 to 4.31. Since Phobos transits duration is commonly much lower than the temperature sampling and the signal noise appears to be greater than the expected temperature drop, a majority of the analysis were meaningless for eclipse detection. However, some of them (for instance, Figures 4.23 and 4.24) show interesting frequency peaks that may be due to an atmospheric phenomena of interest, and could be discussed in future works.

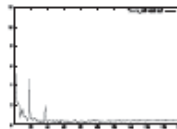


Figure 4.29: Tomography analysis for Viking 2 (sols 988-1006).

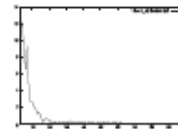


Figure 4.30: Tomography analysis for Viking 2 (sols 1010-1016).

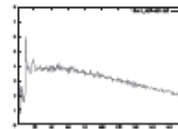


Figure 4.31: Tomography analysis for Viking 2 (sols 1024-1034).

**Harri A., Schmidt W., Romero P., Vazquez L., Barderas G., Kempainen O., Aguirre C., Vazquez-Poletti J., Llorente I., Haukka H., Paton M., 2012. Phobos eclipse detection on Mars: theory and practice. In Reports 2012:2, Finnish Meteorological Institute.**

# Aplicaciones

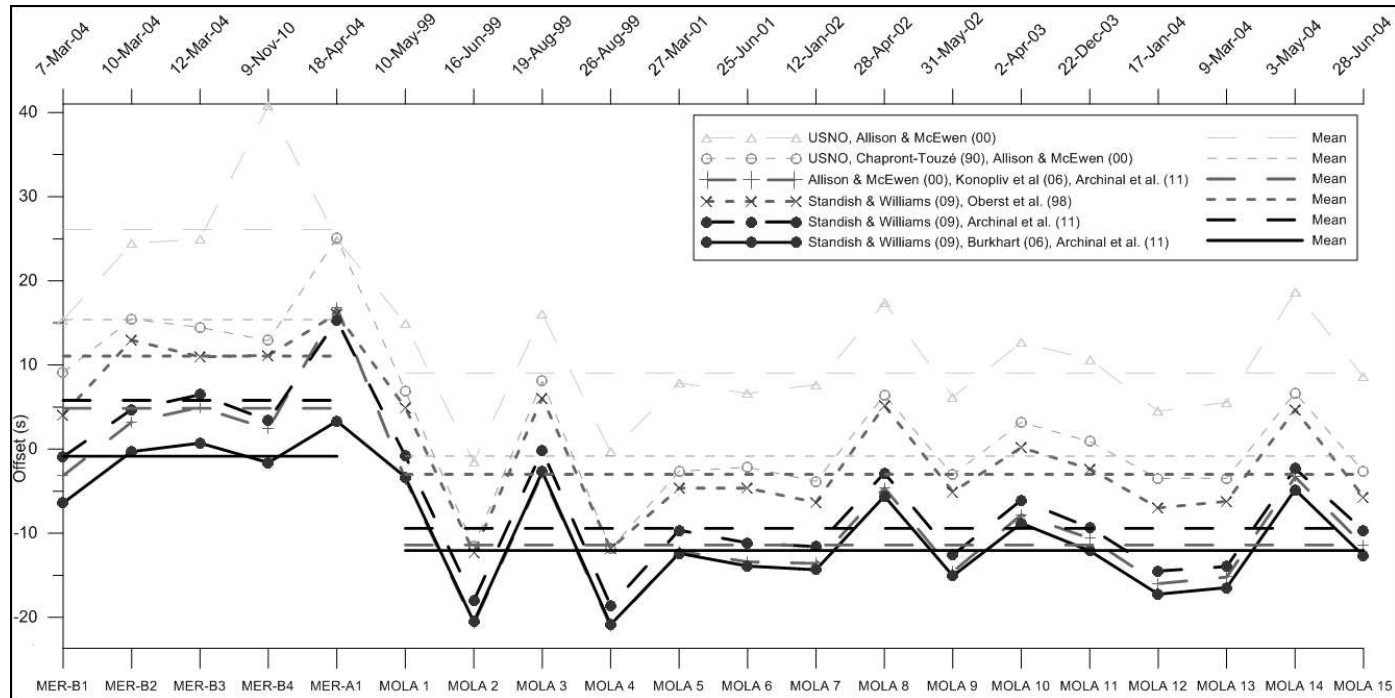
1. Validación de los modelos orbitales y parámetros que conectan los Sistemas de Referencia involucrados

**2. Barderas, G., Romero, P., 2012.** Observations of Phobos shadow: Analysis of parameters connecting Earth-Mars reference frames. Planetary and Space Science, 10.1016/j.pss.2012.06.008.

2. Método de determinación de coordenadas a partir de los datos de observación de eclipses

**Barderas, G., Romero, P., 2012.** Inverse Problem of Determining Mars Landers Coordinates Using Phobos Eclipse Observations. Planetary and Space Science, (aceptado)

# VERIFICACION DE LOS PARAMETROS UTILIZADOS



- **MOLA: Oberst et al. (1998) and Standish and Williams (2009), mean offset less than 3s;**
- **MOLA: Chapront-Touzé (1990), Standish et al. (1992) and Allison and McEwen (2000), less than 1 s;**
- **MERs: Burkhart (2006), Standish and Williams (2009) and Archinal et al. (2011), nearly null mean offset.**



# Determinación de coordenadas a partir de los datos de observación de eclipses

El problema de determinar la latitud y la longitud de un observador mediante los datos temporales de observación de eclipses se corresponde a la inversión de:

$$\mathbf{M}(\varphi, \lambda, \mathbf{c}(t_i), \mathbf{d}) = (t_i, \Delta t_i)$$

Donde  $\mathbf{c}(t_i)$  representan las efemérides del Sol y Fobos y  $\mathbf{d}$  sus modelos de tamaño y forma.  $t_i$  es el instante central del tránsito y  $\Delta t_i$  la duración, para los eclipses  $i = 1, \dots, n$ .

Se ha resuelto el problema no lineal de mínimos cuadrados sin restricciones asociado:

$$\min f(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [v_i(x)]^2 = \frac{1}{2} \|v_i(x)\|_2^2. \text{ con } v_i \text{ residuales.}$$

La búsqueda del mínimo se realiza mediante un proceso iterativo basado en el **método de Levenberg-Marquardt**:

$$(J^T(x_k)J(x_k) + \mu I)(x_{k+1} - x_k) = J^T(x_k)v(x_k)$$

donde  $J$  es la matriz jacobiana y  $\mu$  el factor de amortiguamiento.

La convergencia del se acelera mediante un método de relajación por bloques.

$$\omega_j^{k+1} = \arg \min_{\omega_j \in \Omega_j} f \left( \omega_1^{k+1}, \omega_2^{k+1}, \dots, \omega_j, \dots, \omega_p^{k+1} \right)$$

# RESULTADOS NUMÉRICOS

Los resultados numéricos muestran como después de 4 días de observaciones, con un minuto de observaciones cada día para una incertidumbre en elipse de aterrizaje de 25x20 kilómetros, la posición de un módulo marciano puede limitarse a una elipse de **40x60 metros** para incertidumbres en la observación de eclipses de **1 segundo**. Si una precisión de **0.1 segundos** fuera posible, el posicionamiento podría restringirse a **20x15 metros**.

*Numerical test to study the sensitivity of the observed contact times precision to the coordinate determination*

Cyclic search Iterations	A prior error time 1 s				A prior error time 0.1 s			
	$\varphi_i$ (deg)	$\varphi_i - \varphi_r$ (km)	$\lambda_i$ (deg)	$\lambda_i - \lambda_r$ (km)	$\varphi_i$ (deg)	$\varphi_i - \varphi_r$ (km)	$\lambda_i$ (deg)	$\lambda_i - \lambda_r$ (km)
$\varphi_0, \lambda_0$	-4.6	10.324	137.5	13.261	-4.6	10.324	137.5	13.261
$\varphi_0, \lambda_1$	-4.6	10.324	137.28272	0.4238	-4.6	10.324	137.86528	0.6486
$\varphi_1, \lambda_1$	-4.40501	1.196	137.28272	0.4238	-4.40714	1.0698	137.28653	0.6486
$\varphi_1, \lambda_2$	-4.40501	1.196	137.27657	0.0601	-4.40714	1.0698	137.27460	0.0559
$\varphi_2, \lambda_2$	-4.42595	0.041	137.27657	0.0601	-4.42714	0.1119	137.27460	0.0559
$\varphi_2, \lambda_3$					-4.42714	0.1119	137.27531	0.0139
$\varphi_3, \lambda_3$					-4.42558	0.0193	137.27531	0.0139

$\varphi_i$  and  $\lambda_i$  are the latitude and longitude in degrees, respectively, at the  $i$  iteration .  $\varphi_i - \varphi_r$  and  $\lambda_i - \lambda_r$  are their differences in kilometers with the coordinates to be retrieved,  $\varphi_r = 4^\circ 42' 52.5''$  S and  $\lambda_r = 137^\circ 27' 55.5''$  E.

# REFERENCIAS

## MODELIZACION DE LOS ECLIPSES DE FOBOS

- Barderas, G., Romero, P.,** 2012. Observations of Phobos shadow: Analysis of parameters connecting Earth-Mars reference frames. *Planetary and Space Science*, 10.1016/j.pss.2012.06.008.
- Barderas G., Romero P. and Vazquez L,** 2012. Phobos Eclipse Observation Opportunities with the Mars Science Laboratory, EPSC Abstracts, Vol. 7 EPSC2012-326. European Planetary Science Congress 2012.
- Harri A., Schmidt W., Romero P., Vazquez L., Barderas G., Kempainen O., Aguirre C., Vazquez-Poletti J., Llorente I., Haukka H., Paton M.,** 2012. Phobos eclipse detection on Mars: theory and practice. In *Reports 2012:2*, Finnish Meteorological Institute.
- Romero, P., Barderas, G., Vazquez-Poletti, J., Llorente, I.,** 2011. Spatial chronogram to detect Phobos eclipses on Mars with the MetNet Precursor Lander. *Planetary and Space Science* 59, 1542–1550.
- Vazquez-Poletti, J.L., Barderas, G., Llorente, I.M., Romero, P.,** 2010. A model for efficient onboard actualization of an instrumental cyclogram for the Mars Metnet mission on a public cloud infrastructure. In: *PARA 2010: State of the Art in Scientific and Parallel Computing*. Lecture Notes in Computer Science. Elsevier, 2010.
- G. Barderas, P. Romero L. Vazquez, J.L. Vazquez-Poletti, and I.M. Llorente. 2012.** Phobos Eclipse Observation Opportunities with the Mars Science Laboratory. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*496, 3195-3200 (2012).

## APLICACIONES DE LOS ECLIPSES DE FOBOS

- Bills, B., Neumann, G.A., Smith, D., Zuber, M.,** 2005. Improved estimate of tidal dissipation within Mars from MOLA observations of the shadow of Phobos. *Journal of Geophysical Research* 110 (E07004).
- Murray, B., Naraeva, M., Selivanov, A., Betts, B., Svitek, T., Kharlamov, V., Romanov, A., Santee, M., Gektin, X., Fomin, D., Paice, D., Panfilov, A., Crisp, D., Head, J., Murchd, S., Martin, T.,** 1991. Preliminary assessment of Termoskan observations of Mars. *Planet Space Science* 39, 237–265.
- Christou, A.A.,** 2002. Lander position determination on Mars using Phobos transits: application to Beagle 2. *Planetary and Space Science* 50, 781–788.
- Haberle, R.M.,** 1991. Atmospheric effects on the remote determination of thermal inertia on Mars. *Icarus* 90, 187–204.
- Willner, K., Oberst, J., Wählisch, M., Matz, K.D., Roatsch, T.,** 2007. Observations of Phobos and its shadow: implications for the Phobos orbit. In: *SPP 1115 Colloquium 2007 (4 Colloquium)*.

# Consideraciones Finales

- Entorno científico-tecnológico de MetNet es consecuencia de Curiosity-MSL. Participar en misiones futuras
- *“Tenemos proyectos porque hay instrumentos y misiones”.*
- *“Una misión puede fallar pero NO el haber creado un entorno de investigación”*
- **Entorno espacial es estratégico** para la Universidad: Interdisciplinar y transdisciplinar, globalizador, internacional, conexión natural con la industria.
  - <http://es.rbth.com/blogs/limites-científicos>
- **Consolidación del entorno de estudios marcianos.** Instituto de Matemática Interdisciplinar **IMI-UCM.**

## **6. Referencia de Futuro**

# ¿2030: LLEGADA DEL HOMBRE A MARTE?

**Razones Históricas: *Grandes saltos en la exploración cada 60 años***

- 1492: America
- 1550: Las Islas del Pacifico
- 1610: Japón
- 1670: Australia
- 1730: Siberia
- 1790: Himalaya
- 1850: África
- 1910: Los Polos
- 1969: La Luna

**2030: ¿Marte?**

**“Towards Mars” Raud Publishing (2006)**

# ¿2030: LLEGADA DEL HOMBRE A MARTE?

**Razones Históricas: *Grandes saltos en la exploración cada 60 años***

- Primer vuelo espacial tripulado: 1961.
- 1961: Presidente J.F. Kennedy anuncia que USA hará llegar un hombre a la Luna antes de 1970.
- MARTE: Se dispone de más tiempo y de más experiencia en vuelos y estancias en el espacio. (¡incluso turistas espaciales!).



Mars, Solar System, Milky Way, 2132

Dear Mom and Dad,  
Greetings from the red planet ! I am having a wonderful time. Yesterday we had to go 2 meters underground for a couple of hours due to a « solar proton event ». Very cool !!!

The hotel was super professional about security procedures and organized a special dinner for us.

Wish you were here.

Love, Susie

P.S.: Please can you wire me some more money. I would like to perform an EVA next week, but the price is a bit higher than what I thought it would be.

Thanks.

EVA = Extra Vehicular Activity





**Muito Obrigado!**