



# Cloud Computing para la exploración espacial

José Luis Vázquez-Poletti

[dsa-research.org](http://dsa-research.org)

Distributed Systems Architecture Research Group  
Universidad Complutense de Madrid





/usr/bin/whoami

dsa-research.org

**José Luis Vázquez Poletti, Profesor Contratado Doctor**

**Ingeniero Informático en ICAI (UPCo), 2004**

Proyecto Fin de Carrera combinando Seguridad e Inteligencia Artificial  
(premiado por Accenture)

**Doctor en Informática en UCM, 2008**

Tesis sobre Computación Grid

**Área de Investigación: Computación Cloud**

22 publicaciones en revistas científicas internacionales

2 libros (+1 capítulo de libro) internacionales

2 informes técnicos internacionales

43 publicaciones en congresos internacionales

14 proyectos de investigación (Unión Europea, España, CAM)

**Web:** <http://dsa-research.org/jlvazquez/>

**Twitter:** @jlvazpol



# Cloud Computing y Espacio: El Comienzo

## Vostok 1 (12 de Abril de 1961) – Primera misión espacial tripulada

- Vuelo controlado por ordenador (aunque Yuri Gagarin podía desactivarlo)
- Supuso la adopción de la Informática como gran aliada en la exploración espacial
- Resultado de desarrollos previos y punto de partida para posteriores con múltiples aplicaciones



# Todo lo que hay que saber antes de ir a Marte

4º planeta desde el Sol

El óxido de hierro le confiere el color rojo característico

Días de 24h 37' 22,663''

Mitad del radio terrestre

- 38% de la gravedad de la Tierra

Atmósfera tenue

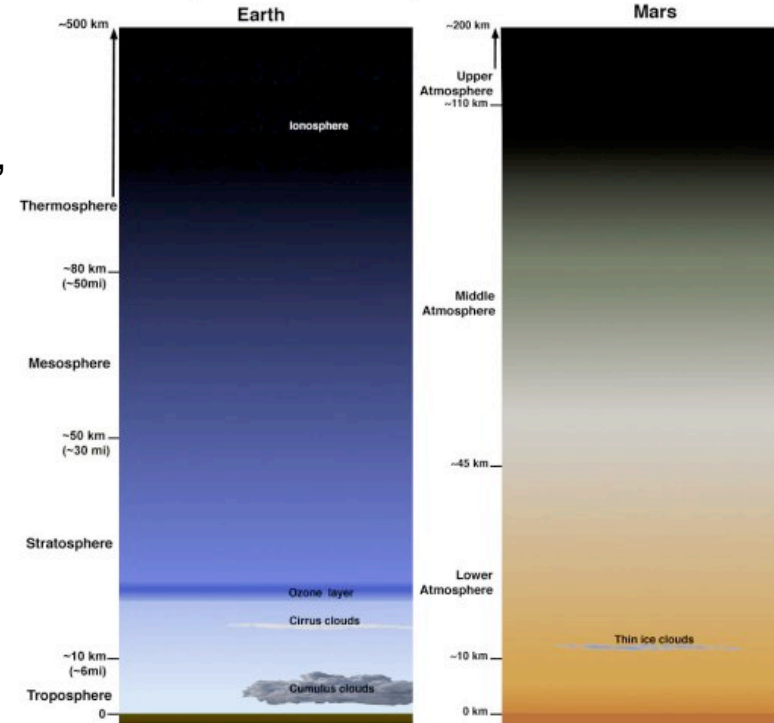
- 95% dióxido de carbono, 3% nitrógeno, 1,5% argón, trazas de oxígeno y agua
- Metano detectado
- Magnetosfera inexistente

Tuvo agua a gran escala en el pasado

- Ahora sólo en polos
- Evidencia reciente de agua líquida salada



A Comparison of the Atmospheres of Earth and Mars

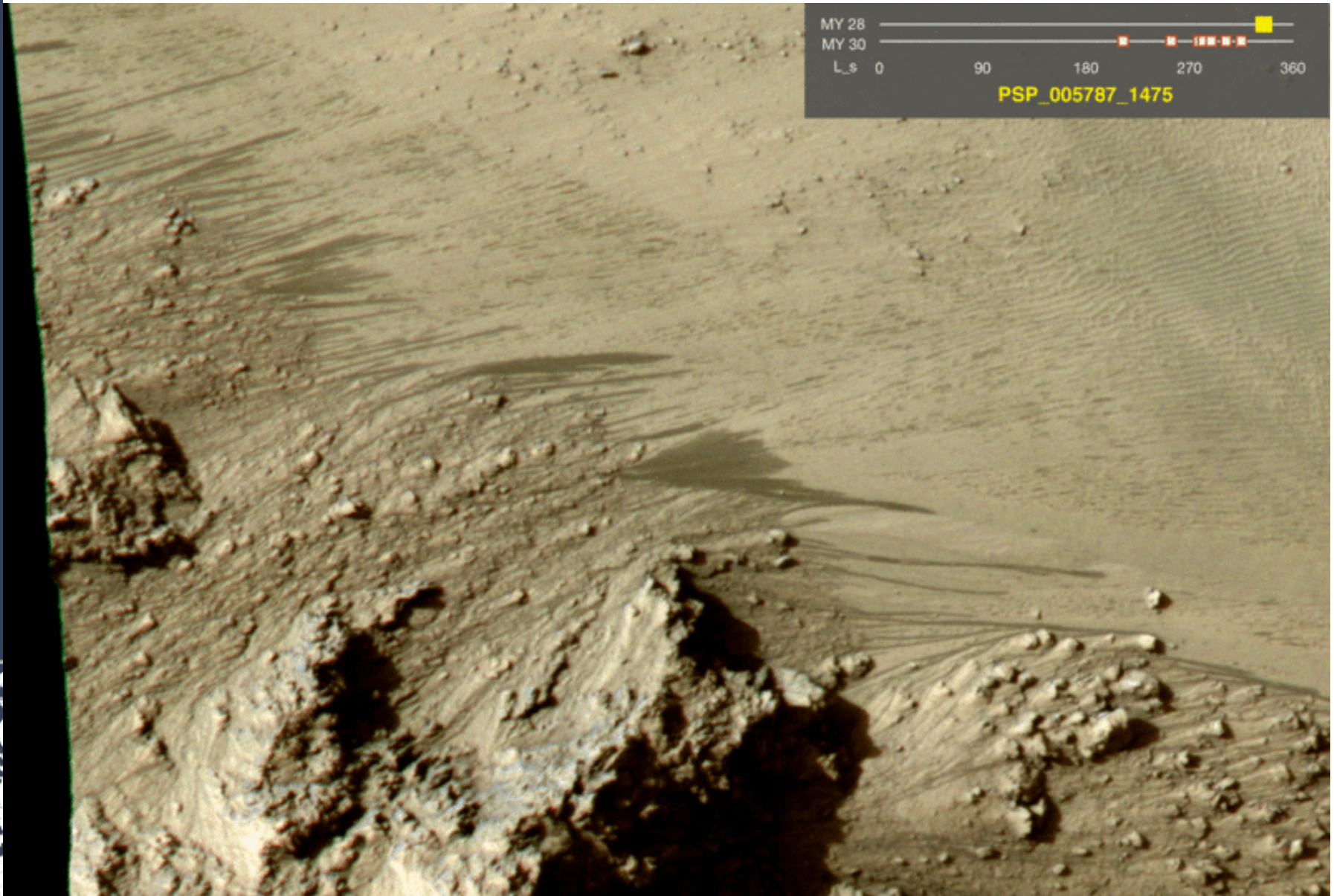




UNIVERSIDAD COMPLUTENSE  
MADRID

dsa-research.org

# ¿Agua líquida en Marte?



# Mars Exploration Family Portrait

**39: Phobos-Grunt**  
November 8, 2011  
Stranded in Earth orbit

**40: Mars Science Laboratory Curiosity**  
November 26, 2011  
Mission to Gale Crater

**1, 2: MARS 1M No. 1 / MARS 1M No. 2**  
October 10 / October 14, 1960  
Both destroyed during launch

**38: Phoenix**  
August 4, 2007  
Landed, dug for water

**3, 4, 5, 8: MARS 2MV-4 No. 1 / Mars 1 / Mars 2MV-3 No. 1 / Zond 2**  
October 24 / November 1 / November 4, 1962 / November 30, 1964  
Broke up in Earth orbit / Radio failure en route / Stranded in Earth orbit / Radio failure en route

**6, 7: Mariner 3 / Mariner 4**  
November 5 / November 28, 1964  
Payload fairing failed to open / First flyby and picture return

**37: Mars Reconnaissance Orbiter**  
August 12, 2005  
Orbiting Mars

**9, 10: Mariner 6 / Mariner 7**  
February 25 / March 27, 1969  
Both flew by, returned pictures

**35, 36: Mars Exploration Rovers Spirit and Opportunity**  
June 10 / July 7, 2003  
Both landed on surface, Opportunity still in operation

**11, 12: Mars 1969 A / Mars 1969 B**  
March 27 / April 2, 1969  
Both destroyed during launch

**34: Mars Express / Beagle 2 lander**  
June 2, 2003  
Orbiting Mars, Beagle lost after separation

**13, 17: Mariner 8 / Mariner 9**  
May 8 / May 30, 1971  
Destroyed during launch / First probe to orbit Mars

**33: Mars Odyssey**  
March 7, 2001  
Orbiting Mars

**14, 15, 16: Cosmos 419 / Mars 2 / Mars 3**  
May 10 / May 19 / May 28, 1971  
Failed in Earth orbit / Lander crashed / Lander failed

**32: Mars Polar Lander**  
January 3, 1999  
Crashed on surface

**18, 19, 20, 21: Mars 4 / Mars 5 / Mars 6 / Mars 7**  
July 21 / July 25 / August 5 / August 9, 1973  
Missed planet / Orbiting planet / Lander failed (6 and 7)

**22, 23: Viking 1 / Viking 2**  
August 20 / September 9, 1975  
Both landed on surface, returned data

**31: Mars Climate Orbiter**  
December 11, 1998  
Crashed due to imperial/metric unit mixup

**24, 25: Phobos 1 / Phobos 2**  
July 7 / July 12, 1988  
Lost communication en route / Lost communication near Phobos

**30: Nozomi**  
July 4, 1998  
Missed planet

**26: Mars Observer**  
September 25, 1992  
Lost communication near Mars

**29: Mars Pathfinder**  
December 4, 1996  
Landed on surface, deployed Sojourner rover

**28: Mars 96**  
November 16, 1996  
Destroyed during launch

**27: Mars Global Surveyor**  
November 7, 1996  
Orbiting and returned data

**Central Labels:** Spirit and Opportunity, Phoenix, Curiosity, Sojourner, Viking 1 and 2

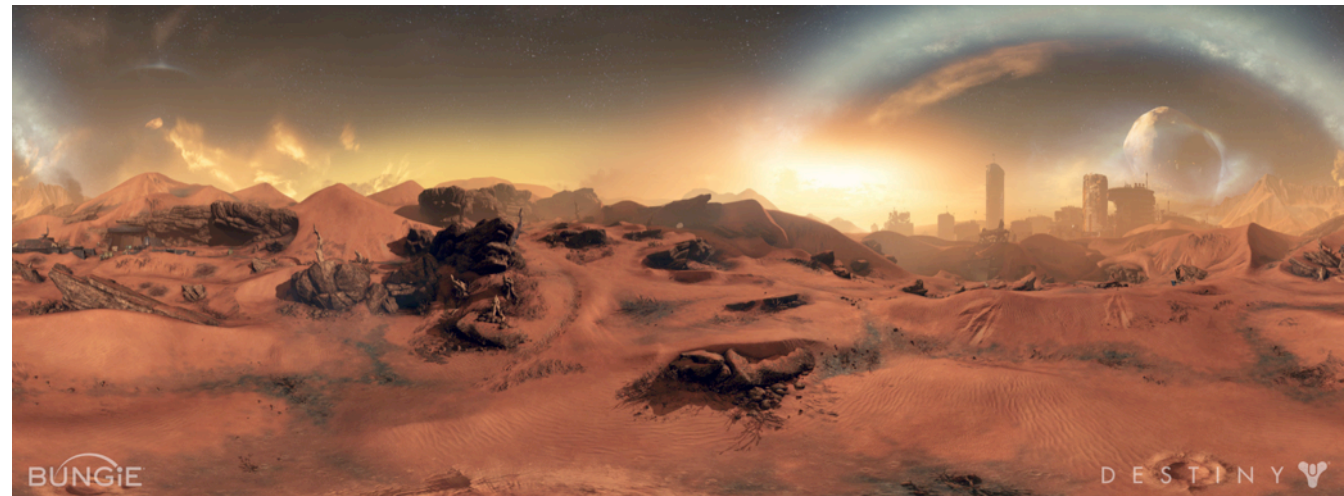
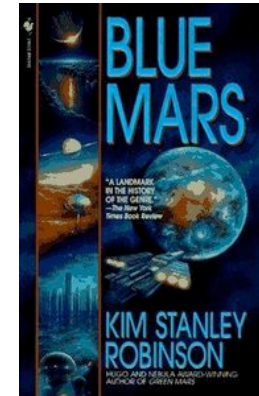
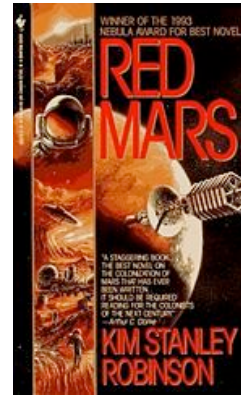
Image credits: NASA, Roscosmos, ESA, JAXA, TeXchange3D.com  
Additional research sources: Space.com, RealismSpacecraft.com  
Dates indicated are for launch. Only dedicated Mars missions are listed.  
Created by Jason R. Davis  
www.archives.in



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE  
MADRID

dsa-research.org

# Otros viajes marcianos





¿Y en España?

dsa-research.org

NOTICIARIO  
Y  
DOCUMENTALES  
CINEMATOGRAFICOS  
NO-DO







# Programa ESA ExoMars

## Objetivos

Encontrar trazas de vida marciana tanto presente como pasada.

Investigar variaciones en el agua y la geoquímica.

Investigar determinados gases atmosféricos y su origen.

## Misiones

1. Orbitador y módulo de descenso (2016)
2. Módulo de descenso y robot de exploración (2020)



European Space Agency



POCKOCMOC



## Propulsión

Lanzador: Proton-M (Протон-М)

Cohete más potente usado por Rusia para misiones comerciales y gubernamentales.

58 metros y 712.800 Kg.

Fases: 3 más el módulo de inserción orbital Breeze-M (Бриз-М).

Primer servicio de este modelo: 2001.

### Payload Fairing

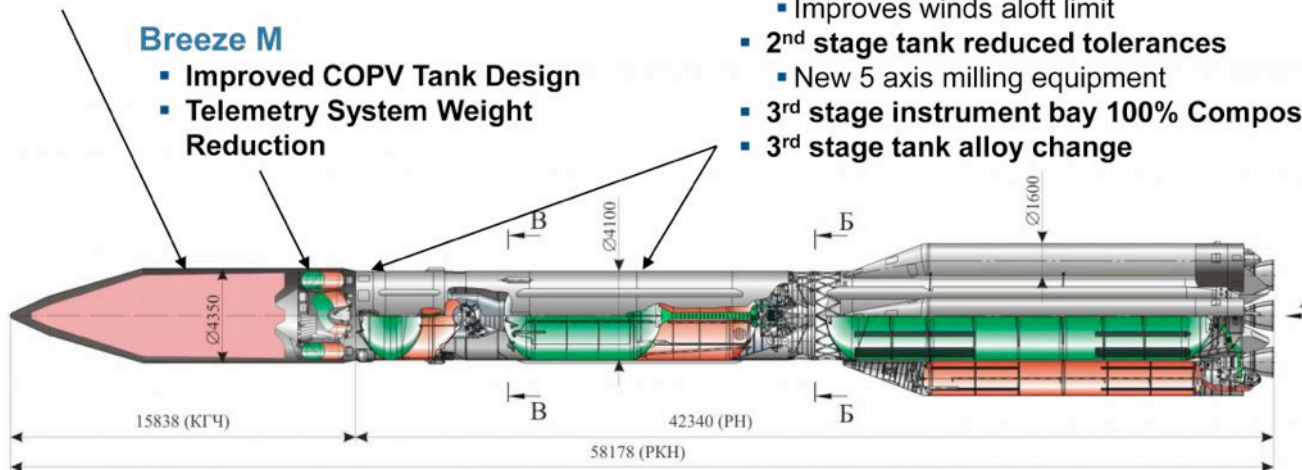
- Composite Shell Optimization

### Breeze M

- Improved COPV Tank Design
- Telemetry System Weight Reduction

### Proton M

- 2<sup>nd</sup> stage forward bay 100% Composite
  - Improves winds aloft limit
- 2<sup>nd</sup> stage tank reduced tolerances
  - New 5 axis milling equipment
- 3<sup>rd</sup> stage instrument bay 100% Composite
- 3<sup>rd</sup> stage tank alloy change



**Russia**

BEYOND  
THE HEADLINES

Published by  
ROSSIYSKAYA

Más información:

“Cargueros espaciales (1 y 2)”



# ExoMars 2016

Lanzamiento (14 de marzo 2016)

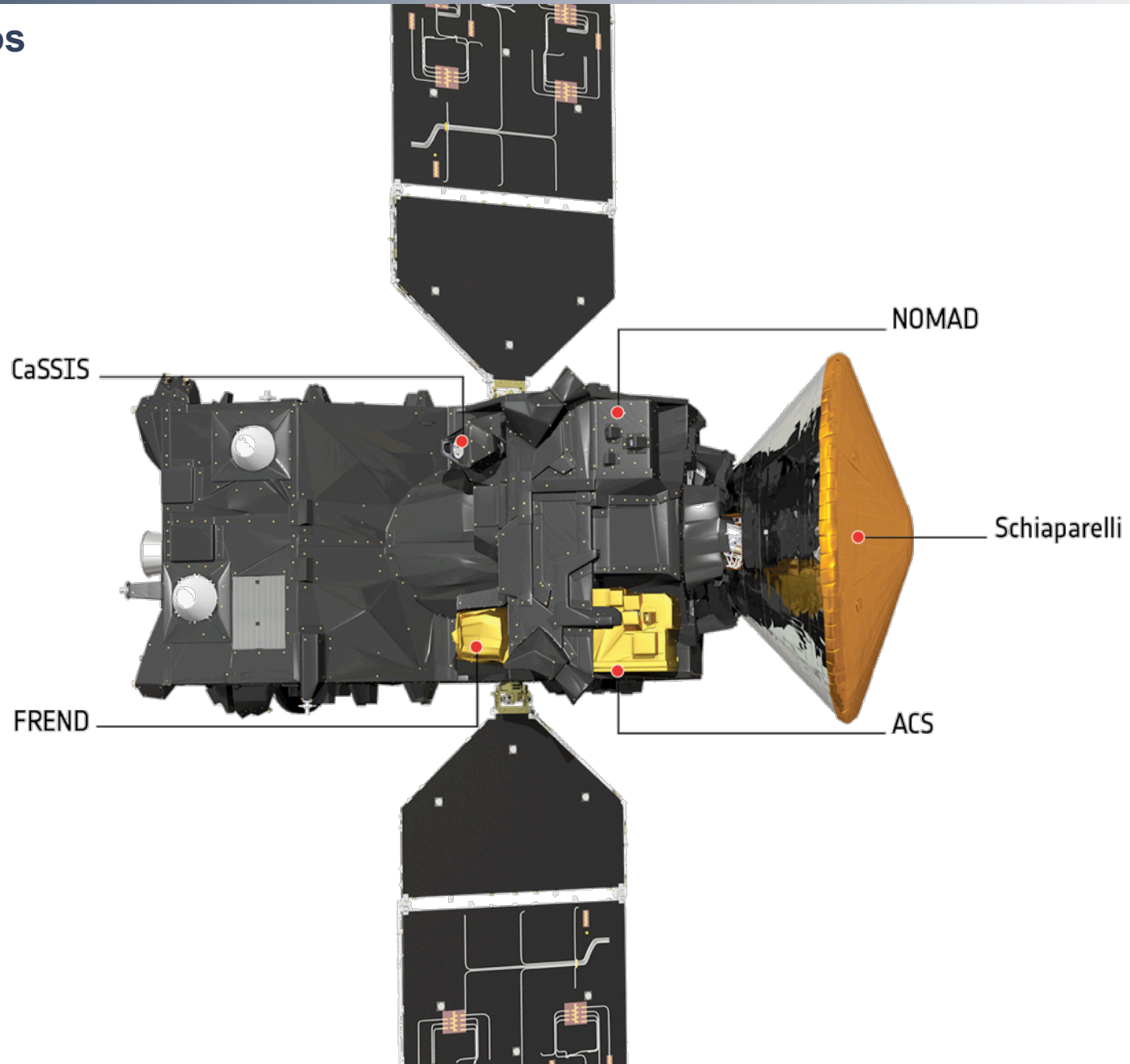
dsa-research.org





# ExoMars 2016

## Módulos



# ExoMars 2016

## Módulos

### Trace Gas Orbiter (TGO)

Observaciones remotas de la atmósfera marciana y mediciones para investigar la existencia de gases de posible origen biológico.

Enlace de datos con robot de 2018 hasta 2022.

Peso: 3.130 Kg – Alimentación: paneles solares.

Inicio Ciencia: Diciembre 2016

### Schiaparelli

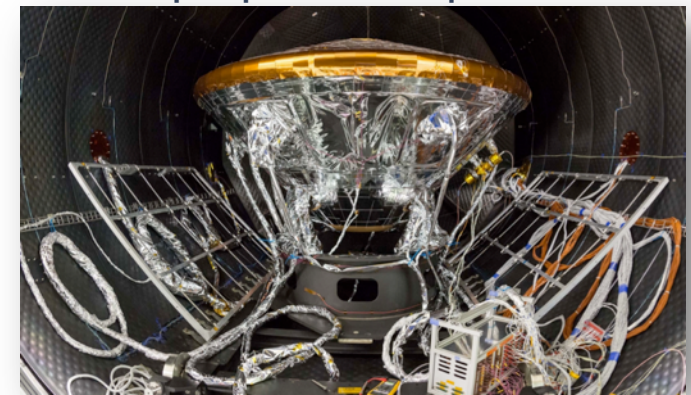
Módulo de prueba para descenso controlado sobre la superficie marciana.

Tecnologías involucradas: material especial de protección térmica, sistema de paracaídas, altímetro con radar Doppler, frenado con propulsión líquida.

Incorpora instrumentos científicos de medición.

Peso: 600 Kg – Alimentación: baterías eléctricas.

Inicio Ciencia: 19 de Octubre 2016





dsa-research.org

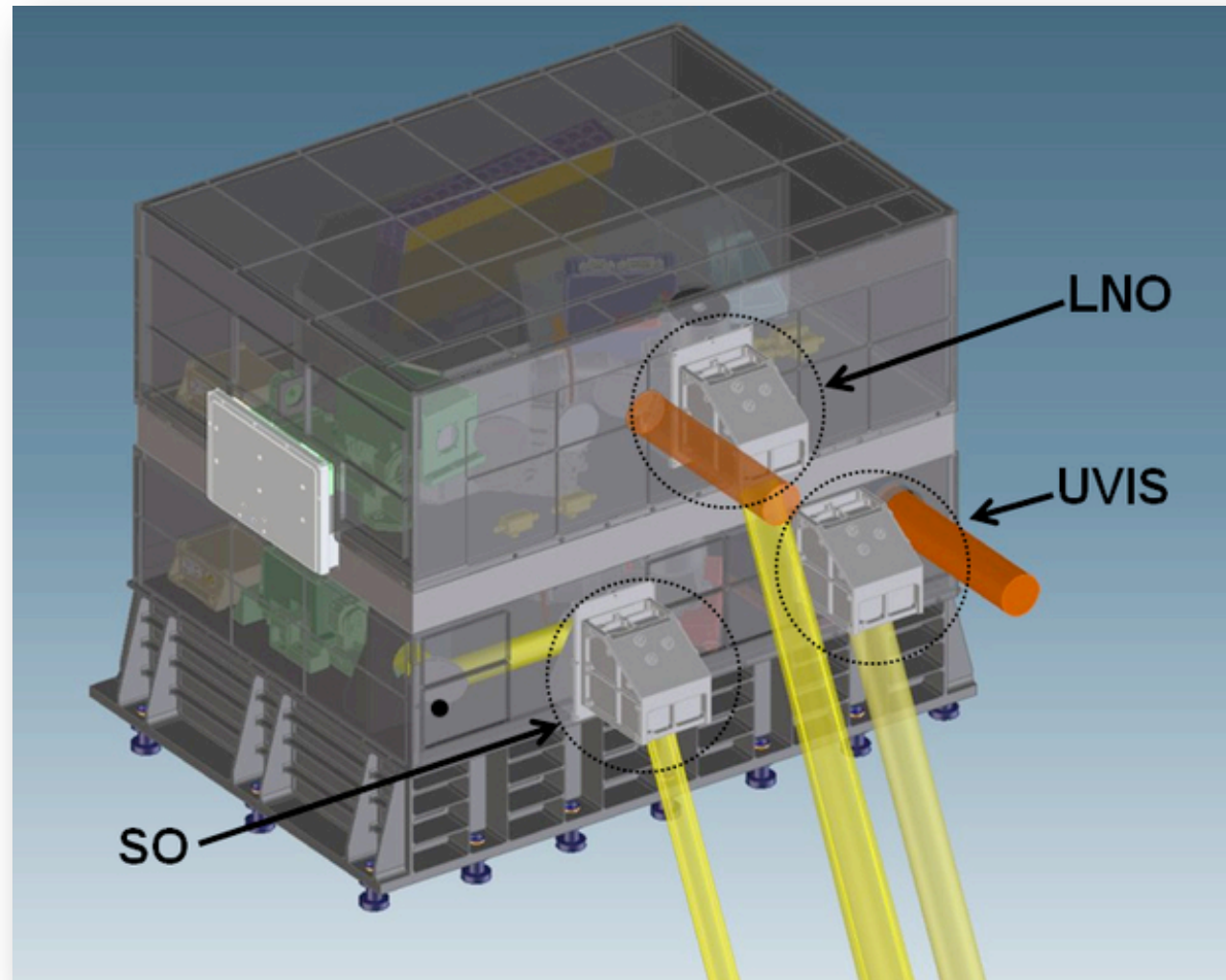
# ExoMars 2016



# TGO: Instrumentos

## NOMAD – Nadir and Occultation for MArS Discovery

Combina tres espectrómetros (2 infrarrojos + 1 ultravioleta) para realizar la identificación de compuestos atmosféricos con gran nivel de sensibilidad.



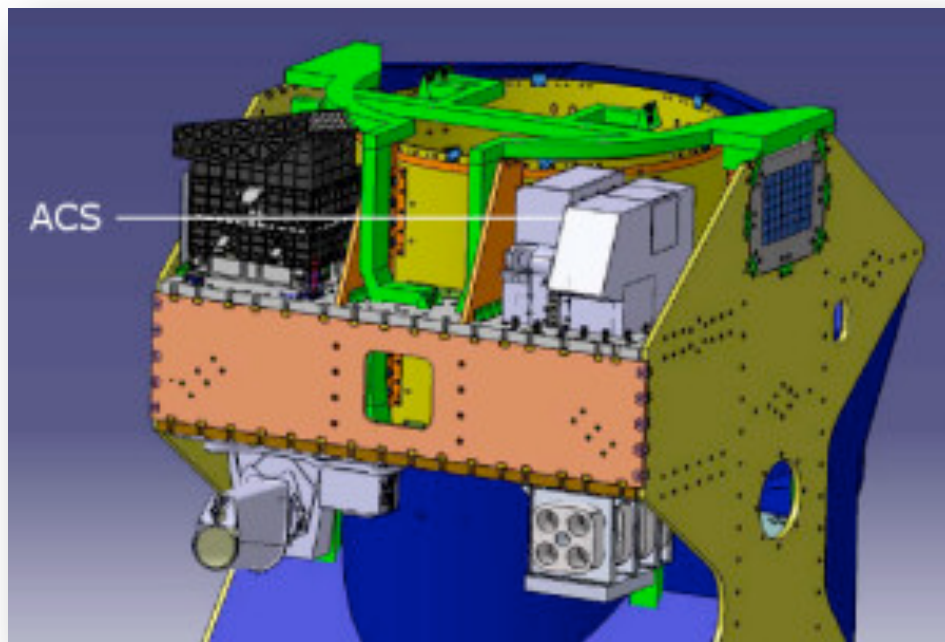
# TGO: Instrumentos

## ACS – Atmospheric Chemistry Suite

Tres detectores de infrarrojos que permiten investigar la química (agua, metano y otros compuestos menores) y la estructura de la atmósfera marciana (polvo, nubes de condensación).

Complementa a NOMAD extendiendo la cobertura de longitud de onda (a infrarrojos) y tomando imágenes del Sol, para así analizar mejor datos con ocultación solar.

Componentes probados en otras misiones (ISS, Venus Express, Mars Express).



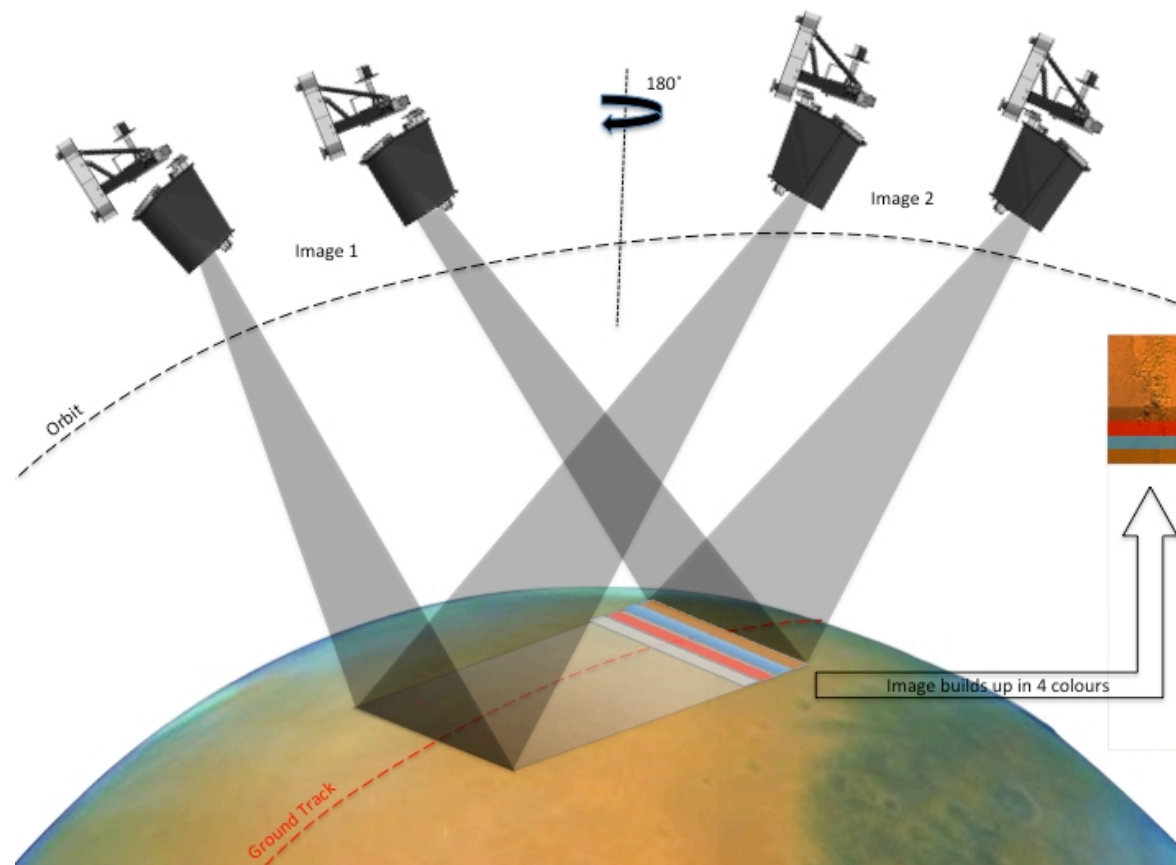


# TGO: Instrumentos

## CaSSIS – Colour and Stereo Surface Imaging System

Estudia ubicaciones que han sido identificadas por NOMAD y ACS como orígenes potenciales de determinados gases e investiga procesos modificadores de la superficie (sublimación, erosión, volcanismo).

También permite certificar futuros lugares de descenso, al identificar ligeras pendientes, rocas y otros posibles obstáculos.



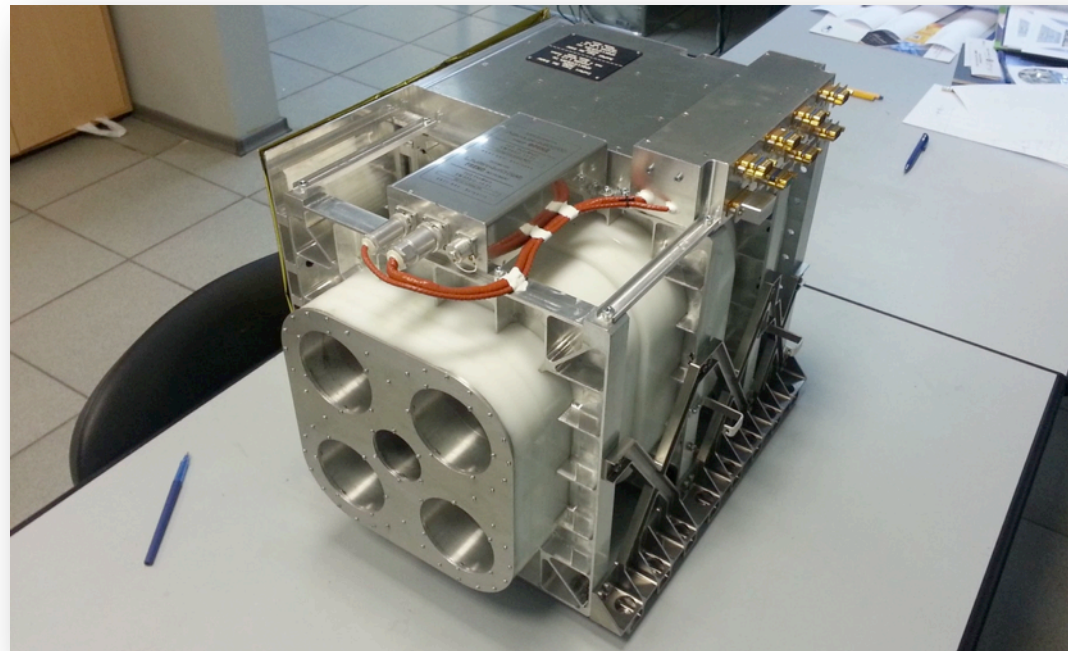
# TGO: Instrumentos

## FREND – Fine Resolution Epithermal Neutron Detector

Crea mapas de alta resolución de zonas abundantes en hidrógeno.

Mide el flujo de neutrones de la superficie, resultado del bombardeo continuo de rayos cósmicos. La velocidad de de los neutrones permite identificar numerosos materiales debido a su composición (basándose en su cantidad de carbono).

Componentes probados en otras misiones (Mars Odyssey, Reconnaissance Orbiter, Mars Science Laboratory).





# ExoMars 2016

## Estado actual

### Trace Gas Orbiter (TGO)

Inserción orbital **OK**

### Schiaparelli

Separación **OK**

Hibernación **OK**

Inserción atmosférica **OK**

Eyección escudo térmico **OK**

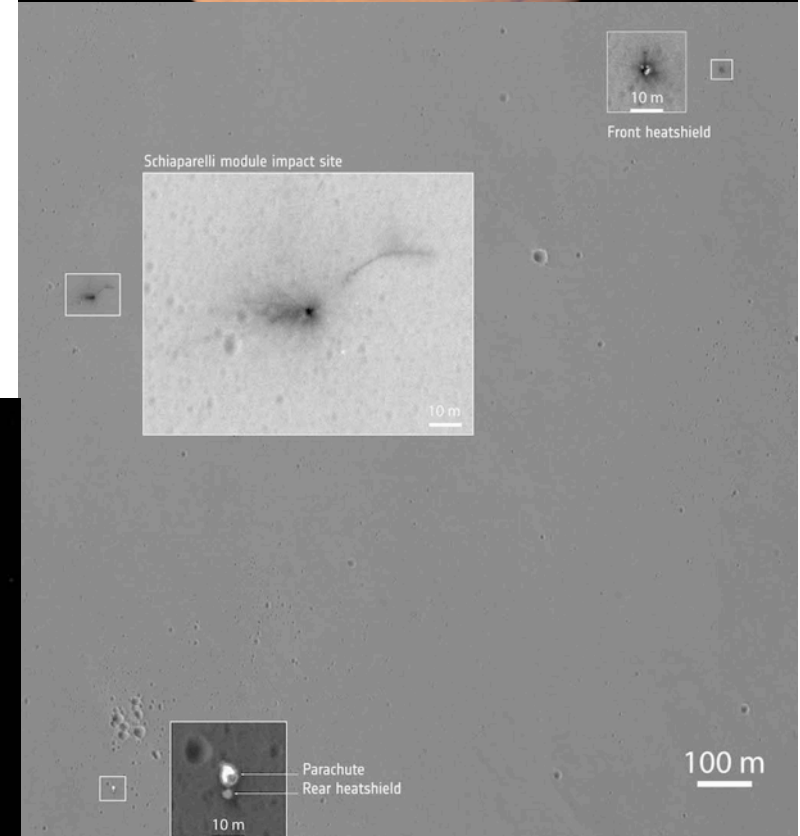
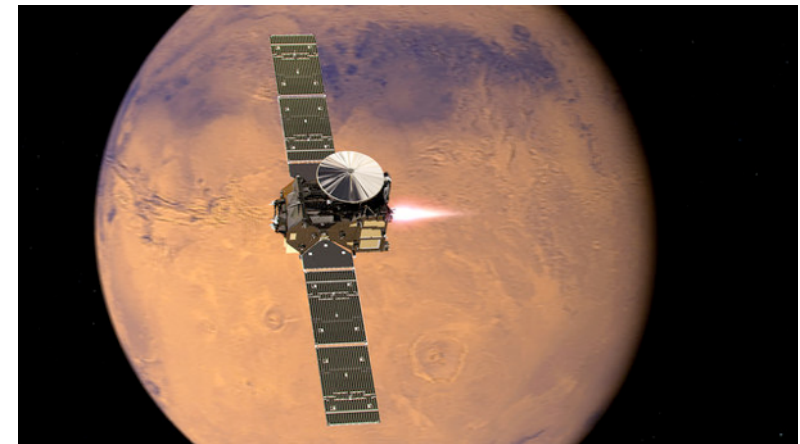
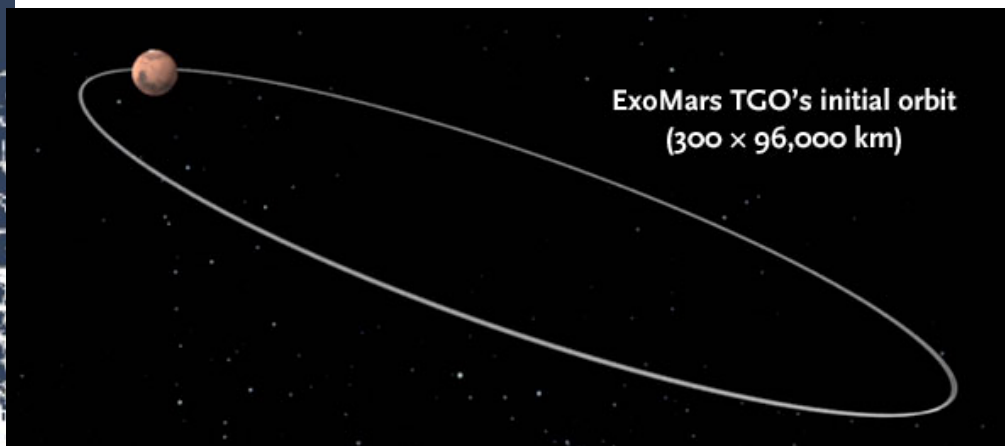
Despliegue paracaídas **OK**

Eyección paracaídas **PREMATURO**

Encendido retrocohetes **OK\***

Apagado retrocohetes **PREMATURO**

dsa-research.org





# ExoMars 2016

## Calendario TGO

TGO cambia inclinación a órbita de ciencia (74°)

**Enero 2017**

Maniobras de reducción del apocentro (órbita de 4 soles a órbita de 1 sol)

**Enero 2017**

Fase de aerofrenado (TGO baja a órbita de 400 km)

**Marzo 2017 – Marzo 2018**

Conjunción solar superior (pausa en operaciones mientras Sol está en medio)

**11 Julio- 11 Agosto 2017**

Operaciones de ciencia

**Marzo 2018 – Diciembre 2019**

TGO da soporte a módulos de NASA en superficie marciana

**Marzo 2018**

Operaciones de reenvío de datos para misión robotizada (ExoMars 2020)

**2021**

Final de la misión TGO

**Diciembre 2022**

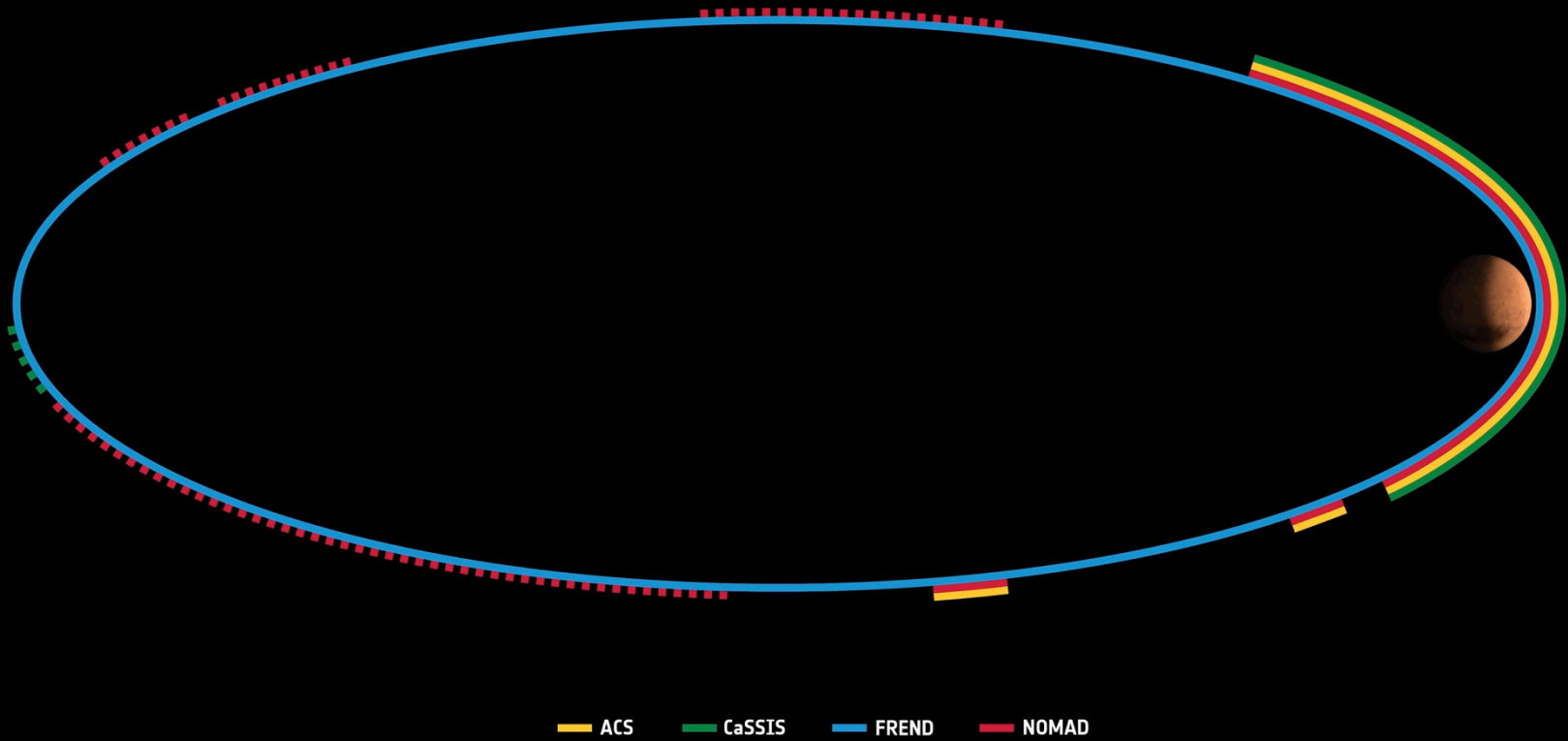




# ExoMars 2016



→ TGO SCIENCE ORBIT, 20-24 NOVEMBER 2016



[www.esa.int](http://www.esa.int)

European Space Agency

dsa-research.org

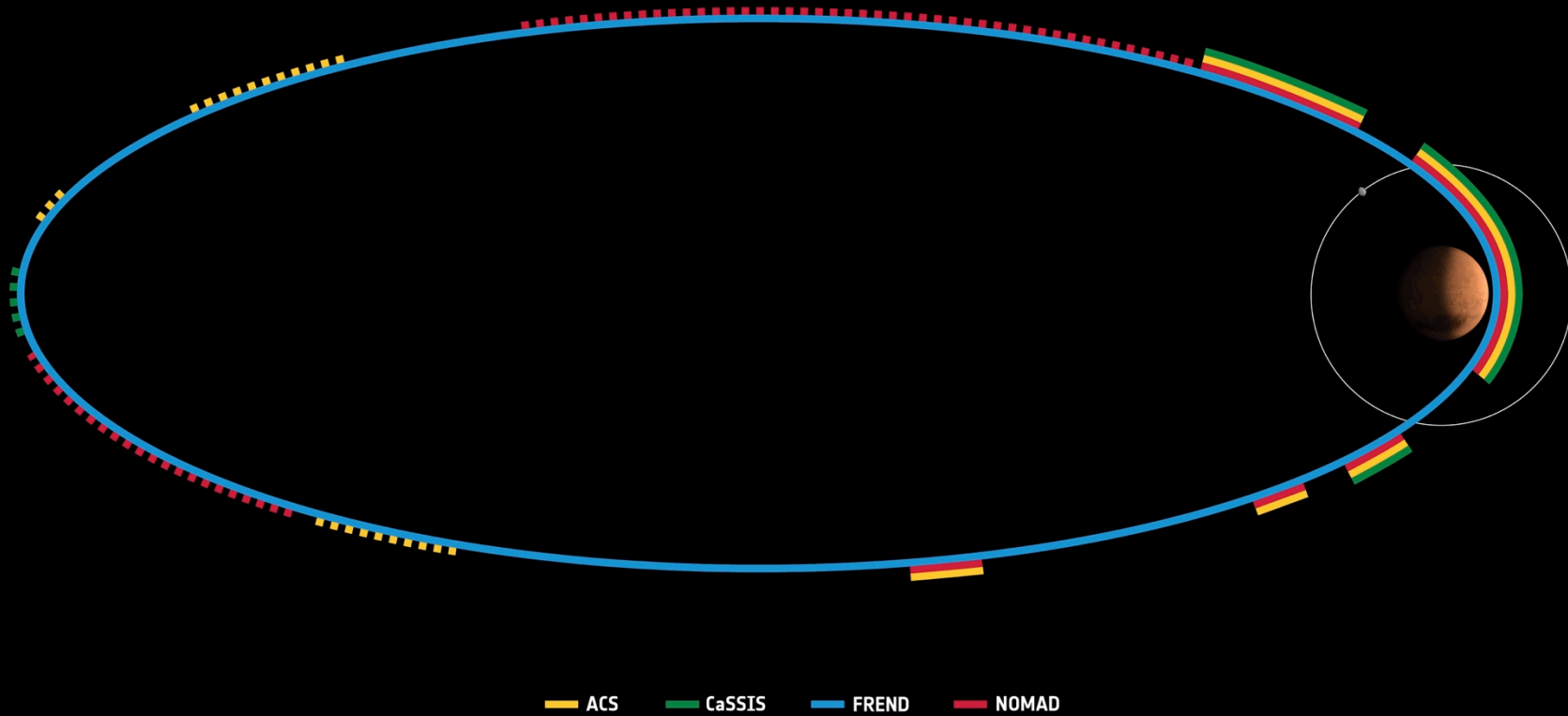


# ExoMars 2016

dsa-research.org



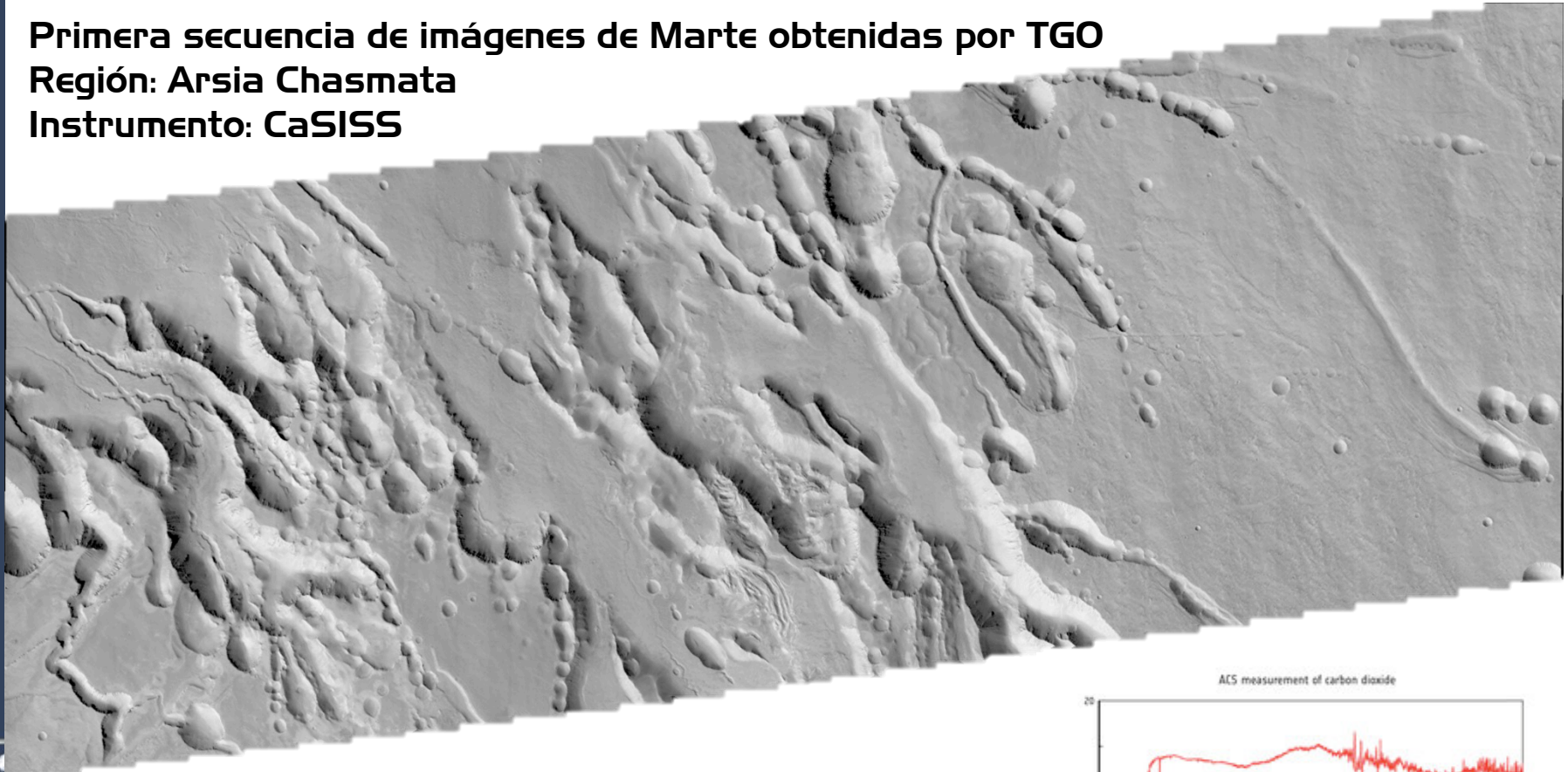
→ TGO SCIENCE ORBIT, 24-28 NOVEMBER 2016



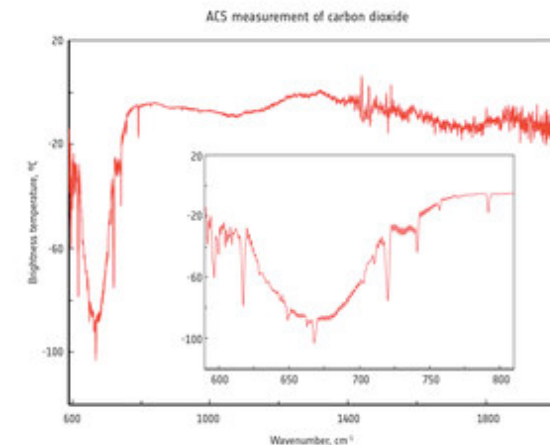
[www.esa.int](http://www.esa.int)

European Space Agency

Primera secuencia de imágenes de Marte obtenidas por TGO  
Región: Arsia Chasmata  
Instrumento: CaSISS



Primera detección de CO<sub>2</sub> atmosférico  
Instrumento: ACS





# ExoMars 2016

Primera imagen en color de Fobos (estéreo) obtenida por TGO  
Instrumento: CaSSIS

dsa-research.org



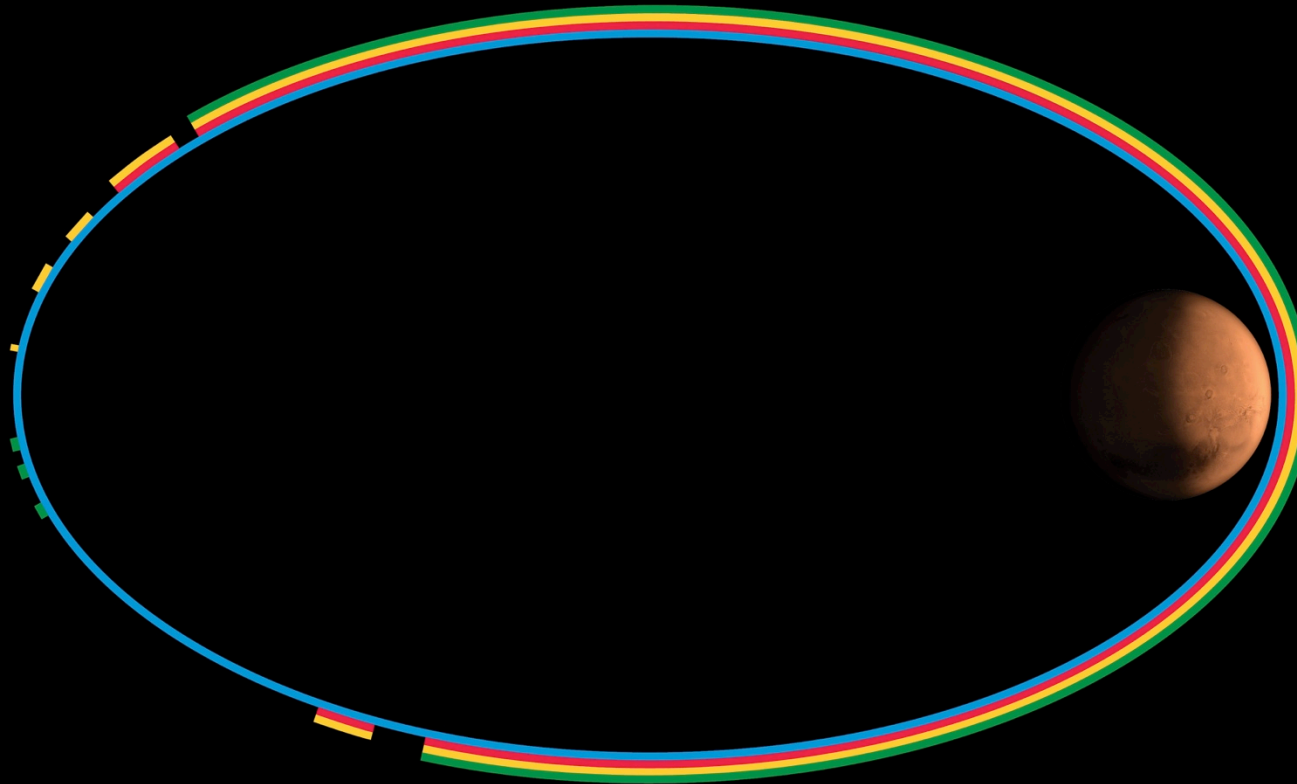




# ExoMars 2016



→ TGO SCIENCE ORBIT, 5-6 MARCH 2017



— ACS — CaSSIS — FREND — NOMAD

[www.esa.int](http://www.esa.int)

European Space Agency

dsa-research.org



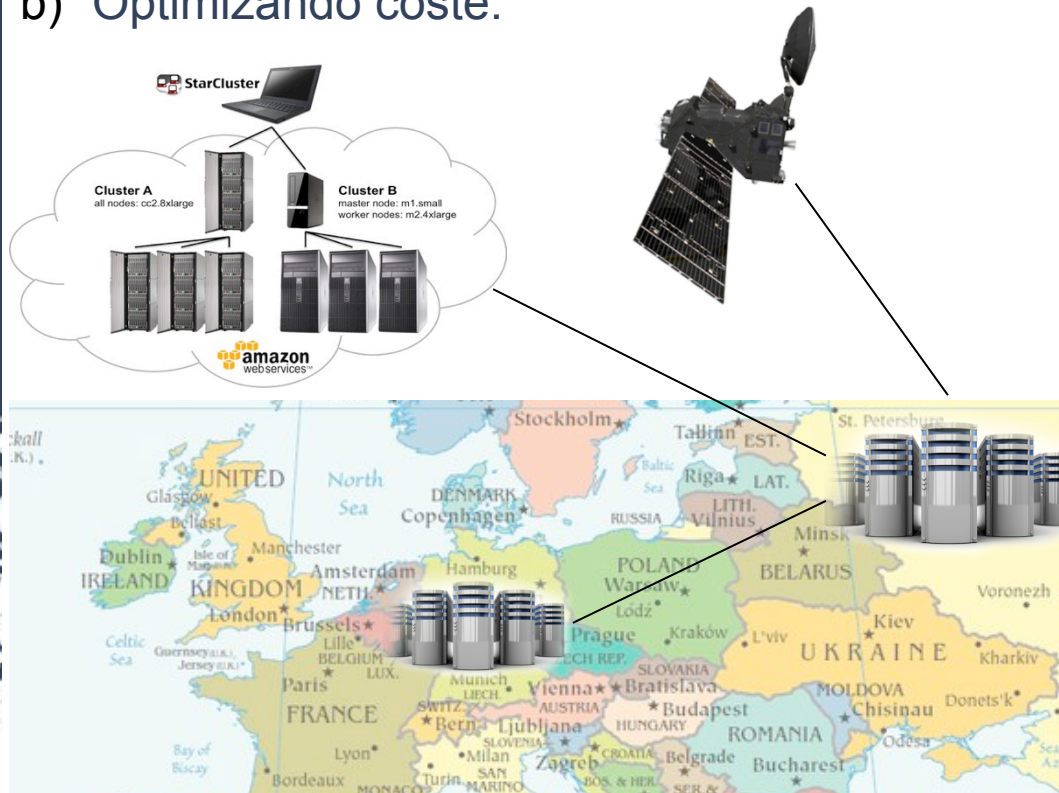
# ExoMars 2016

Mecanismos de procesamiento y almacenamiento de los datos:

- a) Reciente adquisición.
- b) Cruzado con datos históricos.

Estrategias de provisión de potencia computacional mediante cloud computing:

- a) Optimizando rendimiento.
- b) Optimizando coste.



RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
SPACE RESEARCH INSTITUTE

№ 11204 /

February 20, 2014

Prof. J.L. Vázquez-Poletti  
Departamento de Arquitectura de  
Computadores y Automática  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense de Madrid  
Ciudad Universitaria  
28040-Madrid

Dear Prof. Vázquez-Poletti,

As you may know, Russian Space Agency (Roscosmos) is cooperating with European Space Agency (ESA) in the ExoMars programme, which includes as the first step Trace Gas Orbiter (TGO) to be launched in 2016. For this spacecraft 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.

Following the recommendation of Prof. Luis Vazquez, and as a specialist working on the mathematical methods and cloud computing, we would like to invite you to join our ACS team as a Collaborator. We would welcome that you and your team would collaborate with us during the science part of the mission, but also during the instrument preparation phase. In particular, I would suggest you could contribute to development of the retrieval algorithms of ACS and to data management and archiving procedures.

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

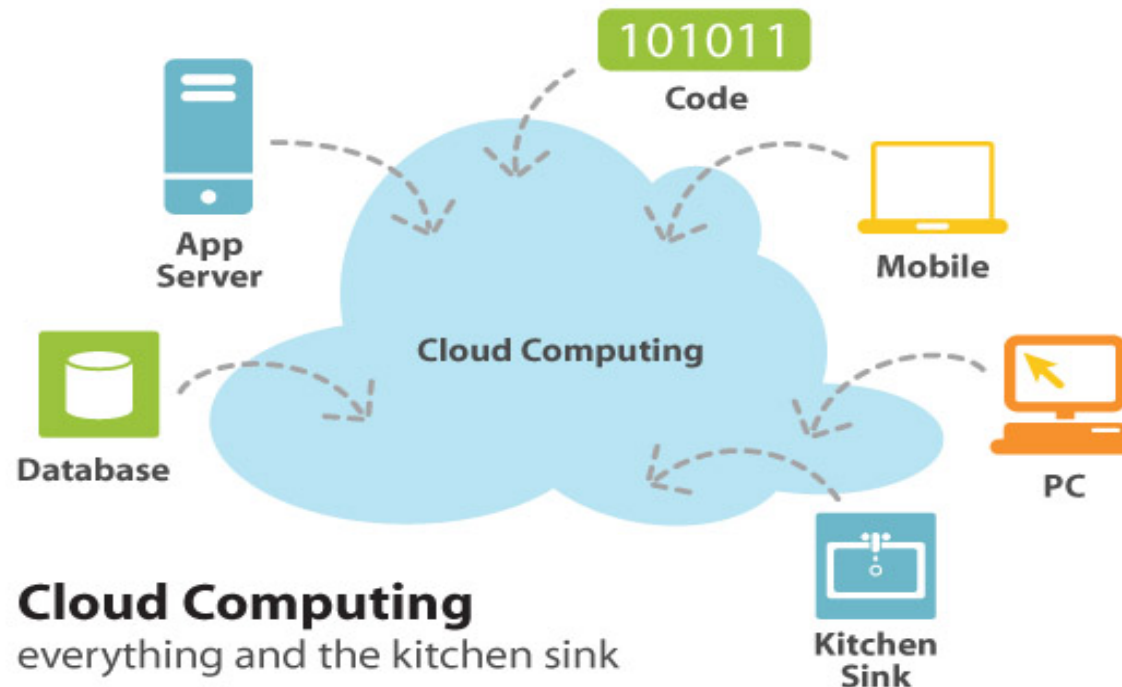
Oleg Korablev,  
Deputy Director of IKI,  
PI of the ACS experiment on ExoMars 2016



# ¿Qué es cloud computing?

## Nube

- Hidrometeoro consistente en una masa visible formada por gotas de agua microscópicas o cristales de nieve suspendidas en la atmósfera. Dispersan toda la luz visible y por eso, dependiendo de su densidad, pueden verse blancas, grises o negras.
- *(en una imagen)*



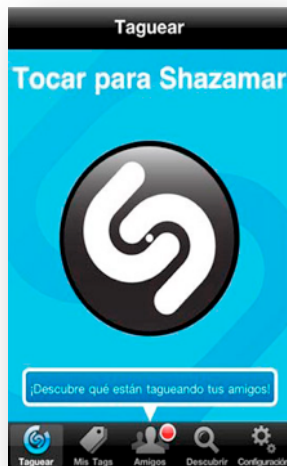
# Centros de Proceso de Datos de AWS



# Un ejemplo de Cloud: Amazon EC2

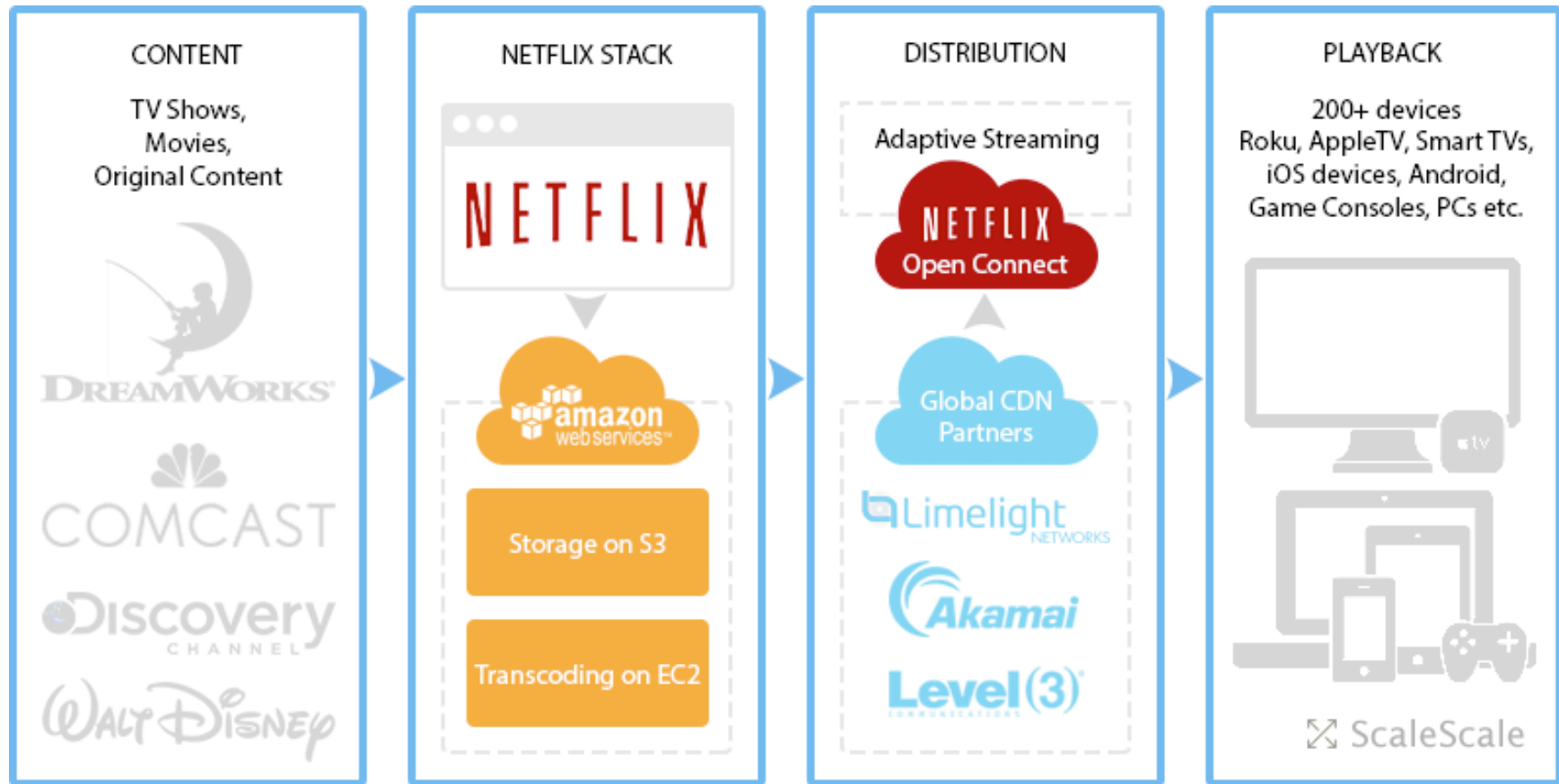
## Algunos ejemplos uso en Mass/Social Media:

- **Shazam:** gestionó picos de demanda durante la última Super Bowl
- **Pinterest:** aumentó a 8.000 millones de objetos y 17 millones de clientes su capacidad
- **News International:** extendió su presencia en plataformas móviles
- **Netflix:** aumentó su potencia de distribución de vídeos y cobertura
- **9GAG:** mejoró en un 20% el tiempo de respuesta
- **Grupo Prisa:** realizó despliegues de micrositos de forma eficiente





# Nuestra "dosis" viene de la nube





UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

dsa-research.org

# Gracias a la nube podemos seguir masacrándonos en el Espacio

Gaming company Frontier Games uses AWS to handle large user traffic spikes & save 30% in IT costs.





# Gracias a la nube aplastamos a los demás con nuestros titanes

DATA CENTERS	
Name:	Ping:
New York	6
Virginia 2	12
Virginia 1	12
South Carolina - GCE 3	22
South Carolina - GCE 1	24
South Carolina - GCE 2	33
Iowa - GCE 3	33
Iowa - GCE 1	33
St Louis	33
Iowa - GCE 4	34
Iowa - GCE 2	34
Dallas	44
Oregon 2	73
Oregon 1	73

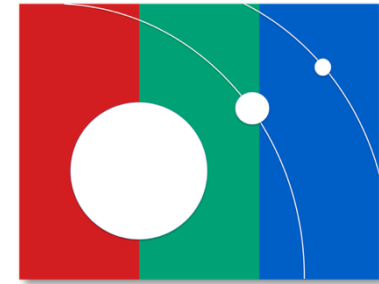
Uso de varias nubes:

- Azure (Microsoft)
- Google
- Amazon

*Titanfall 1 no salió para Sudáfrica al no haber disponibilidad de Azure allí*

# Computación en la nube para aplicaciones marcianas

1. Estudiar aplicaciones (requisitos, perfiles de ejecución)
2. Portar aplicaciones a infraestructuras cloud genéricas
3. Optimizar aprovisionamiento (modelos de ejecución y costes)



UCM Martian Studies



El Grupo de Estudios Marcianos de la UCM empezó con la participación en el Programa MetNet (Rusia, Finlandia y España), abarcando modelado, algoritmos y computación.

C. Aguirre, G. Franzese, F. Esposito, L. Vázquez, R. Caro-Carretero, R. Vilela-Mendes, M. Ramírez-Nicolás, F. Cozzolino and C.I. Popa: *Signal-adapted tomography as a tool for dust devil detection*. **Aeolian Research**, **39**, to be published in 2017.

Harri, A.-M., Pichkadze, K., Zeleny, L., Vazquez, L., Schmidt, W., Alexashkin, S., Korablev, O., Guerrero, H., Heilimo, J., Uspensky, M., Finchenko, V., Linkin, V., Arruego, I., Genzer, M., Lipatov, A., Polkko, J., Paton, M., Savijärvi, H., Haukka, H., Siili, T., Khovanskov, V., Ostesko, B., Poroshin, A., Michelena-Diaz, M., Siikonen, T., Palin, M., Vorontsov, V., Polyakov, A., Valero, F., Kempainen, O., Leinonen, J., and Romero, P.: *The MetNet vehicle: A lander to deploy environmental stations for local and global investigations of Mars*, **Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss.**, n. 6, pp. 103-124, 2017.

J.L. Vázquez-Poletti, G. Barderas, I.M. Llorente and P. Romero: *A Model for Efficient Onboard Actualization of an Instrumental Cyclogram for the Mars MetNet Mission on a Public Cloud Infrastructure*. **PARA2010: State of the Art in Scientific and Parallel Computing**, Reykjavík (Iceland), June 2010. Proceedings published in Lecture Notes in Computer Science (LNCS). Volume 7133, pp. 33-42, 2012. Springer Verlag.

P. Romero, G. Barderas, J.L. Vázquez-Poletti and I.M. Llorente: *Chronogram to detect Phobos Eclipses on Mars with the MetNet Precursor Lander*. **Planetary and Space Science**, vol. 59, n. 13, 2011, pp. 1542-1550.

G. Barderas, P. Romero, L. Vázquez, J.L. Vázquez-Poletti and I.M. Llorente: *Opportunities to observe solar eclipses by Phobos with the Mars Science Laboratory*. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Volume 426, Number 4, pp. 3195–3200, 2012. Wiley.

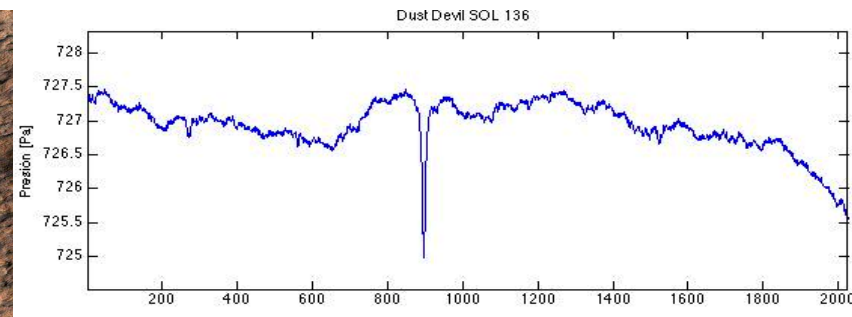
A.-M. Harri, W. Schmidt, P. Romero, L. Vázquez, G. Barderas, O. Kempainen, C. Aguirre, J.L. Vázquez-Poletti, I.M. Llorente and H. Haukka: *Phobos Eclipse Detection on Mars, Theory and Practice*. **Finnish Meteorological Institute Research Report 2012:2**, Finland, 2012.

## Descripción

**Tomografía adaptada** identifica señales usando un operador con la forma de un evento determinado

$B(\mu, \nu) = \mu t + \nu \omega = \mu t + \nu i \frac{\partial}{\partial x}$  **Tomograma de tiempo-frecuencia**  
 Proyectando una señal  $f(t)$  sobre un conjunto de vectores propios de un operador lineal  $B(\alpha)$ .

Operador lineal  $\rightarrow B(\mu, \nu) = \mu t + \nu O = \nu \begin{pmatrix} 1\Delta t & & & & \\ & 2\Delta t & & & \\ & & 3\Delta t & & \\ & & & \dots & \\ & & & & N\Delta t \end{pmatrix} + \nu \sum_{i=1}^k \alpha_i \Phi_i \Phi_i^t$



**Datos de entrada: presión**

C. Aguirre and R. Vilela Mendes, *Signal recognition and adapted filtering by non-commutative tomography*. **IET Signal Processing**. Volume 8, pp. 67-75, 2014. IET.

Á. Giménez-Bravo, C. Aguirre, L. Vázquez, *Tomographic Signal Analysis for the detection of dust-devils in Mars atmosphere*. **Fifth Moscow Solar System Symposium**. 2014.

# Tomografía de dust devils

## Aplicación

Código C

Librerías científicas: BLAS y LAPACK

## Caso de uso

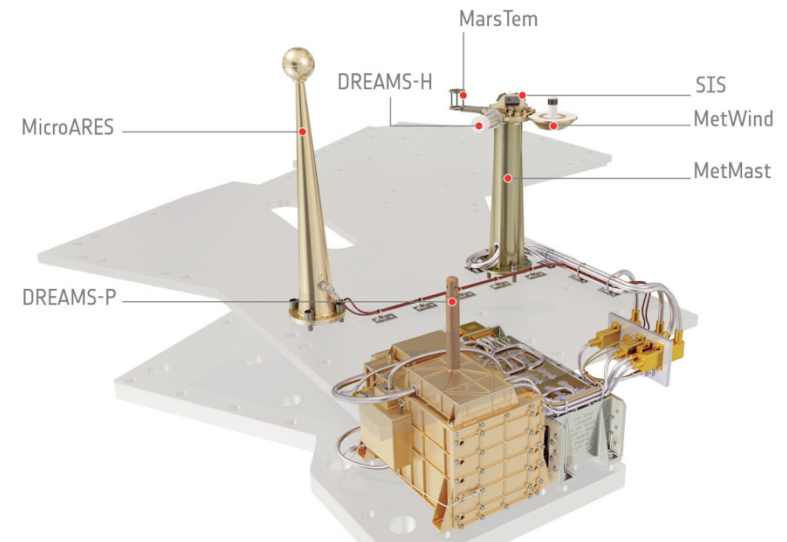
Conjunto de datos DREAMS

Unidad experimental: 1,000 segundos – 1 muestra/segundo



## Infraestructura cloud (Amazon EC2):

- t2.small: 1 CPU, 2GB, \$0,026/h
  - 1 tarea/máquina
- c4.large: 2 CPU, 3,75GB, \$0,105/h
  - 1 tarea/máquina
  - 2 tareas/máquina



# Modelo de difusión de la radiación

## Introducción

Estudio de la atenuación de la radiación por la atmósfera marciana

Aplicación de la ecuación de Angstrom para el espesor óptico de aerosoles usado por la ley de Lambert-Beer-Bouguer

Caso interesante de cálculo fraccional en 3D

## Aplicación

Código Matlab portado a Octave

Caso 1D (primera fase)

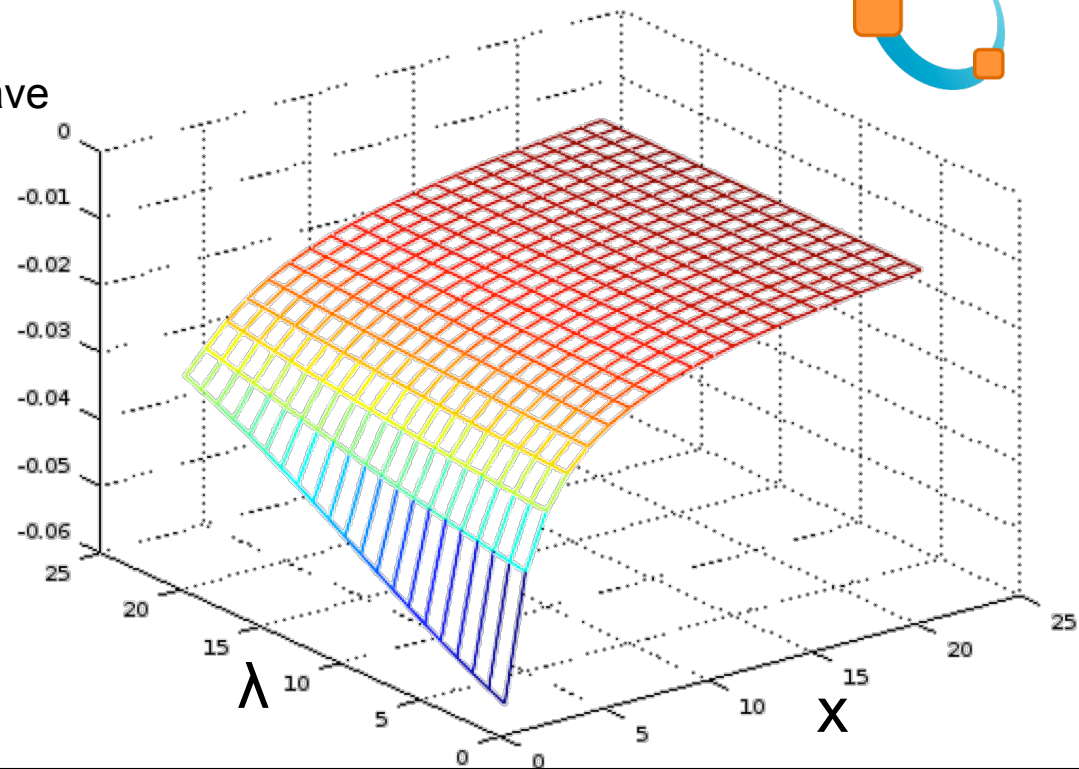
Variables (x, λ)

$$\tau_a = \frac{\beta}{\lambda^\alpha} \text{ Espesor óptico de aerosol}$$

Cambio de variable →  $\mu = \frac{1}{\beta} \lambda^\alpha$

Momento de 2 órdenes de la ecuación fraccional de difusión clásica donde la derivada del tiempo se reemplaza con la derivada de la longitud de onda:

$$\frac{\partial^\alpha \varphi}{\partial \lambda^\alpha} = \frac{1}{2\beta} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$$



# Modelo de difusión de la radiación

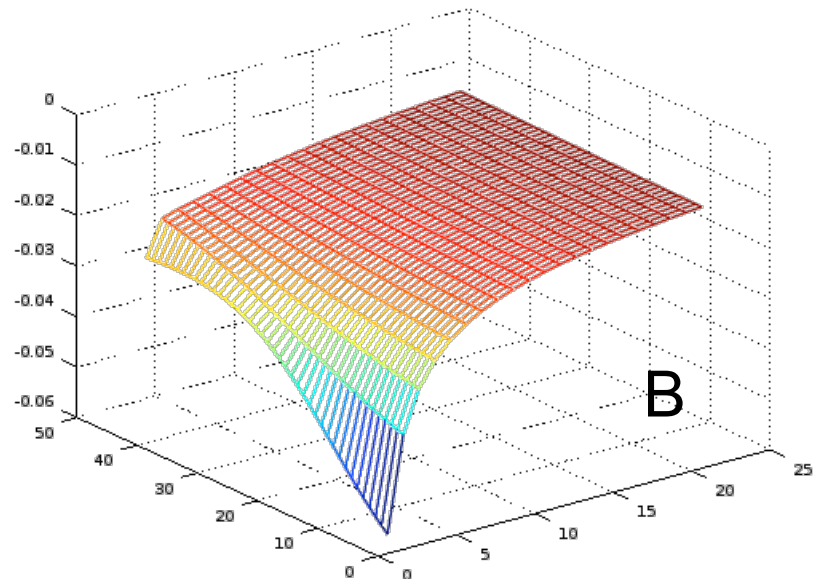
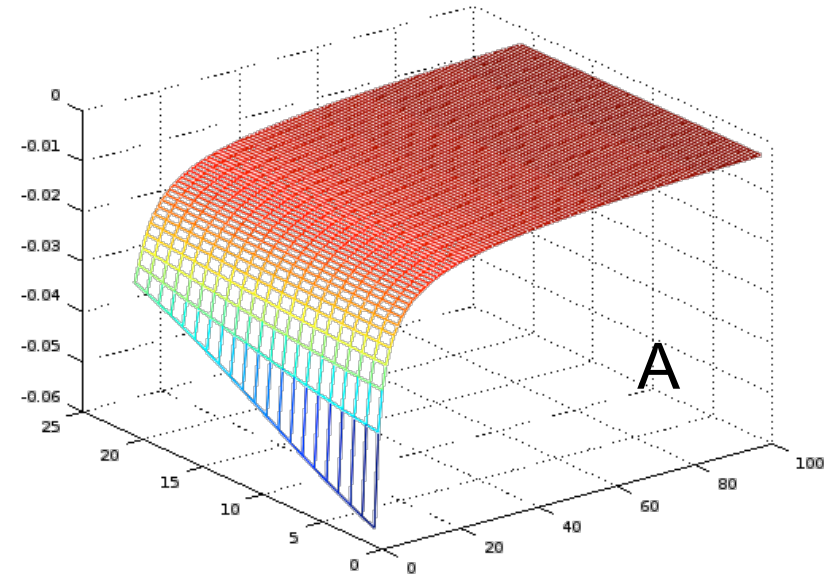
## Infraestructura cloud (Amazon EC2):

- t2.small: 1 CPU, 2GB, \$0,026/h
  - 1 tarea/máquina
- c4.large: 2 CPU, 3,75GB, \$0,105/h
  - 1 tarea/máquina
  - 2 tareas/máquina

## Unidad experimental: intervalo

Conjuntos de experimentos:

- A.  $\lambda=1:1:2, x=0:0,1:n$
- B.  $x=0:0,1:1, \lambda=1:1:n$



# Análisis multivariable de sensores

## Introducción

**Ciencia atmosférica marciana:** humedad y temperatura analizadas por separado

**Análisis multivariable:** Técnicas estadísticas para analizar simultáneamente múltiples medidas individuales

**Objetivo:** modelo estadístico que maximice la capacidad de predicción a través de las muestras

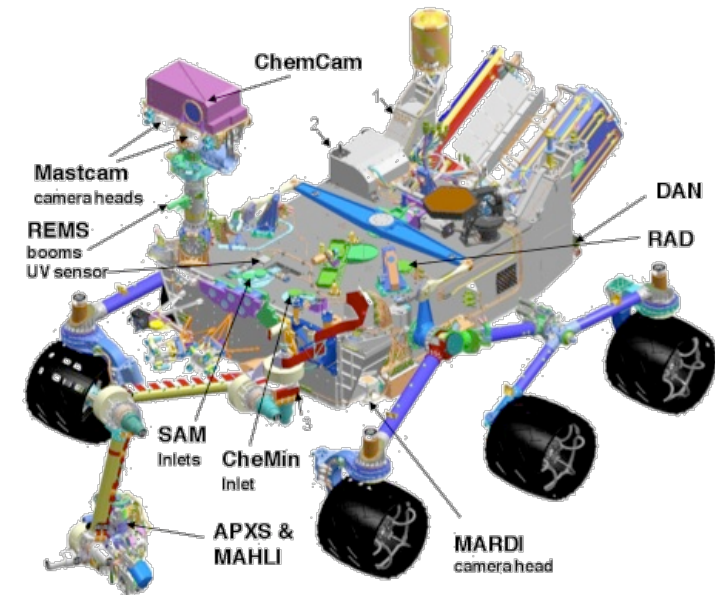
## Caso de uso

Estudio de la humedad y temperatura

Datos REMS (MSL): primeros 669 soles

Alrededor de 25 observaciones/sol

Observaciones durante los primeros 5 minutos/hora



Ari-Matti Harri, M. Genzer, O. Kempainen, J. Gomez-Elvira, R. Haberle, J. Polkko, H. Savijärvi, N. Renno, J. A. Rodriguez-Manfredi, W. Schmidt, M. Richardson, T. Siili, M. Paton, M. De La Torre-Juarez, T. Mäkinen, C. Newman, S. Rafkin, M. Mischna, S. Merikallio, H. Haukka, J. Martin-Torres, M. Komu, M.-P. Zorzano, V. Peinado, L. Vázquez and R. Urqui. *Mars Science Laboratory Relative Humidity Observations – Initial Results*, **Journal of Geophysical Research** 119, n.9, 2132-2147 (2014).

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. Vázquez, N. Renno., *Pressure Observations by the Curiosity Rover – Initial Results*. **Journal of Geophysical Research** 119, n. 1, 82-92 (2014).

## Aplicación

Código PSPP

Base de datos replicada para diferentes tamaños de datos

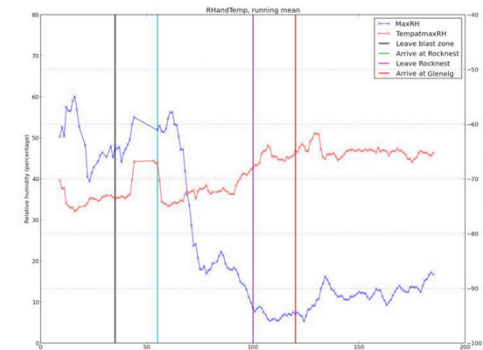
## Infraestructura cloud (Amazon EC2)

- t2.small: 1 CPU, 2GB, \$0,026/h
  - 1 tarea/máquina
- c4.large: 2 CPU, 3,75GB, \$0,105/h
  - 1 tarea/máquina
  - 2 tareas/máquina
- r3.large: 2 CPU, 15,25GB, \$0,166/h
  - 1 tarea/máquina
  - 2 tareas/máquina

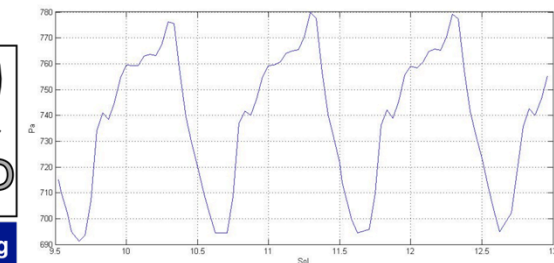
**Unidad experimental: Base Datos (GB)**

**Estudio de rendimiento con 2 CPUs**

ATMOSPHERE RELATIVE HUMIDITY



PRESSURE SENSOR



VARIANCE	KURTOSIS	SKEWNESS
MEANS	CHISQUARE	EXTREME PERCENTILES



# MARSIS image processing



## MARSIS

Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding

Low frequency, pulse-limited radar sounder and altimeter used on ESA Mars Express (since 2005)

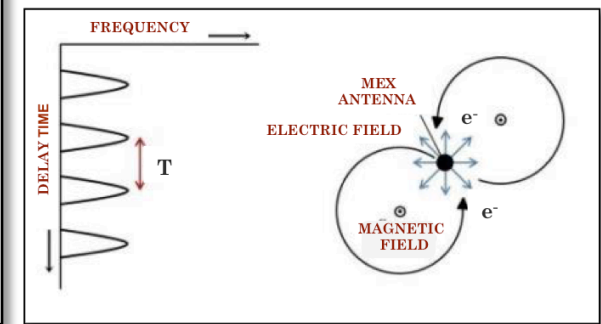
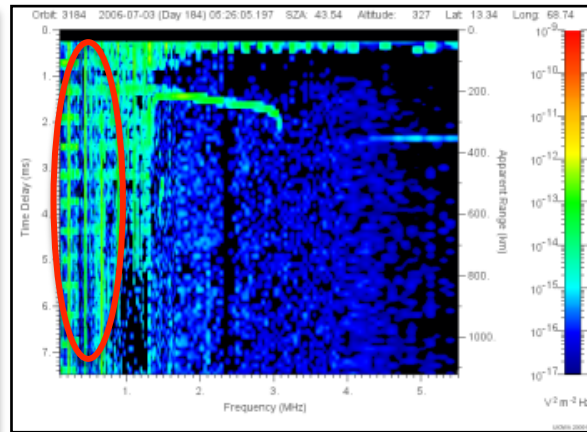
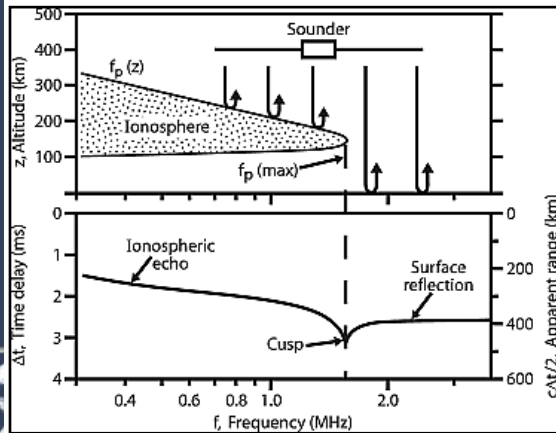
## Ionosphere study

MARSIS data is graphically processed to identify magnetic fields

Lorentz magnetic force & Newton's second law

Linear and angular velocity Period

$$B = \frac{m}{e \cdot \sin(\alpha)} \frac{2\pi}{T}$$



M. Ramírez-Nicolás, D. Usero, L. and Vázquez. *Numerical studies of charged particles in a magnetic field: Mars application*, **Cent. Eur. J. Phys** 12, 521-531, 2014.

M. Ramírez-Nicolás, B. Sanchez-Cano, O. Witasse, P.-L. Blelly, L. Vázquez and M. Lester. *The effect of the induced magnetic field on the electron density vertical profile of the Mars' ionosphere: A Mars Express MARSIS radar data analysis and interpretation, a case study*. **Planetary and Space Science**, 126. 2016.

# MARSIS image processing

## Computational starting point

### MARSIS (Active Ionosphere Sounding) AIS data repository

<http://pds-geosciences.wustl.edu/mex/>

Uploaded since 2008 (92GB)

### MARSIS AIS data reading software

read\_ais(): provided in repository

Converts binary MARSIS AIS data sets into ASCII readable text

```

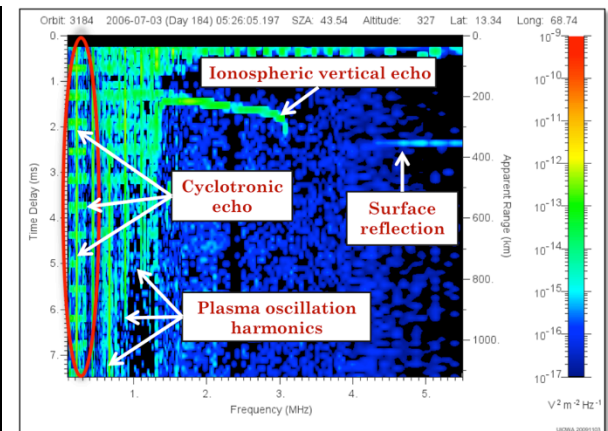
Frame Begin Time :: 2006-005T07:55:07.014 2006-005T07:55:07.014
Transmit Frequency = 5501.305 KHz
Band Number = 4
Receiver Attenuation = 14
Transmit Power Level = 15
1.0E-16 5.2E-17 2.5E-18 3.7E-17 3.9E-17 1.3E-18 1.3E-17 1.3E-18 3.8E-18 2.5E-18
6.3E-18 1.0E-17 4.1E-17 1.0E-17 5.2E-17 8.0E-17 3.3E-17 1.1E-17 8.0E-17 7.1E-17
3.4E-17 2.7E-17 1.3E-17 3.0E-17 3.3E-17 7.6E-18 1.1E-17 3.2E-17 2.5E-18 1.4E-17
2.0E-17 2.3E-17 5.1E-18 1.1E-17 1.8E-17 5.1E-17 3.0E-17 1.2E-16 2.8E-17 3.8E-18
4.0E-23 3.3E-17 3.8E-18 4.0E-23 1.1E-17 7.6E-18 2.9E-17 6.0E-17 1.1E-17 3.8E-18
5.1E-18 1.7E-17 2.7E-17 1.8E-17 8.9E-18 2.5E-17 1.4E-17 7.6E-18 4.2E-17 1.3E-18
2.9E-17 8.9E-18 4.7E-17 4.0E-23 4.2E-17 1.5E-17 8.9E-18 5.1E-17 1.3E-18 1.7E-17
2.3E-17 1.9E-17 1.1E-17 8.9E-18 4.7E-17 8.9E-18 4.4E-17 2.0E-17 6.9E-17 1.3E-18
    
```

### Needs

Algorithm: produce image from data → count “lines” in ionogram → calculate magnetic field using algorithm

Accessible storage: near processing framework

Scalable infrastructure: capable of processing more data





# MARSIS image processing

## MARSIS ionosphere study files

Input .dat files: 9,761 (92GB, *currently*)

2,553 → 4.8MB

2,025 → 6.8MB

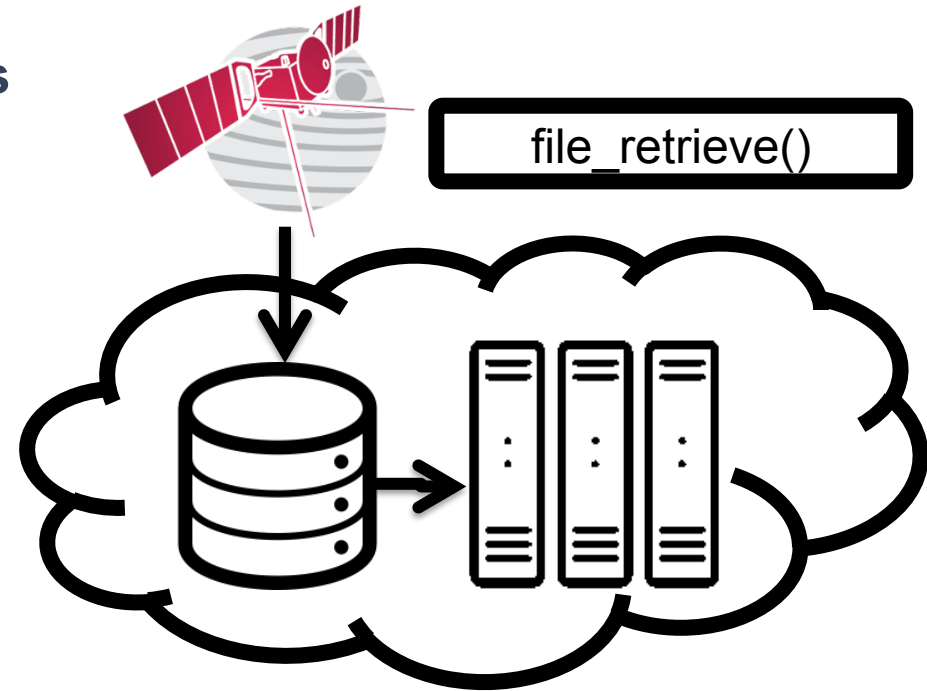
1,352 → 22MB

Images/.dat file:

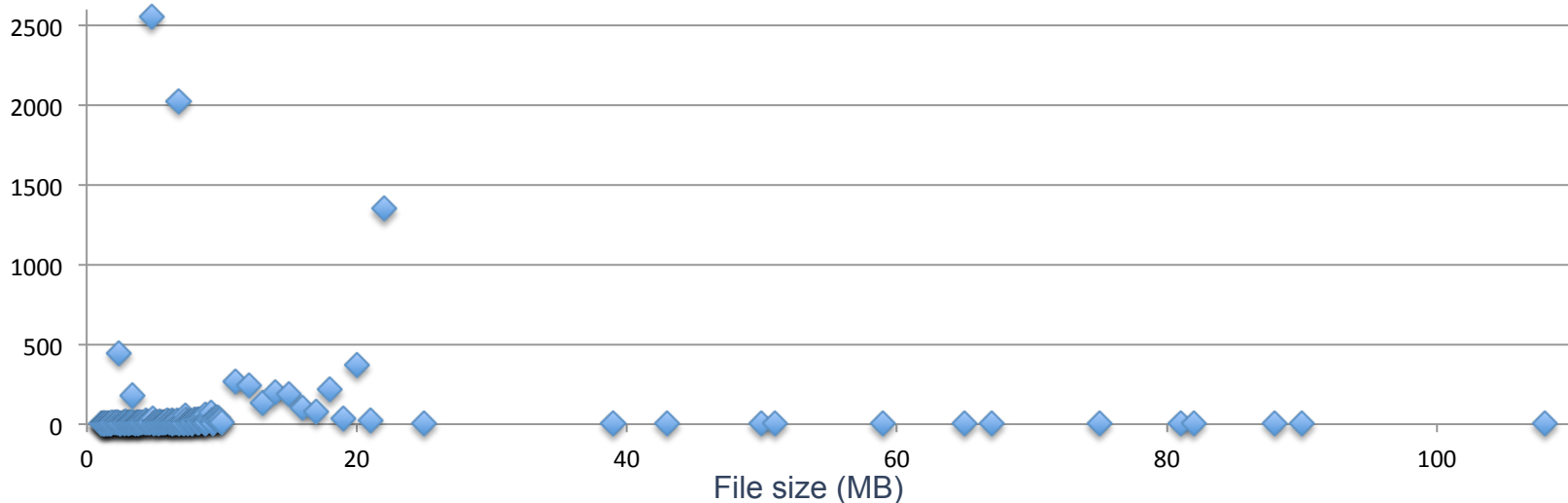
4.8MB → 78 images

14.1MB → 231 images

Transfer time to cloud storage: 7h25'



Distribution of input .dat files





# MARSIS image processing

## MARSIS ionosphere study execution

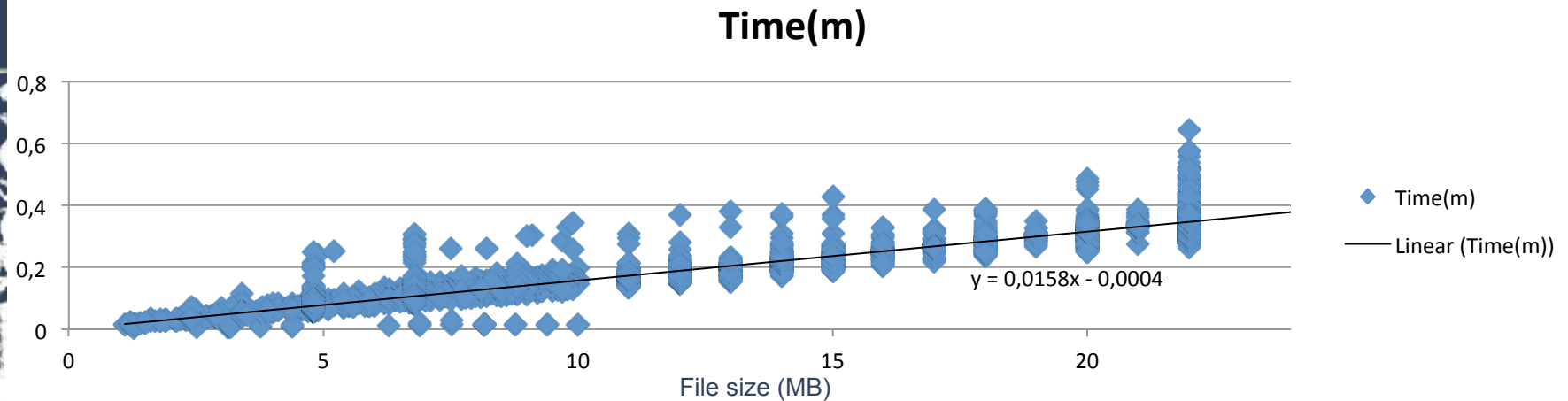
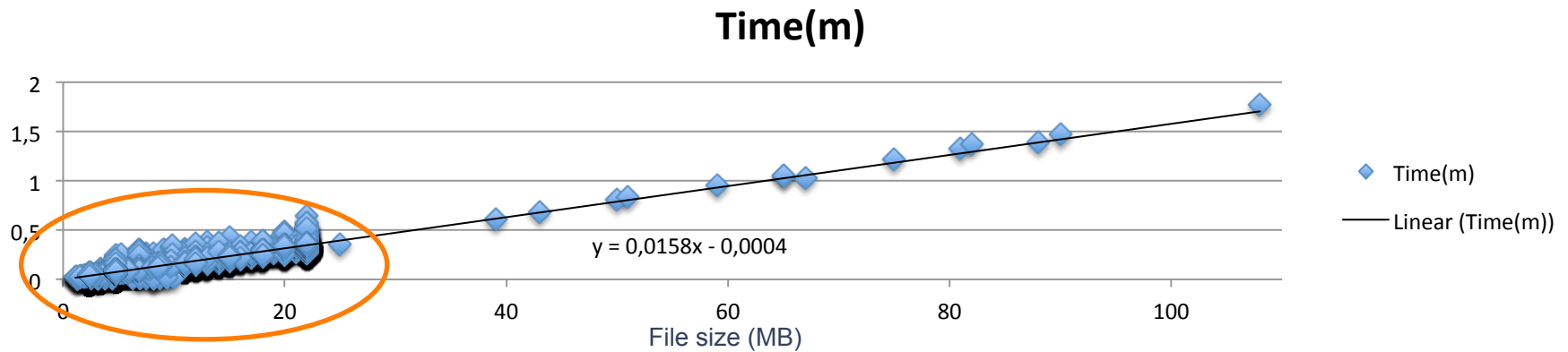
Entire database process time: 25'40''

Model process time: 25'19''

1 x Amazon EC2 m1.small instance (\$0.044/h)



1 vCPU / 1 ECU / 1.7GB



# VMC image processing



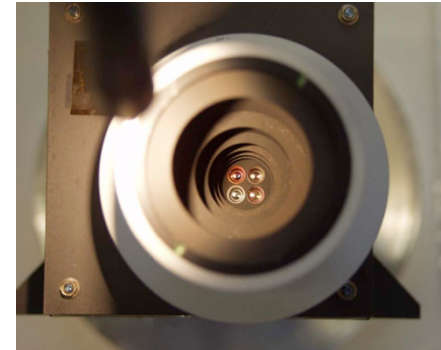
## Venus Monitoring Camera (VMC)

Part of Venus Express (2005-2014) payload: wide-angle, multi-channel charge-couple device (CCD)

Designed for global imaging of the planet

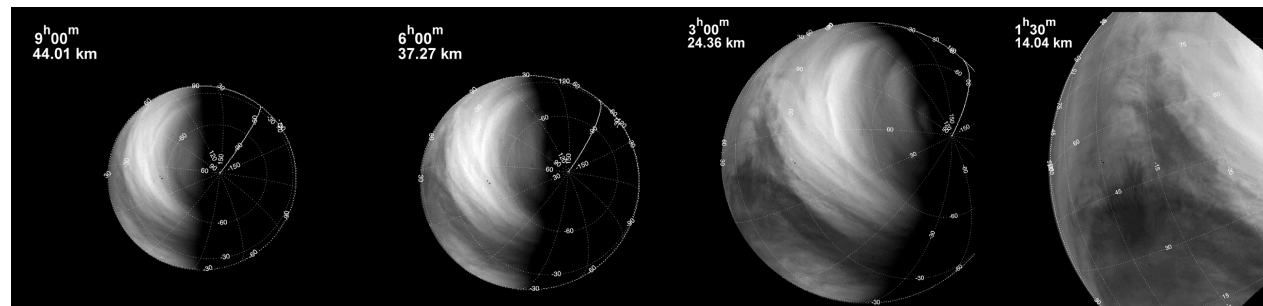
Visible, ultraviolet and near infrared spectral ranges

Maps surface brightness distribution



## Cloud level winds study

Motion tracking of cloud features of VMC images separated by sufficient time interval



I. Khatuntsev, M. Patsaeva, D. Titov, N. Ignatiev, A. Turin, S. Limaye, W. Markiewicz, M. Almeida, T. Roatsch and R. Moissi. *Cloud level winds from the venus express monitoring camera imaging*, **Icarus** 226 (2013) 140–158.

M. Patsaeva, I. Khatuntsev, D. Patsaev, D. Titov, N. Ignatiev, W. Markiewicz and A. Rodin. *The relationship between mesoscale circulation and cloud morphology at the upper cloud level of venus from vmc/venus express*, **Planetary and Space Science** 113-114 (2015) 100– 108.

I.V. Khatuntsev, M.V. Patsaeva, D.V. Titov, N.I. Ignatiev, A.V. Turin, A.A. Fedorova and W.J. Markiewicz. *Winds in the middle cloud deck from the near-IR imaging by the Venus Monitoring Camera onboard Venus Express*, **J. Geophys. Res. Planets**, 2017, in press.

# VMC image processing

## Computational starting point

Independent tasks (Free Pascal code) comparing pairs of images (512x512px 1MB each)

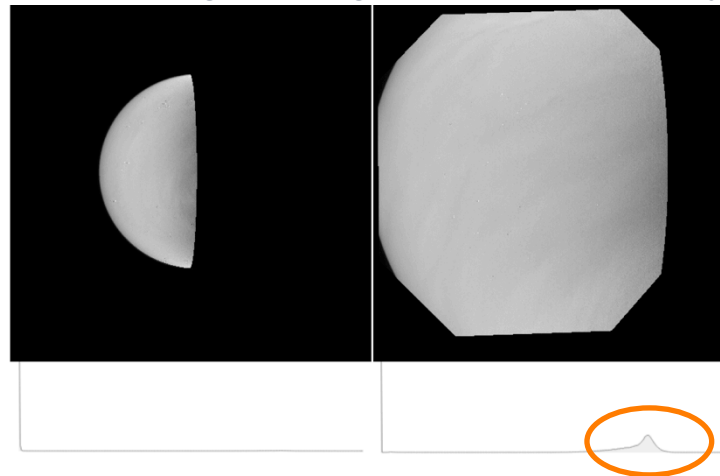
Execution time depends on area processed on each image (from hours to days)

Small area images (“short” execution time) represent 55%-60% of each orbit data set

Original work from I.V. Khatuntsev et al (2017): *150 orbits from Venus Express (Southern hemisphere December 2006-August 2013)*

Each orbit data set contains around 25 images

Classification of tasks based on image histogram (pixel intensity values)



## Needs

Computing power: execution of massive tasks

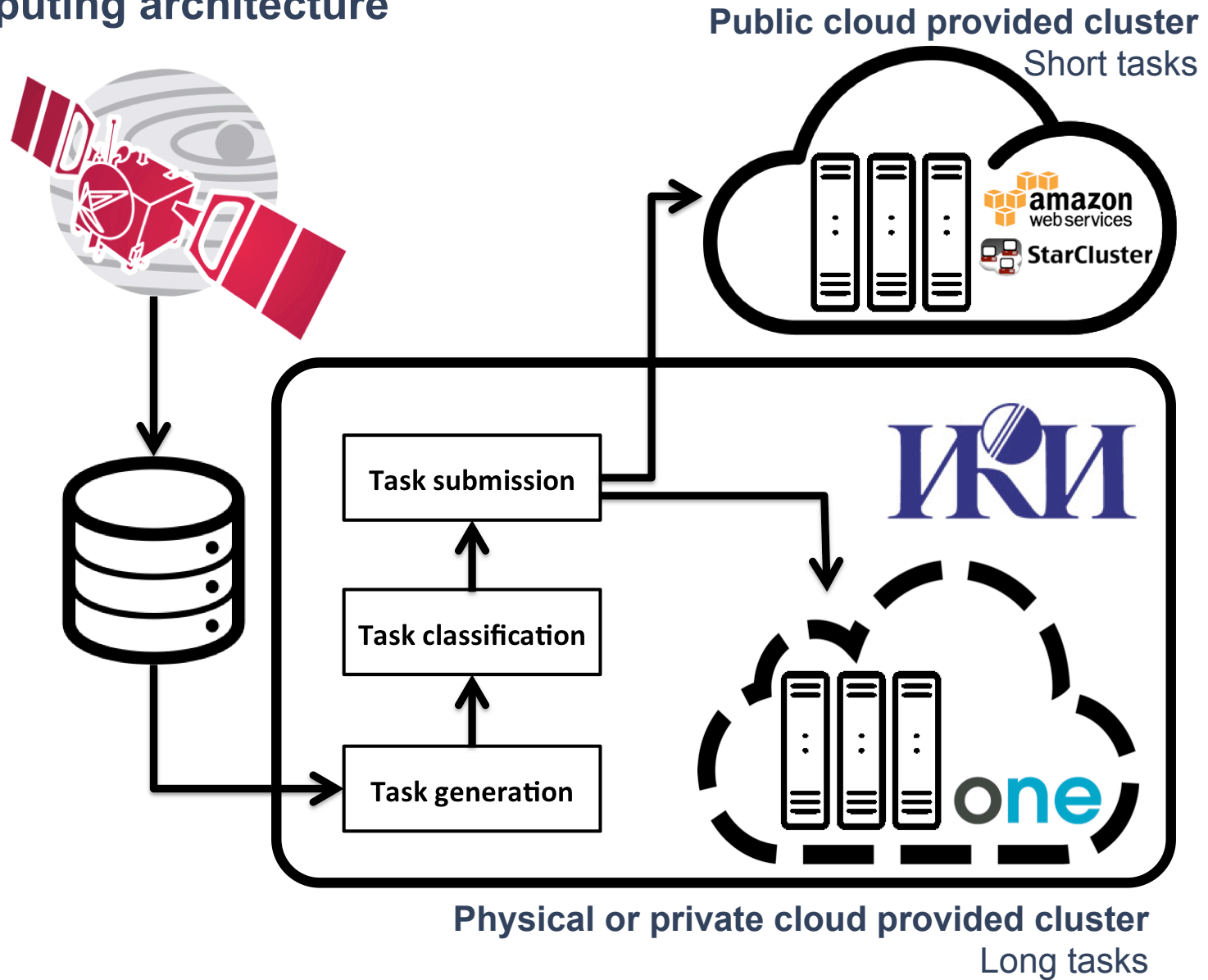
Dedicated computing resources: prevent execution interruptions, customized installation

Budget optimized solution: pay as you go



# VMC image processing

## Computing architecture





# Orgullosos de mis alumnos

dsa-research.org



<http://dsa-research.org/jlvazquez/students/>







dsa-research.org

