



# ***MODELIZACION DE LA RADIACION ULTRAVIOLETA EN LA SUPERFICIE DE MARTE***



**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)**

**Departamento de Matemática Aplicada**

**Facultad de Ciencias Químicas-UCM**

**5 de Marzo 2010**

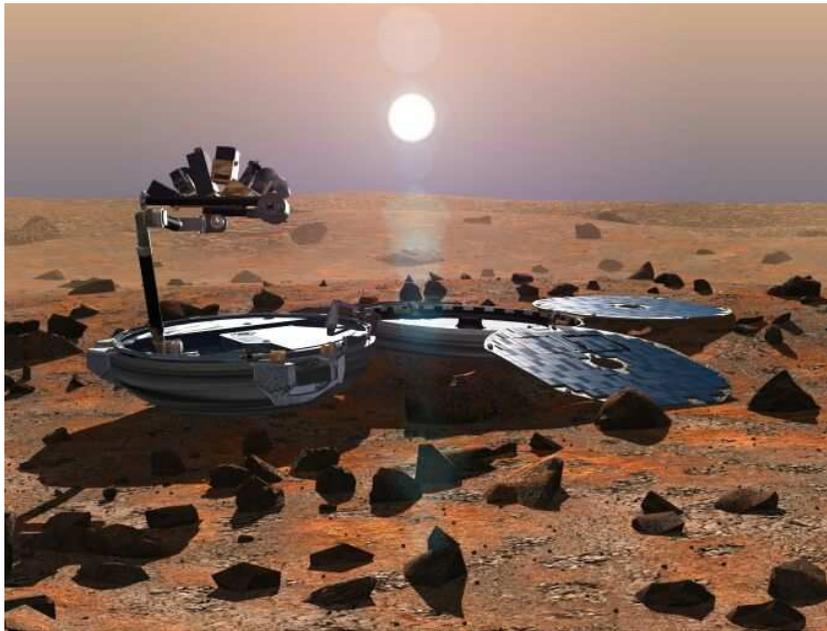
# CONTEXTO DE LA SIMULACION

## MISIONES a MARTE

- **MARS EXPRESS: *BEAGLE 2* (ESA)**
  - Coordinador del calibrado de los sensores de ultravioleta 2002-2003.
- **MARS SCIENCE LABORATORY: *REMS* (NASA)**
  - Investigador Principal 2004-2007.
- **MARS METNET PRECURSOR: *MEIGA* (Rusia + Finlandia + España)**
  - Director Científico desde 2007.

# MARS EXPRESS

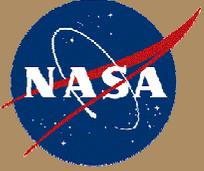
**Lanzamiento: 2 Junio 2003**



Módulo de Superficie: Beagle 2



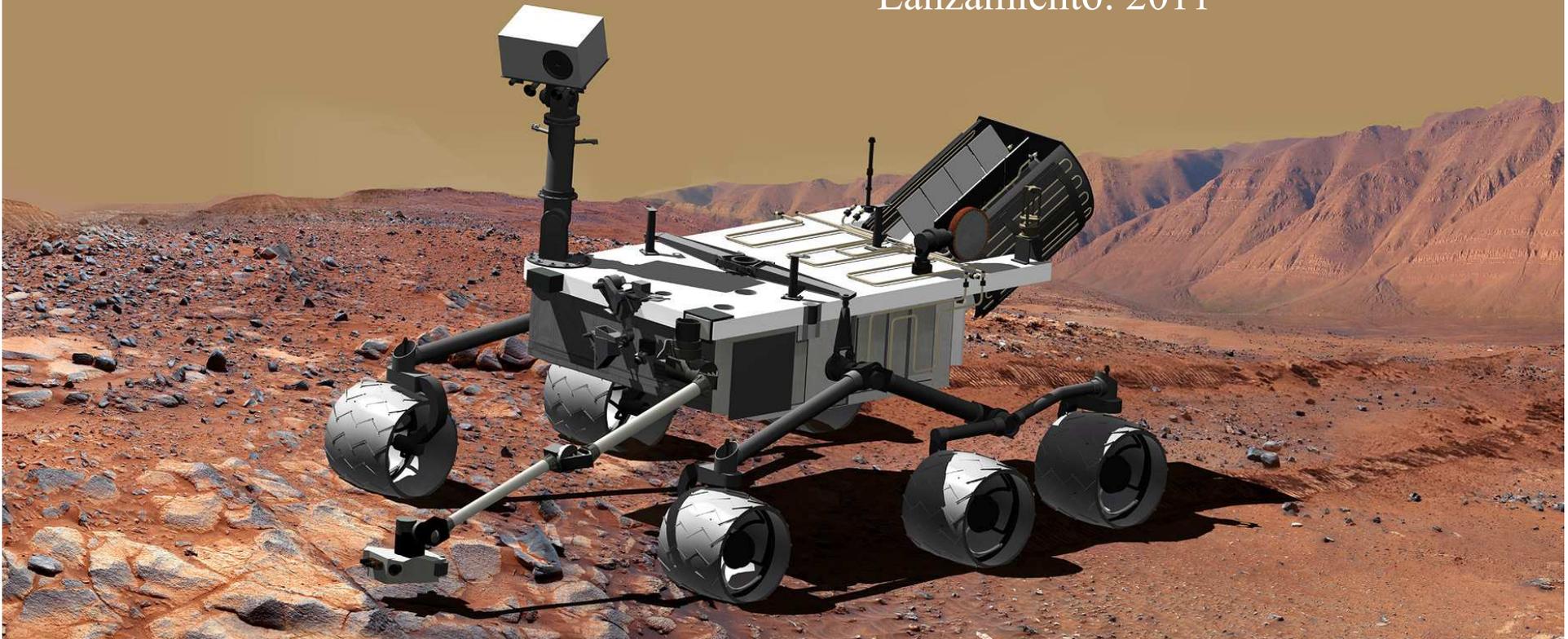
Módulo Orbital



# Mars Science Laboratory

*Estudio de la Habitabilidad Pasada y Presente de Marte*

Lanzamiento: 2011



**MEIGA** - Mars Environmental Instrumentation for Ground & Atmosphere

**MMPM** - Mars MetNet (Meteorological Network) Precursor Mission

(Lanzamiento: 2011)



**Director de la Misión**

**Héctor Guerrero Padrón (INTA)**

**Director Científico de la Misión**

**Luis Vázquez Martínez (UCM)**

**<http://metnet.fmi.fi/index.php>**



# MEIGA - Mars Environmental Instrumentation for Ground & Atmosphere

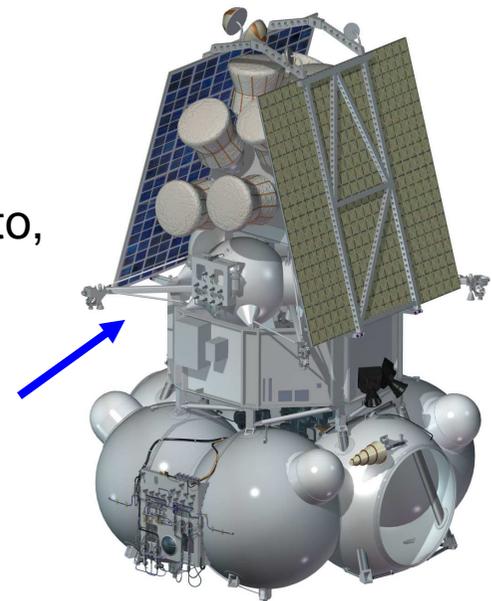
## MMPM - Mars MetNet (Meteorological Network) Precursor Mission

Convergencia de TRES elementos de investigación de Marte:

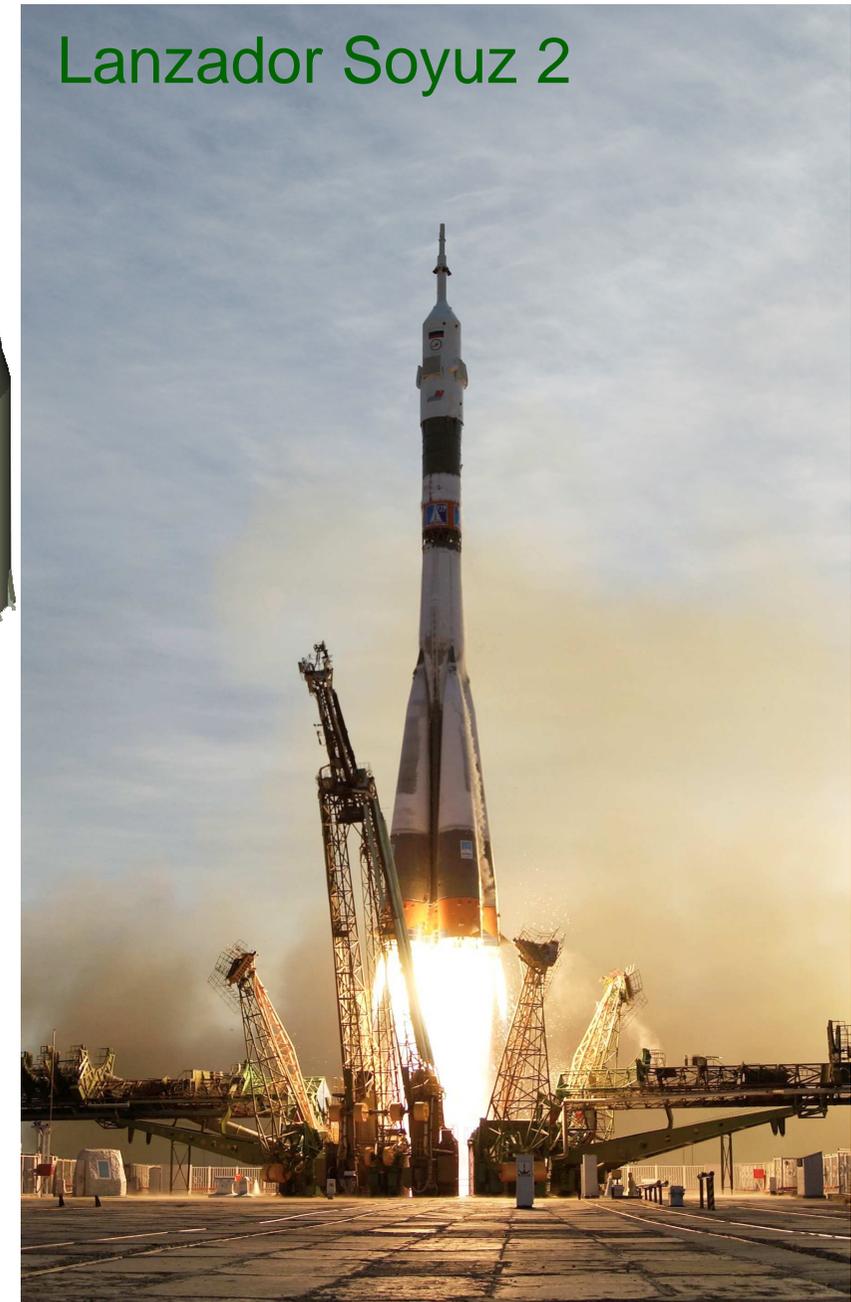
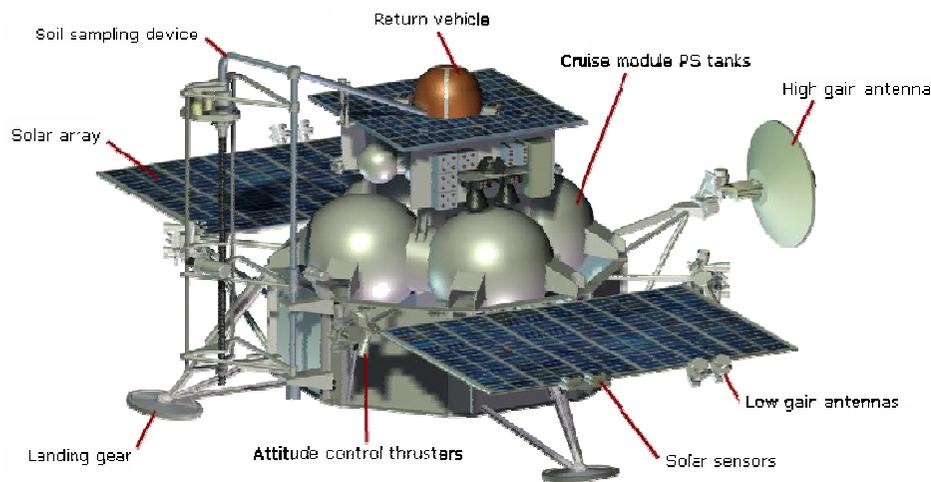
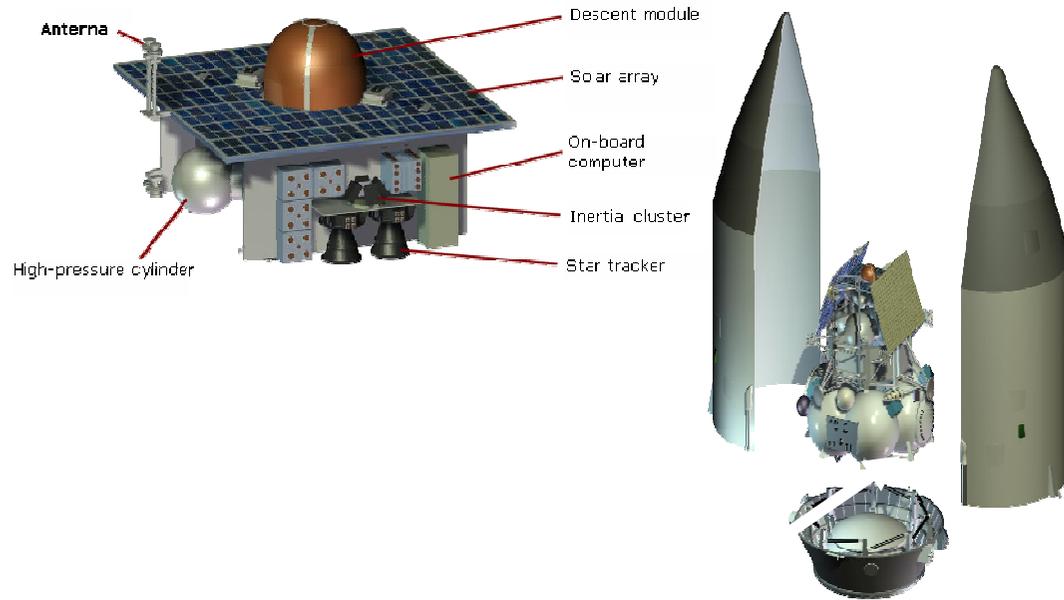


- » Primera Misión de ida y vuelta al satélite **Fobos (Rusia)**
- » Desarrollo (desde 2001) de la nueva generación de redes de observación de la atmósfera marciana (**Rusia y Finlandia**) de **Módulos de superficie frente a módulos orbitales**
- » Existencia de un entorno de Investigación marciana y de Instrumentación básica e innovadora para la exploración marciana en **España**

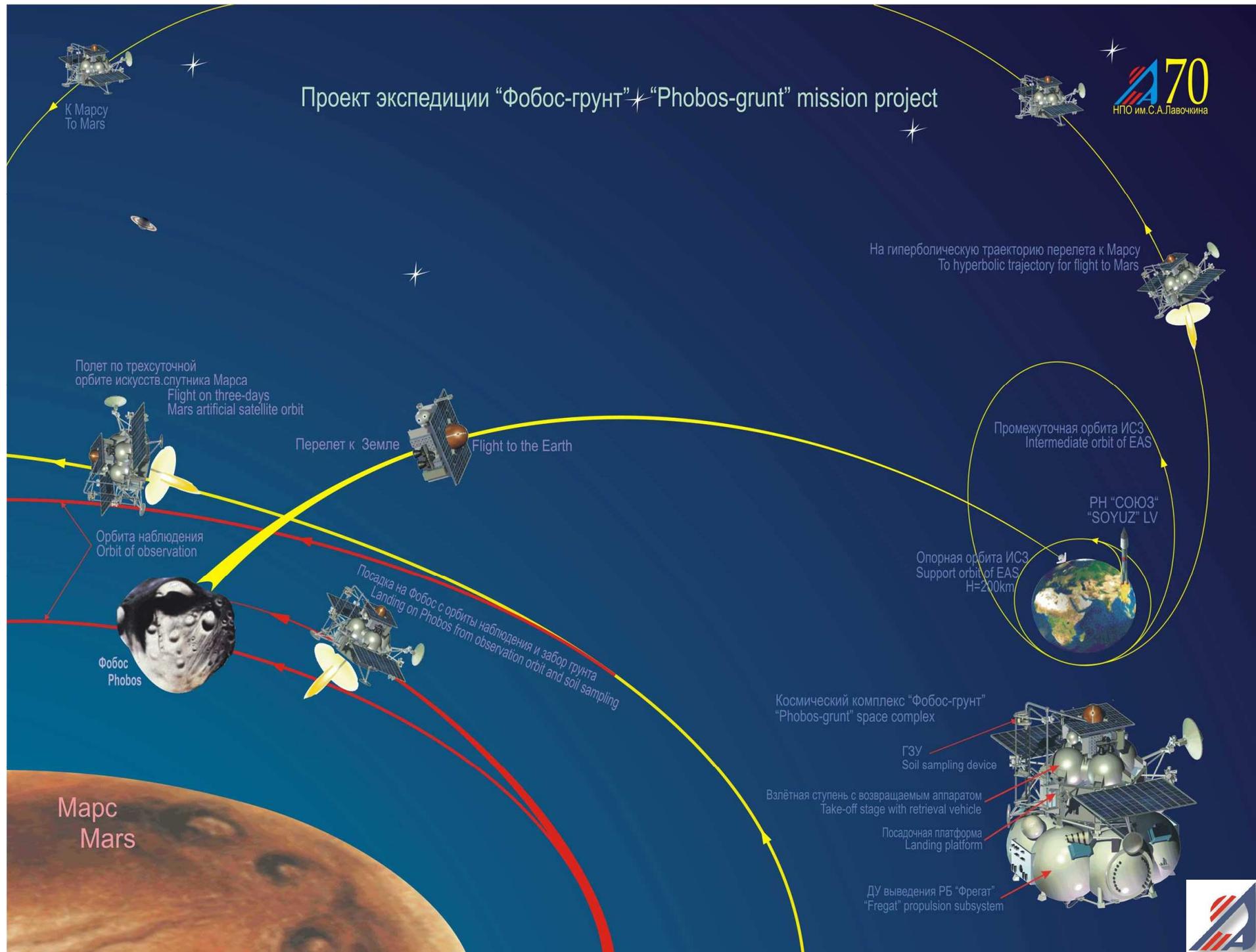
- MEIGA (primera cápsula MetNet) ~135 g de carga útil Española (~ 20%).
- **Primera Misión a Marte con Bandera Española** 
- **Previsión a corto plazo: segunda cápsula MetNet**, con posibilidad de ampliar la carga útil española (sensor de viento, instrumentos avanzados de IR...)
- **Previsión a medio plazo: enviar una flota de 16 capsulas** similares a la de MetNet Precursor y que incorporarán más instrumentación española



# La Phobos Sample Return



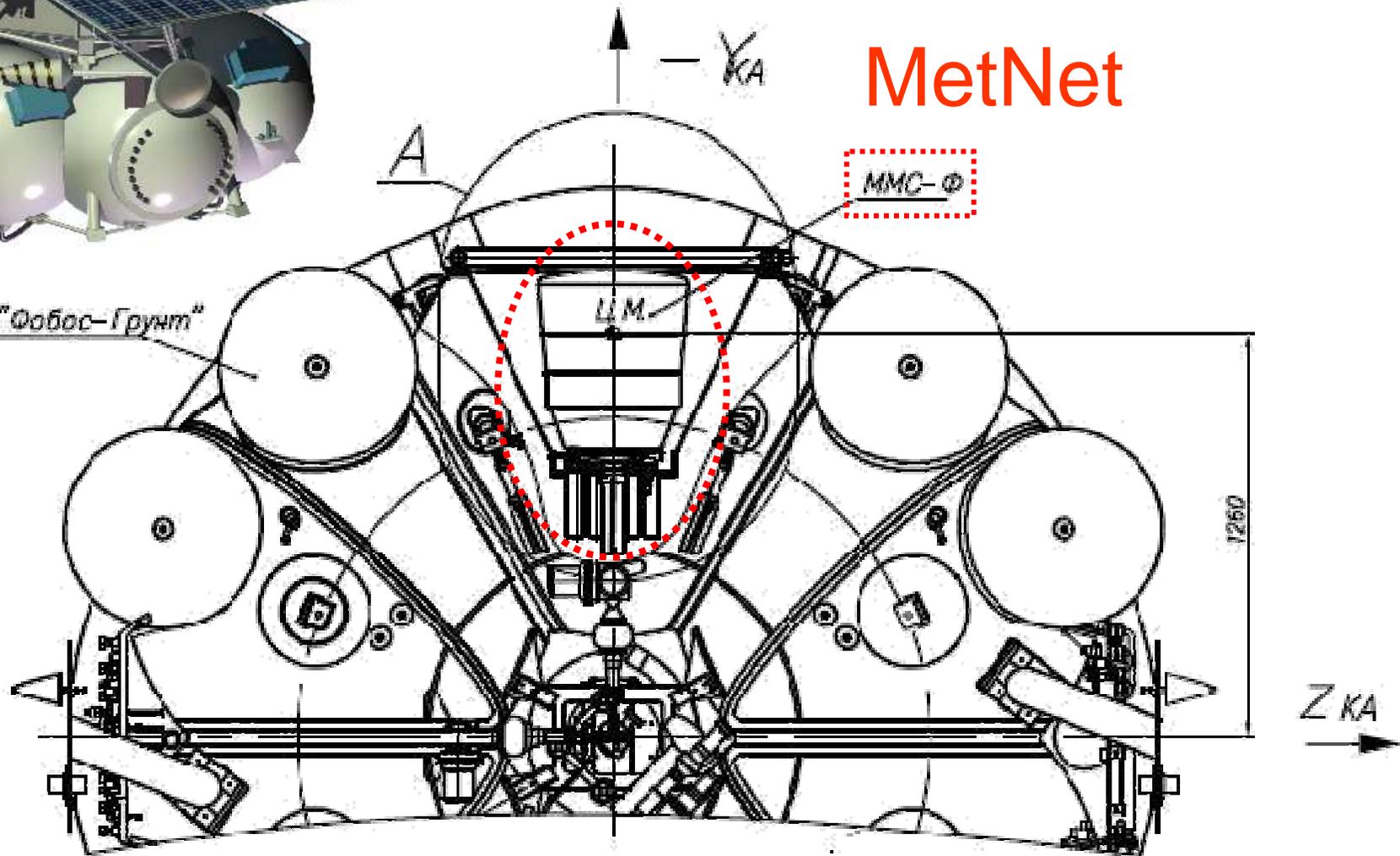
# Проект экспедиции "Фобос-грунт" "Phobos-grunt" mission project



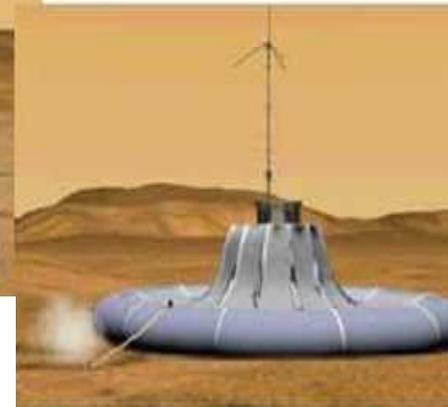
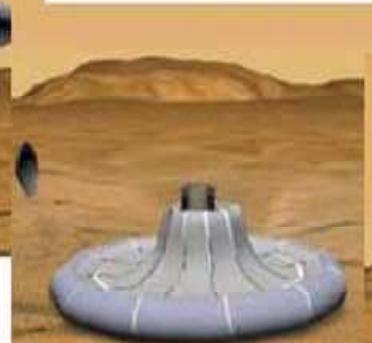
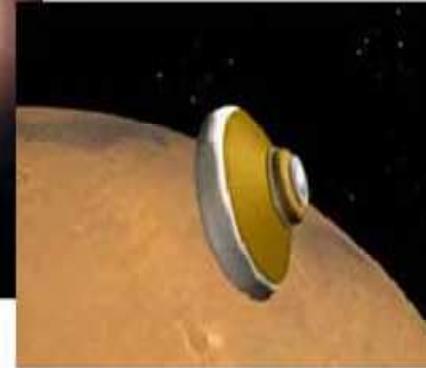
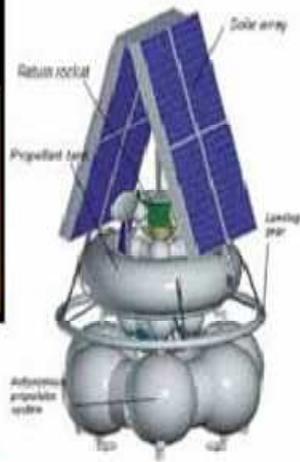
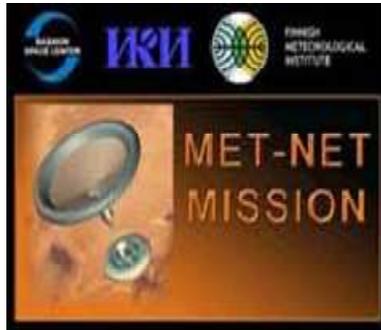
# Met-Net dentro de la Phobos Grunt



МДУ-СБ КА "Фобос-Грунт"

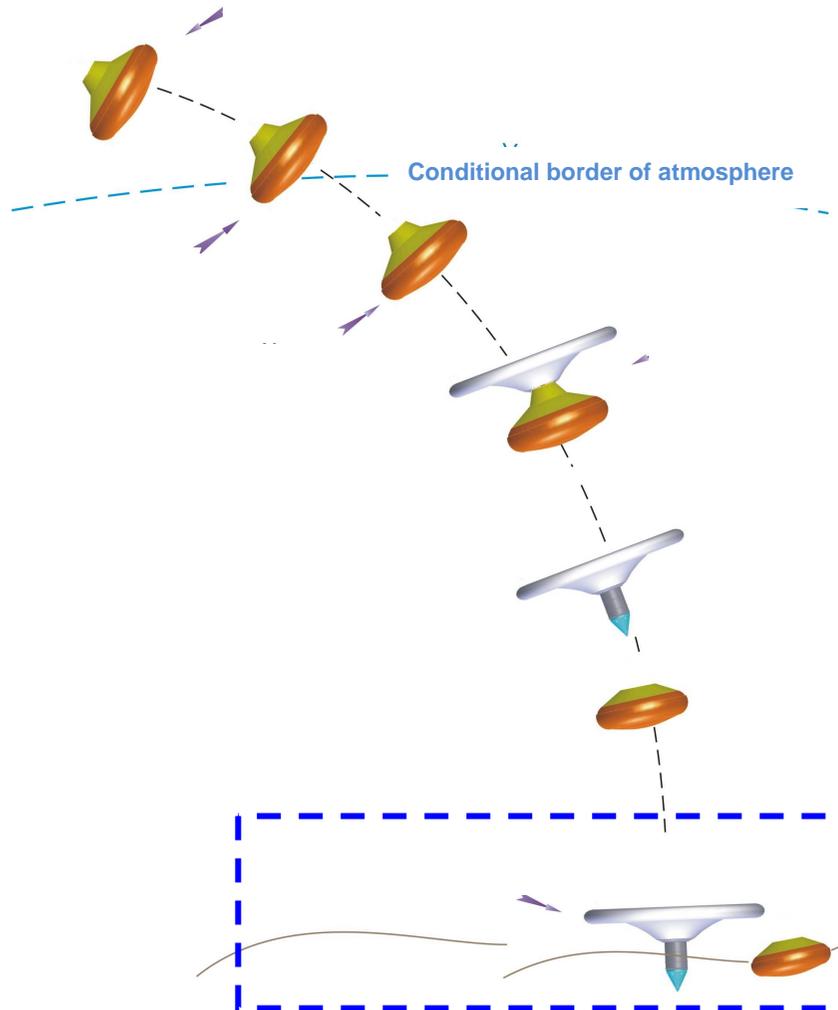


## MetNet



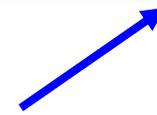
Secuencia de imágenes de la animación de la misión MetNet Precursor (impacto 1500 g / 50 ms)

# Entrada de Met-Net en la atmósfera de Marte

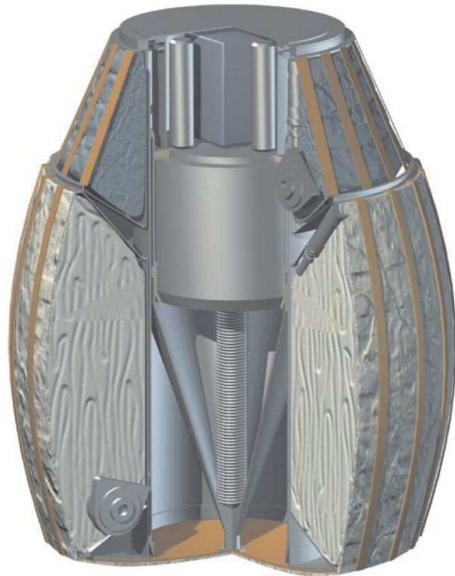


	Flight phases	Time from the moment of reentry $T_0$	Phase description
1	MIBD inflation	$T_0 - 30$ min.	
2	Oriented reentry in Mars atmosphere	$T_0 = 0$	H = 120 km V <sub>abs</sub> ≈ 4.83 km/sec θ <sub>abs</sub> = -14±3 degr.
3	Maximum g-load	$T_0 + 67s \dots 118s$	H = 30...39 km θ = -7.6...-15.7 degr. Q <sub>max</sub> = 2880 Pa N <sub>x,max</sub> = -14.7
4	AIBD deployment (command for deployment is defined on-board depending on change of g-load N <sub>x</sub> )	$T_0 + 170s \dots 282s$	H = 4.3...10.4 km Q <sub>max</sub> = 126 Pa M = 0.7...0.8
5	Separation of aerodynamic shield and penetrating part	$T_0 + 180s \dots 292s$	H = 3.1...9.1 km θ = -67.1...-75.7degr. Q <sub>max</sub> = 55 Pa M = 0.45...0.51
6	Landing on the surface:	level 2 km	V = 51.1...65.8 m/sec Q = 16.5...24.1 Pa
		level 0 km	V = 47.1...55.5 m/sec Q = 16.7...20.6 Pa

Velocidad de entre 47 y 56 m/s al llegar a la superficie de Marte



# MetNet: sistemas de TRANSPORTE



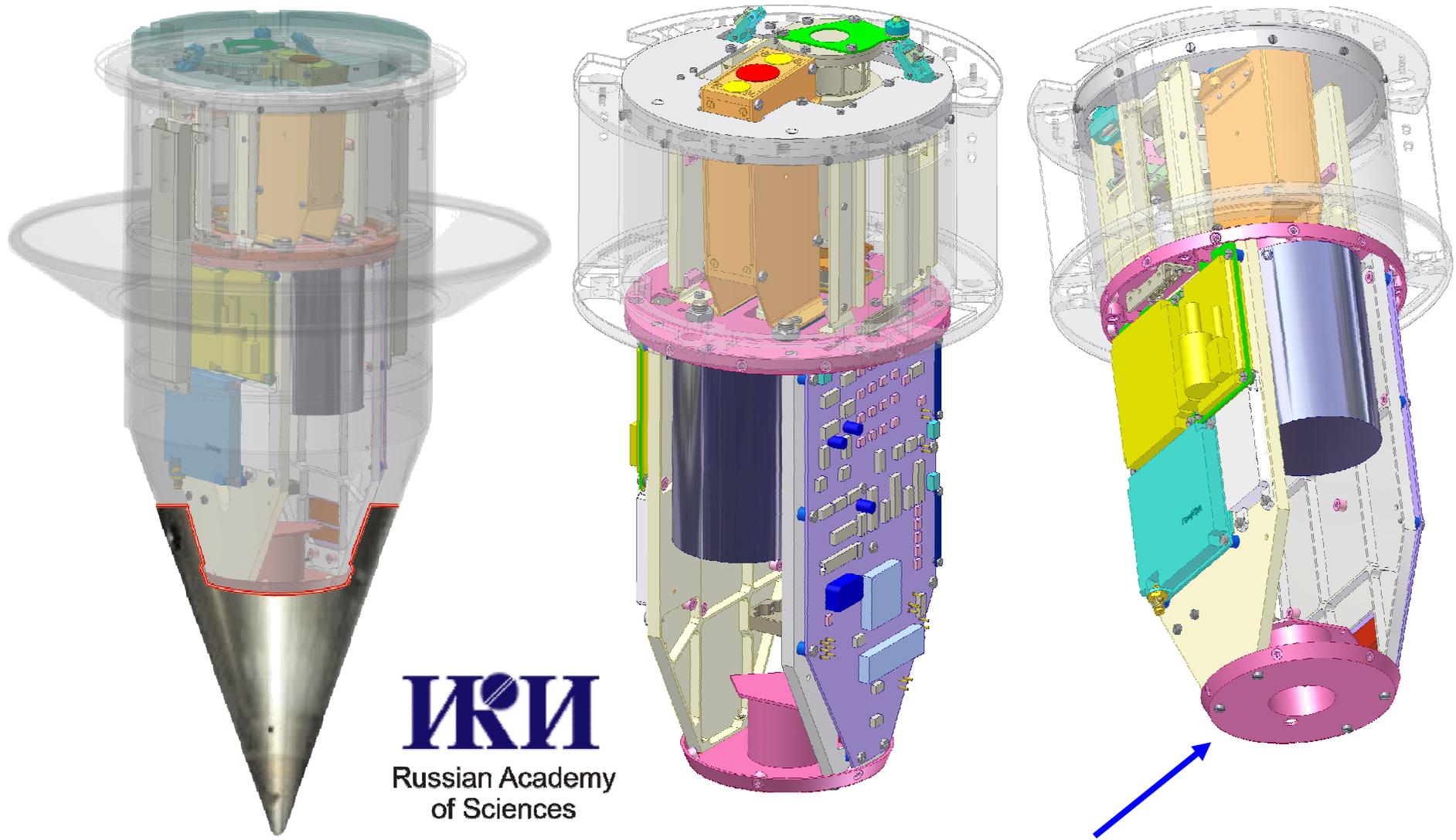
ENTRADA



DESCENSO



# MetNet: Vistas de módulo de carga útil



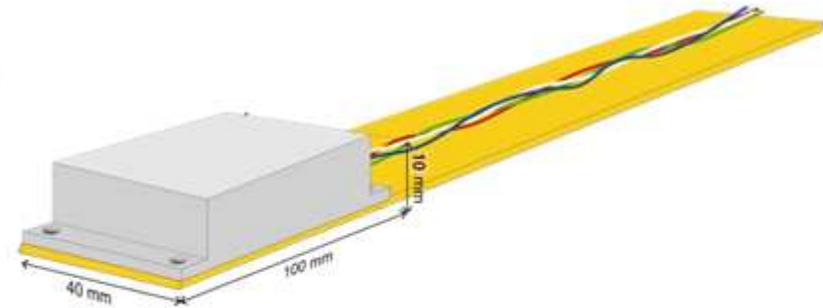
**IKM**  
Russian Academy  
of Sciences

RTG – Radioisotope Thermal Generator

# MEIGA - INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS

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

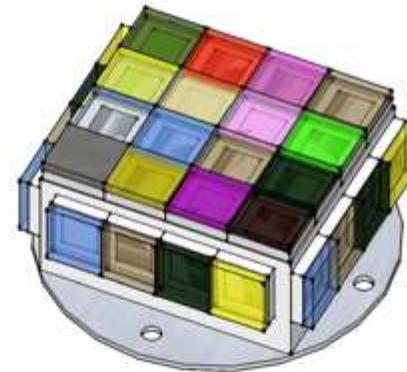
MOURA



- Sensor Espectral de Irradiancia Solar

SIS

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



- Sensor de polvo depositado

DDS



\* ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*)

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

# 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



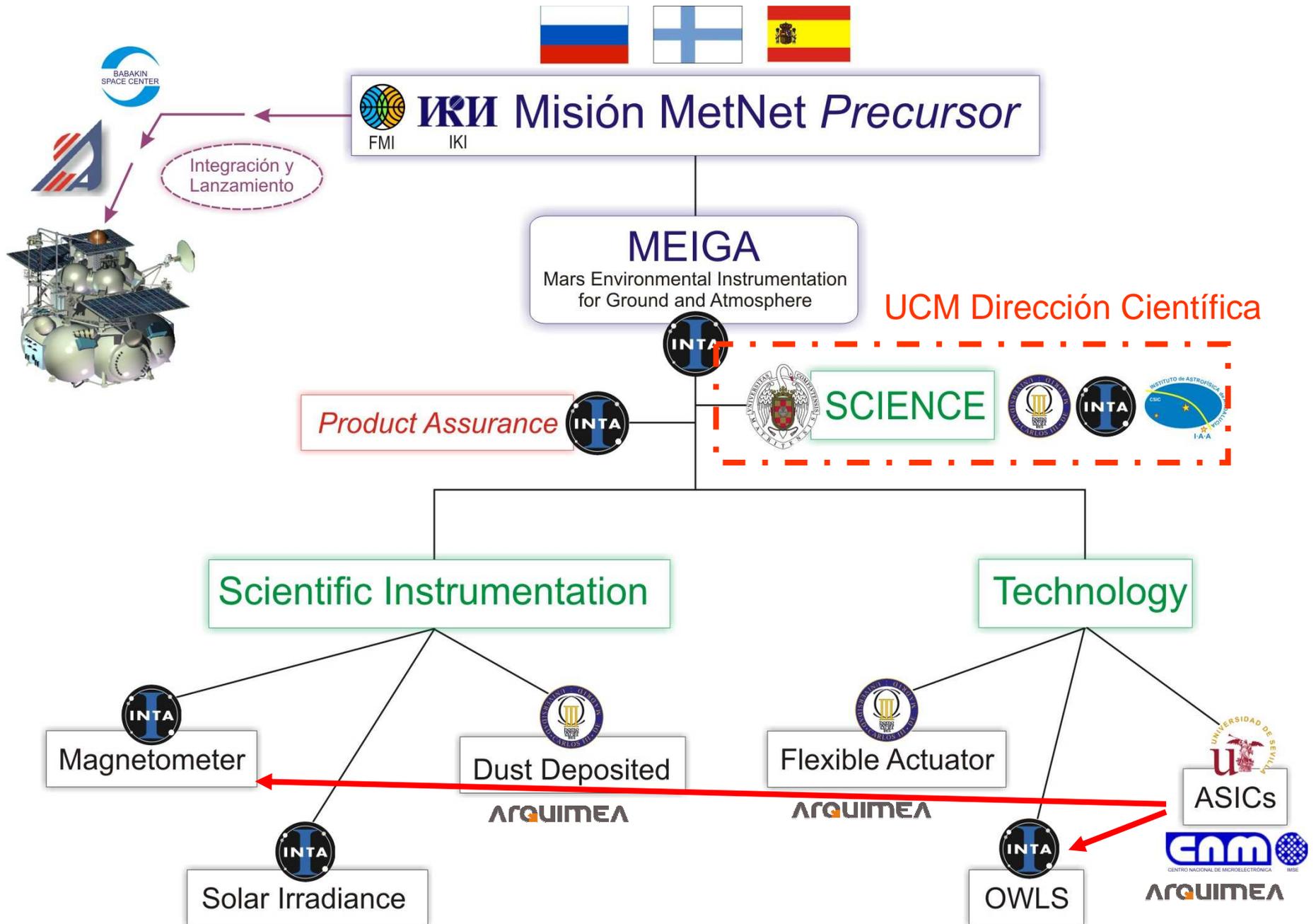
- ESPAÑA



INTA - Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial



# MMPM and MEIGA Consortium and Responsibilities



# ORGANIZACIÓN del EQUIPO CIENTIFICO de METNET PRECURSOR

- **Tres Directores Científicos:**
  - Dr. Walter Schmidt (FMI, Finlandia)
  - Dr. Vyacheslav Linkin (IKI, Rusia)
  - Prof. Luis Vázquez (UCM, España)



Correspondence:  
A-M. Harri et al.  
Space Research Unit  
Finnish Meteorological Institute  
POBox 503, FIN-00101  
Helsinki, Finland

Proposal in response to Call for proposals for the  
first planning cycle of Cosmic Vision  
2015-2025 D/SCI/DJS/SV/val/21851

## MetNet

In Situ Observational Network and  
Orbital Platform to Investigate the  
Martian Environment



- **Equipo Internacional de Científicos:** Francia, Rusia  
Alemania, Reino Unido, EE.UU., NASA y ESA (además de  
Finlandia, Rusia y España)

- **Principales Tareas:**
  - Definición Científica de los Instrumentos
  - Estudio del lugar de aterrizaje
  - Modos de tomar medidas
  - Simulaciones (Base de datos del *Viking*)
  - Análisis de los datos de la Misión.



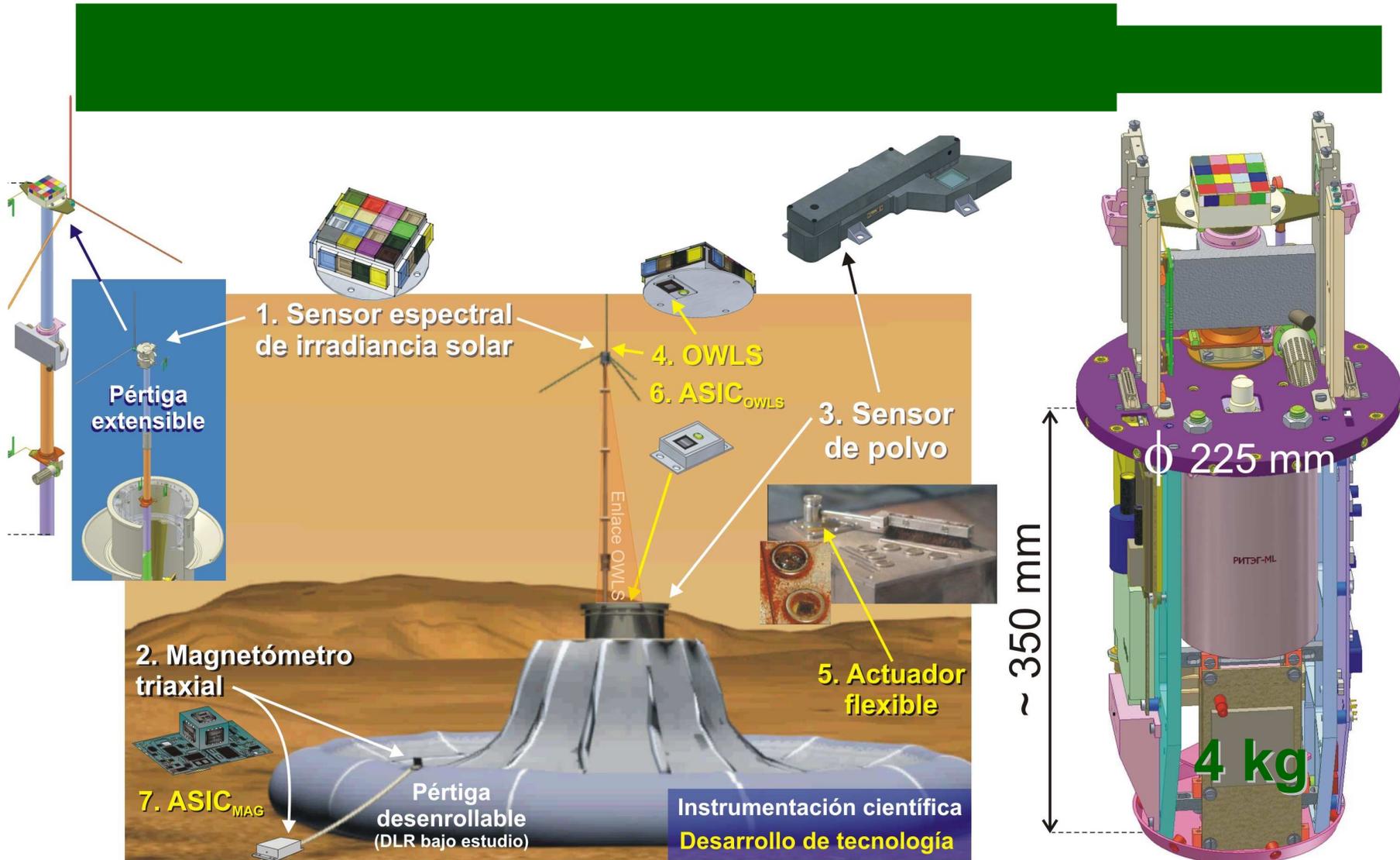
# EQUIPO CIENTIFICO ESPAÑOL de MEIGA METNET PRECURSOR



- **Capa Límite Marciana y Radiación en la Superficie de Marte.** Francisco Valero, Luis Vázquez, Lola Sabau (INTA), Salvador Jiménez, Germán Martínez y Juan José Silva.
- **Estudios Magnéticos:** Miguel Herraiz, Lola Sabau (INTA), Marina Díaz-Michelena (INTA), Luis Vázquez, Pedro Pascual, Beatriz Sánchez-Cano y María Ramírez.
- **Estudios Geodésicos:** Pilar Romero, Marta Folgueira, Gracia Rodríguez-Caderot, Gonzalo Barderas y Javier Mejuto.
- **Modelización y Estudios e Minería de Datos:** David Usero y Carlos Aguirre.
- **Materiales con Memoria de Forma y Modelización Fraccionaria:** Luis Moreno (UC3) y Luis Vázquez.
- **Colaboración con el Instituto Astrofísico de Andalucía (IAA, Granada):** Manuel López-Puertas y Miguel Ángel López-Valverde



# Distribución de la Carga útil española en la 1ª estación meteorológica MetNet Precursor 20% (135 g) de la masa CU total



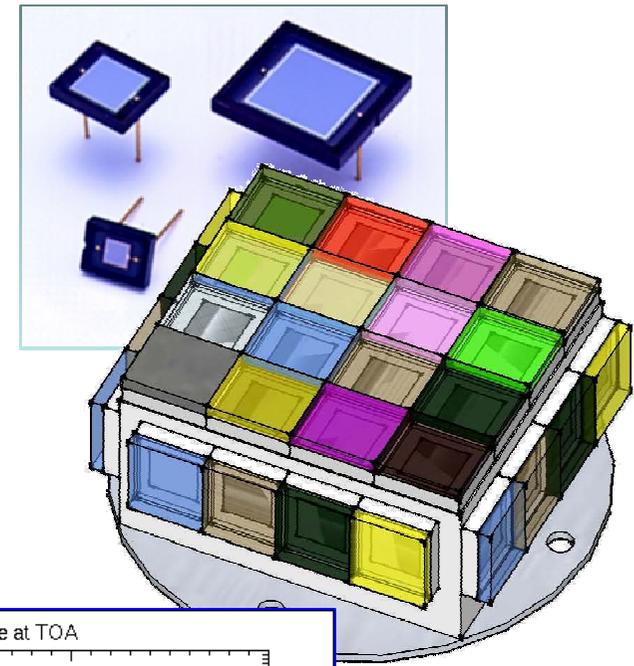


# 1 – SIS - Sensor de Irradiancia Solar

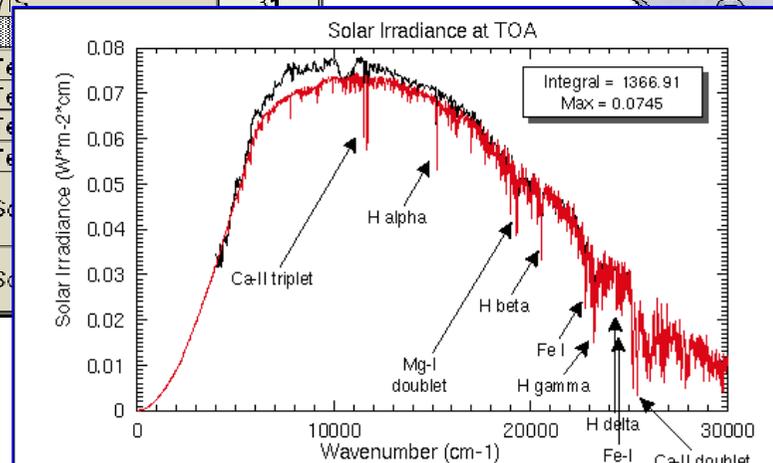
## Propuesta inicial de bandas de detección

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		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 3	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		400 - 700 nm	VIS	27	
8	280 - 315 nm	UVB				28	
9	200 - 280 nm	UVC		Side 4	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>		400 - 700 nm	VIS	31	
12	440 nm	Dust Optical Depth		Additional features	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					
17	440 / 660 nm	Dust Optical Depth	Side 1	760 - 1100 nm	Sc		
18	700 - 1100 nm	IR		760 - 1100 nm	Sc		
19	400 - 700 nm	VIS					
20							

Fotodiodos de Si



Detección de Eclipses (Fobos y Deimos)



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

# Entorno Local de Radiación de Marte

- Estudios preliminares de la radiación local en diferentes bandas que serán útiles para diseñar el sensor de irradiancia solar (190-1100 nm).
  - Intensidad de la radiación ultravioleta (UV) en la superficie de Marte
  - Medida de las asimetrías estacionales de la radiación en la superficie de Marte
  - Correlaciones de la radiación con la temperatura, presión y agua en la superficie de Marte
  - Concentraciones de  $O_3$  en la atmósfera de Marte
  - La opacidad atmosférica debida al polvo marciano



# Estudios Geodésicos Marcianos: Eclipses de Fobos y Deimos

1. **Desarrollo** de un cronograma de eclipses en la banda de latitud  $\pm 5^\circ$ , y su parametrización geométrica para determinar la posición del lugar de aterrizaje. Estudio de la precisión conseguida analizando la influencia de la forma irregular de Fobos, la precisión de las órbitas de Marte y Fobos, y de las curvas de radiación en función del tiempo.
2. **Caracterización**, usando un modelo de rotación, de los momentos de inercia del núcleo y de su tamaño a partir de las frecuencias propias que se obtengan de los datos de movimiento del polo determinados.



# Medidas del Entorno Local de UV (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.

# Medidas del Entorno Local de UV (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:***

- Las medidas del flujo de UV en la superficie proporcionarán 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:

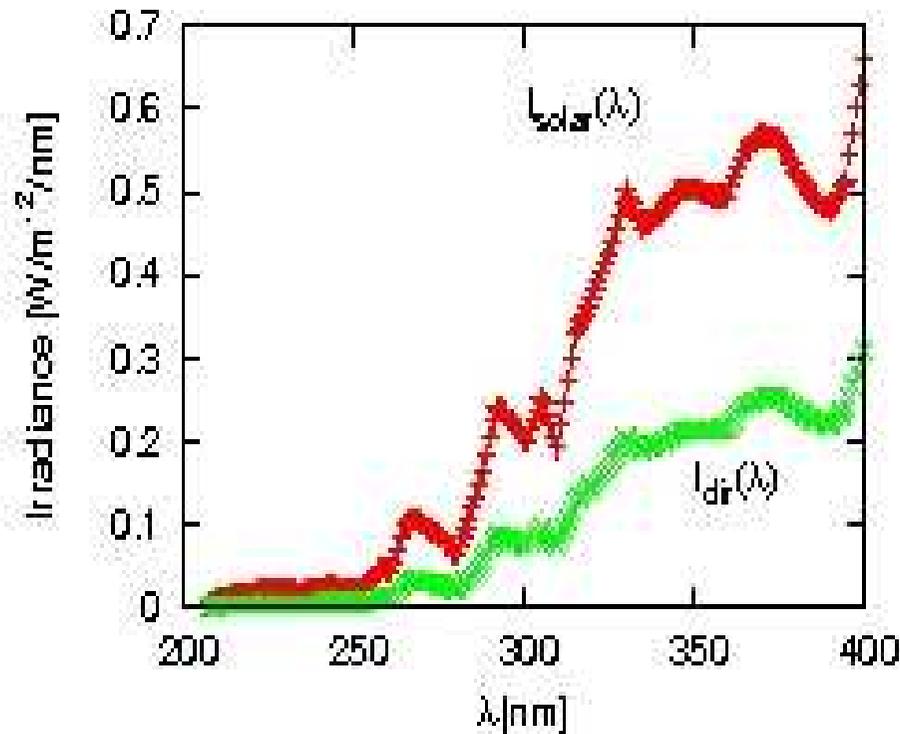
***Profundidad Optica:***  $\tau = - \text{Ln}[I(\lambda)_{\text{Dir}} / F(\lambda)]$

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



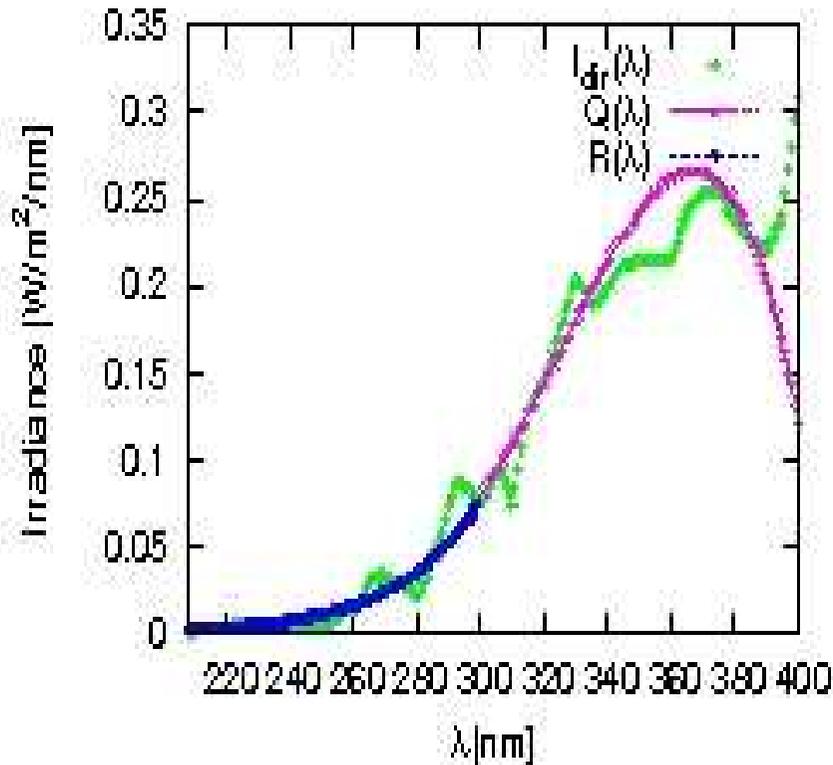
Radiación incidente en la parte alta de la atmósfera Marciana y en la superficie: en el ecuador a mediodía y distancia media

(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

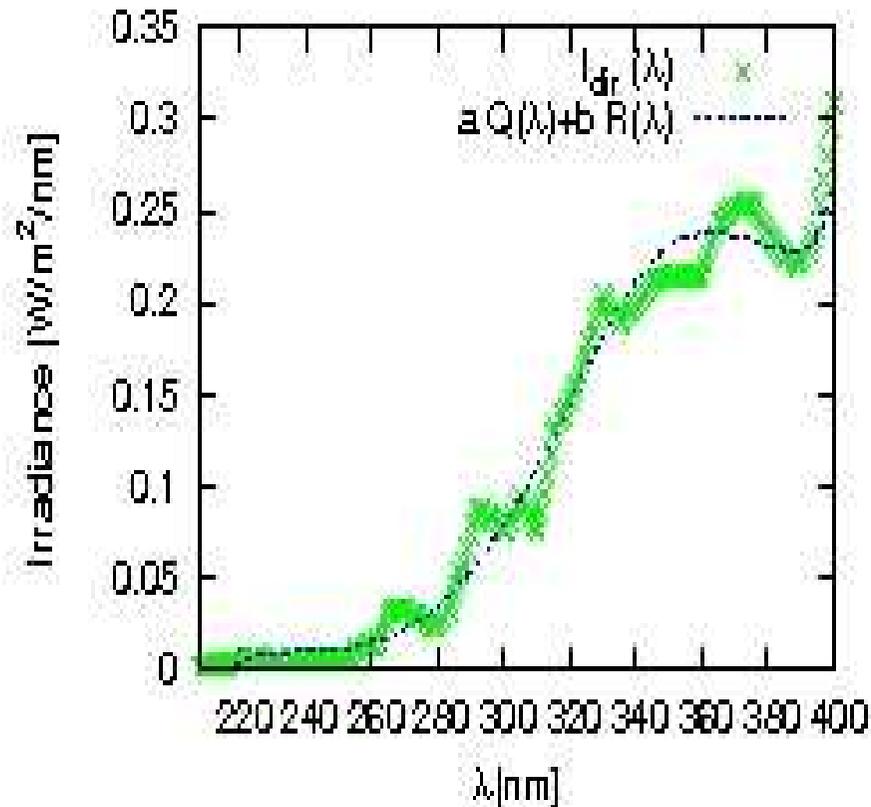
- $I(\lambda)_{\text{Dir}}$  es aproximada por  $Q(\lambda) = dP(\lambda)/d\lambda$ , siendo  $P(\lambda)$  un polinomio de orden cinco
- **Interpolación Racional:**  $I(\lambda)_{\text{Dir}}$  es aproximada por  $R(\lambda) = dT(\lambda)/d\lambda$ , siendo  $T(\lambda) = P_1(\lambda) / P_3(\lambda)$ , 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)



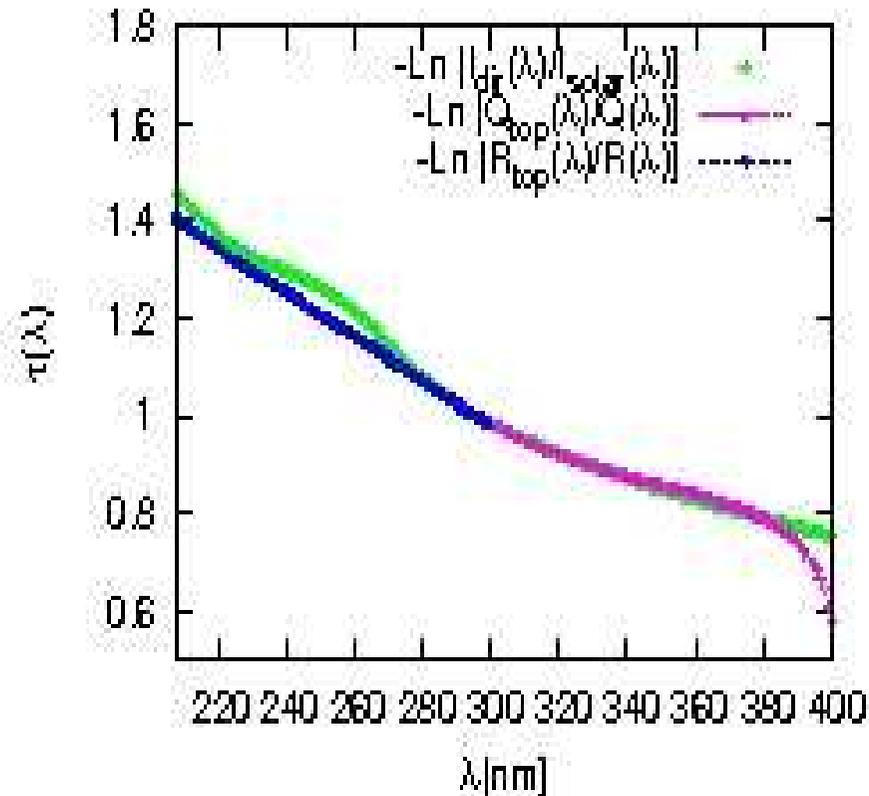
- Dos funciones de interpolación para la irradiancia directa, obtenida de las 5 integrales medidas con los fotodiodos asociados.

# Reconstrucción de la irradiancia espectral directa(II)



- Linear combination of the two interpolating functions that best fits the direct irradiance.

# Parametros



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

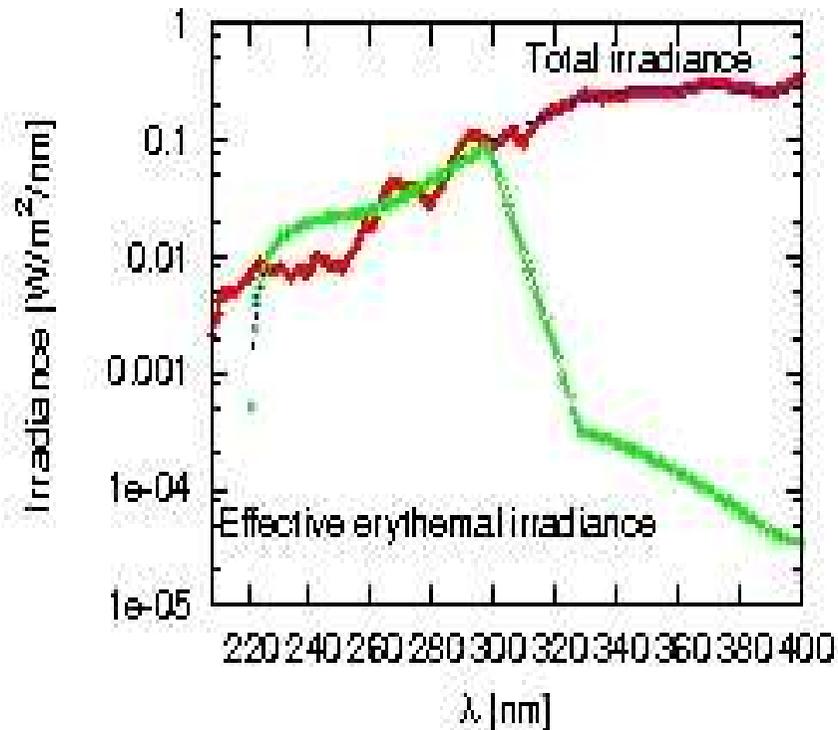
# Dosis de UV con Relevancia Biologica

- Dosis Biologica:  $D = \int I(\lambda) B(\lambda) d\lambda$ , que se representa como el UVI: Índice 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 Biologica



- 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.

- 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 datos de medida es

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

- **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).



•Lindkoski (Junio 2007)







**¡Muchas Gracias!**