



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Geomàtica i Topografia

Detecció de compostos químics en la superfície de Mart

*TREBALL DE FI DE GRAU
en Enginyeria Geomàtica i Topografia
Autor: Ausiàs Roch Talens
Tutor: Alfonso Fernández Sarría*

Gandia, abril i maig de 2020

English

Title

Detection of chemical compounds on the surface of Mars.

Abstract

The following dissertation has the objective of classifying the chemical compounds found on the surface of the planet Mars.

The data used on this work has been taken from the rovers and space probes sent to Mars mainly by the National Aeronautics and Space Administration (NASA) from the United States of America. To access to this data we used the Planetary Data System from the NASA, where we took freely all kind of information: images, hyperspectral images, digital terrain models, geodetic information about Mars, methodologies and other resources.

In regards to the data processing we used free software (also known as "libre" software) and non free software, specialized on GIS and on remote sensing, as well as modules specifically made to work with the Planetary Data System data.

In order to classify the chemical compounds of the surface of Mars, the Spectral Angle Mapper algorithm has been used, which stands out for its simplicity. Also we used spectral indexes to detect different groups of minerals. The evaluation of the classification has been made with the critical observation of the user comparing the results with other scientific documents.

Finally, the results of the classification can be improved, nevertheless, the result as a whole is acceptable.

Geomatics is not just a key component here on Earth but also in space exploration. Major events are about to happen and this discipline shall not wait to make a contribution with its utilities.

Keywords: *Remote sensing, geomatics, space exploration, Mars, classification, cartography, georeferenciation, mineralogy.*

Valencià/català

Títol

Detecció de compostos químics en la superfície de Mart.

Resum

La següent dissertació té com a objectiu realitzar una classificació dels compostos químics que es troben en la superfície del planeta Mart.

Les dades utilitzades en este treball han estat preses pels rovers i sondes enviades a Mart principalment per la «National Aeronautics and Space Administration» (NASA) dels Estats Units d'Amèrica. Per accedir a estes dades s'ha fet ús del «Planetary Data System» de la NASA, d'on s'ha baixat debades tota classe d'informació: imatges, imatges hiperspectrals, models digitals del terreny, informació geodèsica sobre Mart, metodologies i altres recursos.

Pel que fa al processament de les dades s'ha utilitzat programari lliure i no lliure, especialitzat en els SIG i en la teledetecció, així com mòduls elaborats específicament per treballar amb les dades del «Planetary Data System».

Per classificar els compostos químics de la superfície de Mart s'ha utilitzat l'algoritme de Mapeig d'Angle Espectral, que destaca per la seua senzillesa. També s'han utilitzat índexs espectrals per detectar diferents grups de minerals. L'avaluació de la classificació s'ha dut a terme mitjançant l'observació crítica de l'usuari comparant els resultats amb altres documents científics.

Per últim, els resultats de la classificació són millorables, de tota manera, el resultat en conjunt es considera acceptable.

La geomàtica no només és un component clau ací en la Terra, sinó que pot ser fonamental en l'exploració espacial. Grans esdeveniments en l'exploració estan al caure i esta disciplina no deu esperar més a aportar la seua utilitat.

Paraules clau: Teledetecció, geomàtica, exploració espacial, Mart, classificació, cartografia, georeferenciació, mineralogia.

Castellano

Título

Detección de compuestos químicos en la superficie de Marte.

Resumen

La siguiente disertación tiene como objetivo realizar una clasificación de los compuestos químicos que se encuentran en la superficie del planeta Marte.

Los datos utilizados en este trabajo ha sido tomados por los rovers y sondas enviadas a Marte principalmente por la “National Aeronautics and Space Administration” (NASA) de los Estados Unidos de América. Para acceder a estos datos se ha utilizado el “Planetary Data System” de la NASA, de donde se ha descargado gratuitamente todo tipo de información: imágenes, imágenes hiperespectrales, modelos digitales del terreno, información geodésica de Marte, metodologías y otros recursos.

En cuanto al procesamiento de los datos se han utilizado programas libres y no libres, especializados en los SIG y en la teledetección, así como módulos elaborados específicamente para trabajar con los datos del “Planetary Data System”.

Para clasificar los compuestos químicos de la superficie de Marte se ha utilizado el algoritmo de Mapeo de Ángulo Espectral, que destaca por su sencillez. También se han utilizado índices espectrales para detectar diferentes grupos de minerales. La evaluación de la clasificación se ha llevado a cabo mediante la observación crítica del usuario comparando los resultados con otros documentos científicos.

Por último, los resultados de la clasificación son mejorables, de todos modos, el resultado en conjunto se considera aceptable.

La geomática no solo es un componente clave aquí en la Tierra, sino que puede ser fundamental en la exploración espacial. Grandes acontecimientos en la exploración están al caer y esta disciplina no debe esperar más para aportar su utilidad.

Palabras clave: Teledetección, geomática, exploración espacial, Marte, clasificación, cartografía, georeferenciación, mineralogía.

Compromís d'honor

Jo, Ausiàs Roch Talens faig saber que este document o qualsevol part d'ell no ha estat presentat prèviament per cap altra persona anteriorment. Tot el material d'àmbit científic i/o acadèmic que ha sigut pres d'altres fonts ha estat referenciat al seu autor en l'apartat de referències bibliogràfiques.

Signe:


Ausiàs Roch Talens

Taula de figures

Figura 1: Diagrama general de treball.....	16
Figura 2: Logo d'ArcGIS.....	17
Figura 3: Logo de QGIS.....	17
Figura 4: Logo d'ENVI.....	17
Figura 5: Logo d'Earth.....	18
Figura 6: Inici de la pàgina d'Earth Studio.....	18
Figura 7: Hem utilitzat MatLab per resoldre alguns problemes cartogràfics.....	18
Figura 8: Python ha estat una ferramenta adequada per solventar problemes relativament senzills.	18
Figura 9: El programa espacial Artemis de la NASA portarà l'ésser humà a la Lluna una altra vegada i eventualment, a Mart.....	19
Figura 10: Composició atmosfèrica de Mart.....	20
Figura 11: La major part de la composició atmosfèrica terrestre es deu a processos <i>biològics</i>	21
Figura 12: Diagrama de fase d'un compost químic.....	22
Figura 13: Resum dels períodes geològics de Mart en comparació amb els eons de la Terra.....	23
Figura 14: Esquema de la MGS amb les seues parts.....	43
Figura 15: Esquema òptic de CRISM.....	45
Figura 16: Vista des de darrere de la MRO.....	46
Figura 17: Latitud geodèsica i geocèntrica.....	65
Figura 18: Flux de processament de les imatges CRISM.....	72
Figura 19: Espectre d'un píxel qualsevol en el format del PDS.....	75
Figura 20: Espectre del mateix píxel però amb el format de CAT.....	75
Figura 21: Angle d'incidència.....	76
Figura 22: Espectre després de corregir.....	77
Figura 23: Funcionament del SAM.....	80

Taula d'il·lustracions

Il·lustració 1: Logo de FileZilla.....	18
Il·lustració 2: Fragment en proves de la nau Starship / Super Falcon Heavy d' SpaceX. És el pla d'Elon Musk per fer viatges intercontinentals, a la Lluna i a Mart.....	19
Il·lustració 3: <i>El famós astrònom i divulgador Carl Sagan expliant com el grec Eratòstenes de Cirene va mesurar per primera vegada el radi de la Terra.....</i>	27
Il·lustració 4: Mapa de Mart de 1877 de Giovanni Schiaparelli.....	28
Il·lustració 5: Cràter Airy-0 (superior), que definix la longitud zero. Imatge de la MGS.....	29
Il·lustració 6: Imatges dels cràters d'Airy (gran) i Airy-0, respectivament. Imatges captades per la MGS.....	29
Il·lustració 7: Fotograma de l'animació del vol al cràter Airy-0.....	29
Il·lustració 8: Representació del Món segons la projecció cilíndrica equidistant.....	31
Il·lustració 9: Projecció estereogràfica polar nord.....	31
Il·lustració 10: Projecció estereogràfica polar sud.....	32
Il·lustració 11: Pàgina web d'Spatial Reference per a la projecció IAU2000:49910.....	33
Il·lustració 12: Personalitzar la projecció.....	34
Il·lustració 13: Introducció i validació del sistema.....	34
Il·lustració 14: Canvi del sistema de referència de coordenades del projecte.....	35
Il·lustració 15: Per exemple, l'el·lipsoide de referència es troba integrat en ArcMap.....	36
Il·lustració 16: Pàgina d'inici del Mars Orbital Data Explorer.....	38
Il·lustració 17: Logo del Node de Cartografia i Ciències de la Imatge.....	39
Il·lustració 18: Pàgina d'inici del PILOT. Conté milions d'imatges de la majoria dels astres del Sistema Solar.....	39
Il·lustració 19: Portal d'ASTROPEDIA conté un fum de productes ja processats i altres d'especial interès per al nostre treball.....	40
Il·lustració 20: Portal de l'Image Atlas que només utilitzarem per extraure alguna imatge captada pels ròvers.....	40
Il·lustració 21: Taula amb els noms de diversos accidents del relleu.....	41
Il·lustració 22: Dimoniet captat per la MGS en Amazonis Planitia.....	42
Il·lustració 23: Tormenta d'arena de 2001 captada pel Telescopi Espacial Hubble.....	42
Il·lustració 24: Vista frontal del robot.....	46
Il·lustració 25: Retrat del Curiosity en setembre de 2016, al fons es troba l'Aeolis Mons. La regolita pot ser un inconvenient en la detecció de compostos químics.....	47
Il·lustració 26: Formació del cràter de Gale (d'esquerra a dreta).....	48
Il·lustració 27: Pàgina inicial del Mars ODE.....	49
Il·lustració 28: Configuració inicial del mapa.....	50
Il·lustració 29: Filtres: Cràter de Gale.....	50
Il·lustració 30: Selecció de la ruta del Curiosity.....	51
Il·lustració 31: Productes a seleccionar.....	51
Il·lustració 32: Resultats de la cerca.....	52
Il·lustració 33: Selecció dels MDT desitjats.....	52
Il·lustració 34: Informació addicional dels productes.....	53
Il·lustració 35: Resultats per als RDR d'HiRISE.....	53
Il·lustració 36: El comando *RED busca només els productes amb la paraula RED, és a dir imatges monobanda. Amb estes restriccions disminuïm els resultats.....	54
Il·lustració 37: Cerques més parametritzades permeten obtindre una major qualitat de resultats.....	54

Il·lustració 38: Procés de descàrrega.....	55
Il·lustració 39: Configuració de la baixada.....	56
Il·lustració 40: Correu amb les credencials per descarregar els resultats de la teua petició.....	57
Il·lustració 41: Descarregant les dades a través de FileZilla.....	57
Il·lustració 42: Productes MTRDR.....	58
Il·lustració 43: Productes TRDR.....	58
Il·lustració 44: Filtre dels TRDR.....	59
Il·lustració 45: Descarregar els arxius de llarga longitud d'ona és suficient.....	59
Il·lustració 46: Components addicionals.....	60
Il·lustració 47: Recorregut del Curiosity des del Google Earth.....	61
Il·lustració 48: Pàgina d'inici del PDS del MSL, Node de Geociències.....	62
Il·lustració 49: L'última actualització de les dades va ser el 16 de març de 2020.....	62
Il·lustració 50: Productes i arxius.....	63
Il·lustració 51: Accés a les dades.....	63
Il·lustració 52: Pàgina del PDS.....	64
Il·lustració 53: Les dades desitjades es troben en l'arxiu telemetry.csv.....	64
Il·lustració 54: Full de càlcul amb la graella de les dades.....	65
Il·lustració 55: Procés de càrrega dels punts.....	66
Il·lustració 56: S'han d'esborrar les dades nul·les.....	66
Il·lustració 57: Punts en el recorregut del Curiosity entre el sol 0 i el 2604.....	67
Il·lustració 58: Generació del recorregut lineal.....	67
Il·lustració 59: Recorregut del Curiosity més actual fins el moment.....	68
Il·lustració 60: Mosaics ja preparats del Gale crater a ASTROPEDIA.....	68
Il·lustració 61: Mosaic pregenerat per al MSL Curiosity.....	69
Il·lustració 62: Discrepàncies amb la georeferenciació de les dades.....	69
Il·lustració 63: Una altra discrepància en els MDT.....	70
Il·lustració 64: Cràter triat per comparar la georeferenciació entre les imatges.....	70
Il·lustració 65: Menú principal del CAT.....	72
Il·lustració 66: Escrivint *mtr* filtrem les imatges projectades.....	73
Il·lustració 67: Imatge d'exemple ja projectada i corregida.....	73
Il·lustració 68: Una imatge del CRISM sense projectar.....	74
Il·lustració 69: Correcció fotomètrica i volcano-scan.....	76
Il·lustració 70: L'arxiu DDR és necessari per corregir les imatges.....	77
Il·lustració 71: Per exemple, la banda 268 està inutilitzada.....	77
Il·lustració 72: Correcció del bandeig.....	78
Il·lustració 73: Imatge a fals color projectada i la seua anàloga sense projectar. S'ha seleccionat el mateix cràter en les dues imatges per tindre una mateixa referència.....	78
Il·lustració 74: OLINDEX de la imatge.....	79
Il·lustració 75: Llibreria espectral d'ENVI.....	80
Il·lustració 76: Llibreria espectral.....	81
Il·lustració 77: Espectre de la caolinita. En negre ratioed, en roig numerator i en verd denominator.....	81
Il·lustració 78: Imatge de la classificació i la seua anàloga en color vertader.....	81
Il·lustració 79: Cràters de Muara (superior) i Tarrafal (inferior). A l'esquerra la imatge en color vertader i a la dreta l'índex D2300.....	83

Il·lustració 80: Els colors de la imatge han sigut alterats. Les zones més obscures i blanques representen els nivells digitals més elevats. Les zones grises els nivells digitals més baixos de l'índex.....83

Il·lustració 81: Píxels seleccionats (s'han invertit els colors de la imatge).....84

Il·lustració 82: ROI del Numerador en l'arxiu mtr.....84

Il·lustració 83: Dos ROIs, numerador i denominador.....85

Il·lustració 84: Estadístiques del numerador i del denominador. El numerador té uns nivells digitals més elevats que el denominador, com és previsible.....85

Il·lustració 85: Selecció de variables en l'operació $s1/s2$86

Il·lustració 86: Resultat de la ràtio.....86

Il·lustració 87: El espectre de la ràtio però ajustant-lo millor.....87

Il·lustració 88: La llibreria phylsil.sli ja ve integrada en CAT.....87

Il·lustració 89: Espectres dels tres elements, on tots tres presenten una gran semblança. L'eix Y ha estat desferrat per claritat.....88

Il·lustració 90: Espectres amb les tendències eliminades.....88

Il·lustració 91: Imatge en color vertader i la seua respectiva composició FM2.....90

Il·lustració 92: Composició MAF.....90

Il·lustració 93: Composició PH2.....91

Il·lustració 94: Imatge captada pel Curiosity des de la Cresta de Vera Rubin. Al centre Gediz Vallis. Els monts rugosos amb *regalls* (càrcavas) de l'esquerra corresponen a les falces d' Aeolis Mons. Al llarg de tota la imatge podem vore una capa de sediments, és el llit del llac Orcadie.....91

Il·lustració 95: Composició HYD.....92

Il·lustració 96: Composició CAR.....92

Il·lustració 97: Anàlisi realitzat per Thomson i companyia.....94

Il·lustració 98: Classificació de Milliken i companyia.....94

Índex de taules

Taula 1: Comparació entre la Terra i Mart.....	20
Taula 2: El·lipsoide de referència.....	30
Taula 3: Projecció cilíndrica.....	30
Taula 4: Projecció cilíndrica segona.....	30
Taula 5: Projecció polar nord.....	31
Taula 6: Projecció polar sud.....	32
Taula 7: WKT d'exemple.....	33
Taula 8: Especificacions de l'HiRISE.....	44
Taula 9: Especificacions del CRISM.....	45
Taula 10: Especificacions de la CTX.....	45
Taula 11: Discrepàncies entre coordenades.....	71
Taula 12: Diferents composicions RGB triades per a este treball.....	89

Índex de continguts

1. Introducció.....	14
2. Motivacions personals, problemes plantejats i context.....	14
3. Utilitat pràctica.....	15
4. Què necessitarem.....	15
4.1. Flux de treball general.....	16
4.2. Programari utilitzat.....	17
4.2.1. Sistemes d'Informació Geogràfica.....	17
4.2.2. Tractament de la imatge.....	17
4.2.3. Altre programari.....	18
5. Mart.....	19
5.1. Característiques generals del planeta roig.....	19
5.2. Geologia marciana.....	22
5.2.1. Introducció.....	23
5.2.2. Primers esdeveniments.....	23
5.2.3. Període Noaic.....	24
5.2.4. Període Hespèric.....	25
5.2.5. Període Amazònic.....	26
5.2.6. Conclusió.....	26
5.3. Sistemes de referència i projeccions.....	27
5.3.1. Definició del sistema de referència.....	27
5.3.2. El sistema de referència marcià.....	30
5.3.3. Projeccions.....	30
5.3.4. Configuració dels programaris SIG utilitzats.....	33
5.3.4.1. Configuració de QGIS.....	33
5.3.4.2. Configuració d'ArcMap.....	36
6. Les fonts d'informació.....	37
6.1. El Planetary Data System.....	37
6.1.1. El Node de Geociències del PDS i el Mars Orbital Data Explorer.....	38
6.1.2. Node de Cartografia i Ciències de la Imatge - Centre d'Astrogeologia de l'USGS.....	39
6.1.3. Nomenclàtor marcià.....	41
6.2. Els satèl·lits i robots en Mart.....	42
6.2.1. Mars Global Surveyor.....	42
6.2.2. Mars Reconnaissance Orbiter.....	44
6.2.3. Mars Science Laboratory Curiosity.....	46
7. Metodologia.....	47
7.1. Hipòtesi.....	47
7.2. Zona d'estudi.....	47
7.2.1. Gale crater: MSL Curiosity.....	47
7.2.1.1. Hipòtesi sobre la seua formació.....	47
7.3. La descàrrega de les imatges.....	48
7.3.1. Imatges del HiRISE.....	49
7.3.2. Imatges hiperespectrals del CRISM.....	58
7.3.3. Dades específiques: Recorregut del ròver Curiosity.....	61
7.3.4. Dades específiques: Mosaics preelaborats.....	68
7.4. Sobre la georeferenciació de les imatges.....	69

7.4.1. Solució adoptada.....	71
7.5. Preprocessament de les imatges TRR del CRISM.....	72
7.5.1. Característiques de dades.....	72
7.5.2. Càrrega de les imatges.....	72
7.5.3. Conversió de PDS a CAT.....	75
7.5.4. Correcció fotomètrica.....	76
7.5.5. Correcció atmosfèrica: Només IR.....	76
7.5.6. Correcció del bandeig.....	77
7.5.7. Projecció de les imatges.....	78
7.5.8. Generació del producte resum.....	79
7.6. Processament.....	80
7.6.1. Mapeig d'angle espectral SAM.....	80
7.6.1.1. Problemàtica amb les dades.....	82
7.6.2. Utilització d'índexs espectrals.....	89
7.6.2.1. Conclusió.....	93
7.7. Comparació dels resultats.....	94
7.8. Productes.....	95
8. Conclusions del treball.....	96
9. Aspectes a millorar.....	96
10. Bibliografia.....	97
11. Cartografia.....	105
12. Annex.....	106
12.1. Elaboració dels mapes.....	106
12.1.1. Mapa de Mart.....	106
12.1.1.1. Dades utilitzades.....	106
12.1.1.2. Projeccions.....	106
12.1.2. Mapes del cràter de Gale.....	106
12.2. Nomenclatura d'arxius.....	107
12.2.1. Arxius d'HiRISE.....	107
12.2.2. Arxius de CRISM.....	108
12.3. Guions en Python i MatLab.....	109
12.3.1. Projeccions.....	109
12.3.2. Vols virtuals.....	110
12.3.3. Escala gràfica.....	111
12.4. Llistat de sigles acrònims.....	112
12.5. Terminologia.....	113

The desire to know something of our neighbors in the immense depths of space does not spring from idle curiosity nor from thirst for knowledge, but from a deeper cause, and it is a feeling firmly rooted in the heart of every human being capable of thinking at all. Whence, then, does it come? Who knows? Who can assign limits to the subtlety of nature's influence? Perhaps if we could clearly perceive all the intricate mechanism of the glorious spectacle that is continually unfolding before us, and could, also, trace this desire to its distant origin, we might find it parted from its celestial parent.

- Nikola Tesla, *Talking with the planets* (1).

If you expected science to give all the answers to the wonderful questions about what we are, where we're going, what the meaning of the universe is and so on, then I think you could easily become disillusioned and then look for some mystic answer to these problems. How a scientist can take a mystic answer I don't know because the whole spirit is to understand-well, never mind that. Anyhow, I don't understand that, but anyhow if you think of it, the way I think of what we're doing is we're exploring, we're trying to find out as much as we can about the world. People say to me, "Are you looking for the ultimate laws of physics?" No, I'm not, I'm just looking to find out more about the world and if it turns out there is a simple ultimate law which explains everything, so be it, that would be very nice to discover.

If it turns out it's like an onion with millions of layers and we're just sick and tired of looking at the layers, then that's the way it is, but whatever way it comes out its nature is there and she's going to come out the way she is, and therefore when we go to investigate it we shouldn't predecide what it is we're trying to do except to try to find out more about it. If you say your problem is, why do you find out more about it, if you thought you were trying to find out more about it because you're going to get an answer to some deep philosophical question, you may be wrong. It may be that you can't get an answer to that particular question by finding out more about the character of nature, but I don't look at it [like that]. My interest in science is to simply find out about the world, and the more I find out the better it is, like, to find out.

- Richard Feynman, *Doubt and Uncertainty, The pleasure of finding things out* (2).

1. Introducció

En la següent dissertació estudiarem com realitzar una classificació dels compostos químics que es troben en la superfície del planeta Mart. Per dur a terme esta detecció utilitzarem imatges per satèl·lit i, mitjançant tècniques relatives i pròpies a la teledetecció estudiarem els compostos químics de la superfície. Finalment, elaborarem uns productes amb els resultats obtinguts.

La geomàtica no només és un component clau ací en la Terra, sinó que pot ser fonamental en l'exploració espacial. Grans esdeveniments en l'exploració estan al caure i esta disciplina no deu esperar més a aportar la seua utilitat.

2. Motivacions personals, problemes plantejats i context

It was the best of times, it was the worst of times, it was the age of wisdom, it was the age of foolishness, it was the epoch of belief, it was the epoch of incredulity, it was the season of Light, it was the season of Darkness, it was the spring of hope, it was the winter of despair, we had everything before us, we had nothing before us, we were all going direct to Heaven, we were all going direct the other way—in short, the period was so far like the present period, that some of its noisiest authorities insisted on its being received, for good or for evil, in the superlative degree of comparison only.

- Charles Dickens, *A tale of two cities* (3).

Com digué el conegut escriptor britànic del segle XIX Charles Dickens: «*Era el millor dels temps, era el pitjor dels temps...*». Concretament estava referint-se a la disparitat que ell trobava en la Revolució Francesa de 1789: Per una part la societat francesa s'alliberava dels monarques tirans, a més a més, els francesos passaven de ser súbdits d'un rei a ciutadans amb drets i deures. Per l'altra part, grans massacres i execucions van succeir en nom de la revolució, donant nom al període del Terror (*la Terreur*). Dickens d'estaca esta aparent contradicció en el seu llibre.

A parer meu, el nostre context actual és similar, però no igual. Ens trobem en un període de creixement econòmic quasi ininterromput a escala pràcticament global. Disposem de més salut, més educació, més serveis, més oportunitats, més tot. Sembla que tot funciona correctament (almenys de moment) i que tot continuarà a millor. Però d'altra banda seguix havent-hi gran desigualtat, pobresa, individualisme, corrupció... I en estes i les pròximes dècades hem de tractar amb les conseqüències del canvi climàtic. Sembla que en una època on se suposa que el món està globalitzat, en realitat, cada país seguix tancat en la vella idea de nació-estat.

Em sembla que és urgent una col·laboració i una unió de països per la solució dels problemes esmentats. Alguns d'estos problemes no es podran véncer sinó és de manera conjunta. Tanmateix, en les pròximes dècades l'humà tornarà a la Lluna (pot ser de manera permanent) i anirà a Mart, és inevitable, passarà. Com he dit abans, pense que estos reptes s'hauran d'assolir de manera conjunta, doncs requeriran grandíssims esforços econòmics, socials, tecnològics i també humans.

D'esta manera m'agradaria aportar la meua insignificant ajuda realitzant este treball. Realitzar una detecció precisa de la composició química de la superfície d'un planeta és clau tant com per entendre la seua història passada com per extraure recursos útils per al desenvolupament dels humans en el futur. El previ coneixement del terreny pot reduir costos tant econòmics com humans.

Per al cas de Mart, actualment ja es disposa d'un catàleg d'informació suficientment generós però tampoc excedent, com per realitzar una anàlisi d'este tipus. Al llarg d'este treball estudiarem com analitzar esta informació per poder extraure informació geològica de Mart. Amb estos resultats també entreveurem la possible formació i estructura de determinats accidents geològics del planeta roig.

Per a mi ha estat tot un plaer haver realitzat este treball on he pogut aprendre molt sobre la teledetecció, la geologia i l'exploració espacial. Espere també que, d'alguna manera motive al lector en estos aspectes.

3. Utilitat pràctica

Els recursos de la Terra no són infinits i comencen a escassejar (4). La imminent revolució digital i energètica requereix grans quantitats d'elements que en la Terra no són abundants, com per exemple les terres rares.

És este un dels motius pel que països com Luxemburg (5), tradicionalment miner, o els Estats Units d'Amèrica, estiguen posicionant-se com a futurs capdavaners de l'anomenada mineria espacial. Tot i que la mineria espacial sembla entrar en contradicció amb el tractat de l'ONU sobre l'espai exterior (6) estos països ja han començat a dissenyar la tecnologia i la burocràcia necessària per a extraure recursos en altres planetes.

Deixant els aspectes polítics i financers de costat: La detecció de compostos químics serà clau per a la futura extracció de recursos naturals en altres planetes i asteroides. És per això que el coneixement previ del terreny pot ajudar a optimitzar els esforços d'esta extracció.

Este treball oferix una aproximació sobre com fer una detecció de manera senzilla dels compostos químics en la superfície de Mart.

4. Què necessitarem

Abans de posar-nos mans a l'obra hem d'estar segurs de quina informació necessitarem i quina metodologia haurem de seguir per donar solució a este problema: Detectar compostos químics en altres planetes.

Les ferramentes i la informació que hem plantejat nosaltres per dur a terme esta idea és la següent:

- *Imatges hiperespectrals*: Seran la peça clau que reflectirà la informació física que proporciona el terreny.
- *Espectres de referència*: Haurem de disposar d'uns espectres previs dels compostos químics que analitzarem.
- *Algorisme matemàtic*: Per relacionar i computar la relació dels espectres de referència amb les imatges.
- *Informació complementària*: Diversa informació addicional que ens ajudarà a donar el vistiplau de l'algorisme matemàtic i també complementar-lo amb una valoració crítica per part de l'usuari.
- *Informació i documentació tècnica i científica*: Tota classe d'informació tècnica i científica necessària que ens explicarà i ens informarà sobre com fer ús de les dades, els seus requeriments, preprocessament... Com és natural, tota esta informació està referenciada en la bibliografia.
- *Programari específic*: Per al processament i tractament de totes estes dades.

Al llarg d'este document desenvoluparem tots estos apartats d'una manera més extensa.

4.1. Flux de treball general

Una vegada vists els conceptes i aspectes que haurem de tindre en compte, mostrarem un diagrama general per donar una idea sintetitzada i clara del procés de treball. Amb els conceptes anteriors i este flux en ment el lector podrà començar a imaginar quins aspectes tècnics tractarem en cada globus.

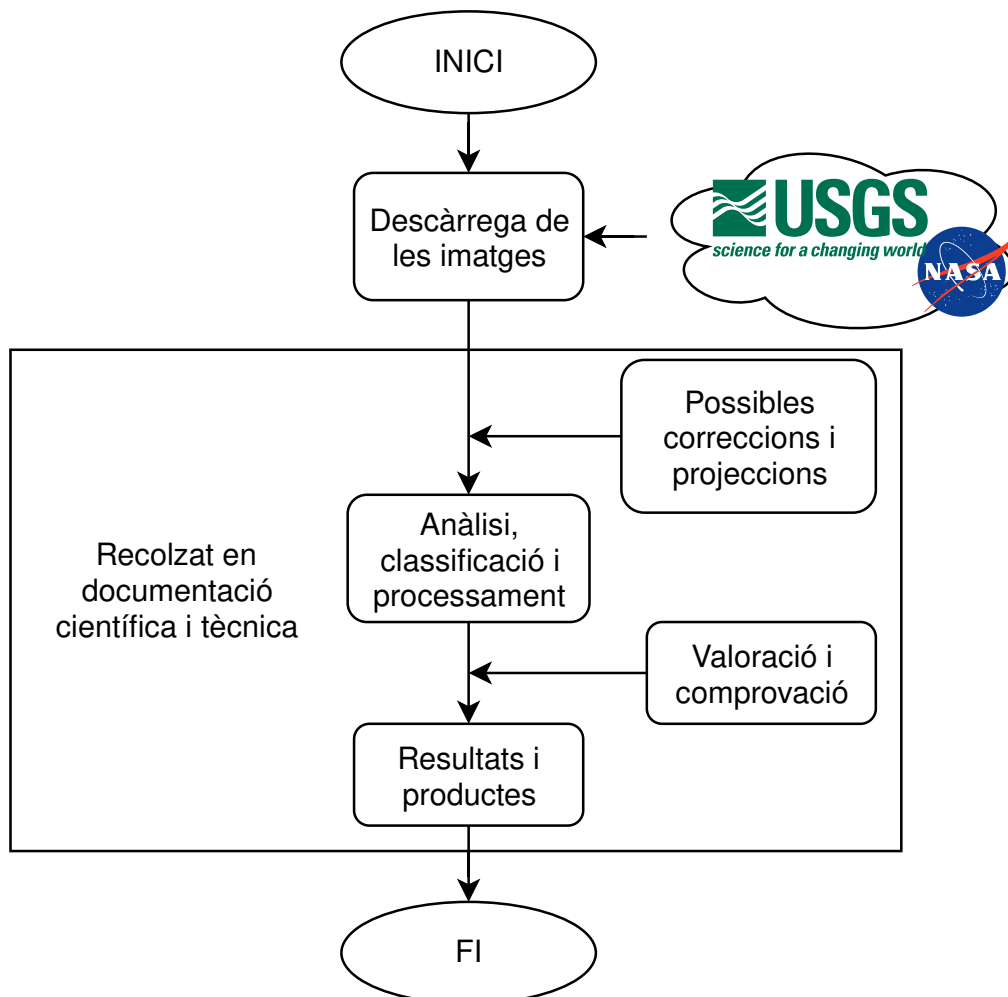


Figura 1: Diagrama general de treball.

Destaquem que tot este procés estarà fonamentat sempre amb documentació científica i tècnica. En els següents punts s'estudiarà amb més detall tot este procés.

4.2. Programari utilitzat

El programari utilitzat en este treball és molt variat quant a filosofia i quant a finalitat. En tot este treball hem tingut preferència pel programari lliure però no sempre ha estat possible utilitzar-lo.

Enumerem els programes utilitzats i les seues finalitats^a:

4.2.1. Sistemes d'Informació Geogràfica

Els programes SIG utilitzats són els detallats en este llistat. La utilitat d'estos programes ha estat prou diversa:

- ArcGIS d'ESRI (7): Pot ser el més conegut, de codi propietari i de pagament. Concretament hem usat ArcMap, dins del paquet d'ArcGIS. Per al tractament de la informació cartogràfica així com l'elaboració de productes. La versió utilitzada és la 10.4.



Figura 2: Logo d'ArcGIS.

- QGIS (8): L'alternativa lliure i gratuïta a ArcMap. La finalitat d'este programa és la mateixa que la d'ArcMap, però en este treball li donarem preferència a QGIS. La versió utilitzada és la 3.10. A Coruña.



Figura 3: Logo de QGIS.

4.2.2. Tractament de la imatge

Una altra clau fonamental per a este treball són els programes de processament de la imatge:

- ENVI d'L3 Harris Geospatial (9): Propietari i pagament. Utilitzat per processar les imatges hiperespectrals de l'instrument CRISM. La versió utilitzada és la 5.4.3 en la opció *classic + IDL*.



Figura 4: Logo d'ENVI.

- CAT (CRISM Analysis Toolkit) de la NASA (10): És un complement de procediments per a ENVI que facilita la lectura, visualització i processament de les imatges hiperespectrals, específicament programat per a l'instrument CRISM. La versió utilitzada és la 7.3.
- JCAT (Java CRISM Analysis Tool) de la NASA (11): És un programa escrit en Java utilitzat per visualitzar cartografia de CRISM i les seues metadades. També permet l'ajust radiomètric de les imatges. Este programa ha sigut útil en les primeres fases del treball però és substituïble per ENVI i CAT. La versió utilitzada és la 1.0.1.

a La classificació del programari feta en este apartat és orientativa i s'ha fet tenint en compte la finalitat de cada programa en este treball.

4.2.3. Altre programari

A més dels programes ja detallats hem utilitzat altres programes i webs:

- Google Earth Pro (12): Gratuït. Elaborat per Google i utilitzat per visualitzar cartografia en general així com algunes capes vectorials. La versió utilitzada és la 7.3.2.



Figura 5:
Logo d'Earth.

- Google Earth Studio (13): Gratuït. Utilitzat per a animar la cartografia de Google Earth mitjançant vols en tres dimensions. Esta web només és compatible amb navegadors basats en Chromium.

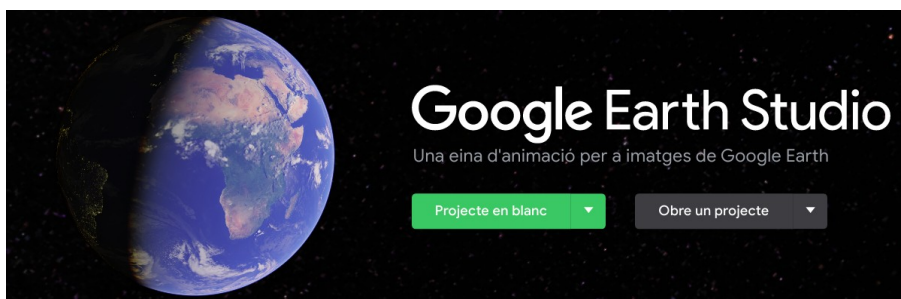


Figura 6: Inici de la pàgina d'Earth Studio.

- Guions (scripts) escrits en Python (14) i MatLab (15): Per a facilitar o resoldre alguns problemes cartogràfics sorgits durant el treball. Alguns d'estos problemes han sigut la representació de projeccions cartogràfiques, la generació de vídeos amb les dades de Google Earth Studio o la generació d'escala gràfiques. Els guions estan referenciats en els seus respectius apartats. La versió de Python utilitzada ha sigut la 3.8.2. La versió de MatLab utilitzada és la R2019b.



Figura 7: Hem utilitzat MatLab per resoldre alguns problemes cartogràfics.



Figura 8: Python ha estat una ferramenta adequada per solventar problemes relativament senzills.

- FileZilla (16): Gratuït i lliure. Client d'FTP per a descarregar arxius de manera senzilla. La versió utilitzada és la 3.48.



Il·lustració 1:
Logo de
FileZilla.

5. Mart

Mart és el candidat per excel·lència per ser colonitzat les pròximes dècades. La NASA, amb el programa Artemis, ja està desenvolupant els coets necessaris que tornaran a posar els peus de l'ésser humà en la Lluna després de vora 50 anys sense fer-ho (17). Posteriorment s'utilitzarà el satèl·lit terrestre com a passarel·la per anar al planeta roig (18). És més, la NASA preveu portar els primers humans a Mart per a l'any 2030 (19). En canvi Elon Musk, el magnat nord-americà propietari d'empreses com Tesla, SpaceX o The Boring Company és més optimista i marca esta data per al pròxim 2024, d'ací només quatre anys (20).



Figura 9: El programa espacial Artemis de la NASA portarà l'ésser humà a la Lluna una altra vegada i eventualment, a Mart.



Il·lustració 2: Fragment en proves de la nau Starship / Super Falcon Heavy d' SpaceX. És el pla d'Elon Musk per fer viatges intercontinentals, a la Lluna i a Mart.

5.1. Característiques generals del planeta roig



Mart sempre ha inspirat grans pensaments en les gents del passat. En la cultura romana (21), Mart és el déu de la guerra i la violència, entre altres. Segons esta mitologia, Mart va tindre dos fills anomenats Ròmul i Rem que fundaren Roma. Per als romans este fet era tot un orgull, fins i tot es consideraven com a fills de Mart, fills de la guerra.

Els grecs, en canvi, anomenaven a Mart com a Ares, també déu de la guerra. En este cas els seus fills s'anomenaven, Fobos (Φόβος, pànic) (22) i Deimos (Δειμος, terror) (23). De fet, estos dos noms són els noms que reben els satèl·lits naturals del planeta roig.

És molt probable que el color rogenc de Mart vist des de la Terra evoque un record al color roig de la sang i, per a algunes cultures i, fins i tot, un sentiment bèl·lic.

En la següent graella vorem les característiques principals de Mart i les posarem en context comparant-les amb les de la Terra (24) :

Taula 1: Comparació entre la Terra i Mart.

	Terra	Mart	Ratio (Mart/Terra)
Mida relativa			-
Radi aproximat (km)	6371	3.390	53,20%
Distància al Sol (milions de km - UA)	150 - 1	226 - 1,5	150,6%
Edat (milions d'anys)	4.540	6.740	148,5%
Període de translació (dies)	365,26	686,98	188%
Període de rotació (hores)	23,94 (dia)	28,62 (sol)	119,6%
Nombre de satèl·lits naturals	1 (Lluna)	2 (Fobos i Deimos)	Un més
Acceleració de la gravetat (m/s^2)	9,81	3,71	37,8%
Pressió atmosfèrica de referència (Pa)	101.325	620	0,6%
Temperatura mitjana ($^{\circ}C$)	15 (en augment)	-60	-75 $^{\circ}C$

→ Composició atmosfèrica de Mart: L'atmosfera marciana està fonamentalment formada per diòxid de carboni.

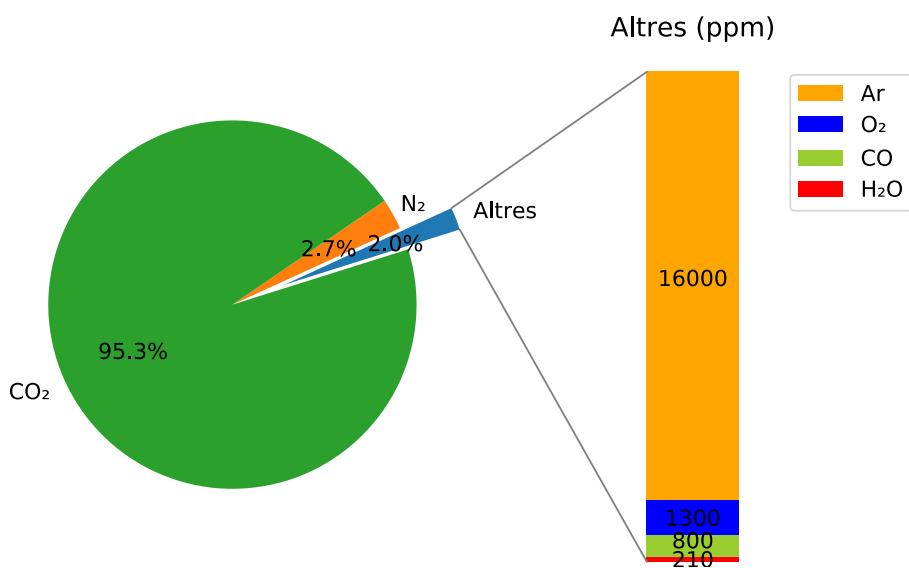


Figura 10: Composició atmosfèrica de Mart.

→ Composició atmosfèrica de la Terra: La major part de la composició atmosfèrica terrestre es deu a processos biològics (25).

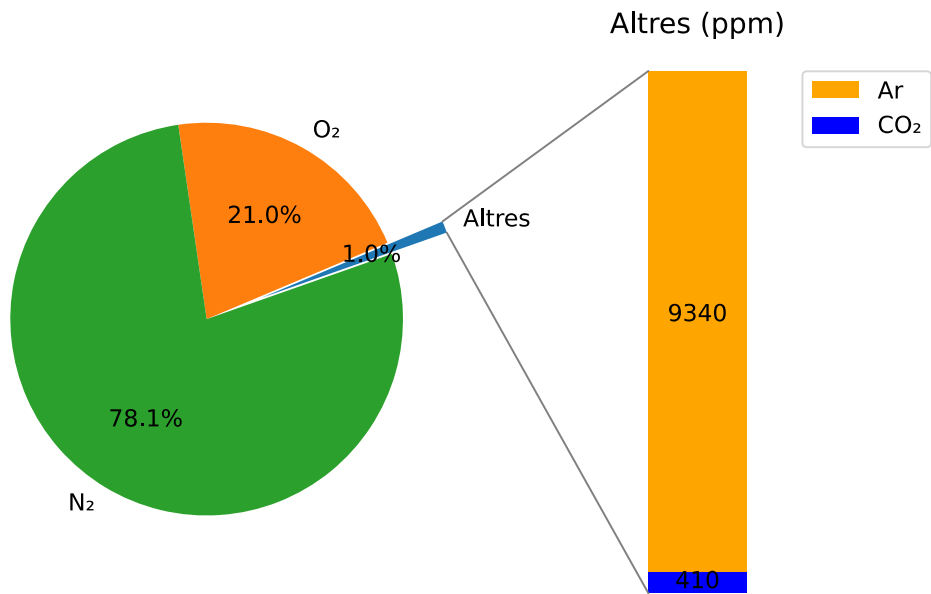


Figura 11: La major part de la composició atmosfèrica terrestre es deu a processos biològics

5.2. Geologia marciana

-Convengo en ello; pero te repito, Conseil, que ese fenómeno no se producirá. La violencia de las fuerzas subterráneas va disminuyendo siempre, y los volcanes, tan numerosos en los primeros días del mundo, se extinguen poco a poco. Se debilita el calor interno, y la temperatura de las capas inferiores del globo descende en una cantidad que puede apreciarse cada siglo, con detrimento de nuestro globo, porque ese calor es su vida.

-El sol, sin embargo...

-El sol es insuficiente, Conseil; ¿podría dar calor a un cadáver?

-Cierto que no.

-Pues bien, amigo mío, la Tierra será algún día ese cadáver yerto, llegará a ser inhabitable y estará deshabitada, como la luna, que ha perdido desde hace mucho tiempo su color vital.

-¿Dentro de cuántos siglos? -preguntó Conseil.

-Dentro de algunos centenares de miles de años. [Esta xifra és incerta exactament però segurament és major a l'aportada per Jules Verne (26).]

-Pues entonces -respondió Conseil- tenemos tiempo de acabar nuestro viaje si no se mezcla en ello Ned Land.

- Jules Verne, *Veinte mil leguas de viaje submarino* (27).

Des de 1960 deu (28) ròvers i mòduls d'aterratge (*landers*) han *amartizat*^a satisfactòriament. Estos robots han transmés una enorme quantitat de dades que han ajudat a canviar la nostra comprensió de com és Mart i com ha evolucionat fins al que és. En este apartat sintetitzarem els coneixements que es tenen fins el moment sobre Mart. Comprendre bé la geologia marciana pot ser clau per valorar la identificació dels compostos químics d'este planeta.

Actualment Mart és un gran desert fred. Amb només una temperatura de 215K (-58°C) a l'equador i una pressió de 6.1hPa (0,006atm), la pressió en superfície està per davall del punt triple de l'aigua (29), això vol dir que qualsevol rastre d'aigua líquida es congelaria instantàniament. En canvi, tenim evidència científica que en algun moment del passat la temperatura va ser prou elevada per poder permetre que l'aigua fluïra per grans canals i rius fins als mars i oceans, al menys per un temps. I, és poc probable, però potser hi hagué vida.

En este punt desenvoluparem d'una manera sintetitzada els coneixements adquirits fins a l'actualitat de la geologia del planeta roig (30). Principalment ens focalitzarem en els processos geològics superficials com l'erosió, la sedimentació i la meteorologia. També veurem el paper de l'aigua en esta història.

Recomanem al rector tindre a mà el mapa adjunt en l'apartat de cartografia per tindre una millor comprensió dels fets.

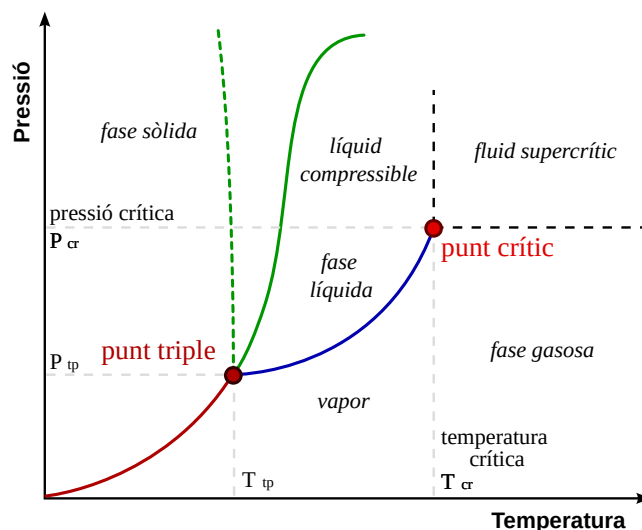


Figura 12: Diagrama de fase d'un compost químic

a *Amartitzar*: Aterrar sobre la superfície de Mart. Esta paraula encara no ha estat acceptada per l'Acadèmia Valenciana de la Llengua ni per l'Institut d'Estudis Catalans però sí per la Real Academia Española de la Lengua.

5.2.1. Introducció

La història geològica de Mart es dividix en tres períodes: Noaic, Hespèric i Amazònic. Les divisions entre èpoques es deuen a fenòmens importants en la formació de cràters. En la següent figura es mostra un resum amb els esdeveniments geològics més destacables de cada era:

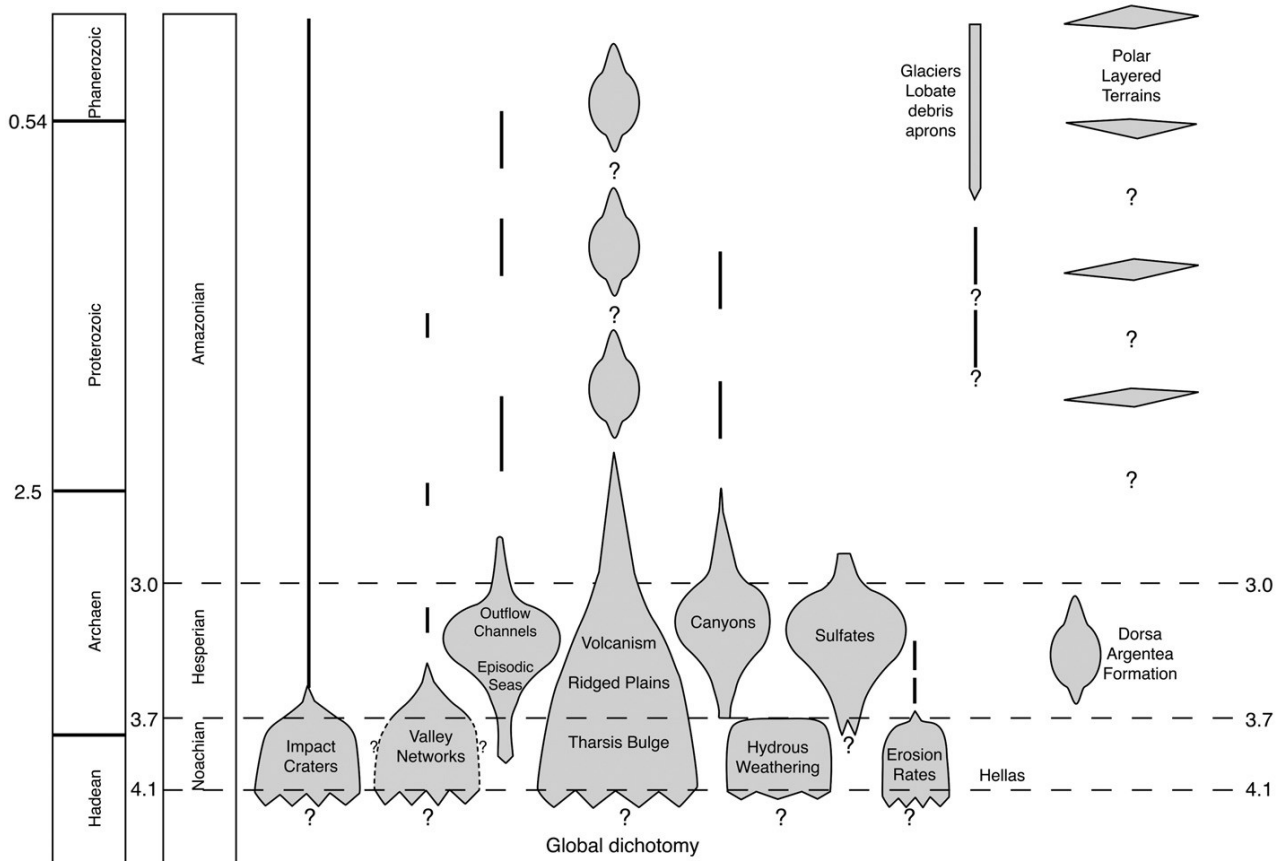


Figura 13: Resum dels períodes geològics de Mart en comparació amb els eons de la Terra.

5.2.2. Primers esdeveniments

Es desconeixen els esdeveniments que succeïren entre la formació de Mart, fa ~6,74Ga, i la formació de l'Hellas Planitia (vore mapa adjunt) fa uns 4,1Ga. Tot el que es pot caracteritzar d'este període és l'existència d'un camp magnètic i la possibilitat que un gran impacte formara la dicotomia global que encara es troba en la cortesa del planeta. L'activitat volcànica i els impactes per meteorits eren molt abundants i és probable que estos esdeveniments tingueren conseqüències ecològiques desastroses, però res es coneix de l'atmosfera d'esta època. Es té constància d'un antic camp magnètic gràcies a les anomalies magnètiques detectades per la MGS. Moltes de les regions magnetitzades per este arcaic camp magnètic han estat destruïdes pels grans impactes que ejectaren materials i formaren les conques d'Hellas, Utopia, Argyre i Isidis.

5.2.3. Període Noaic

En quant el període més antic, el període Noaic, en comparació als períodes posteriors destaca per tindre les tasses d'erosió, de formació de cràters i valls més altes de tota la història marciana. L'acumulació de materials volcànics en l'altiplà de Tharsis i les condicions meteorològiques van propiciar la generació de fil·losilicats que foren transportats gràcies a l'activitat hidrotermal generada per impactes meteorítics i el vent i l'aigua. Esta alta densitat d'impactes meteorítics és coneix com a Gran Bombardeig Tardà, o *Late Heavy Bombardment* (LHB) (31). L'LHB correspon a un esdeveniment que succeï fa 4Ga. Suposa que una va haver quantitat desmesurada de impactes meteorítics en els planetes interiors (Mercuri, Venus, Terra i Mart).

Vegem en detall l'activitat enregistrada en este període:

- Vulcanisme: La major part de l'activitat volcànica d'esta era es va donar en Tharsis, on s'ejectà a la superfície una quantitat de material suficient per cobrir tot el planeta amb una capa de dos quilòmetres de materials volcànics.
- Meteorologia: Un tret destacable d'esta època va ser la dispersió general de fil·losilicats (formats per l'erosió de roques volcàniques) com montmoril·lonita, clorites riques en ferro, entre altres. És a dir, minerals formats per l'alteració aquosa de basalts. Al final del període Noaic les condicions varen canviar de càlides i humides on la pluja hídrica (*hydrous weathering*) va ocórrer a unes condicions més fredes i seques on la pluja hídrica va desaparèixer. La desaparició d'este tipus de pluja reduí la hidratació de minerals, per tant la formació de minerals hidratats com la clorita, moscovita, montmoril·lonita, la saponita...
- Climatologia: En el Noaic era habitual que l'atmosfera fóra pertorbada greument per una erupció volcànica o un impacte meteoríctic emetent grans quantitats de potents gasos d'efecte hivernacle (com el SO_2 o el CH_4) incrementant la temperatura i provocant a llarg termini que grans quantitats d'aigua es concentraren en l'atmosfera, la qual va poder precipitar durant dècades formant grans valls. S'estima que estes pluges podrien haver descarregat una quantitat suficient per a cobrir el planeta amb una capa de 16m d'aigua cada vegada que un fenomen d'estes característiques ocorreguera.
- Erosió: Les tasses d'erosió varen ser molt altes en esta època, de fet, la major part dels cràters d'estos temps es troben erosionats i colgats pels sediments. S'estima que el ritme d'erosió era d'1-4m/10⁶ anys un ritme encara prou baix si el comparem amb les dades actuals, com per exemple, en els Estats Units d'Amèrica esta tasa és d'uns 50m/106anys.
- Valls, canals i rius: D'altra banda, quant a la generació de valls i canals de drenatge, la majoria només tenen uns pocs centenars de quilòmetres. Hi destaquen les valls que desemboquen en Acidalia Planitia. També, a causa de la solsidea de terres es sap que hi haguera aigües subterrànies.
- Oceans: Per acabar, si parlem dels oceans, un dels temes més controvertits, no se sap ben bé si existiren en esta època o no. De tota manera, és possible que hi haguera grans inundacions en esta època, però el registre no està ben preservat. Este tema es discutirà en èpoques posteriors, doncs es disposa d'una major informació.

5.2.4. Període Hespèric

L'inici del període Hespèric es correspon aproximadament amb el final de l'LHB i l'inici del període Arqueà a la Terra. L'Hespèric destaca per ser un període més tranquil que el Noaic, en tots els aspectes.

- Vulcanisme: Tot i que este període va ser més tranquil no vol dir que esdevinguera cap formació important. Es creu que en esta època es varen formar les acumulacions volcàniques que ara es coneixem com a Syrtis Major Planum, Malea Planum o l'Hesperia Planum. Altiplans rugosos formats per l'acumulació de capes de lava. També és possible que l'Olympus Mons començara a formar-se a principis d'esta època.
- Valls, canals i rius: La ràtio de formació de valls i canals va descendir molt des de l'inici de l'Hespèric i la major part d'estes formacions van ser propiciades a l'activitat volcànica i hidrotermal. Esta activitat aportava la calor suficient per a descongelar el gel zonal i augmentar la pressió en les aigües subterrànies (a causa de l'augment de temperatura) provocant inundacions que formaren estructures com l'Ares Vallis o Kasei Valles. De tota manera, s'estima que 20-30 dies més tard de la inundació l'aigua es congelaria. Açò comportà un augment en la criosfera. Per últim este augment de la criosfera disminuí la possibilitat de formació de la hidratació de minerals.
- Valles Marineris: En valencià, Valls del Mariner. Constituïx una de les peces més problemàtiques en la geologia de Mart, incloent-hi la seua formació, els dipòsits en el seu interior o si algun dia va contindre llacs o no. És possible que la formació d'este gran canyó es dega a una gran fractura en la litosfera causada per l'estrés que va generar la regió de Tharsis. Esta fractura va tindre com a resultat un graben o fossa tectònica d'enormes dimensions. És possible que este canyó augmentara d'extensió gràcies a l'erosió provocada per les inundacions, els moviments d'antigues glaceres i el vent. Donat que estos terrenys són eminentment volcànics la seua erosió va anar acompanyada amb grans emissions de SO_2 , diòxid de sofre, un gas d'efecte hivernacle.
- Oceans: En esta època no es descarta l'existència d'un oceà en les planures del nord. Això explicaria perquè els cràters d'estes planures estan plens de sediments de les inundacions. Un altre argument a favor de l'existència d'oceans són les capes de gel soterrades detectades en Vastitas Borealis.
- Erosió i meteorologia: La disminució en els impactes meteorítics i el vulcanisme provocà que els gasos d'efecte hivernacle desaparegueren provocant una dràstica caiguda de la temperatura. Esta caiguda va propiciar l'augment de la grossor de la criosfera. Quant a l'erosió, les observacions concorden en què va descendir dràsticament en este període excepte en punts locals ja esmentats adés.

5.2.5. Període Amazònic

El període Amazònic s'extén des de fa 3.000 milions d'anys fins l'actualitat. Encara que és el període més llarg de la història geològica de Mart (dos terços de la seua història), és en realitat, el més tranquil geomorfològicament parlant.

- Vulcanisme: Episodis molt puntuals de vulcanisme en zones perifèriques a Tharsis i als Elysium Mons. Actualment no es descarta un altre episodi volcànic de manera puntual.
- Gel: El gel ha jugat un paper important en la història geològica de Mart, però és en l'Amazònic o és més destacable. Les inundacions mencionades adés, en l'Hespèric, formaren bastes extensions de gel. Molt del gel que es va acumular a finals de l'Hespèric seguix present hui dia però es perd poc a poc a causa que en estiu les altes temperatures varen fondre part del gel. De tota manera, en molts llocs el gel roman estable per sota de la superfície. S'estima que els casquets polars, a l'inici d'este període, tenien una massa d'almenys dues vegades superior a l'actual.
- Activitat fluvial: L'activitat fluvial en este període es quasi menyspreable perquè és molt puntual i a xicoteta escala. La major part de l'activitat fluvial es deu a l'activitat tectònica.
- Vent: En l'actualitat té un efecte lleugerament erosiu, capaç de formar dunes, generar detritus i transportar-los per tot arreu. Estos detritus són generalment arenes basàltiques i sofres. Probablement ha erosionat i esborrat part de la història del planeta.

5.2.6. Conclusió

Sembla que la història de Mart encara compta a moltes incerteses és per això que necessitem investigar més sobre este planeta. Tot i això, sembla que ha tingut períodes en els quals l'aigua líquida i l'activitat geològica eren abundants, però no comparables a la Terra.

Recomanem tornar a donar una ullada a la imatge de l'inici del punt principal per resumir els esdeveniments més importants de Mart.

5.3. Sistemes de referència i projeccions

Al llarg dels segles l'ésser humà ha tingut curiositat per mesurar la figura de la Terra amb detall. Primerament creiem que la Terra era plana, idea que encara persisteix en algunes religions i persones acientífiques. Després, els grecs suposaren que la Terra era esfèrica i fins i tot donaren una aproximació del seu radi.



Il·lustració 3: El famós astrònom i divulgador Carl Sagan explicant com el grec Eratòstenes de Cirene va mesurar per primera vegada el radi de la Terra.

Amb el període de la il·lustració Isaac Newton arribà a la conclusió que la Terra devia estar aplatada en els pols. Açò va desencadenar que científics d'Occident feren expedicions per determinar la nova forma que Newton defensava, esta figura geomètrica rep el nom d'el·lipsoide.

Finalment, a finals del segle XIX Carl Friederich Gauß, entre d'altres, elaborà gran part de l'artefacte matemàtic per a una nova fórmula basada en la llei de gravitació universal de Newton. Esta figura imaginària, anomenada geoide, se sol explicar breument com la prolongació de tots els oceans en calma al llarg de tota la superfície de la Terra. Esta prolongació té com a producte una superfície equipotencial. Una superfície equipotencial, per explicar-ho en poques paraules, és una superfície on el seu potencial (en este cas potencial gravitatori) és constatat en qualsevol punt. Si en esta superfície deixarem caure una pilota, la pilota no rodaria cap a cap lloc doncs en cap lloc el potencial és inferior a l'inicial.

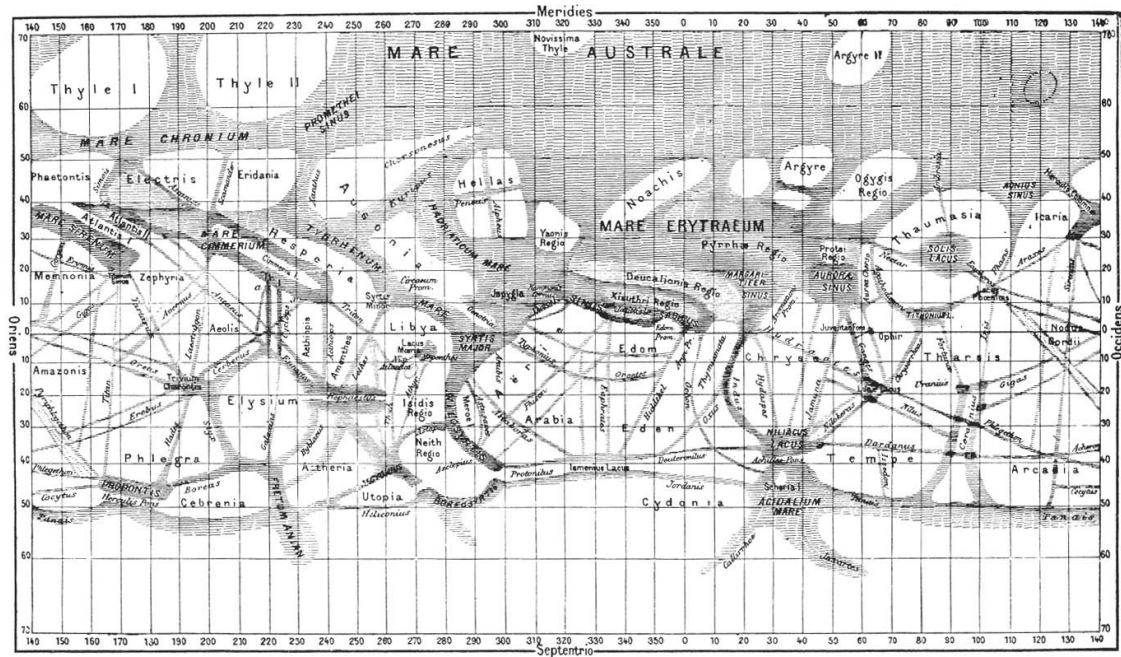
Per al nostre treball, treballarem amb un el·lipsoide propi per a Mart. Tota la informació amb la qual tractarem està georeferenciada a un sistema de referència propi que haurem de conèixer prèviament. A més a més, haurem de projectar la informació cartogràfica sobre mapes. Al llarg d'este punt tractarem el sistema de referència marcià i les projeccions recomanades i/o estandarditzades per a este planeta.

5.3.1. Definició del sistema de referència

Per a la Terra el meridià zero ($\lambda = 0$) actual va ser definit per un tractat internacional en 1884 com la posició del telescopi meridià en el Royal Observatory's Meridian Building. Este meridià va ser definit per primera vegada per Sir George Biddell Airy en 1850.

Per a Mart (32) el meridià zero fou definit inicialment pels astrònoms alemanys Wilhelm Beer i Johann Heinrich von Mädler en 1830-1832. Beer i Mädler utilitzaven una xicoteta forma redona que veien en el seu telescopi per determinar el període de rotació del planeta. Anomenaren esta forma «A».

L'astrònom italià Giovanni Schiaparelli utilitzà esta forma «A» per definir la longitud zero del seu mapa de Mart de 1877 (33). Posteriorment «A» va ser reanomenat pel francès Camille Flammarion com Sinus Meridiani, és a dir, Golf del Mig o Intermedi (*meridianis* del llatí *meridies*, migdia, no confondre amb meridional, del sud).



Il·lustració 4: Mapa de Mart de 1877 de Giovanni Schiaparelli.

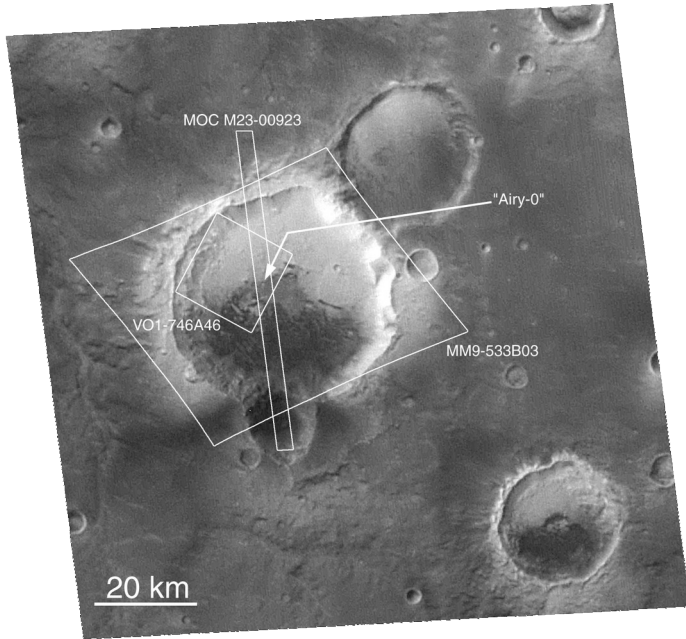
Posteriorment, un cràter en Sinus Meridiani anomenat cràter d’Airy fou fotografiat per primera vegada en 1972 per la sonda nord-americana Mariner 9 amb una resolució d’un quilòmetre. Una definició més precisa era necessària.

Més tard, una corporació nord-americana designà un cràter d’uns cinc-cents metres que es troba dins del cràter d’Airy com el punt zero. El nom d’este cràter és Airy-0. Esta definició va ser la base durant la resta del segle XX.

Des de gener de 2001 disposem d’imatges d’alta resolució d’Airy-0 gràcies a la Mars Global Surveyor, que han permès una millor definició del punt zero. Este sistema de referència ha estat plenament adoptat per la NASA i l’ESA i ha permès una millora en la precisió del *amartizatges* de les següents missions.

Una característica important del sistema de referència marcià, és que els rangs de longitud van dels 0 fins als 360 graus est. En canvi ací, en la Terra, tenim longituds dels 0 fins als 180 graus, est o oest.

Una altra característica esdevé amb el sistema altimètric. L’altura elipsoidal zero, també coneguda de vegades com a datum, està definit pel punt triple de l’aigua (34). És a dir, que si en la cota $h = 0m$ tinguérem aigua, podríem fer-la canviar entre estat sòlid, líquid, i gasós aplicant molt poca energia. Esta definició és prou diferent de l’adoptada en la Terra, on ens solem basar en el nivell mitjà del mar.

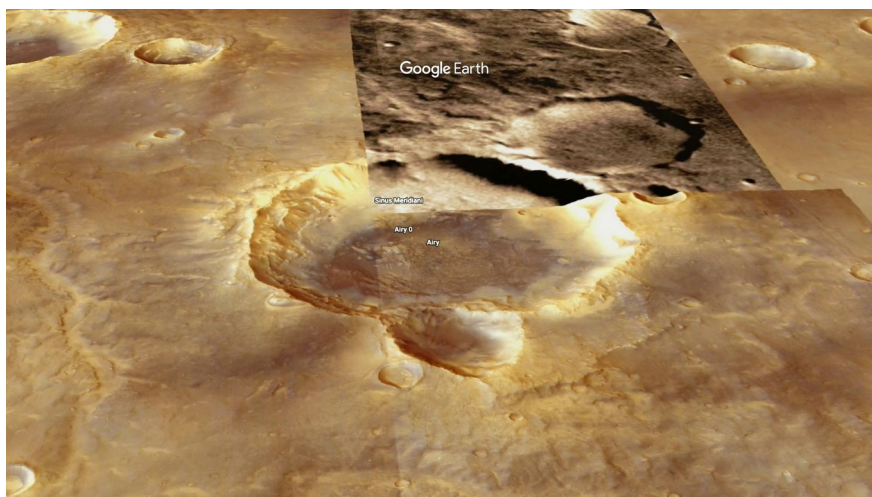


Il·lustració 6: Imatges dels cràters d'Airy (gran) i Airy-0, respectivament. Imatges captades per la MGS.



Il·lustració 5: Cràter Airy-0 (superior), que definix la longitud zero. Imatge de la MGS.

Per últim, esmentar que en el material complementari a este document (GitLab) (35), el lector pot trobar una animació realitzada amb Google Earth Studio. Esta animació mostra amb un vol digital la posició del cràter Airy-0. La finalitat d'este vol és familiaritzar el lector amb el nomenclàtor i el relleu marcià.



Il·lustració 7: Fotograma de l'animació del vol al cràter Airy-0

5.3.2. El sistema de referència marcià

En 1998 la NASA va establir el NASA's Mars Geodesy/Cartography Working Group (MGCWG) (36) amb la finalitat d'unificar els esforços redundants de les missions de la NASA en aspectes geodèsics i cartogràfics. Este grup ha volgut evitar l'experiència de les dècades dels 1970-1980 en què els investigadors que produïen informació geodèsica inconsistent entre sí. Finalment, el MGCWG ha elaborat les constants cartogràfiques per a Mart amb les millors dades disponibles fins al moment.

Estos resultats han estat acceptats per la International Astronomical Union (IAU) (37) i posteriorment per la NASA. En la següent graella es mostra un llistat amb les constants cartogràfiques per definir l'el·lipsoide oficial de referència per a Mart:

Taula 2: El·lipsoide de referència.

El·lipsoide de referència per a Mart (39) (38)	
Nom	Mars 2000 IAU IAG
Organitzacions reguladores	La IAU amb la IAG (40)
Codi (IAU)	49900
Època astronòmica	J2000
Tipus de sistema de coordenades	Geodèsic
Semieix major	3.396.190,0m
Semieix menor	3.376.200,0m
Invers de l'aplanament	169,89444722361179

5.3.3. Projeccions

Quant a les projeccions, les generalment utilitzades per la NASA i l'USGS són (41):

- Projecció equatorial: Per a la representació total del planeta. Les seues principals característiques i definició són:
 - Els meridians i paral·lels són línies rectes i perpendiculars que formen una quadrícula. La separació e entre línies és constant.
 - No es conserven les distàncies, angles i superfícies només es conserven les distàncies al llarg dels meridians, per això rep el nom de projecció equidistant.
 - Conserva l'escala al llarg dels paral·lels però no dels meridians.

Taula 3: Projecció cilíndrica.

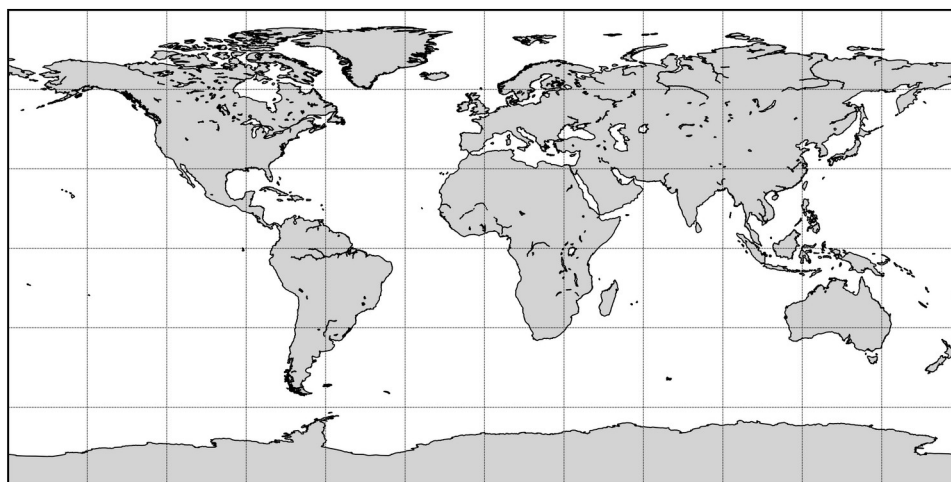
Mars Equidistant Cylindrical (42)	
Codi (IAU)	49910
Tipus de projecció	Cilíndrica equidistant
Tipus de sistema de coordenades	Cartesià
Nom de l'el·lipsoide de referència	Mars 2000 IAU IAG
Origen	$\lambda = 0^\circ, \varphi = 0^\circ$

- Projecció equatorial alternativa: És exactament igual que l'anterior sols que l'origen de les longituds es troba desplaçat +180°. Esmentarem la seua utilitat més avant.

Taula 4: Projecció cilíndrica segona.

Mars Equidistant Cylindrical (38) (43)	
Codi (IAU)	49913
Tipus de projecció	Cilíndrica equidistant
Tipus de sistema de coordenades	Cartesià
Nom de l'el·lipsoide de referència	Mars 2000 IAU IAG
Origen	$\lambda = +180^\circ, \varphi = 0^\circ$

Per visualitzar ajudar al lector a visualitzar la projecció hem elaborat una previsualització amb les zones emergides del planeta Terra. Estes visualitzacions són guions escrits en Python elaborats per l'autor d'este document, el codi es troba a l'abast de qualsevol a la plataforma web de GitLab (44):



Il·lustració 8: Representació del Món segons la projecció cilíndrica equidistant.

- Projecció polar nord: Per a la representació del pol nord. Les seues característiques i definició són:
 - Els paral·lels són cercles concèntrics a l'origen i els meridians rectes secants a dit punt.
 - Només conserven distàncies i superfícies en el punt de tangència (origen), però conserva els angles per tot arreu.
 - Escala constant només al llarg dels paral·lels.

Taula 5: Projecció polar nord.

Mars North Polar Stereographic (45)	
Codi (IAU)	49918
Tipus de projecció	Estereogràfica polar nord
Tipus de sistema de coordenades	Polar
Nom de l'el·lipsoide de referència	Mars 2000 IAU IAG
Origen	$\lambda = 0^\circ, \varphi = +90^\circ$

La previsualització de la projecció és la següent per a la Terra:



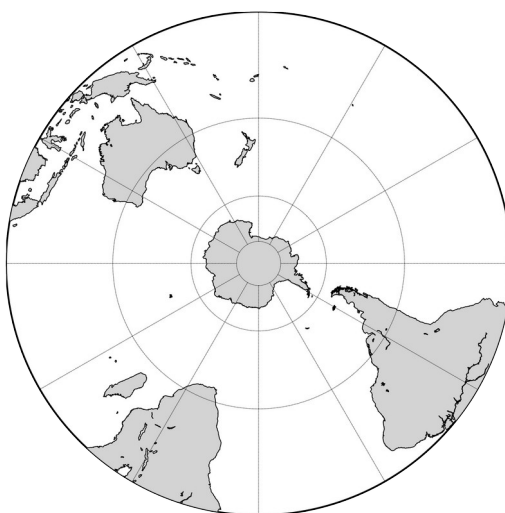
Il·lustració 9: Projecció estereogràfica polar nord.

- **Projecció polar sud:** Caracteritzada i definida per:
 - Els paral·lels són cercles concèntrics a l'origen i els meridians rectes secants a dit punt.
 - Només conserva distàncies i superfícies en el punt de tangència (origen), però conserva els angles per tot arreu.
 - Escala constant als paral·lels.

Taula 6: Projecció polar sud.

Mars South Polar Stereographic (46)	
Codi (IAU)	49920
Tipus de projecció	Polar sud estereogràfica
Nom de l'el·lipsoide de referència	Mars 2000 IAU IAG
Tipus de sistema de coordenades	Polar
Origen	$\lambda = 0^\circ, \varphi = -90^\circ$

Vista per un observador com:



Il·lustració 10: Projecció estereogràfica polar sud.

5.3.4. Configuració dels programaris SIG utilitzats

En este apartat fem un breu incís en la definició dels sistemes de referència en els programes de SIG utilitzats en este treball. Com no són sistemes de referència massa emprats i tampoc pertanyen a la Terra, no solen estar disponibles en els programes SIG més utilitzats com són ArcMap d'ESRI o QGIS. Expliquem doncs com definir els sistemes de referència per a treballar amb cartografia de Mart.

5.3.4.1. Configuració de QGIS

QGIS necessita una configuració prèvia per poder georeferenciar els productes correctament. Només cal introduir la projecció cilíndrica equidistant de Mart perquè QGIS treballes bé amb els productes:

→ Projecció cilíndrica equidistant (IAU2000:49910):

Per configurar el sistema de referència projectat *IAU2000:49910 Mars Equidistant Cylindrical* haurem d'accedir a la informació proporcionada en la web, per exemple *Spatial Reference (47)*:



Il·lustració 11: Pàgina web d'*Spatial Reference* per a la projecció IAU2000:49910.

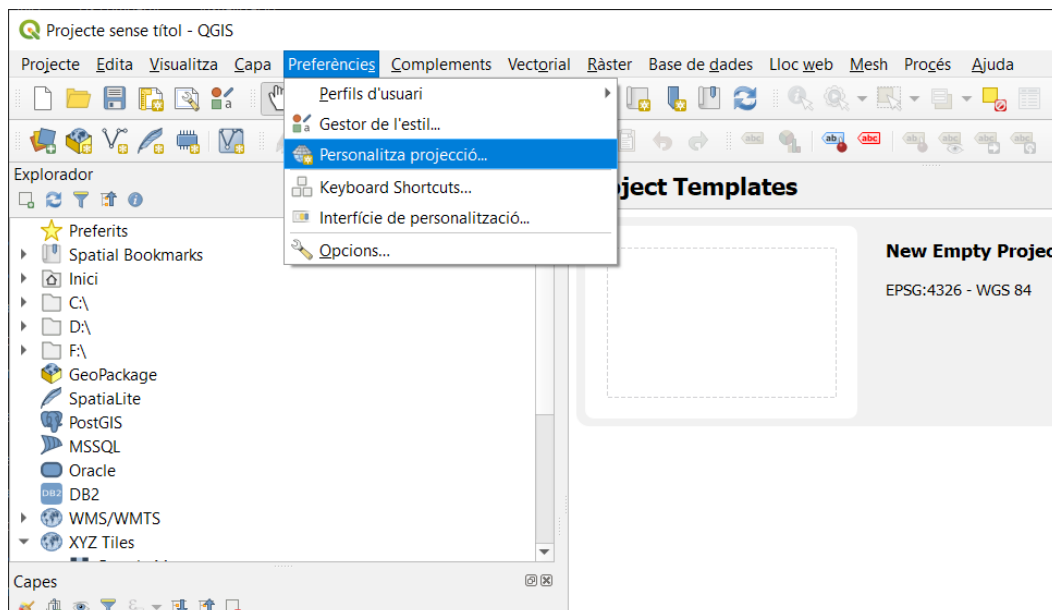
Fem clic en *Well Known Text as HTML* o *Human-Readable OGC WKT* (és indiferent) i copiem el text, que deu ser:

Taula 7: WKT d'exemple.

```

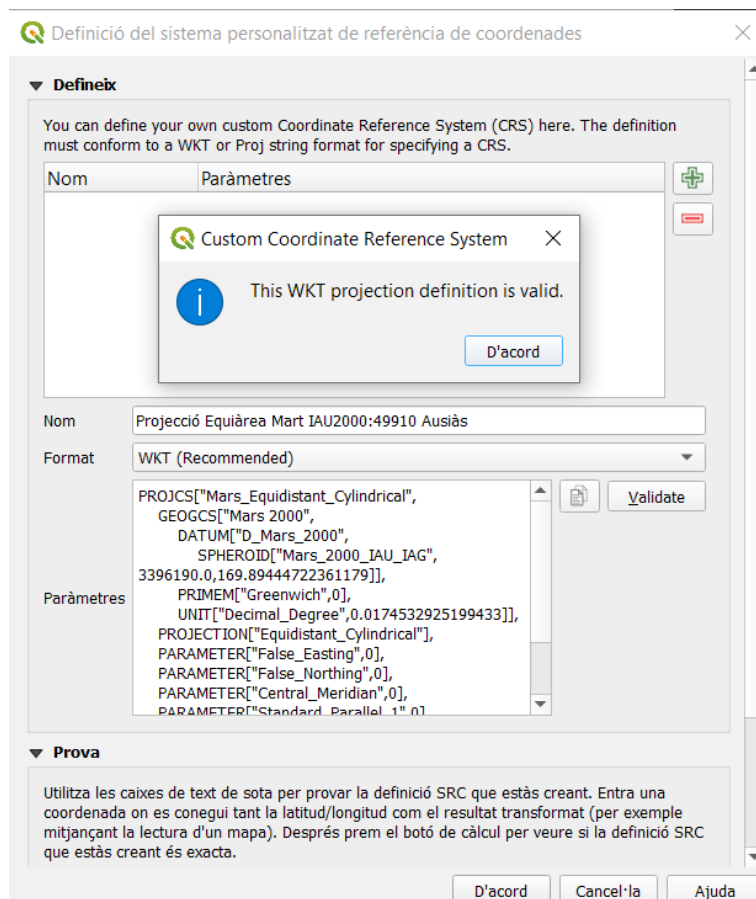
WKT de la IAU2000:49910
PROJCS["Mars_Equidistant_Cylindrical",
  GEOGCS["Mars 2000",
    DATUM["D_Mars_2000",
      SPHEROID["Mars_2000_IAU_IAG", 3396190.0, 169.89444722361179]],
    PRIMEM["Greenwich", 0],
    UNIT["Decimal_Degree", 0.0174532925199433]],
  PROJECTION["Equidistant_Cylindrical"],
  PARAMETER["False_Easting", 0],
  PARAMETER["False_Northing", 0],
  PARAMETER["Central_Meridian", 0],
  PARAMETER["Standard_Parallel_1", 0],
  UNIT["Meter", 1]]
    
```

Des de QGIS (en este cas la versió 3.10.4-A Coruña) accedim a *Preferències>Personalitza la projecció*:



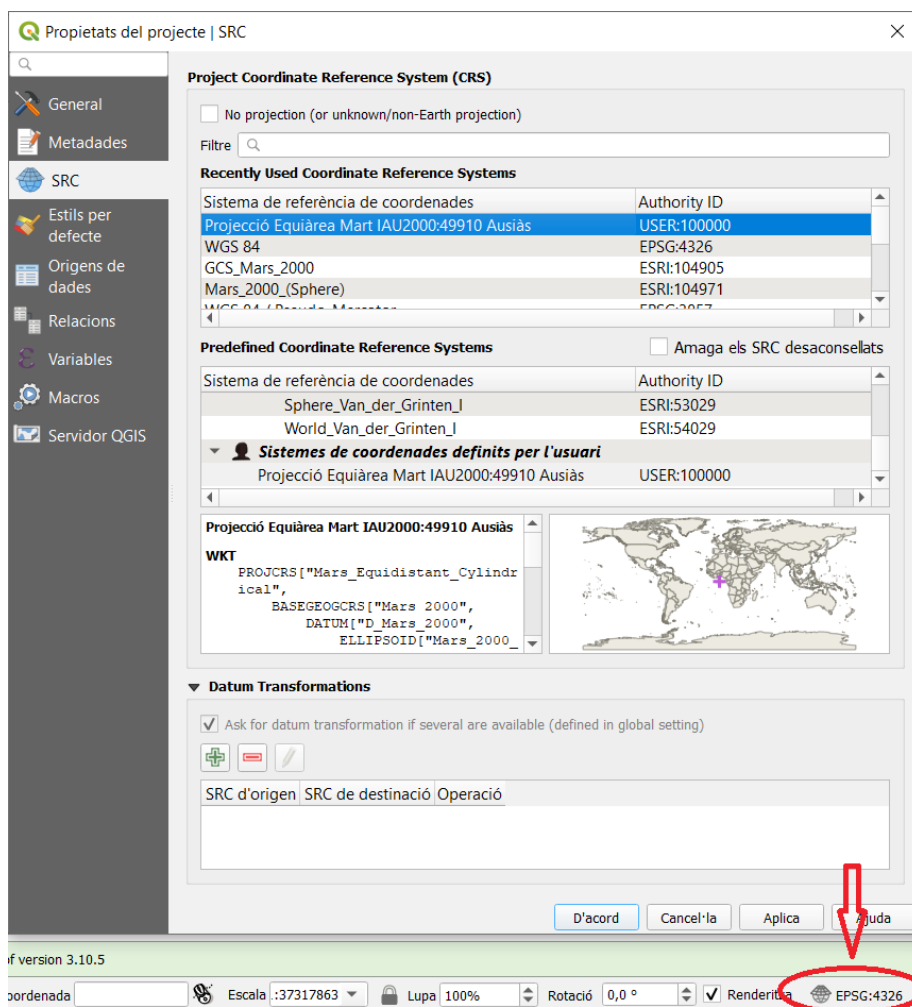
Il·lustració 12: Personalitzar la projecció

Copiem el codi WKT i validem el codi:



Il·lustració 13: Introducció i validació del sistema.

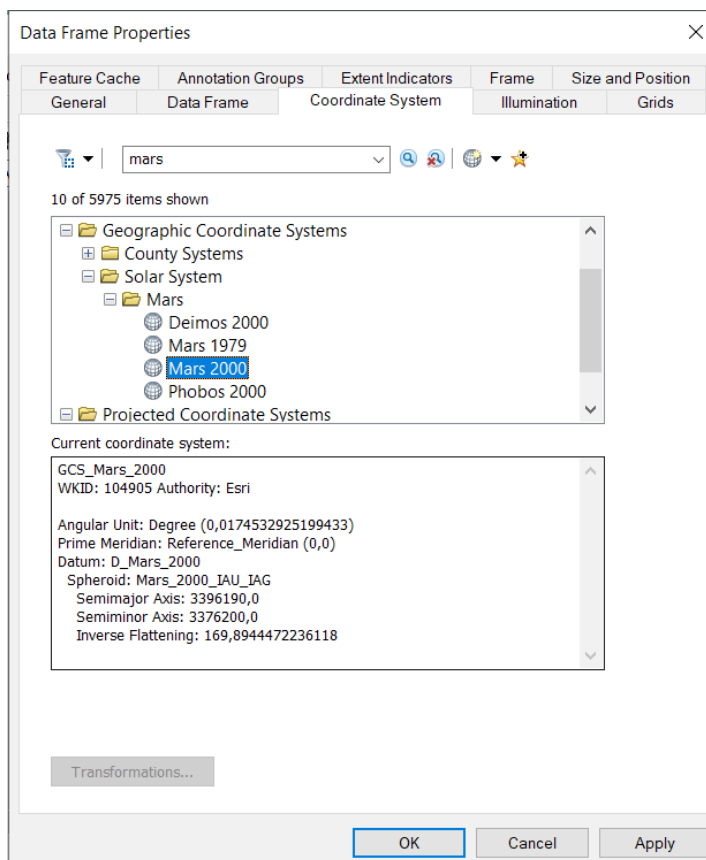
Finalment seleccionem i canviem el sistema de referència del projecte:



Il·lustració 14: Canvi del sistema de referència de coordenades del projecte.

5.3.4.2. Configuració d'ArcMap

Per al cas d'ArcMap no és necessari cap configuració prèvia, llavors ArcMap és capaç de llegir les projeccions dels arxius de treball. No hem experimentat cap problema amb els sistemes de referència i este programa.



Il·lustració 15: Per exemple, l'el·lipsoide de referència es troba integrat en ArcMap.

6. Les fonts d'informació

Primerament començarem parlant sobre les fonts d'informació que utilitzarem per obtenir les imatges i altra informació rellevant.

6.1. El Planetary Data System

El Planetary Data System (PDS) o Sistema de Dades Planetàries en valencià o català, és un arxiu digital suportat per la NASA, l'USGS i diverses universitats estatunidenques que té com a principals finalitats emmagatzemar la informació recopilada per les missions de la NASA, catalogar-la i fer-la accessible deades per a tots^a. Esta informació ha estat revisada i/o processada prèviament per un científic, per tant estes dades contenen amb el vist i plau previ d'un expert. Tot i això, no vol dir que les dades estiguen lliures d'errors, com comprovarem més avant. El PDS es dividix en els diferents nodes:

- *Node d'Atmosferes Planetàries*: Recopila informació sobre totes les atmosferes dels cossos estudiats per la NASA, excloent la de la Terra.
- *Node de Geociències*: Arxiva i recopila informació sobre la superfície i l'interior dels cossos planetaris. Farem ús de la informació d'este node.
- *Node de Cartografia i Ciències de la Imatge*: És el node que gestiona informació sobre imatges, dades auxiliars (coordenades, models digitals del terreny (MDT))... Conté dades de molts cossos rocosos incloent satèl·lits congelats i ferramentes per processar esta informació. Utilitzarem informació i ferramentes d'este node.
- *Servei de Navegació i Informació Auxiliar*: Proporciona informació referent a les òrbites i els sistemes de navegació i orientació que servixen per guiar els robots en les missions espacials.
- *Node d'Interaccions de Plasma Planetari*: Emmagatzema i oferix informació referent a l'estudi del vent solar i la seua interacció amb les magnetosferes, ionosferes i superfícies planetàries.
- *Node de Sistemes Anell-Lluna*: Cataloga i distribuïx informació referent a l'estudi dels anells planetaris, les llunes d'estos planetes i les maneres que interactuen.
- *Node de Cossos Menuts*: S'especialitza en informació referent a asteroides, cometes i pols interplanetari.

a Estos han estat els propòsits del pla del govern dels Estats Units d'Amèrica per afavorir la transparència de les seues administracions.

6.1.1. El Node de Geociències del PDS i el Mars Orbital Data

Explorer

Com hem dit adés el Node de Geociències de la NASA arxiva i distribueix informació referent a les superfícies i els interiors dels planetes explorats per les missions de la NASA, açò també inclou la Terra. Tota esta informació és completament gratuïta, com hem dit abans.

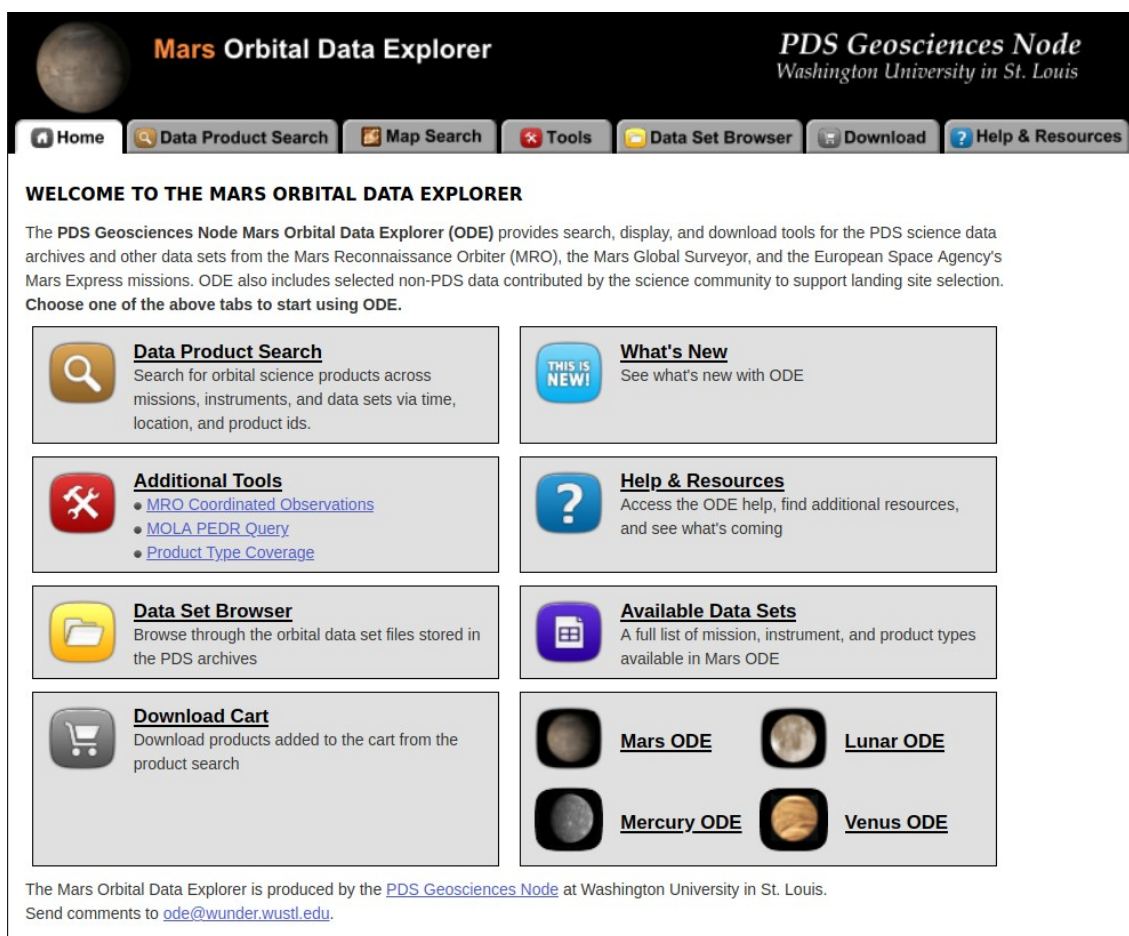
Si donem una ullada al web del Node vorem que conté una grandíssima quantitat d'informació i a més, molt variada. Per este motiu, tractarem de ser concisos i només tractarem l'accés a les dades adquirides pels ròvers i satèl·lits que han pres dades sobre Mart.

Per poder accedir a la informació desitjada haurem d'accedir al *Planetary Data System Geosciences Node Mars Orbital Data Explorer* (48) que, d'ara endavant ens referirem com a Mars ODE.

El Mars ODE és un portal de descàrregues que reuneix tota la informació recollida i publicada de les naus enviades a Mart amb les que la NASA ha treballat. Els servidors del Mars ODE es troben gestionats pel Departament de Ciències Planetàries de la Universitat de Washington en Saint Louis, per la NASA i també, en menor grau, per l'USGS.

Les dades que podem trobar en el Mars ODE provenen de les següents sondes: Les Viking 1 i 2, la Mars Global Surveyor, la 2001 Mars Odyssey Orbiter, la Mars Express de l'ESA, la Mars Global Surveyor i la Mars Reconnaissance Orbiter. Destacar que tots estos robots són satèl·lits no ròvers.

No ens endinsrem encara el procés de descàrrega. Per ara, conclourem este subapartat dient que amb el Mars ODE podrem descarregar imatges hiperespectrals, imatges visibles i models digitals del terreny.



Mars Orbital Data Explorer PDS Geosciences Node
Washington University in St. Louis

Home Data Product Search Map Search Tools Data Set Browser Download Help & Resources

WELCOME TO THE MARS ORBITAL DATA EXPLORER

The PDS Geosciences Node Mars Orbital Data Explorer (ODE) provides search, display, and download tools for the PDS science data archives and other data sets from the Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), the Mars Global Surveyor, and the European Space Agency's Mars Express missions. ODE also includes selected non-PDS data contributed by the science community to support landing site selection. Choose one of the above tabs to start using ODE.

Data Product Search
Search for orbital science products across missions, instruments, and data sets via time, location, and product ids.

Additional Tools

- [MRO Coordinated Observations](#)
- [MOLA PEDR Query](#)
- [Product Type Coverage](#)

Data Set Browser
Browse through the orbital data set files stored in the PDS archives

Download Cart
Download products added to the cart from the product search

What's New
See what's new with ODE

Help & Resources
Access the ODE help, find additional resources, and see what's coming

Available Data Sets
A full list of mission, instrument, and product types available in Mars ODE

Mars ODE **Lunar ODE**
Mercury ODE **Venus ODE**

The Mars Orbital Data Explorer is produced by the [PDS Geosciences Node](#) at Washington University in St. Louis. Send comments to ode@wunder.wustl.edu.

Il·lustració 16: Pàgina d'inici del Mars Orbital Data Explorer

6.1.2. Node de Cartografia i Ciències de la Imatge – Centre d’Astrogeologia de l’USGS

El Node de Cartografia i Ciències de la Imatge conjuntament amb el Centre d’Astrogeologia de l’USGS inclouen informació cartogràfica i eines que el Node de Geociències no inclou, com són les imatges captades pels rovers. Més avant esmentarem estes diferències en detall.



Il·lustració 17: Logo del Node de Cartografia i Ciències de la Imatge

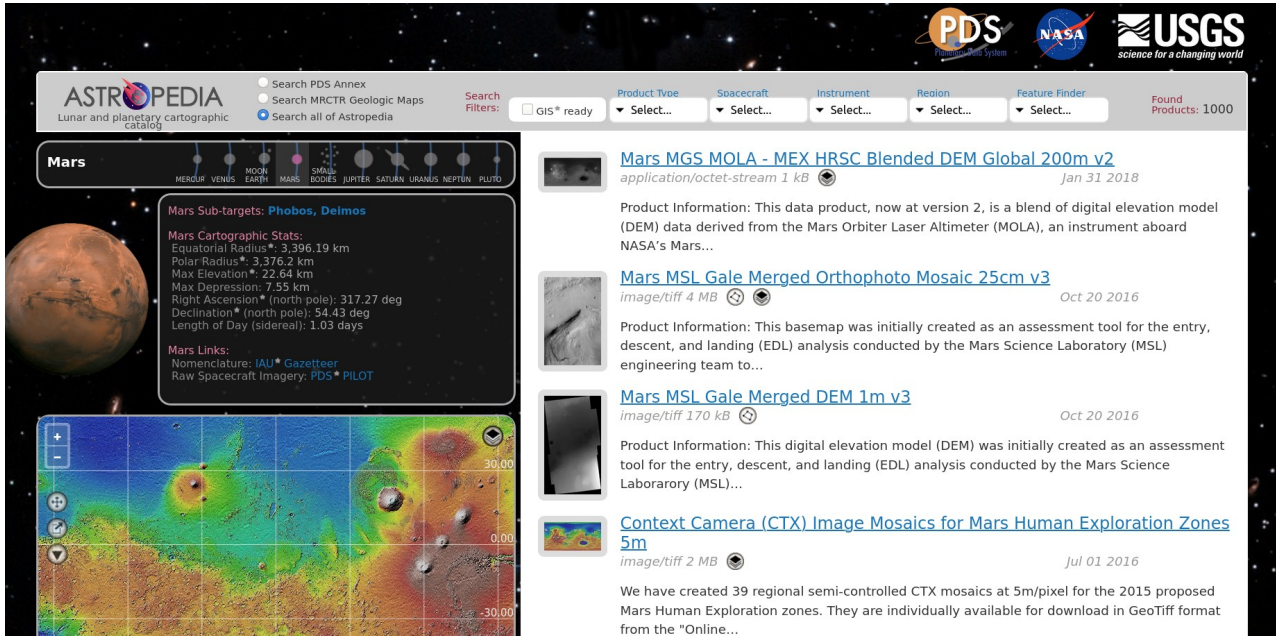
Un altre punt a destacar d’este node són les següents eines:

- PILOT: Portal de visualització i descàrrega d’imatges amb *milions* d’imatges de tots els planetes i moltes de les llunes del Sistema Solar, la majoria estan georeferenciades. PILOT permet la recerca d’imatges en zones especificades per l’usuari de quasi qualsevol astre desitjat. Un punt clau d’este portal és la seua rapidesa i la informació que aporta sobre les imatges així com la possibilitat de descarregar-les. Flaqueja en canvi en els formats de les imatges, no accessibles fàcilment.

Planet	Number of Images
Mercury	287,132
Venus	7,254
Earth	17,674
Moon	3,224,044
Mars	2,487,489
Deimos	246
Phobos	444
Jupiter	85,491
Adrastea	23
Amalthea	227
Callisto	1,933
Europa	2,192
Ganymede	2,247
Himalia	393
Io	3,063
Metis	27
Thebe	46
Saturn	391,253
Atlas	1,401
Calypso	1,090
Daphnis	650
Dione	9,807
Enceladus	18,606
Epimetheus	1,853
Helene	2,062
Hyperion	4,956
Iapetus	9,754
Janus	2,640
Methone	1,003
Mimas	6,031
Pallene	1,052
Pan	1,394
Pandora	1,554
Phoebe	2,682
Polydeuces	738
Prometheus	3,855
Rhea	14,600
Telesto	1,093

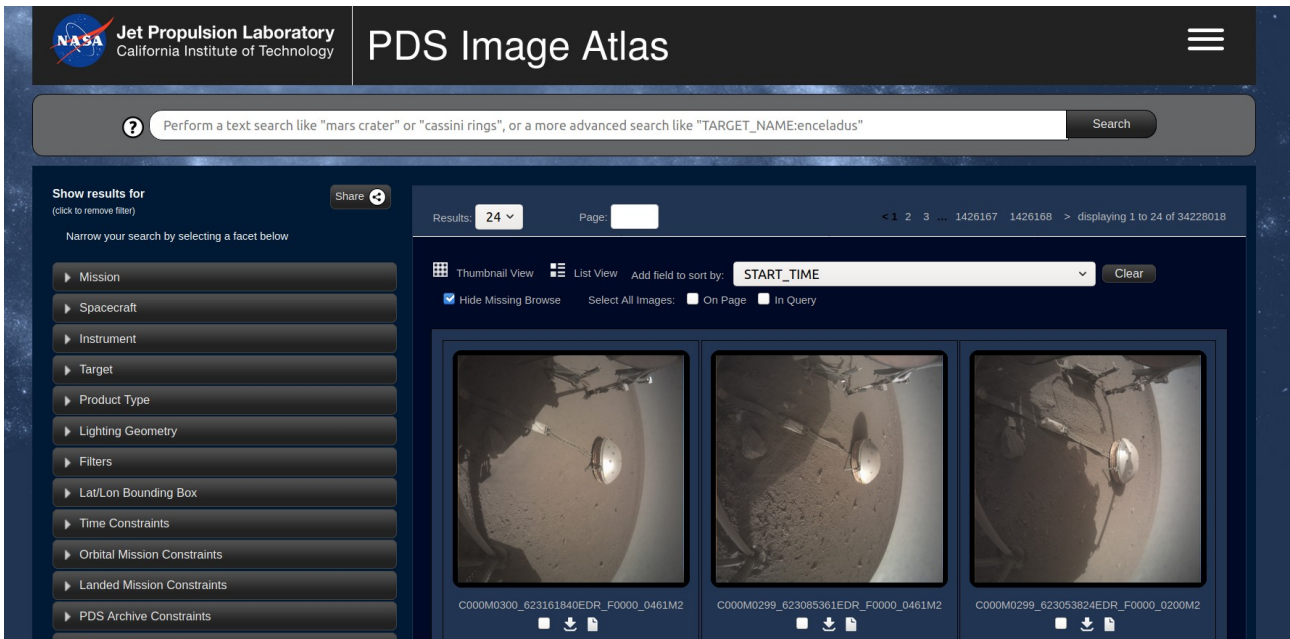
Il·lustració 18: Pàgina d’inici del PILOT. Conté milions d’imatges de la majoria dels astres del Sistema Solar.

- ASTROPEDIA i MAP2 (Map-a-Planet 2): ASTROPEDIA és una ferramenta que permet buscar models digitals del terreny, mosaics de tota classe, mapes... Estos productes han sigut processats i preparats prèviament per un expert. Amb MAP2 es poden descarregar estos mosaics. També existix la possibilitat de registrar-se en MAP2 per modificar els paràmetres dels mosaics, però sembla que el servei no es troba en complet funcionament de moment.



Il·lustració 19: Portal d'ASTROPEDIA conté un fum de productes ja processats i altres d'especial interès per al nostre treball.

- Image Atlas: Conté imatges de molts satèl·lits però les imatges no són de molt bona qualitat. En concret utilitzarem només les imatges preses pels robots com el Curiosity.



Il·lustració 20: Portal de l'Image Atlas que només utilitzarem per extraure alguna imatge captada pels ròvers.

6.1.3. Nomenclàtor marcià

Com és habitual, l'ésser humà té tendència a posar-li nom a tot. El cas de Mart no és diferent, quasi dos mil fenòmens geològics tenen un nom aprovat per la Unió Astronòmica Internacional (UAI).

Per a este treball utilitzarem el nomenclàtor recomanat per la UAI. El nomenclàtor marcià està en llengua llatina. Tradicionalment s'ha fet referència al relleu d'altres planetes en llatí, això farem en este treball també. De tota manera és possible que fem una traducció dels noms de manera puntual.

Descarregarem les dades georeferenciades des de la pàgina web de l'USGS (49), d'on obtenim dades georeferenciades com les següents:

name	clean_name	approvaldt	origin	diameter	center_lon	center_lat	type	code	approval
Arsia Mons	Arsia Mons	1/1/1973	Arsia Silva-classical albedo feature name.	470	239.907528	-8.257149	Mons, montes	MO	Adopted by IAU
Arsia Sulci	Arsia Sulci	1/1/1991	Albedo name.	500	230.187983	-6.285257	Sulcus, sulci	SU	Adopted by IAU
Arsinoes Chaos	Arsinoes Chaos	1/1/1982	Daughter of Ptolomy Lagun and Bernice.	200.084	332.084019	-7.657446	Chaos, chaoses	CH	Adopted by IAU
Arta	Arta	1/1/1988	Town in Russia.	3,96296	305.713449	-21.383013	Crater, craters	AA	Adopted by IAU
Artik	Artik	30/8/2013	Town in Armenia.	5.359	130.98436	-34.804001	Crater, craters	AA	Adopted by IAU
Artnia Catena	Artnia Catena	1/1/1985	Named for classical albedo feature at 54N, 137W.	279.279	240.548716	47.692385	Catena, catenae	CA	Adopted by IAU
Asau	Asau	3/6/2013	Village in Tuvalu.	25.05	154.680496	-3.630295	Crater, craters	AA	Adopted by IAU
Asraeus Cha	Asraeus Chasmata	1/1/1991	Classical albedo name.	105.198	254.371887	8.765366	Chasma, chasmata	CM	Adopted by IAU
Asraeus Men	Asraeus Mensa	1/1/1991	Classical albedo name.	34.8602	252.108379	11.724609	Mensa, mensae	MN	Adopted by IAU
Asraeus Mon	Asraeus Mons	1/1/1973	Asraeus Lacus-classical albedo feature name.	456.396	255.919165	11.921621	Mons, montes	MO	Adopted by IAU
Asraeus Sulci	Asraeus Sulci	1/1/1991	Classical albedo name.	138.697	251.246173	12.060855	Sulcus, sulci	SU	Adopted by IAU
Ascuris Planu	Ascuris Planum	1/1/1991	Classical albedo name.	617.662	279.223538	40.592336	Planum, plana	PM	Adopted by IAU
Asimov	Asimov	4/5/2009	Isaac, American biochemist and writer (1920-1992).	80.8218	4.925169	-46.96813	Crater, craters	AA	Adopted by IAU
Asopus Vallis	Asopus Vallis	1/1/1985	Classical name for modern Hagios River, Greece.	40.8178	210.386487	-4.294637	Vallis, valles	VA	Adopted by IAU
Aspen	Aspen	1/1/1976	Town in Colorado, USA.	18.4839	336.850976	-21.385504	Crater, craters	AA	Adopted by IAU
Aspledon Und	Aspledon Undae	20/3/2007	Classical albedo feature name.	215.205	309.653968	73.055573	Unda, undae	UN	Adopted by IAU
Astapus Colles	Astapus Colles	1/1/1985	From albedo feature at 35N, 269W.	597	88.080311	35.458513	Collis, colles	CO	Adopted by IAU
Athabasca Vall	Athabasca Vallis	1/1/1907	River in Canada. (Changed from Athabasca Vallis)	270	155.012807	8.535783	Vallis, valles	VA	Adopted by IAU

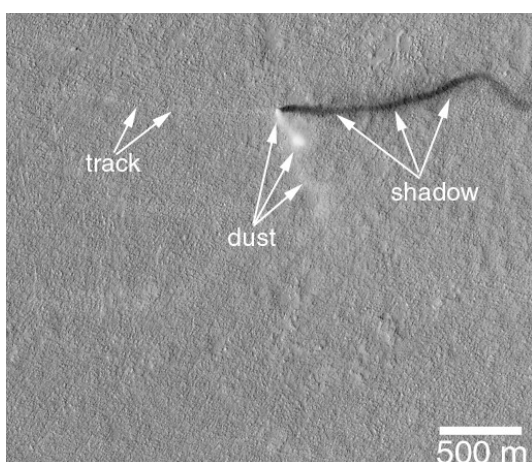
Il·lustració 21: Taula amb els noms de diversos accidents del relleu.

6.2. Els satèl·lits i robots en Mart

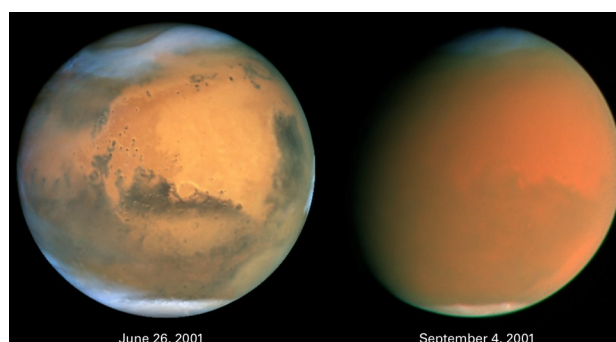
Fins ara, només hem parlat dels portals de la informació. Ara parlarem breument dels satèl·lits i robots que s'encarreguen d'aportar la informació, esmentarem les seues especificacions tècniques i direm perquè són necessaris per a este treball. L'ordre d'aparició no reflectix la seua importància sinó que segueix criteris cronològics.

6.2.1. Mars Global Surveyor

La Mars Global Surveyor (50), d'ara endavant MGS o la Global Surveyor va ser llançada per la NASA des del Cap Canaveral (Cape Canaveral) en l'estat de Florida el 7 de novembre de 1996. La seua missió va ser estudiar la totalitat de la superfície de Mart, la seua atmosfera i concretament la seua meteorologia. Va observar patrons en les tempestes d'arena (51) que es repetixen periòdicament i patrons entre estacions. Observà també *dimoniets* (52) (*dust devils* en anglés i *diablo de polvo* (53) en castellà), que són vòrtexs formats pel moviment ràpid de masses d'aire a diferent altura i temperatura.



Il·lustració 22: Dimoniet captat per la MGS en Amazonis Planitia



Il·lustració 23: Tormenta d'arena de 2001 captada pel Telescopi Espacial Hubble.

També va identificar solides de terra i comprovà que Mart no té camp magnètic global però sí camps magnètics en regions específiques de la superfície.

La Global Surveyor té molts instruments, però per al nostre cas només farem servir d'un d'ells: el Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA).

El MOLA només va estar operatiu fins juny de 2001 i estava preparat per tindre una resolució d'aproximadament 40cm en altimetria, però un error en l'òrbita va provocar que la precisió fora d'un metre. La resolució planimètrica és d'uns 300m (54).

Gràcies al MOLA disposem d'un model altimètric global referit a l'el·lipsoide Mars 2000 IAU IAG (explicat prèviament) d'una resolució planimètrica d'uns 300-500m. Este model és accessible a través de l'ASTROPEDIA i descarregable a través del MAP2.

Denotem que no hem esmentat tots els instruments perquè no han tingut rellevància suficient en este treball, si el lector desitja aprendre'n més, recomanem que llisca la *NASA facts sheet* referenciada en la bibliografia (50). Adjuntem un esquema amb els aparells que anaven integrats en la MGS:

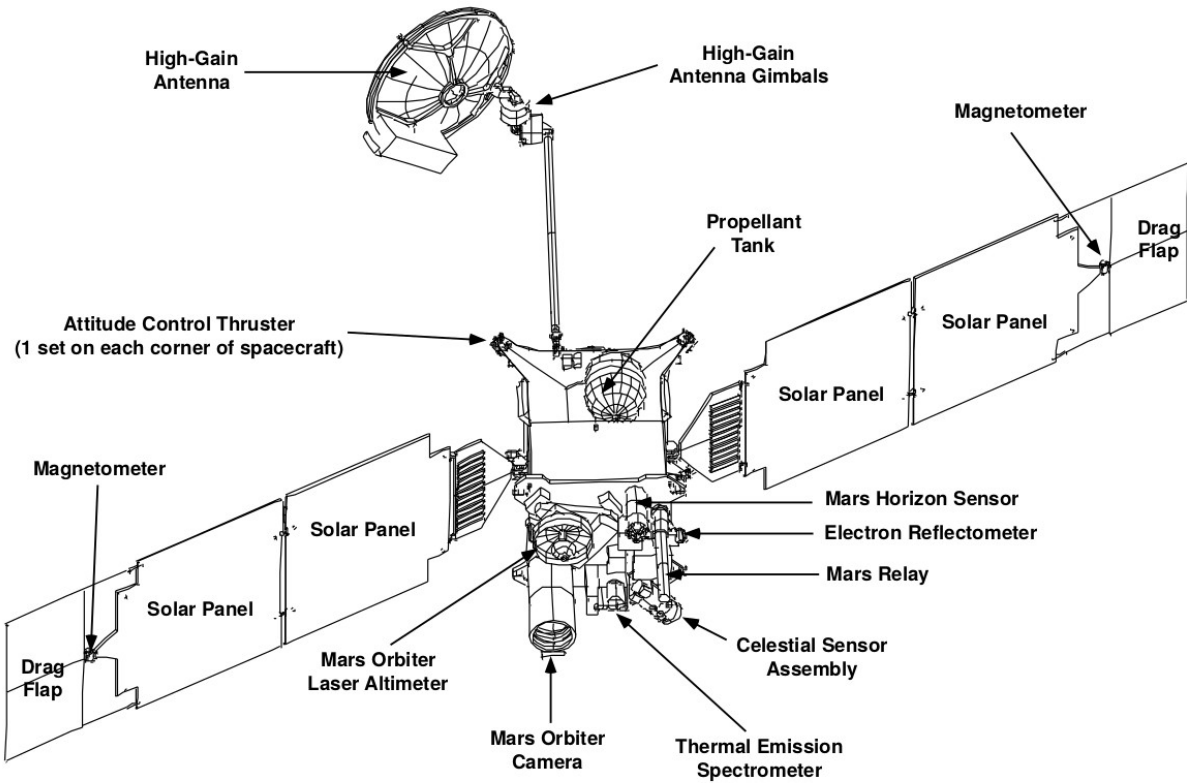


Figura 14: Esquema de la MGS amb les seues parts.

6.2.2. Mars Reconnaissance Orbiter

La Mars Reconnaissance Orbiter, que ara ens referirem a ella com la MRO. És una sonda de la NASA llançada des de Cap Canaveral (Florida) l'agost de 2005. Després de més de 14 anys en òrbita i més de 374Tb (374.000.000.000.000 bits) d'informació enviada (55) encara està en funcionament. Posicionant-se com una de les sondes més longeves en l'exploració de Mart. És per això, i per més motius que explicarem de seguida perquè és una sonda clau per a este treball.

El moment del seu llançament tenia una tecnologia puntera i molt completa, ho és tant que molts dels satèl·lits d'observació de la Terra no són estan a l'altura de la MRO. És la seua avantguarda tecnològica la que va definir els seus nombrosos objectius científics (56):

- Caracteritzar el clima present de Mart i constatar els canvis atmosfèrics estació rere estació i any rere any.
- Caracteritzar la meteorologia de Mart i la seua atmosfera.
- Identificar estratigrafies o composicions en la terra que evidencien la presència d'aigua o activitat hidrotermal.
- Comprovar l'existència d'aigües subterrànies en estat líquid o sòlid i generar perfils de l'estructura interna del gel dels casquets polars.
- Identificar i caracteritzar llocs amb el major potencial per a futures missions que *amartitzaran* en la superfície del planeta. Açò inclou possibles missions que recol·lecten mostres per enviar-les a la Terra.
- Aportar informació científica sobre la Terra. El coneixement del passat i present de Mart pot revelar informació sobre la història del planeta Terra.

Vists els objectius de la MRO mencionarem breument els instruments que han aportat la informació bàsica a este treball.

- High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) (57): Es dona a conèixer com *la càmera més potent que s'ha enviat mai a un altre planeta*. Aportarà imatges d'altíssima resolució i models digitals del terreny al nostre treball. Fins a 2016 s'estima que només ha cobert el 2,4% (58) de la superfície de Mart, açò equival a *dues vegades la superfície d'Alaska* o quasi set voltes la d'Espanya.

Taula 8: Especificacions de l'HiRISE.

Especificacions tècniques: HiRISE	
Resolució espacial	30cm/píxel a 300km d'altura
Resolució espectral	400-600nm: Blau-Verd (BG)
	550-850nm: Roig (R)
	800-1.000nm: Infraroig proper (NIR)
Resolució radiomètrica	14 bits
FoV	1,14° per 0,18°
Gestionat per	Universitat d'Arizona (EEUU)

- Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM): És una càmera hiperespectral o espectròmetre de gran precisió. Està composta de dos sensors: un per a l'espectre visible i l'infraroig proper (VNIR) i un altre per a l'infraroig (IR). Les seues especificacions tècniques són les següents:

Taula 9: Especificacions del CRISM.

Especificacions tècniques: CRISM	
Resolució espacial màxima	18,4m
Resolució espectral	362nm-3920nm en 430 bandes (aproximat)
FoV	~2,06°
Típus de sistema del sensor	Gimbal
Gestionat per	Laboratori de Física Aplicada de la Universitat Johns Hopkins (EEUU)

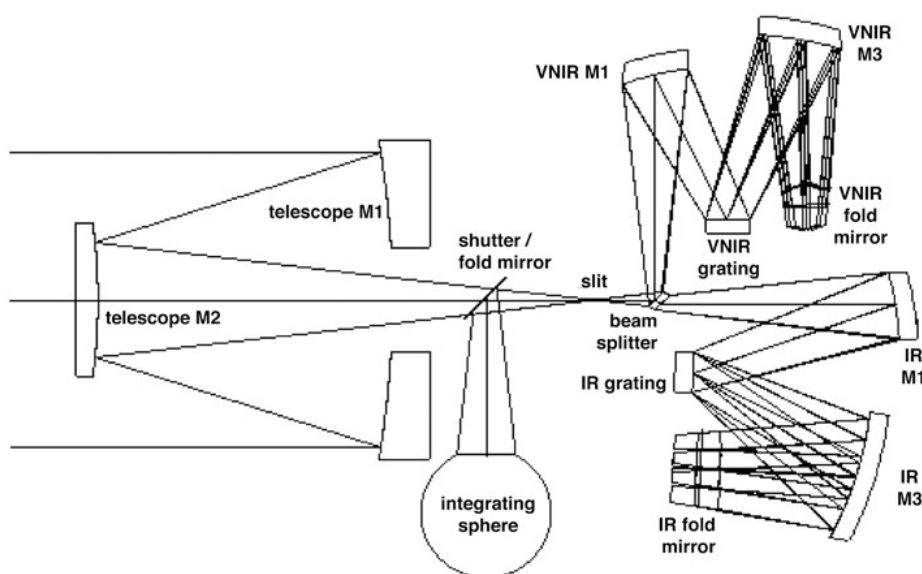


Figura 15: Esquema òptic de CRISM.

- Context Camera (CTX): La CTX té com a finalitat donar context a les imatges captades pels sensors CRISM i HiRISE. El seu ús es opcional. Fins a 2016 havia capturat informació d'entre el 95 i el 98% (58) de Mart.

Taula 10: Especificacions de la CTX.

Especificacions tècniques: CTX	
Resolució espacial màxima	18m
Resolució espectral	500-800nm: Una banda (Blanc i negre)
FoV	~6°
Gestionat per	Malin Space Science Systems (EEUU)

Per últim es mostra un diagrama de la sonda en la seua vista davantera i darrera:

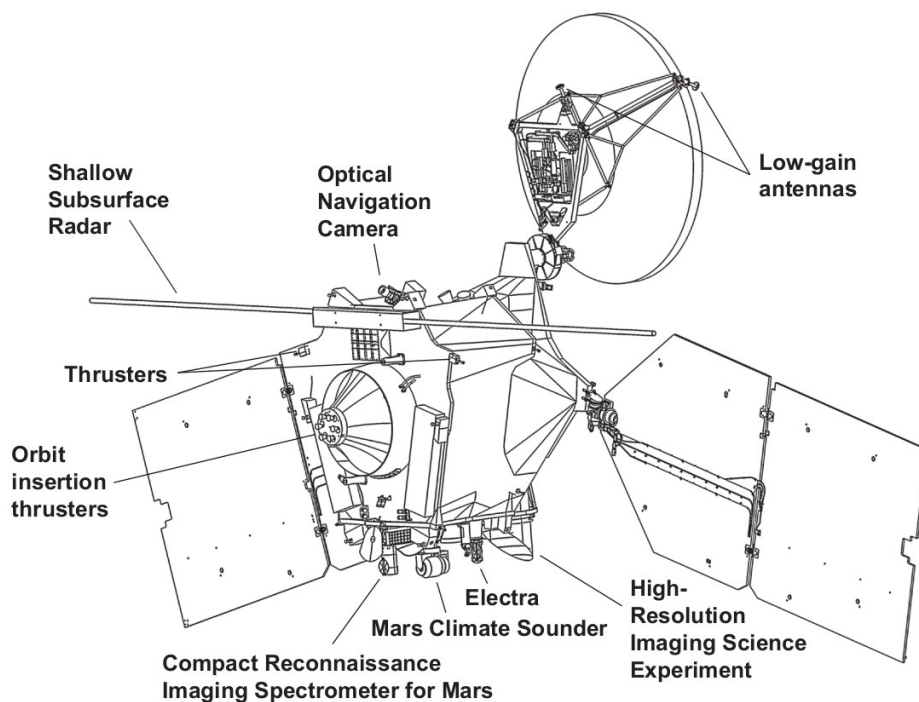


Figura 16: Vista des de darrere de la MRO.

6.2.3. Mars Science Laboratory Curiosity

El ròver Mars Science Laboratory Curiosity, d'ara endavant Curiosity o MSL Curiosity. És un ròver encara actiu que va ser llançat per la NASA el 26 de novembre de 2011 i va *amartitzar* 6 d'agost de 2012 al cràter de Gale (vore mapa en l'apartat de cartografia).

Les seues finalitats són detectar vida microbiana i estudiar els compostos químics de Mart, entre d'altres.

En este treball no anem a estudiar els instruments del Curiosity però sí que anem a fer referències a este robot més d'una vegada, és per això que creiem convenient nomenar-lo en este apartat.



Il·lustració 24: Vista frontal del robot.

7. Metodologia

Vists fins ací tots els conceptes previs, ja podem començar a desenvolupar el treball.

7.1. Hipòtesi

La hipòtesi inicial plantejada és que és possible la detecció de compostos químics en la superfície d'altres planetes rocosos del Sistema Solar. Es té constància que, almenys per al cas de Mart, gran part de la superfície està coberta de capes d'arena, pols i terra solta, que a partir d'ara anomenarem regolita. Esta regolita ha sorgit per la meteorització causada majoritàriament per l'acció de l'aigua i el vent. La regolita pot estar químicament composta de diferents materials mesclats de manera més o menys homogènia, és per això que deguem tindre en compte este aspecte. És molt probable que en les regions que trobem regolita la detecció siga defectuosa.

Quant als dipòsits de minerals, no esperem trobar-los totalment purs, és a dir, el més probable és que quan trobem un dipòsit d'algun material estiga mesclat, encara que siga superficialment.

Per últim, a causa de la naturalesa de les ones electromagnètiques amb les quals treballem només seran possibles les deteccions en la superfície o en la seua immediatesa (59).



Il·lustració 25: Retrat del Curiosity en setembre de 2016, al fons es troba l'Aeolis Mons. La regolita pot ser un inconvenient en la detecció de compostos químics.

7.2. Zona d'estudi

Per a este treball hem triat la següent zona d'estudi, en principi molt estudiada.

7.2.1. Gale crater: MSL Curiosity

La zona escollida per a este treball és troba en el Gale crater a uns 4° 40' N i 137° 25' E. Per conèixer millor la zona, el lector pot trobar un mapa de la regió en l'apartat de cartografia i també un vol animat al repositori complementari de GitLab (35).

El motiu de l'elecció d'este lloc és perquè és ací on es troba el ròver Curiosity de la NASA. A més a més, és una zona molt estudiada i amb moltes dades disponibles, la qual cosa afavorirà el nostre treball.

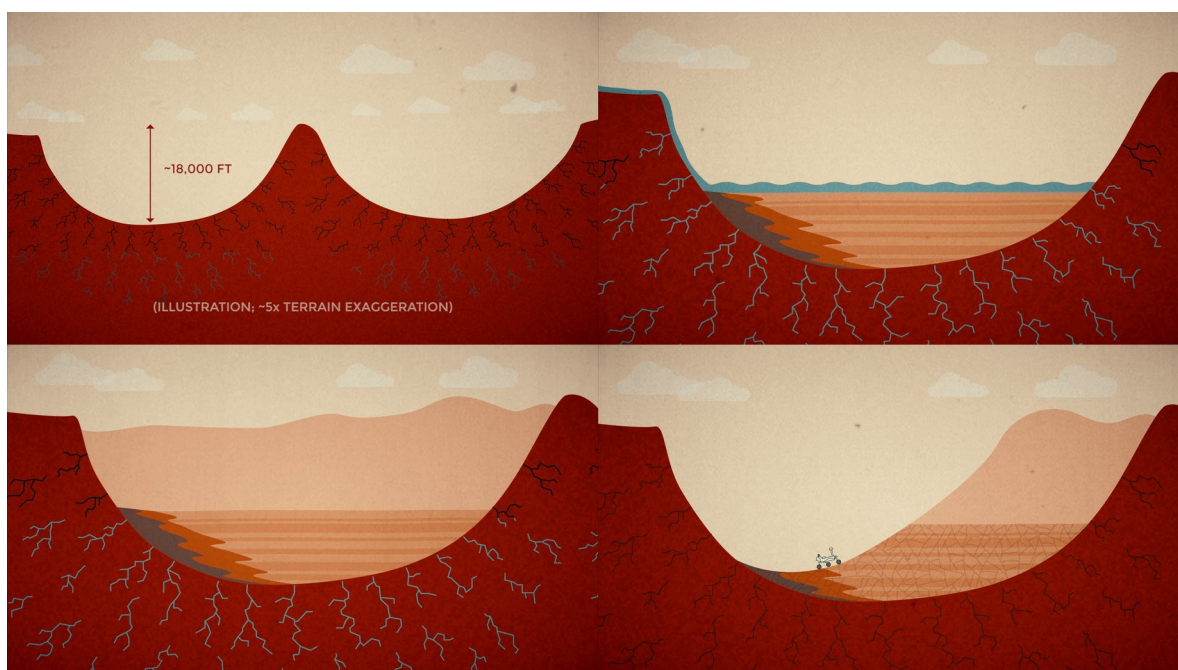
7.2.1.1. Hipòtesi sobre la seua formació

Segons les dades recopilades per diferents missions, el cràter de Gale és un cràter d'uns 150km de diàmetre i 5,5km de profunditat que es va formar per un impacte meteorític (60) a finals del Noaic. Al centre del cràter trobem l'Aeolis Mons, la muntanya més alta al cràter de Gale amb 5,5km d'altura des de la base. Este cràter d'impacte té una morfologia de cràter complex (61). Este tipus de morfologia fa referència al fet que quan l'impacte és de suficient magnitud, la forma parabòlica del forat no puga suportar-se a si mateixa i col·lapsa donant lloc a un cràter complex. El procés de col·lapse s'anomena etapa de modificació. D'altra banda, es té una comprensió pobra de l'etapa de modificació.

Creiem que és important fer una pausa ara mateix i donar una ullada al mapa de l'apartat de cartografia. Vorem que alguns accidents del relleu reben el nom d'Aeolis. Aeolis (62) fou una àrea costanera dominada pels grecs entre els segles VIII i VI abans de Crist. Esta regió està situada a l'oest d'Àsia Menor. Segons la mitologia grega, Èol (Αἰόλος) (63) va ser el rei d'esta regió i més tard mitificat com a déu dels vents. Segurament este personatge no va existir mai, però la qüestió és que esta regió de Mart té uns noms adequats doncs ha sigut agressivament modelada pel vent. Vegem-ho:

Després de l'impacte va haver-hi una aportació de sediments gràcies a inundacions, desgels i filtracions d'aigües subterrànies formant alguns llacs. Al llarg del temps, quan Mart començava a assecar-se, el vent va començar a soterrar el cràter amb arena i sediments. Finalment, el mateix vent va començar a erosionar les parts més externes del cràter donant a conèixer el cràter que veiem a hui dia.

Les imatges següents representen la formació del cràter d'una manera més visual (60):



Il·lustració 26: Formació del cràter de Gale (d'esquerra a dreta).

7.3. La descàrrega de les imatges

En este apartat detallarem el procés de descàrrega de les imatges. Com a exemple utilitzarem la zona del Gale crater, detallada en l'apartat anterior. Cal dir que este procés és anàleg per a qualsevol part de Mart.

Descarregarem imatges de diferents tipus:

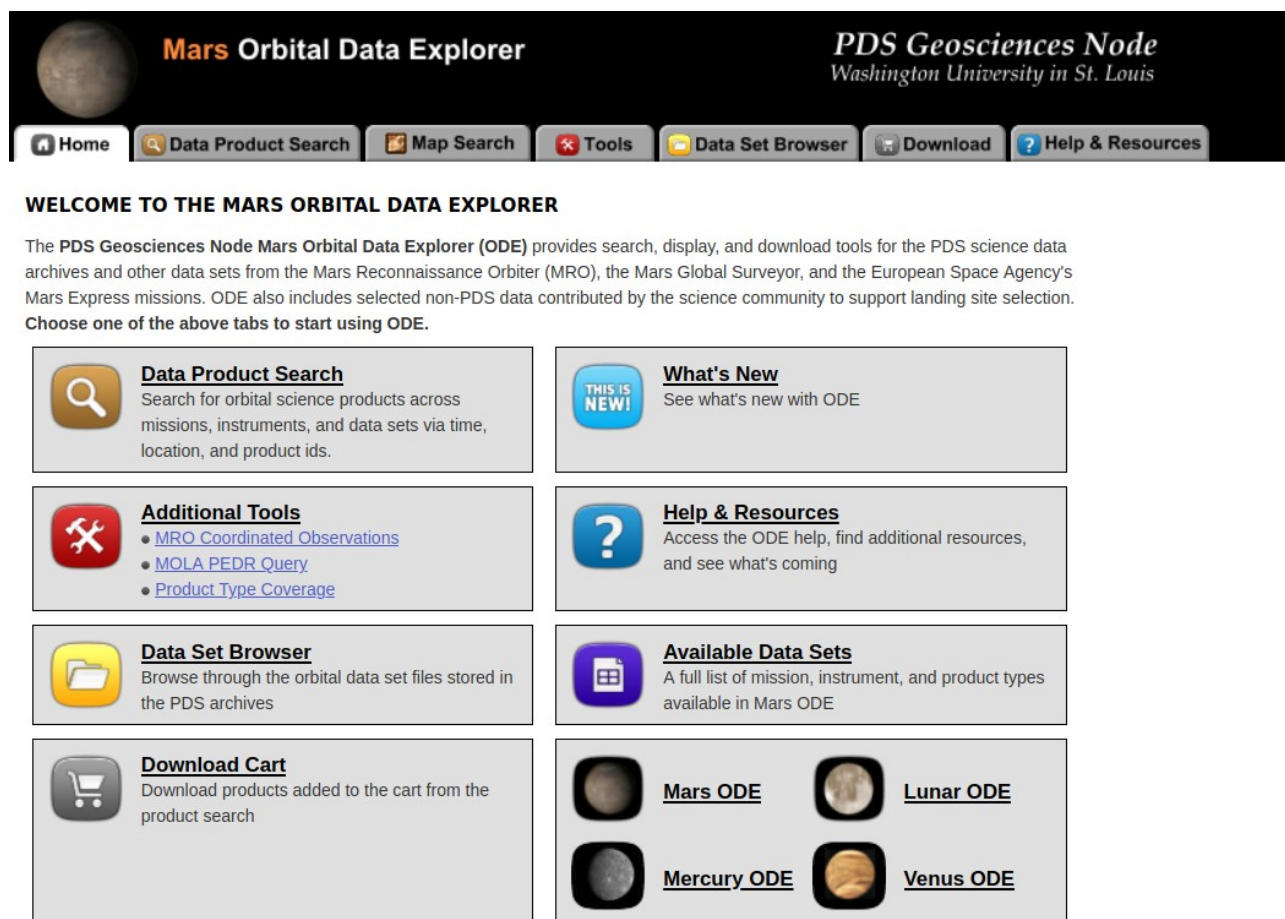
- Imatges d'alta resolució.
- Models digitals del terreny.
- Imatges hiperespectrals.

7.3.1. Imatges del HiRISE

Les imatges del HiRISE tenen importants finalitats:

- Contextualitzar el terreny amb imatges i MDT de grans dimensions i d'altíssima resolució.
- Recolzar i ajudar a valorar la classificació de les imatges hiperespectrals.
- Elaboració de productes: mapes, models en tres dimensions.

Per dur a terme la seua descàrrega accedirem a la pàgina del Mars ODE del Node de Geociències:

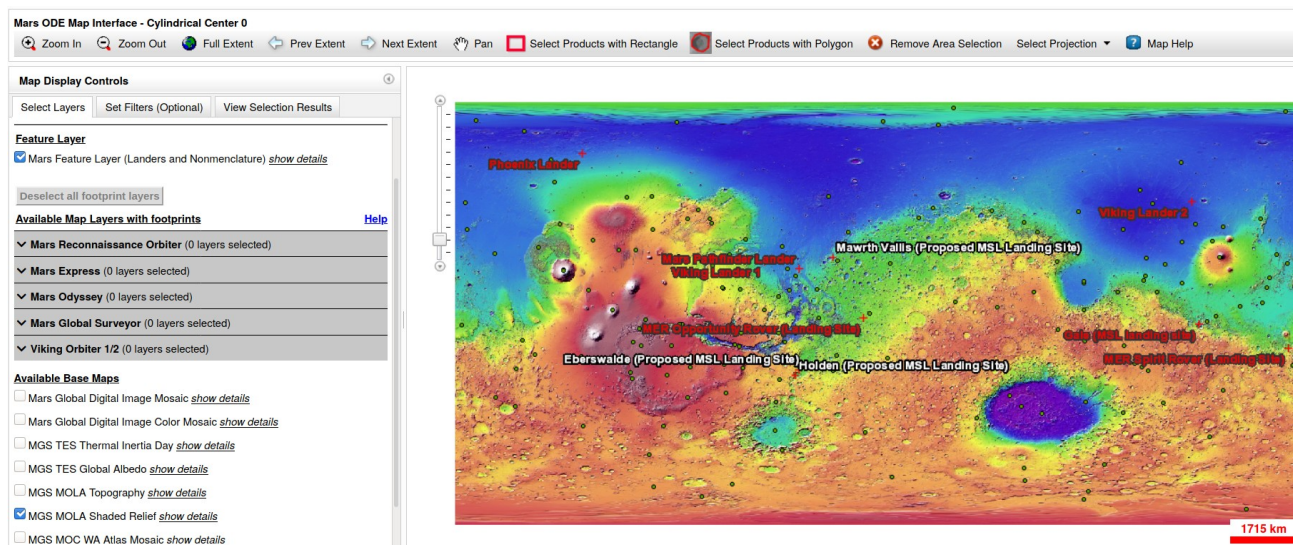


The Mars Orbital Data Explorer is produced by the [PDS Geosciences Node](#) at Washington University in St. Louis. Send comments to ode@wunder.wustl.edu.

Il·lustració 27: Pàgina inicial del Mars ODE.

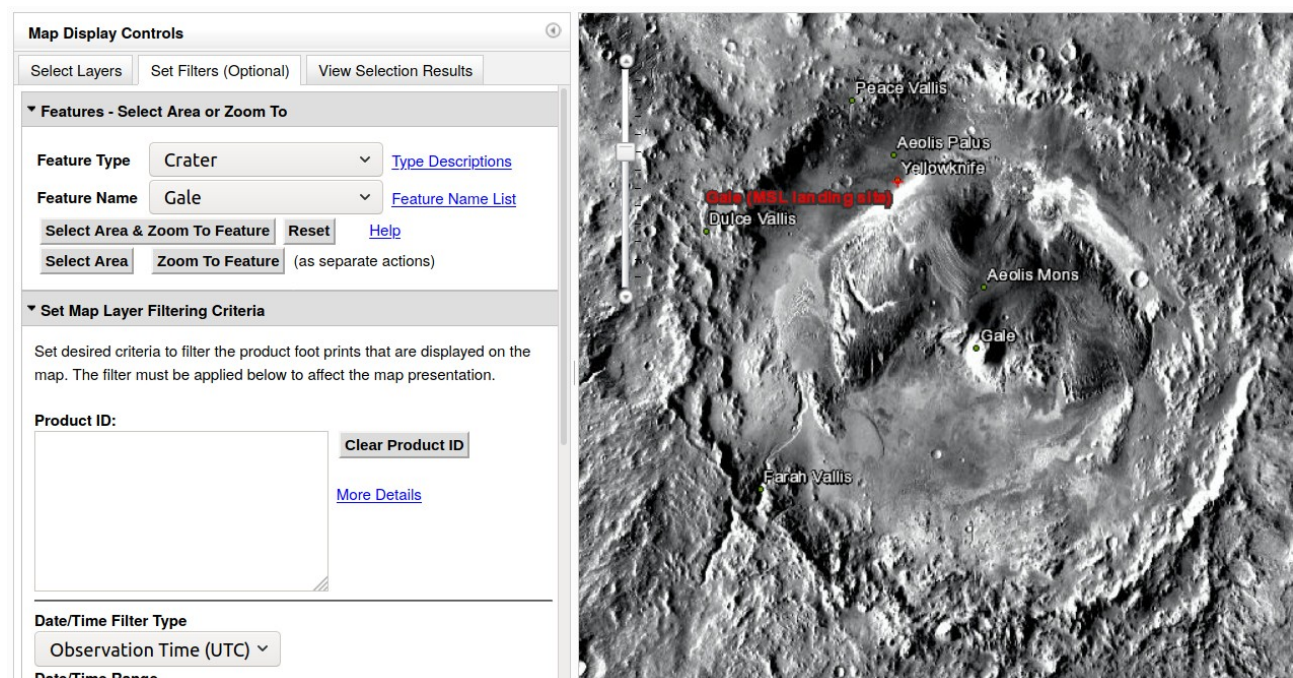
Primerament accedirem a la pestanya de **Map Search** en la part superior esquerra de la pàgina i després, en la part inferior de la subfinestra de *Map Display Controls* seleccionarem el mapa base *MGS MOLA Shaded Relief*, esta capa és recomanable per a escales menudes. Per a escales grans es recomana la capa *Odyssey THEMIS Day IR Global Mosaic*. A més a més, podrem ajustar la opacitat al màxim al el botó *show details*. Per últim afegirem el nomenclàtor marcià activant la casella de *Mars Feature Layers (Landers and Nomenclature)* en l'opció *Feature Layer*.

Obtindrem un resultat semblant al següent:



Il·lustració 28: Configuració inicial del mapa.

Una vegada ací, podríem seleccionar l'objecte a buscar desplaçant-nos a través del mapa o buscant-lo amb la ferramenta que es troba en la pestanya de *Set Filters*. Des d'esta ferramenta introduïm el nom i li donem al botó de *Zoom To Feature*:

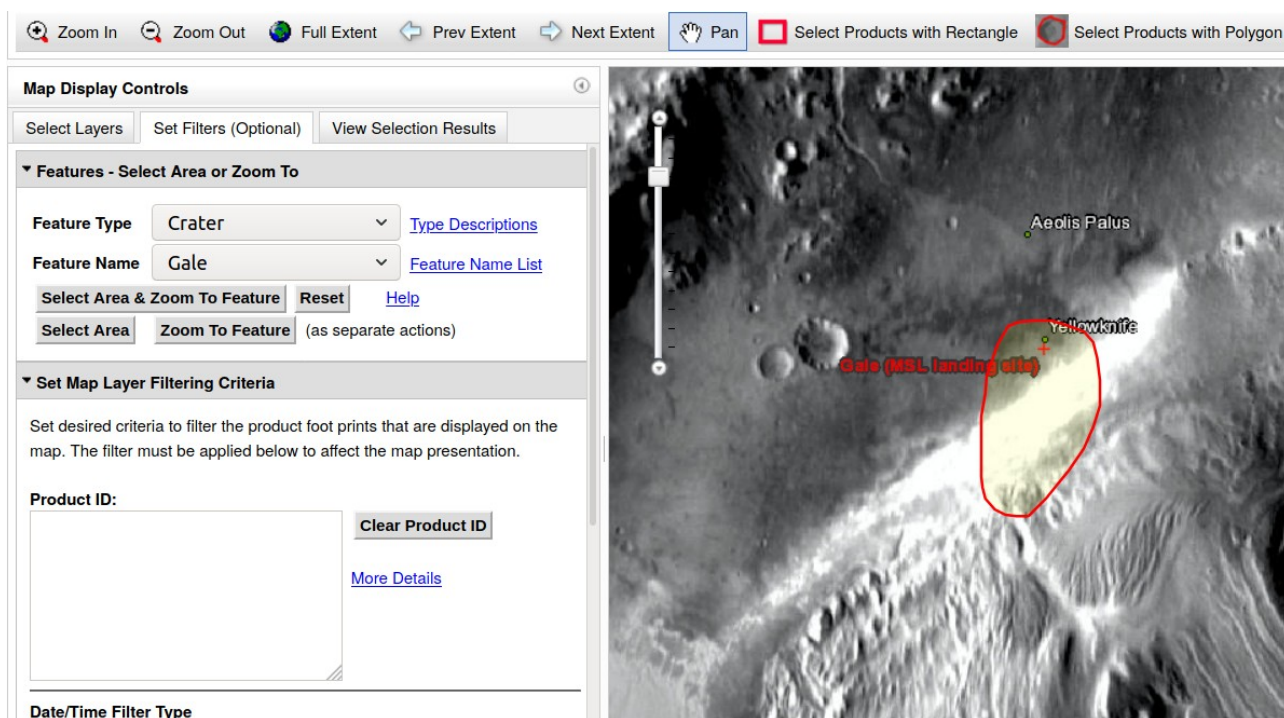


Il·lustració 29: Filtres: Cràter de Gale.

Denotar que hem canviat la capa base a *Odyssey THEMIS Day IR Global Mosaic* per a vore millor les escales grans.

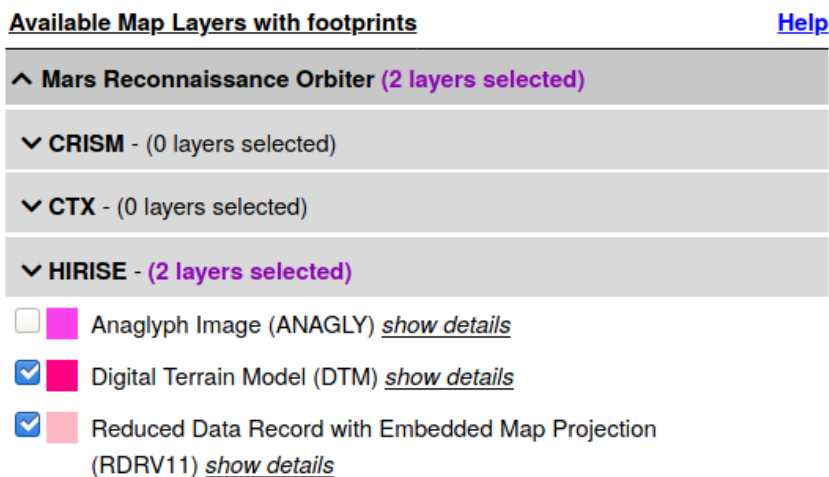
Però, en este cas nosaltres no desitgem obtenir imatges del cràter sencer sinó només de la zona corresponent al recorregut del rover MSL Curiosity. Ens apropem a la zona en qüestió i la seleccionem amb el botó:





Il·lustració 30: Selecció de la ruta del Curiosity.

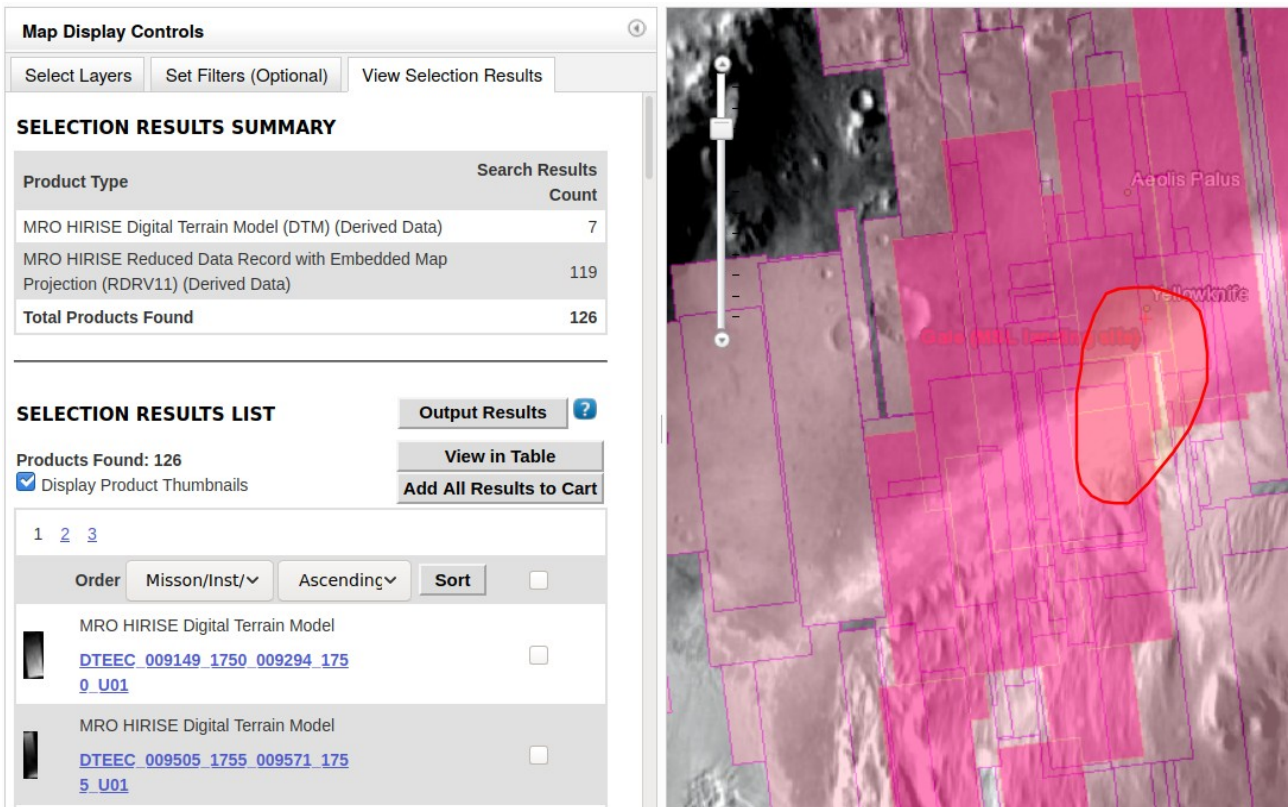
Després seleccionem els productes a descarregar des de la pestanya de *Select Layers*. Marquem les caselles de *Digital Terrain Model (DTM)* i *Reduced Data Record with Embedded Map Projection (RDRV11)* tal i com es mostra en la següent imatge:



Il·lustració 31: Productes a seleccionar.

Vorem que després de marcar els productes ens apareixeran els resultats en pantalla. En este cas en color rosa obscur simbolitza els MDT i en rosa clar les imatges pròpiament dites.

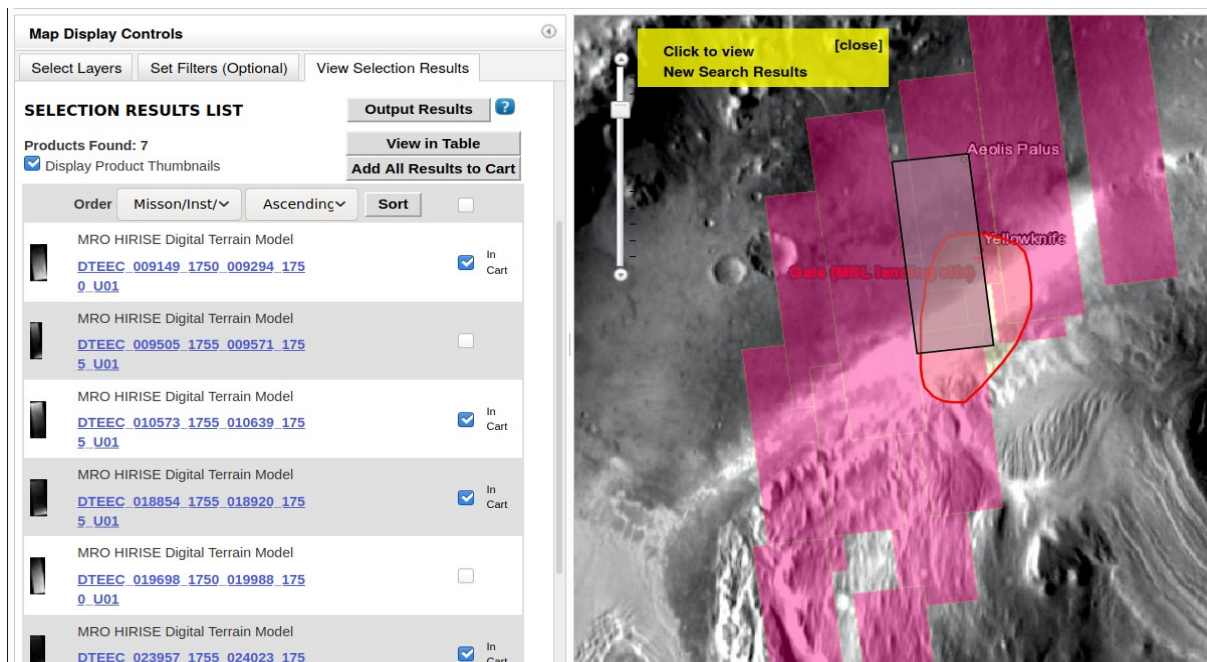
Accedim a la pestanya de *View Selection Results* per vore un resum de les imatges i procedir a seleccionar-les per a la seua descàrrega:



Il·lustració 32: Resultats de la cerca.

Com podem comprovar en el resum s'han trobat 126 productes, 7 MDT i 119 RDR del HiRISE.

Com són molts productes per triar, primerament desactivem la capa d'RDR d'HiRISE per a descarregar-los després. Amb la capa de MDT marquem els productes en els quals estem interessats, es guardaran automàticament en el carret (*In Cart*).



Il·lustració 33: Selecció dels MDT desitjats

Si cliquem en el nom d'un d'estos productes, podem obtindre informació addicional:

DTEEC_010573_1755_010639_1755_U01 ?
 MRO HIRISE Digital Terrain Model (DTM) (Derived Data)
[Product Description and Data Set Documents \(click to show\)](#)

Browse Meta Data Label Related Products Map Context

Meta Data - extracted or derived from data products and product labels

Product Meta Data	PDS
Product ID	DTEEC_010573_1755_010639_1755_U01
Data Set ID	MRO-M-HIRISE-5-DTM-V1.0
Volume ID	MROHR_0001
Product Target	MARS
Product Creation Time	0000-00-00T00:00:00.000
Relative Volume Path	dtm\psp\orb_010500_010599 \psp_010573_1755_psp_010639_1755\
Label File Name	dteec_010573_1755_010639_1755_u01.img
Product Type	DTM
Full Product Type Name	DTM
Instrument Host ID	MRO
Instrument ID	HIRISE
Center Latitude	-4.4945
Center Longitude	137.406
Maximum Latitude	-4.3546
Minimum Latitude	-4.6344
Westernmost Longitude	137.345
Easternmost Longitude	137.467

Il·lustració 34: Informació addicional dels productes.

Una vegada ja seleccionats els MDT continuem descarregant els RDR d'HiRISE. Els resultats trobats per a la zona són:

Map Display Controls ?

Select Layers Set Filters (Optional) View Selection Results

SELECTION RESULTS SUMMARY

Product Type	Search Results Count
MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection (RDRV11) (Derived Data)	119
Total Products Found	119




SELECTION RESULTS LIST Output Results ?

Products Found: 119 View in Table

Display Product Thumbnails Add All Results to Cart

1 2 3

Order Mission/Inst/ Ascending Sort

	MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection ESP_018854_1755_COLOR	<input type="checkbox"/>
	MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection ESP_018854_1755_RED	<input type="checkbox"/>
	MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection	<input type="checkbox"/>

Il·lustració 35: Resultats per als RDR d'HiRISE.

Per reduir encara més els resultats seleccionarem només les imatges que siguin monobanda (en blanc i negre) i tinguen un angle d'incidència d'entre 0 i 45°.

Product ID:
*RED Clear Product ID

[More Details](#)

Date/Time Filter Type
Observation Time (UTC) ▾

Date/Time Range
[] to [] [More Details](#)

Solar Longitude Range
[] to [] [More Details](#)

Mars Year Range
[] to [] [More Details](#)

Emission Angle Range
[] to [] [More Details](#)

Incidence Angle Range
0 to 45 [More Details](#)

*Il·lustració 36: El comando *RED busca només els productes amb la paraula RED, és a dir imatges monobanda. Amb estes restriccions disminuïm els resultats.*

D'esta manera els resultats no són tant nombrosos i a més a més compliran els nostres requeriments:

Map Display Controls

Select Layers | Set Filters (Optional) | View Selection Results

- [ESP_022111_1755_RED](#)

MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection
- [ESP_023957_1755_RED](#)

MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection
- [ESP_024023_1755_RED](#)

MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection
- [ESP_032436_1755_RED](#)

MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection In Cart
- [ESP_033649_1750_RED](#)

MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection In Cart
- [ESP_040269_1755_RED](#)

MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection
- [ESP_040770_1755_RED](#)

MRO HIRISE Reduced Data Record with Embedded Map Projection

Click to view New Search Results [close]

Aeolis Palus

Gate (MST, ...)

Il·lustració 37: Cerques més parametritzades permeten obtenir una major qualitat de resultats.

Finalment, ara que ja hem seleccionat les dades seleccionem la pestanya **Download**, en la part superior de la pàgina, i ens apareix una pàgina com la següent:

CART CHECKOUT ?

PDS Data products are **freely available to the public**. The Geosciences Node will retrieve the files you request and make them available from the **ODE cart request download page**. You will receive a notification email with a link to the page once the files are ready for download. The cart request download page will provide access to requested files through HTTP, FTP, and the free Aspera Connect web browser plug-in for high-speed data transfers. If you have any questions, contact ode@wunder.wustl.edu.

STEP 1. REVIEW PRODUCTS SELECTED Empty the Cart

Products Selected for Download: **6**
Size of current cart selections: **10.51 GB**

▼ **View Products Selected for Download** (Show Selection List - 6 Products)

STEP 2. SELECT ADDITIONAL COMPONENTS

You have the option to include additional files that are associated with your selected products.

<input checked="" type="checkbox"/> Derived Files Map projected shapefiles and KML files for PDS products in the cart	Derived files: 18 Size of derived files: < 1 MB
<input checked="" type="checkbox"/> Mini-Archive Files Related files from the PDS Archive including: documentation, software, errata, extras, catalogs, and indexes	Files from Mini-Archive selections: 18 Size of Mini-Archive files: 6 MB

SELECTION TOTALS

Products Selected for Download: **6**
Files from selections: **190**
Size of current cart selections: **10.52 GB**

CONTINUE WITH CHECKOUT

Your cart selections include externally hosted files, which take the Geosciences Node longer to acquire and organize for your download. This cart selection should be available for download in approximately: **2.31 hours**.


Continue >

Il·lustració 38: Procés de descàrrega.

Opcionalment, marcarem per a descarregar els components addicionals. El servidor ens indica també el temps aproximat que tardarà en processar la nostra petició.

Per últim, ens apareixerà una finestra on podrem configurar les opcions de la baixada. Es recomana no comprimir les dades i mantindre l'estructura d'arxius original del PDS. Acabem este procés introduint una adreça electrònica on rebre les dades i li donem clic al botó de Submit Request.

DOWNLOAD SETUP

[< Back](#) 

After the completion and submission of this form, an automated system will retrieve and organize your selected files. You will receive an email when the files are ready for download. The email will include a link to the ODE cart request download page and a direct FTP address for downloading the files.

3. SELECT PACKAGING FORMAT

Zip
 Tar
 Tar.Gz
 No Compression

[Help me choose](#)

4. SELECT FILE ORGANIZATION

[Help me choose](#)

Maintain original PDS archive directory structure

Example:

```

VolumeID1 (PDS3) /Bundle1 (PDS4)
  |- Calibration
  |- Data
  |- Documents
  |- Derived files
VolumeID2 (PDS3) /Bundle2 (PDS4)
  |- Data
  |- ...
    
```

Place all data in one directory

(Mini-archive and derived files will be in subdirectories)

Example:

```

Cart Order
  |- Data
  |- Browse_Extras
  |- Derived files
  |- Archive files
    |- VolumeID1 (PDS3) /Bundle1 (PDS4)
    |- VolumeID2 (PDS3) /Bundle2 (PDS4)
    
```

COMPLETE THE PROCESS

Terms and Conditions

PDS data products and data set files are freely available to the public.

Policy for Citations of PDS Data [click here for a new window](#)

Your email:

(A notification will be sent to this email address when the files are ready for download.)

Il·lustració 39: Configuració de la baixada.

Una vegada el servidor ha processat la nostra petició rebrem un correu com el següent:

Requested PDS files are ready for download Safata d'entrada x

ode@wunder.wustl.edu

dj., 30 d'abr. 18:52 (fa 8 dies) ☆

per a mi ▾

ausiasroc98@gmail.com.

The files that you requested through the ODE cart are available for download.

Access your cart request through the ODE cart request download page:

<http://ode.rsl.wustl.edu/cartdownload/?requestdir=20200430T115059922073>

The ODE cart request download page provides access to your cart request through HTTP, FTP, and the Aspera Connect web browser plug-in.

Your requested files are also available from the following FTP address:

<ftp://geoftp.wustl.edu/20200430T115059922073>

Username: geoftp

Password: Odeuser1

Help and tips for downloading the files can be found here:

<http://ode.rsl.wustl.edu/cartdownload/carthelp/>

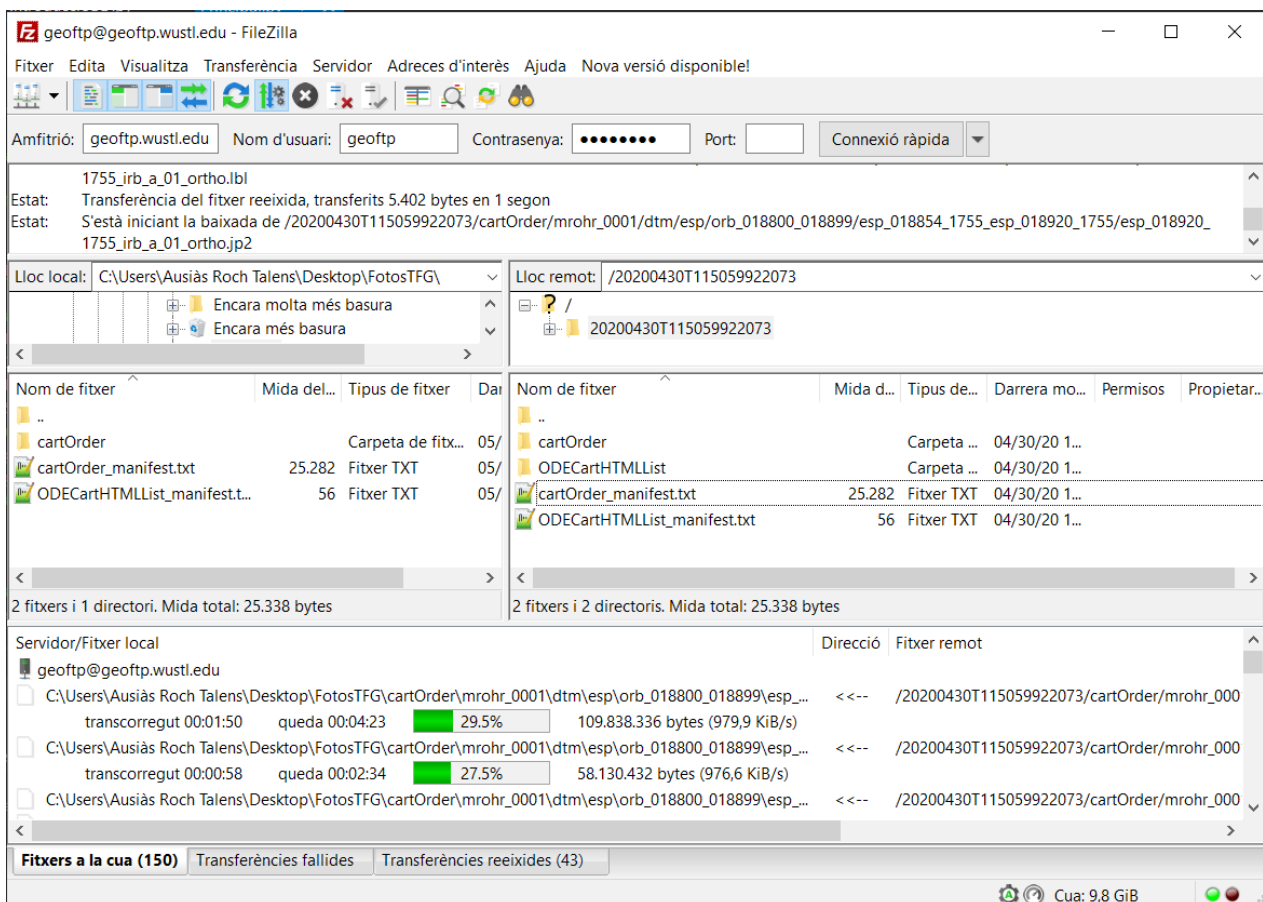
The files will remain available through the ODE cart request download page and FTP site for 7 days. If you experience problems acquiring your files, contact ode@wunder.wustl.edu.

PDS Geosciences Node

Washington University in St. Louis

Il·lustració 40: Correu amb les credencials per descarregar els resultats de la teua petició

El correu de resposta ens proporcionarà accés a un servidor FTP (64) que haurem d'accedir amb unes credencials proporcionades pel correu. Per a este treball utilitzarem un client d'FTP anomenat FileZilla (16). Realitzem la descàrrega de tots els arxius en el nostre ordinador de treball.



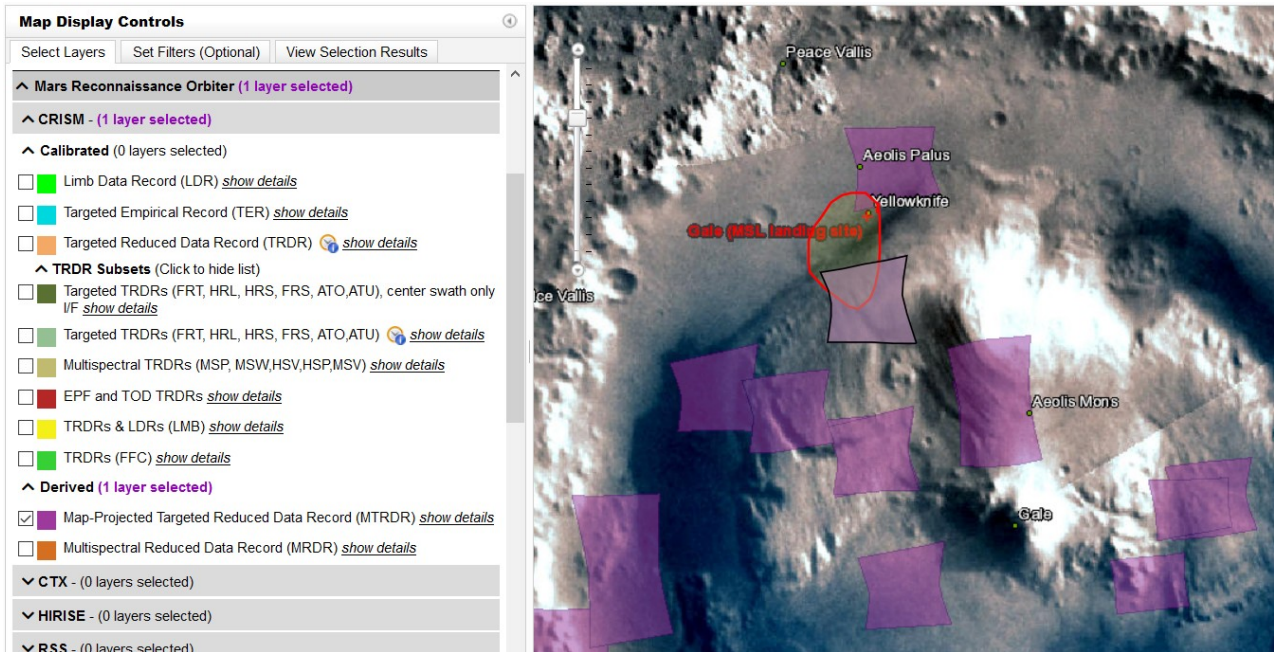
Il·lustració 41: Descarregant les dades a través de FileZilla.

Podem trobar la nomenclatura d'estos arxius a l'annex.

7.3.2. Imatges hiperespectrals del CRISM

Com hem dit abans, les imatges hiperespectrals componen la part central d'este treball. En este, subapartat detallarem com descarregar esta classe d'imatges de l'instrument CRISM, a bord de la MRO.

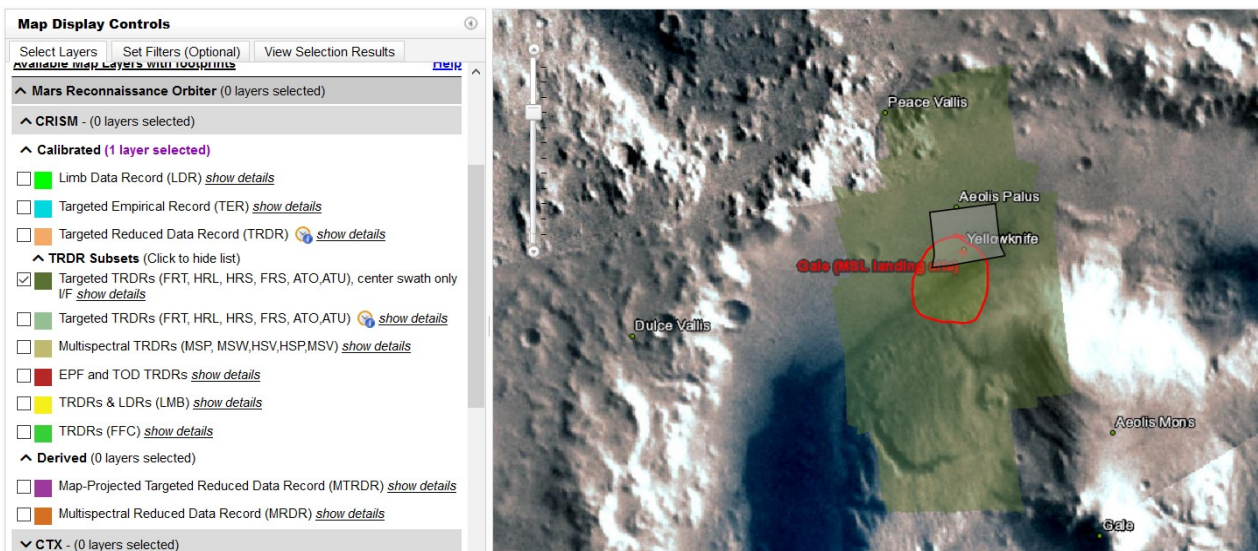
Continuarem des de la cerca amb el Mars ODE, esta vegada seleccionant els productes MTRDR (Map-projected Targeted Reduced Data Record). Estos productes contenen imatges projectades i corregides d'errors atmosfèrics, geomètrics i radiomètrics:



Il·lustració 42: Productes MTRDR.

Seleccionarem estes dues imatges i les afegirem al carret.

Com podem vore estos productes són massa abundants en la nostra zona de treball. Per tant haurem d'utilitzar també dades amb un menor nivell de processament. És el cas dels TRDR (Targeted Reduced Data Record) en el seu format més ample, l'FRT (Full Resolution Targeted). Els productes TRDR en FRT són imatges sense projectar ni corregir però a màxima resolució.



Il·lustració 43: Productes TRDR.

Filtrarem la cerca dels TRDR escrivint **FRT** en els paràmetres de la cerca.

Map Display Controls

Select Layers | Set Filters (Optional) | View Selection Results

▼ **Features - Select Area or Zoom To**

Feature Type: [Type Descriptions](#)

Feature Name: [Feature Name Lis](#)

Select Area & Zoom To Feature | Reset | Help

Select Area | Zoom To Feature (as separate actions)

▼ **Set Map Layer Filtering Criteria**

Set desired criteria to filter the product foot prints that are displayed on th map. The filter must be applied below to affect the map presentation.

Product ID:

FRT

Clear Product ID

[More Details](#)

Il·lustració 44: Filtre dels TRDR.

Una vegada filtrats seleccionarem els productes desitjats seleccionem les imatges, recomanablement per parelles. Com hem dit adés, CRISM està format per dos sensors. Amb descarregar les imatges de llarga longitud d'ona serà suficient (arxiu amb una L):

Map Display Controls

Select Layers | Set Filters (Optional) | View Selection Results

MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0000BEE7_07_IF165S_TRR3	<input type="checkbox"/>
MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0000BFCA_07_IF167L_TRR3	<input type="checkbox"/>
MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0000BFCA_07_IF167S_TRR3	<input type="checkbox"/>
MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0000C0EF_07_IF165L_TRR3	<input checked="" type="checkbox"/> In Cart
MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0000C0EF_07_IF165S_TRR3	<input checked="" type="checkbox"/> In Cart
MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0000C518_07_IF165L_TRR3	<input checked="" type="checkbox"/> In Cart
MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0000C518_07_IF165S_TRR3	<input checked="" type="checkbox"/> In Cart
MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0001117B_07_IF165L_TRR3	<input checked="" type="checkbox"/> In Cart
MRO CRISM Targeted Reduced Data Record	FRT0001117B_07_IF165S_TRR3	<input checked="" type="checkbox"/> In Cart

Click to view New Search Results [close]

Peace Vallis

Aeolis Palus

Yellowknife

Gale (MSL landing) site

Dulce Vallis

Aeolis

Gale

Il·lustració 45: Descarregar els arxius de llarga longitud d'ona és suficient.

Seleccionem les imatges a descarregar i accedim a la pestanya de *Download*. Recomanem seleccionar els següents complements:

- *Include corresponding CRISM DDRs*: Haurem de marcar esta casella per descarregar els arxius que es facilitaran les posteriors correccions i projeccions.
- *Derived Files*: Arxius kml i shp amb l'extensió de les imatges. Útils per conèixer l'extensió i posició de les imatges en el mapa sense haver de carregar-les.
- *Mini-Archive Files*: Altra classe de documentació referent a les dades que sempre pot ser útil.

Mars Orbital Data Explorer PDS Geosciences Node
Washington University in St. Louis

Home Data Product Search Map Search Tools Data Set Browser Download Help & Resources

STEP 1. REVIEW PRODUCTS SELECTED Empty the Cart

Products Selected for Download: 32
Size of current cart selections: 7.36 GB

View Products Selected for Download (Show Selection List - 32 Products)

STEP 2. SELECT ADDITIONAL COMPONENTS

You have the option to include additional files that are associated with your selected products.

CRISM TRDRs (15) in the cart	
<input checked="" type="checkbox"/> Include corresponding CRISM DDRs Most CRISM TRDRs have a corresponding DDR product, which contains the projection and geometry information	DDR Products: 15 DDR Files: 30 Size of DDR files: 47 MB
<input type="checkbox"/> Include corresponding RA TRDRs CRISM TRDR I/F products have corresponding RA products	TRDR RA Products: 15 TRDR RA Files: 49 Size of TRDR RA files: 1.719 GB
<input type="checkbox"/> Include corresponding EPF TRDRs Center swath TRDRs have corresponding EPF products from the same observation set	TRDR EPF Products: 110 TRDR EPF Files: 334 Size of TRDR EPF files: 2 MB
<input checked="" type="checkbox"/> Derived Files Map projected shapefiles and KML files for PDS products in the cart	Derived files: 51 Size of derived files: 1 MB
<input checked="" type="checkbox"/> Mini-Archive Files Related files from the PDS Archive including: documentation, software, errata, extras, catalogs, and indexes	Files from Mini-Archive selections: 79 Size of Mini-Archive files: 25 MB

SELECTION TOTALS

Products Selected for Download: 32
Files from selections: 387

Il·lustració 46: Components addicionals.

Una vegada seleccionats els components addicionals descarregarem les imatges seguint el mateix procediment que amb les imatges del HiRISE.

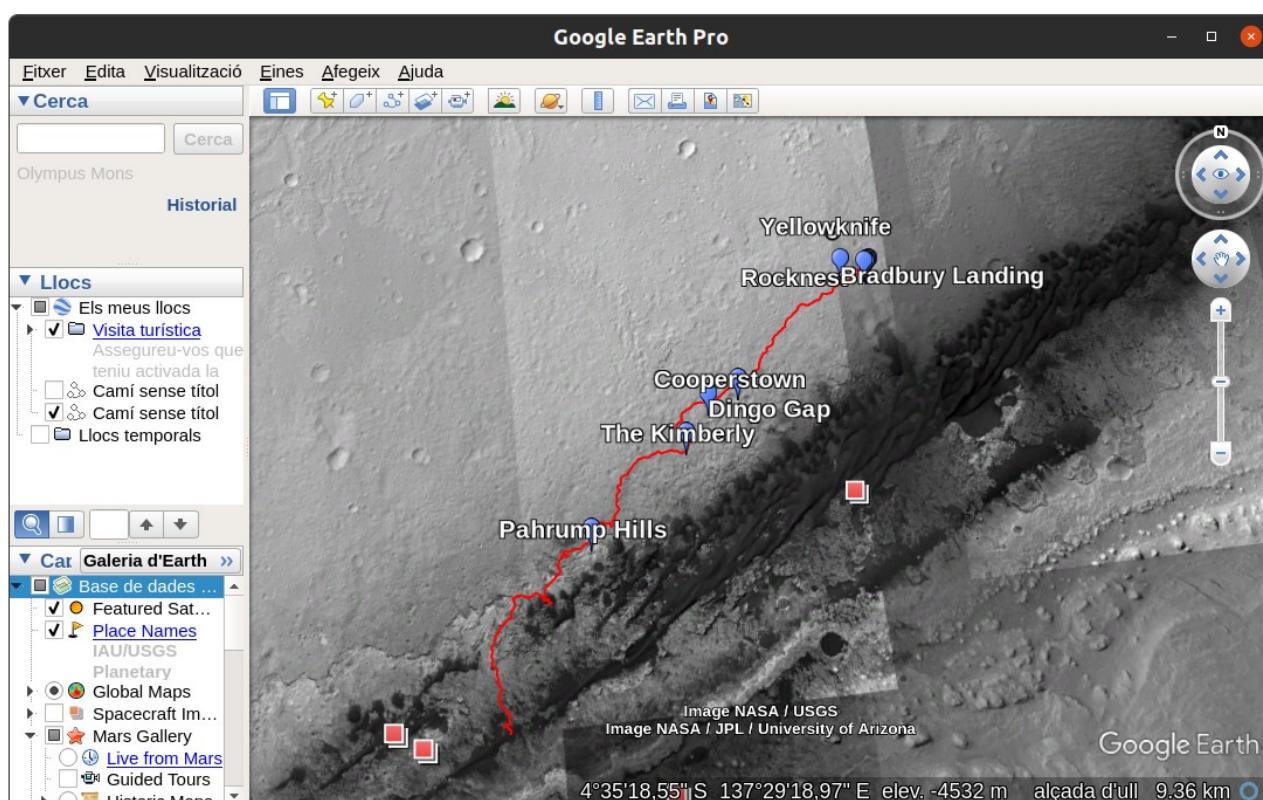
7.3.3. Dades específiques: Recorregut del ròver Curiosity

Particularitzat a la zona d'estudi del cràter de Gale. El recorregut del ròver MSL Curiosity pot ser una dada important en diversos aspectes:

- Tindre imatges des de terra de la zona captades pel robot.
- Donar un valor afegit al producte final.

En este subapartat estudiarem la manera elegida per obtindre el recorregut més actualitzat del ròver.

Esta ruta pot vore's fàcilment des de molts llocs web i plataformes, però segurament el lloc més conegut és Google Earth (Mars). A més a més, amb Google Earth podem vore les imatges del HiRISE de la zona.



Il·lustració 47: Recorregut del Curiosity des del Google Earth

L'inconvenient de Google és que estes dades no són accessibles o bé, no les hem trobat. De tota manera, preferim evitar recórrer a fonts externes o de tercers i cometre possibles errors degut al processament incorrecte de les dades per part de gent no experta. Per descomptat, el que farem serà utilitzar les dades en cru proporcionades per la NASA.

Per obtenir estes dades haurem d'accedir una vegada més al PDS, en este cas el PDS del ròver MSL Curiosity.

Services
 Analyst's Notebook
 Orbital Data Explorers
 Spectral Library
 Virtual Astronaut
 FTP Access
 Workshops

Geosciences Node Data
 Mars
 Venus
 Mercury
 Moon
 Earth
 Asteroids
 Gravity Models
 All Geosciences Data Holdings

Help
 Frequently Asked Questions
 Geosciences Node Forums
 Help for Data Users
 Help for Data Reviewers
 Help for Proposers
 About PDS4
 About Checksums
 Cite PDS On Your Poster
 Email Us

Scheduled Maintenance
 This site may be down on
Thursdays between 7:00 and 9:30
 pm Central Time for maintenance.

Mars Science Laboratory (MSL)

March 17, 2020. SAM EDR data for sols 2483-2579 have been added to the [SAM EDR safed data set](#).

March 16, 2020. MSL Release 23 includes new raw and derived data from sols 2483-2579, July 31 to November 8, 2019.

The Mars Science Laboratory (MSL) rover, Curiosity, landed on Mars and began operations on August 6, 2012. On June 25, 2014, the rover marked one Mars year (687 Earth days) of operations on the surface.

Science data from Curiosity's suite of instruments is released by PDS three times a year. See the complete [release schedule](#) below.

Instruments and Archives

Instrument <i>Follow links to instrument team web sites</i>	PDS Archives
APXS - Alpha Particle X-ray Spectrometer	APXS Archive
ChemCam - Laser-Induced Breakdown Spectrometer (LIBS) and Remote Micro-Imager (RMI)	ChemCam Archive
CheMin - Chemistry and Mineralogy	CheMin Archive
DAN - Dynamic Albedo of Neutrons	DAN Archive
Engineering Cameras - Hazard	Engineering Camera

What's New

March 17, 2020. SAM EDR data for sols 2483-2579 have been added to the [SAM EDR safed data set](#).

March 16, 2020. MSL Release 23 includes new raw and derived data from sols 2483-2579.

December 6, 2019. SAM EDR data for sols 2359-2482 have been added to the [SAM EDR safed data set](#).

December 5, 2019. MSL Release 22 includes new raw and derived data from sols 2359-2482.

October 23, 2019. **REMS corrected UV flux data** for sols 0-2000 is online at the PDS Atmospheres Node.

August 5, 2019. SAM EDR data for sols 2225-2358 have been added to the [SAM EDR safed data set](#).

August 1, 2019. MSL Release 21 includes new raw and derived data from sols 2225-2358.

Il·lustració 48: Pàgina d'inici del PDS del MSL, Node de Geociències

Primerament ens fixarem en les dates d'actualització de les dades, disponibles més avall:

Release Schedule

Here is the release schedule for the mission. To be notified of MSL releases and other PDS releases, sign up with the [PDS Subscription Service](#).

Release	Data Acquisition (Sols)	Release to Public
30	3290-3423	Aug. 1, 2022
29	3193-3289	Mar. 16, 2022
28	3069-3192	Dec. 6, 2021
27	2935-3068	Aug. 2, 2021
26	2838-2934	Mar. 16, 2021
25	2714-2837	Dec. 4, 2020
24	2580-2713	Jul. 31, 2020
23	2483-2579	Mar. 16, 2020
22	2359-2482	Dec. 5, 2019

Il·lustració 49: L'última actualització de les dades va ser el 16 de març de 2020

L'última actualització de les dades s'efectuà el 16 de març de 2020. Per tant, les dades disponibles comprenen des del dia que el ròver va *amartitzar* fins al sol 2604, és a dir, ~7 anys terrestres o ~3,8 anys marcians.

Per accedir a les dades cliquem en *PLACES Archive at the PDS Imaging Node*:

Instruments and Archives

Instrument <i>Follow links to instrument team web sites</i>	PDS Archives
APXS - Alpha Particle X-ray Spectrometer	APXS Archive
ChemCam - Laser-Induced Breakdown Spectrometer (LIBS) and Remote Micro-Imager (RMI)	ChemCam Archive
CheMin - Chemistry and Mineralogy	CheMin Archive
DAN - Dynamic Albedo of Neutrons	DAN Archive
Engineering Cameras - Hazard Avoidance Cameras and Navigation Cameras	Engineering Camera Archives at the PDS Imaging Node
MAHLI - Mars Hand Lens Imager	MAHLI, MARDI, and Mastcam Archives at the PDS Imaging Node
MARDI - Mars Descent Imager	
Mastcam - Mast Camera	
PLACES - Maps and rover localization data	PLACES Archive at the PDS Imaging Node
RAD - Radiation Assessment Detector	RAD Archive at the PDS PPI Node
REMS - Rover Environmental Monitoring Station	REMS Archive at the PDS Atmospheres Node
SAM - Sample Analysis at Mars	SAM Archive
SPICE - Spacecraft, Planet, Instrument, Pointing C-Matrix, and Event Kernels	SPICE Archive at the NAIF Node

Il·lustració 50: Productes i arxius

A continuació fem clic en l'arxivador verd que conté les dades de *PLACES*. El color verd de l'arxivador fa referència al fet que les dades estan emmagatzemades en els servidors del Jet Propulsion Laboratory de la NASA a Pasadena, Califòrnia.

Mars Science Laboratory (MSL) Online Data Volumes

Online data volumes may be found at one or more sites. To access a volume, click on the icon(s) shown by the volume name. (IN - Imaging Node; DN - Data Node)									
Curiosity Engineering Cameras									
MSLHAZ_0XXX		Hazard Avoidance Camera (Hazcam) Experiment Data Records from Cruise-Sol 2579							
MSLNAV_0XXX		Navigation Camera (Navcam) Experiment Data Records from Cruise-Sol 2579							
MSLHAZ_1XXX		Hazard Avoidance Camera (Hazcam) Reduced Data Records from Sols 1-2579							
MSLNAV_1XXX		Navigation Camera (Navcam) Reduced Data Records from Sols 0-2579							
MSLMOS_1XXX		Navigation Camera Mosaics from Sols 0-2579							
MSLPLC_1XXX		PLACES Data Products from Sites 1-77							

Il·lustració 51: Accés a les dades

Se'ns portarà a esta pàgina del Node de Cartografia i Ciències de la Imatge, del PDS:



PDS Imaging Node: Data Archive

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
AAREADME.TXT	2020-03-23 12:09	3.9K	
CATALOG/	2020-03-23 12:08	-	
DATA/	2020-03-23 12:08	-	
DOCUMENT/	2020-03-23 12:08	-	
ERRATA.TXT	2020-03-23 12:08	4.4K	
EXTRAS/	2020-03-23 12:08	-	
INDEX/	2020-03-23 12:08	-	
VOLDESC.CAT	2020-03-23 12:09	1.8K	

Il·lustració 52: Pàgina del PDS.

Les dades que busquem es troben en la carpeta *DATA*→*LOCALIZATIONS*. Descarreguem l'arxiu *telemetry.csv* i recomanem llegir l'arxiu *telemetry.lbl* per obtenir les metadades de les dades.

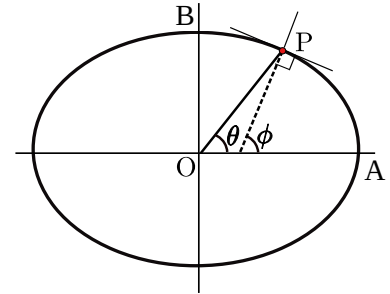
PDS Imaging Node: Data Archive

Name	Last modified	Size
Parent Directory		-
localized_interp.csv	2020-03-23 12:08	4.9M
localized_interp.lbl	2020-03-23 12:08	8.4K
localized_interp_demv2.csv	2020-03-23 12:08	4.9M
localized_interp_demv2.lbl	2020-03-23 12:08	8.4K
localized_pos.csv	2020-03-23 12:08	150K
localized_pos.lbl	2020-03-23 12:08	8.4K
localized_pos_demv2.csv	2020-03-23 12:08	84K
localized_pos_demv2.lbl	2020-03-23 12:08	8.4K
telemetry.csv	2020-03-23 12:08	10M
telemetry.lbl	2020-03-23 12:08	8.3K

Il·lustració 53: Les dades desitjades es troben en l'arxiu *telemetry.csv*.

Si carreguem l'arxiu *telemetry.csv*^a amb un lector de fulls de càlcul, podrem veure les dades que conté. En síntesi, les dades que ens interessin són:

- *Northing* i *easting*: Coordenades planimètriques X i Y en metres en la projecció equiàrea definida en apartats anteriors.
- *Planetocentric latitude*, *planetodetic latitude* i *longitude*: Coordenades geodèsiques referides a l'el·lipsoide Mars 2000 IAU IAG, esmentat adés. La latitud planetocèntrica o geocèntrica (θ) fa referència a l'angle que formen el pla de l'equador amb el punt i el centre de l'el·lipsoide, en canvi, la latitud planetodètica o geodèsica (ϕ) és l'angle que forma el pla de l'equador i la recta vertical pròpia del punt. Comparem ambdues latituds amb una imatge (65):
- *Elevation*: Altura el·lipsoidal en metres.
- *Sol*: Fa referència als sols que porta en la superfície de Mart d'ençà *Figura 17: Latitud geodèsica i geocèntrica.*



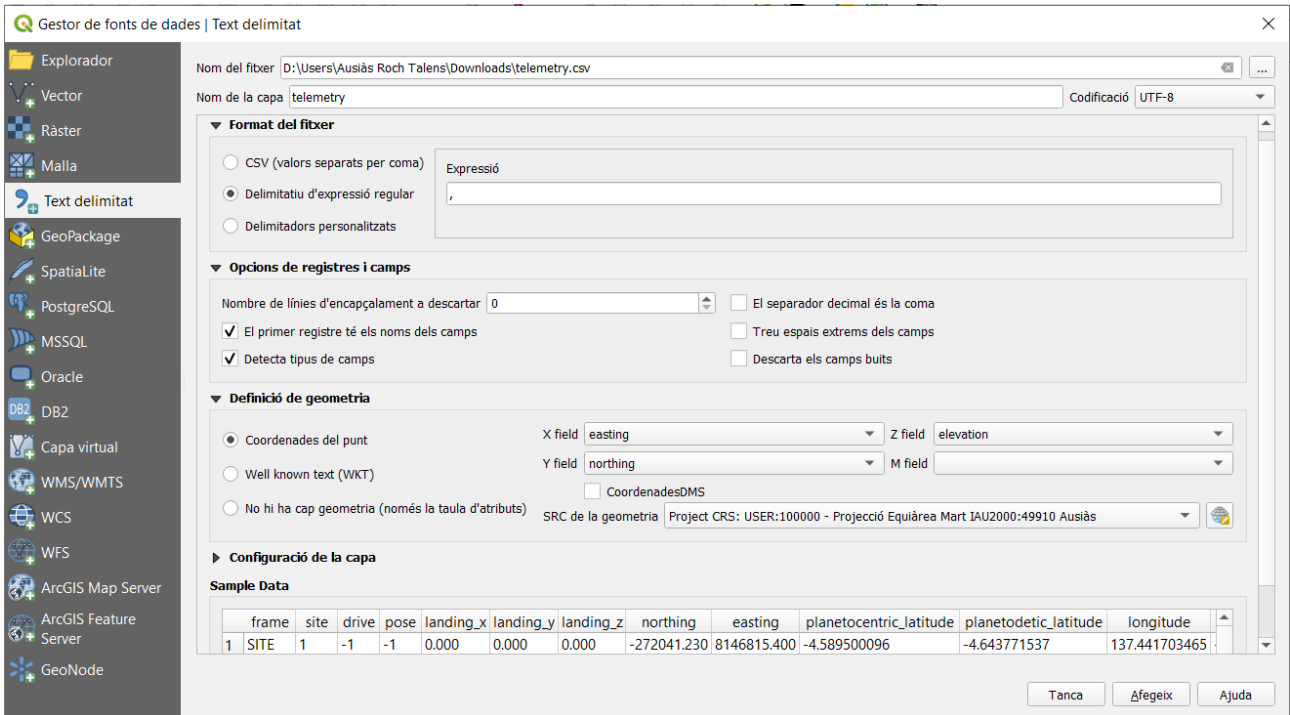
telemetry.csv (només de lectura) - LibreOffice Calc

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	landing_x	landing_y	landing_z	northing	easting	planetocentric_latitude	planetodetic_latitude	longitude	elevation	map_pixel_line	map_pixel_sample
2	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
3	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
4	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
5	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
6	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
7	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
8	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
9	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
10	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
11	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
12	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
13	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
14	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
15	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
16	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
17	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
18	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
19	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
20	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
21	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60
22	0	0	0	-272041230	8146815400	-4.589500096	-4.643771537	137.441703465	-4500700	2108.92	23109.60

Il·lustració 54: Full de càlcul amb la graella de les dades.

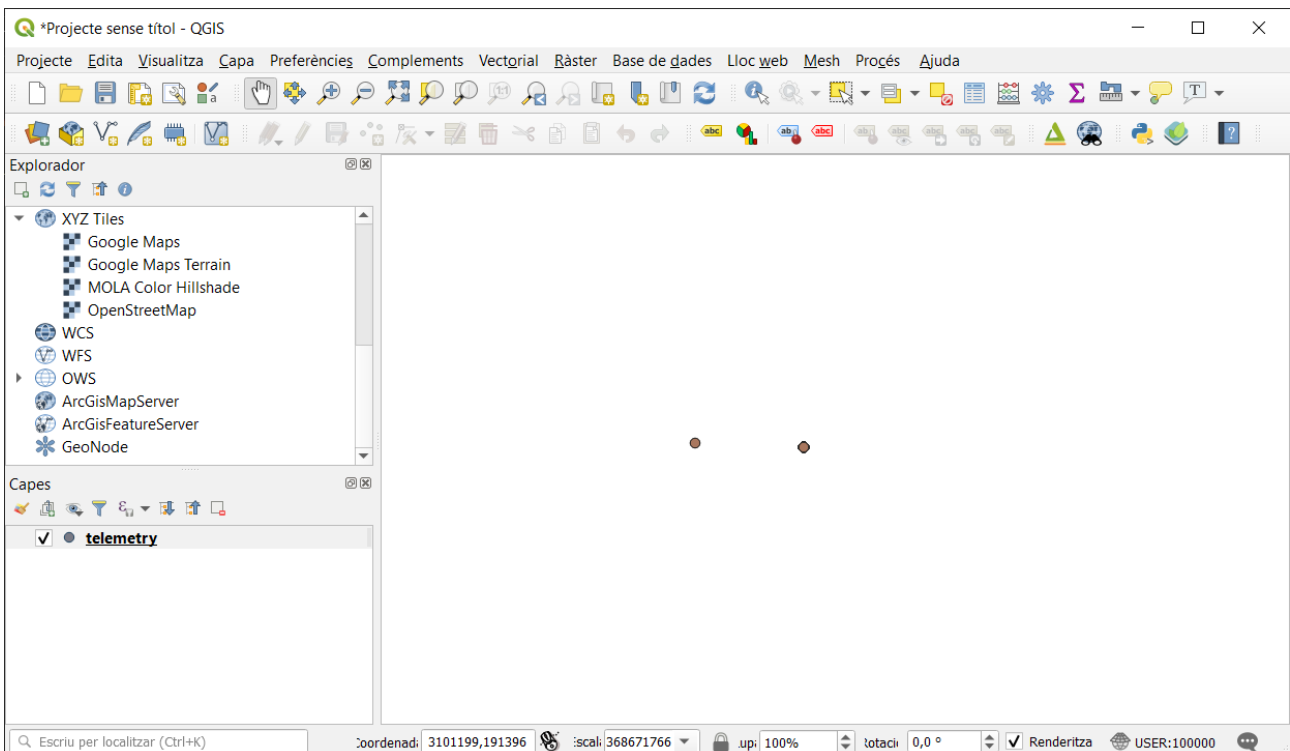
A continuació, obrirem un nou projecte de QGIS i definirem la projecció de Mart com a sistema de referència de coordenades. Tot seguit carregarem l'arxiu *telemetry.csv*, associarem les coordenades planimètriques *easting* a l'eix X, *northing* a l'eix Y i *elevation* l'eix Z. Segons l'arxiu *DSMAP.CAT* (66), que es troba en el mateix servidor, la projecció és la IAU2000:49910. Recordem revisar els nombres decimals abans i després de la càrrega:

- a Hem de destacar que les dades d'este arxiu estan en el format de punt per als decimals, açò entra en conflicte amb l'ús de la coma per als decimals, estàndard en llengua castellana i valenciana. Tot i que el lector de fulls de càlcul és capaç d'identificar el decimal no sempre ho fa correctament. Les dades sempre s'han de revisar per evitar errors innecessaris provocats per la notació dels decimals.



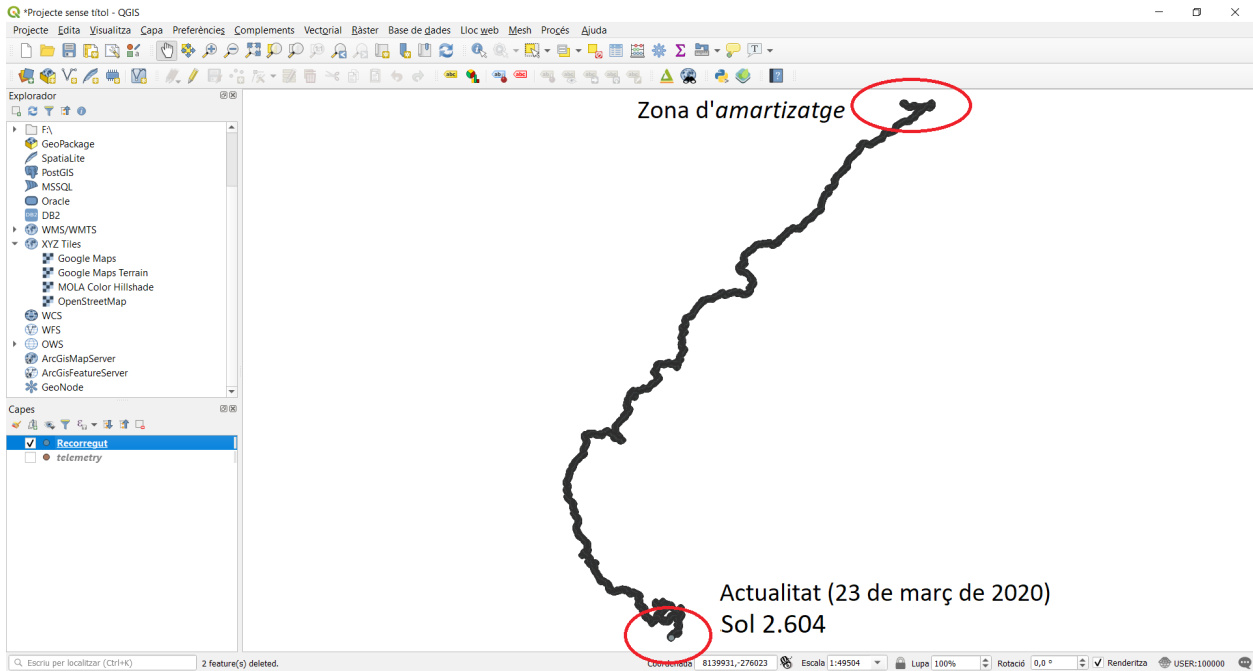
Il·lustració 55: Procés de càrrega dels punts.

Una vegada carregats els punts en memòria vorem que hi ha dos grups de punts. El grup de l'esquerra conté dades nul·les i els eliminarem manualment, el grup de la dreta conté el recorregut pròpiament dit.



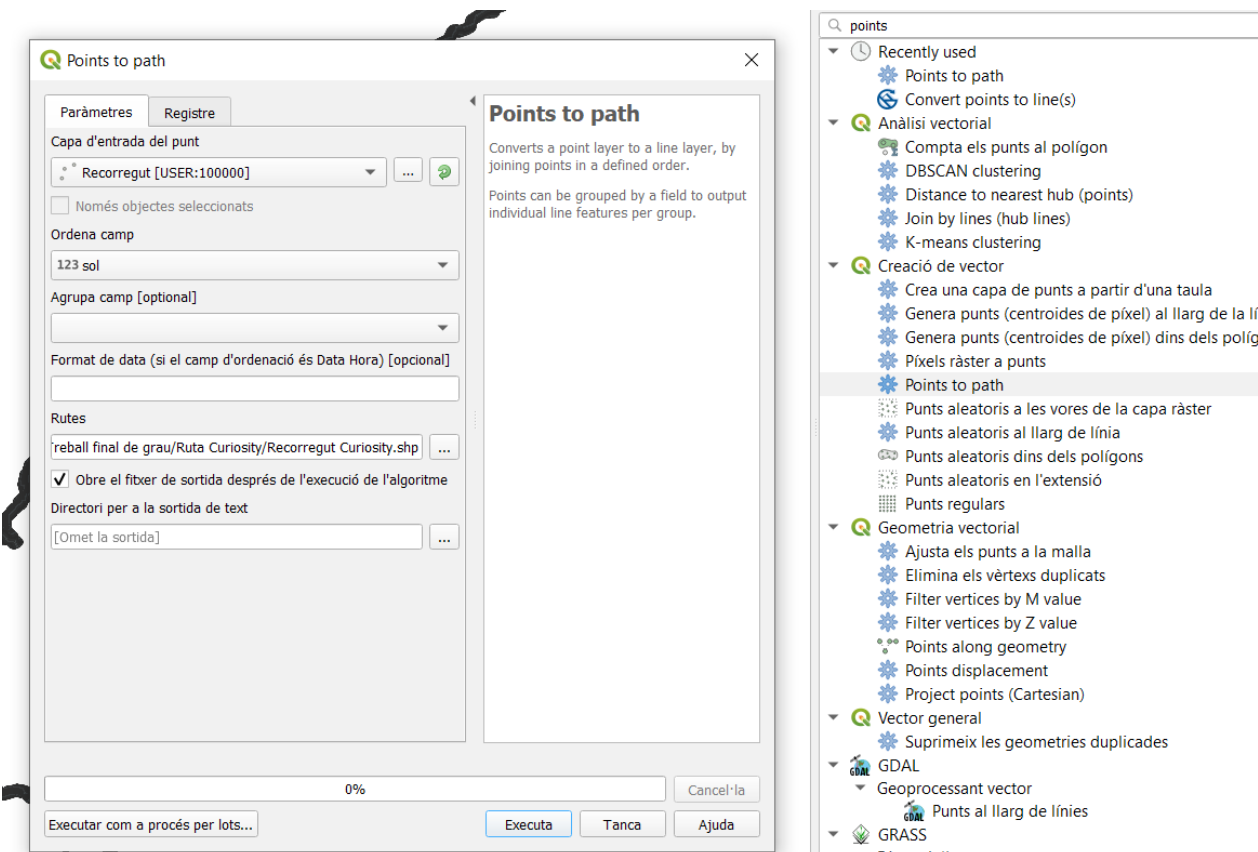
Il·lustració 56: S'han d'esborrar les dades nul·les.

Per esborrar estes dades exportarem primer els punts a format *shapefile* d'ESRI i després, amb l'editor seleccionarem els punts amb coordenades nul·les. Una vegada esborrats els punts erronis obtenim un resultat com el de més avall. Si donem una ullada a la taula d'atributs vorem que les dades comprenen des de l'amartizatge del ròver fins al sol 2.604, és a dir, més de set anys terrestres o quasi quatre anys marcians.



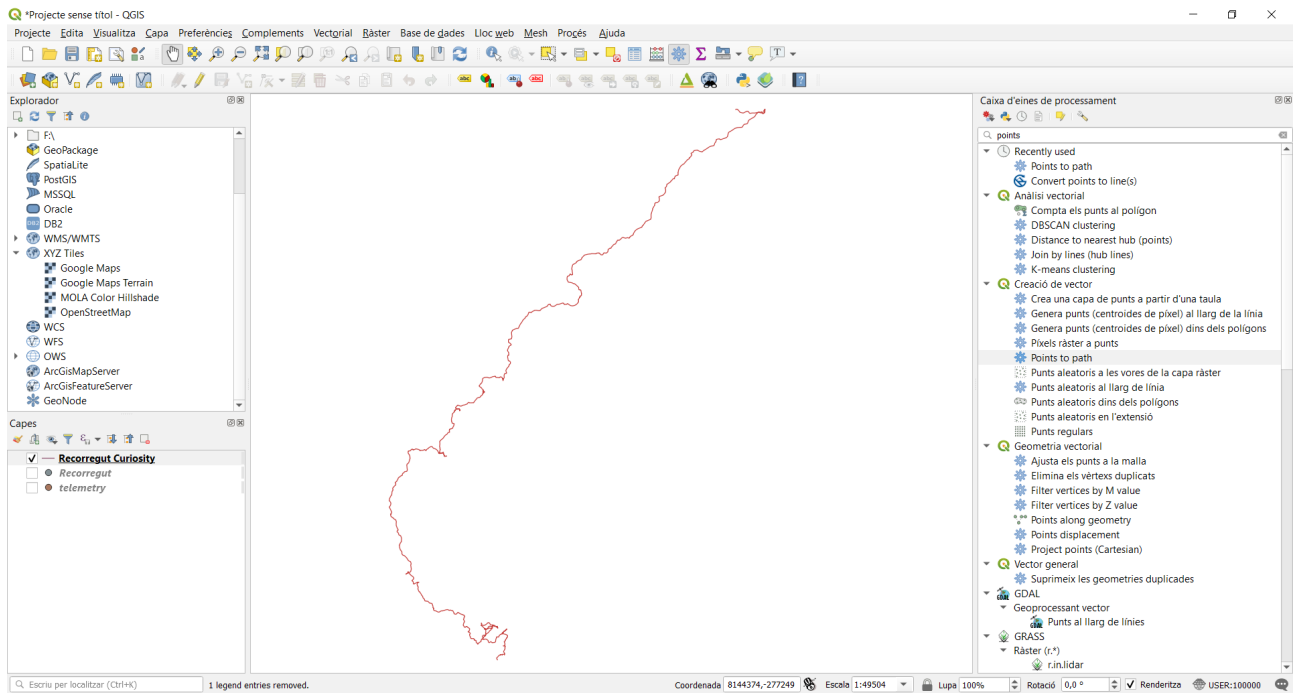
Il·lustració 57: Punts en el recorregut del Curiosity entre el sol 0 i el 2604.

Per acabar amb la generació del recorregut utilitzarem la ferramenta *Points to path*:



Il·lustració 58: Generació del recorregut lineal.

Obtenint el resultat en coordenades cartesianes, projecció IAU2000:49910 Mars Equidistant Cylindrical:

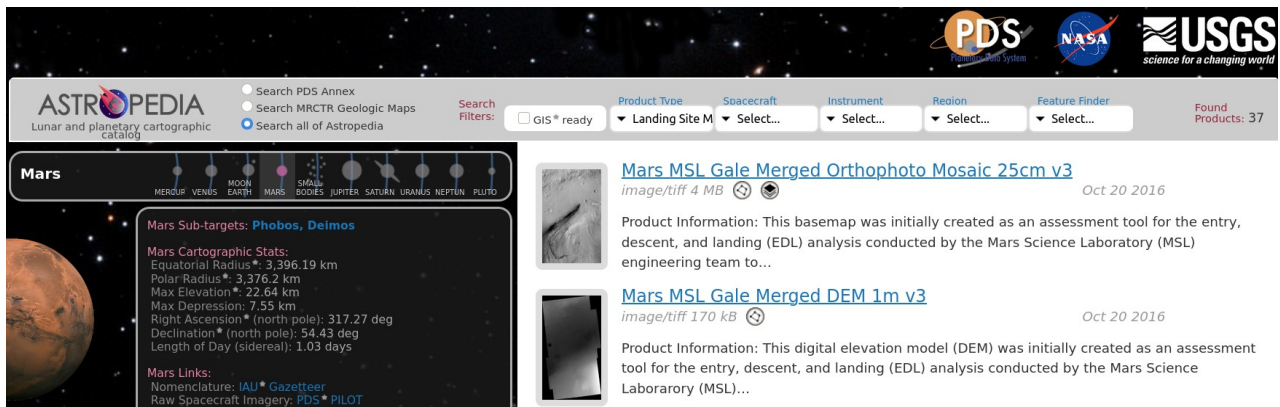


Il·lustració 59: Recorregut del Curiosity més actual fins el moment.

7.3.4. Dades específiques: Mosaics preelaborats

Una altra opció factible per a les imatges del HiRISE és utilitzar mosaics preelaborats per professionals. No hi ha una única font de mosaics disponible, podem descarregar-los de l'ASTROPEDIA i el MAP2 o d'altres entitats reputades com el California Institute of Technology (Caltech).

Per exemple des d'ASTROPEDIA podem seleccionar els productes de Mart del tipus *landing site* per trobar cartografia com la desitjada.



Il·lustració 60: Mosaics ja preparats del Gale crater a ASTROPEDIA.

Una altra opció es recórrer al PDS del Curiosity, del mateix lloc d'on hem descarregat les coordenades del recorregut:



PDS Imaging Node: Data Archive

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
msl_orbital_dem.img	2020-03-23 12:08	246M	
msl_orbital_dem.lbl	2020-03-23 12:08	4.2K	
msl_orbital_map.img	2020-03-23 12:08	1.0G	
msl_orbital_map.lbl	2020-03-23 12:08	4.2K	

Il·lustració 61: Mosaic pregenerat per al MSL Curiosity.

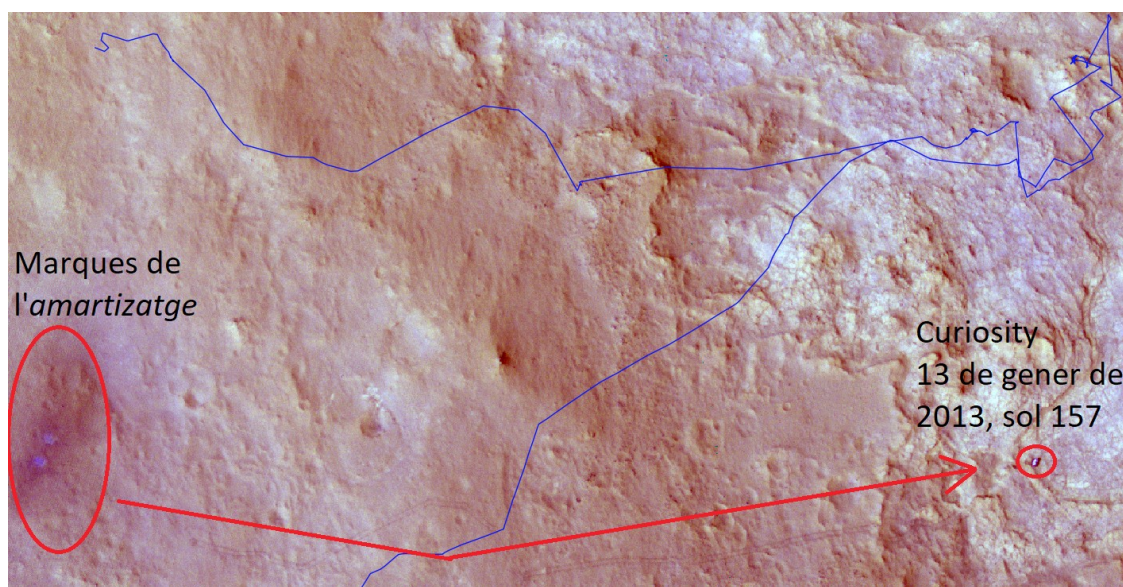
Descarregarem este mosaic al qual a partir d'ara ens referirem a ell com el *msl_orbital_map*.

Cal destacar que, segons les metadades, els autors dels mosaics han georeferenciat els seus productes de manera manual (67).

7.4. Sobre la georeferenciació de les imatges

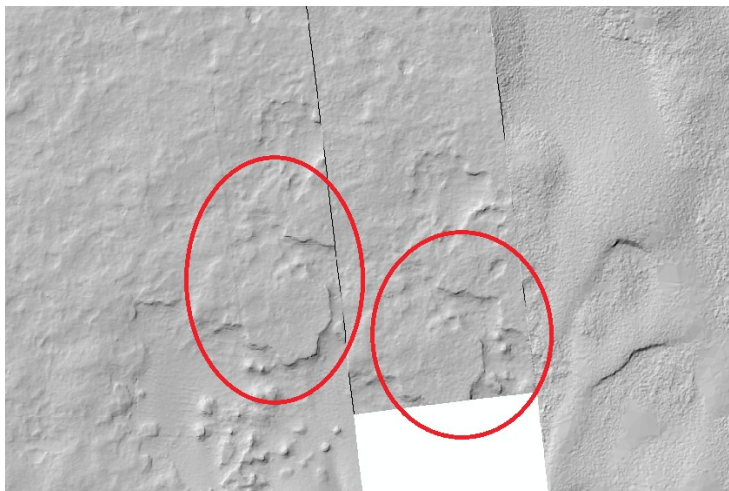
Treballant amb diverses imatges de la HiRISE hem detectat discrepàncies amb la georeferenciació de les imatges. Estes discrepàncies es troben en les imatges d'alta resolució de la HiRISE i també en els models digitals del terreny.

Per posar uns exemples. En la imatge inferior (fals color) es mostra la ruta del Curiosity on s'aprecia que les marques de l'amartizatge no corresponen amb l'inici de la ruta. A més a més, podem veure que les tènues petjades de les rodes dibuixades pel robot coincidixen aproximadament en forma però no en posicionament.



Il·lustració 62: Discrepàncies amb la georeferenciació de les dades.

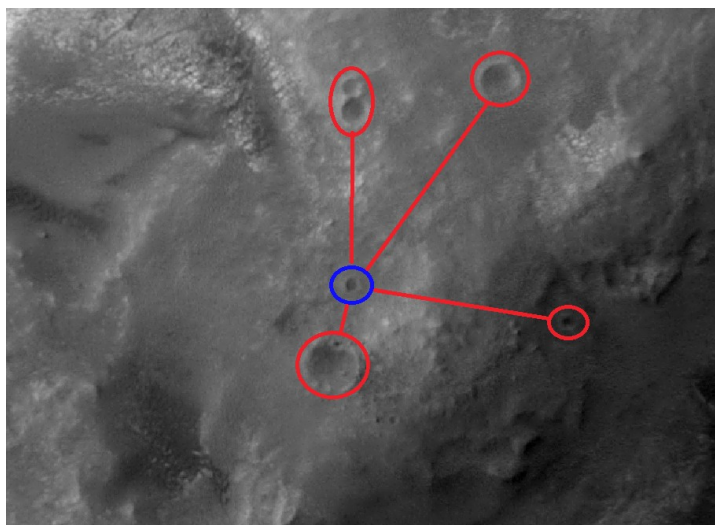
Un altre exemple d'estes discrepàncies es troba en els MDT. Donem una ullada a este ombrejat (*hillshade*) del mosaic de l'MDT de la zona on es troba el Curiosity, on es repetixen alguns fenòmens:



Il·lustració 63: Una altra discrepància en els MDT.

Per esbrinar la causa d'esta desconcertant georeferenciació, hem intentat detectar un patró. Hem situat el mateix punt en diverses imatges i hem comparat les seues coordenades. El punt escollit és el centre d'un xicotet cràter de 3 metres de diàmetre que es troba sobre la Vera Rubin Ridge (vore mapa adjunt per una millor situació).

En la imatge inferior es troba este cràter (en blau).



Il·lustració 64: Cràter triat per comparar la georeferenciació entre les imatges.

Si comparem les seues coordenades en diverses imatges, trobarem les següents discrepàncies:

Taula 11: Discrepàncies entre coordenades.

Imatge	Coordenades		Diferència amb la msl_orbital_map		
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	total (m)
msl_orbital_map	8145371,78	-278807,26	0,00	0,00	0,00
esp_018920_1755_red	8145516,34	-278882,88	-144,56	75,62	163,14
esp_032436_1755_red	8145351,47	-278927,25	20,31	119,99	121,70
esp_033649_1750_red	8145328,30	-278930,31	43,48	123,05	130,51
esp_039280_1755_red	8145337,71	-278992,22	34,07	184,96	188,07
		Desviació típica	89,10	44,94	30,55

Com es pot veure, no s'aprecia cap patró o error sistemàtic en les discrepàncies entre imatges. El que sí es té clar és que els desplaçaments es troben al voltant de 150m entre imatges, respecte el mosaic de la MSL. Es descarta qualsevol problema amb l'elipsoide.

Segons la literatura, esta pobra georeferenciació de les imatges (68) es deu a possibles incerteses en el coneixement de l'òrbita (69) de la MRO. La literatura també comenta desplaçaments de desenes, centenes, i fins i tot milers de metres. Estos errors es fan patents, com hem vist, amb les imatges del HiRISE, però també amb les imatges de la CTX o CRISM.

7.4.1. Solució adoptada

Per resoldre este problema primerament se'ns planteja una pregunta: ¿disposem d'alguna coordenada vertadera o punts de control on puguem donar suport a la cartografia?

Amb els coneixements actuals per part dels autors es descarta qualsevol classe de punt de control. En canvi, si creiem que hi ha punts *més certs* o més exactes que altres. Per al cas del Curiosity considerarem les coordenades de la seua ruta com més exactes que les de les imatges. És per tant, un intent vàlid georeferenciar les imatges a partir de la ruta seguida del Curiosity.

Hem intentat corregir la georeferenciació de manera manual però resulta molt àrid amb el programari utilitzat (ArcMap i QGIS), ja que no permet la correcció de la georeferenciació, només la georeferenciació d'imatges no georeferenciades.

Havent esgotat quasi totes les possibilitats. La solució adoptada serà utilitzar les imatges sense cap correcció de les coordenades. Tot i que esta solució no és la més agradable, considerem que és la més justa per a un treball d'estes característiques, doncs corregir la georeferenciació dels instruments de la MRO és motiu suficient per elaborar un altre document com este.

Per a casos particulars com el del Gale crater, donarem preferència als mosaics realitzats per experts en cas que existisquen.

7.5. Preprocessament de les imatges TRR del CRISM

En este apartat és on desenvoluparem els aspectes previs a la classificació. Suposarem que l'usuari ha iniciat *ENVI Classic + IDL* amb CAT instal·lat. Les instruccions d'instal·lació de CAT per a Windows i MacOS estan referenciades en la bibliografia (70). Iniciem ENVI + IDL perquè CAT funciona amb llenguatge IDL.

En quant el processament, hem sintetitzat els conceptes del processament de les imatges CRISM amb el següent esquema:

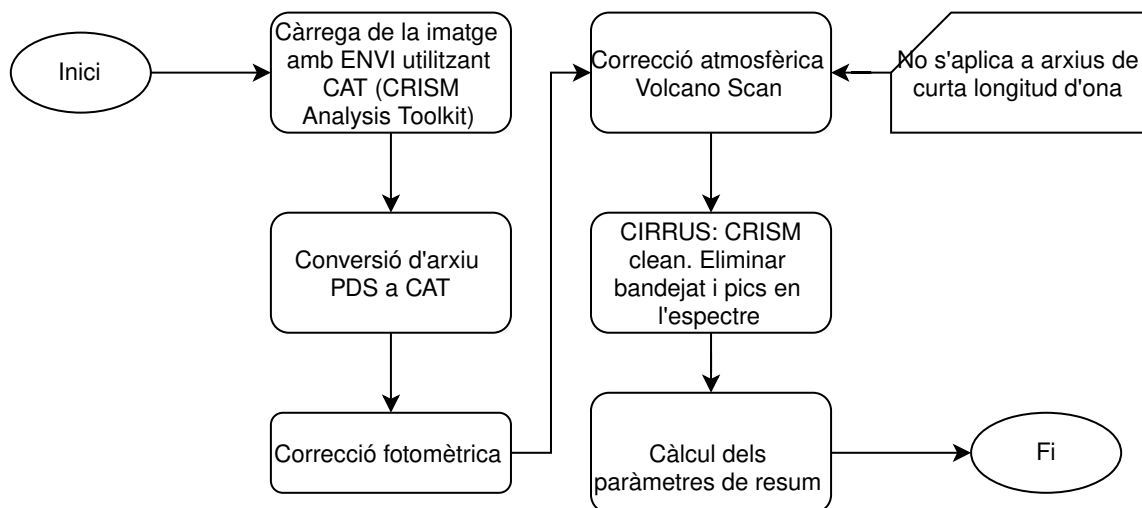


Figura 18: Flux de processament de les imatges CRISM.

7.5.1. Característiques de dades

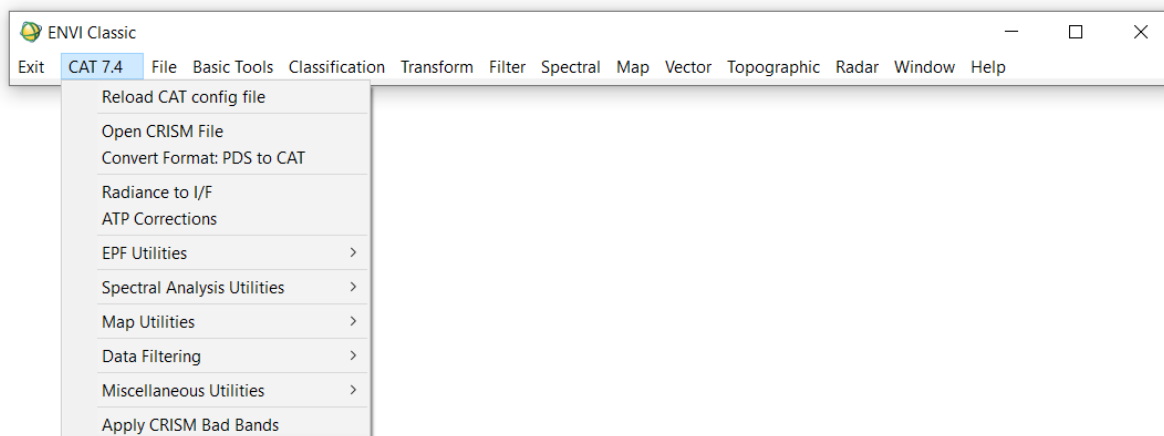
Deu quedar clar que es imatges del CRISM estan en I/F (71). Este rati ve definit de la següent manera:

$$I/F(\text{adimensional}) = \frac{\text{Radiància espectral}(W/m^2sr)}{\text{Irradiància solar a Mart}(W/m^2)/\pi}$$

- La radiància espectral és el flux de radiació observat pel CRISM.
- La irradiància solar es calcula com la potència percebuda per una superfície normal a una distància d'una unitat astronòmica del Sol.

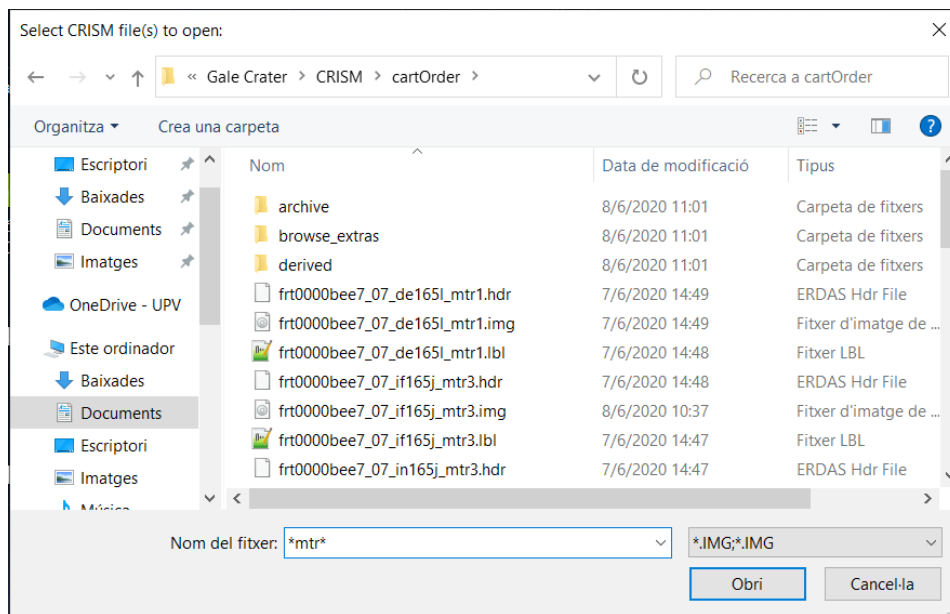
7.5.2. Càrrega de les imatges

Una vegada iniciat l'ENVI despleguem la pestanya de CAT:



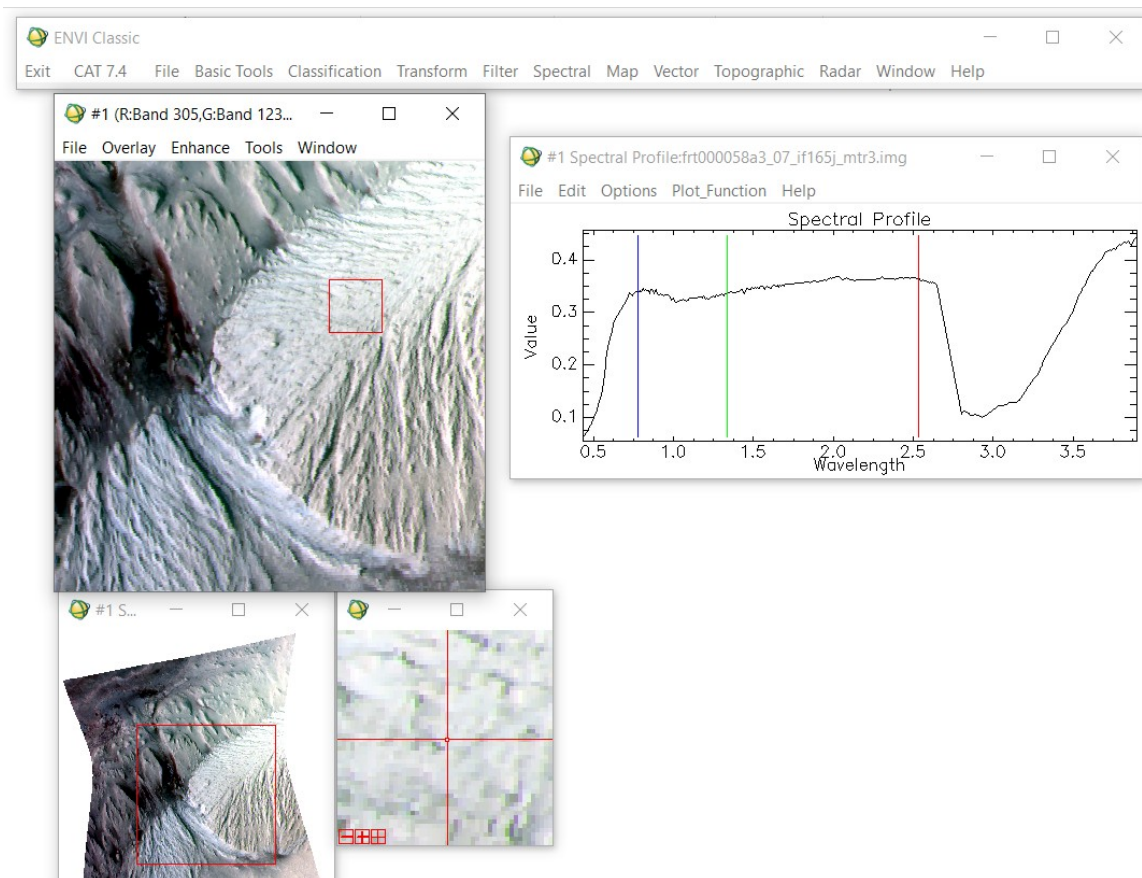
Il·lustració 65: Menú principal del CAT.

Utilitzarem l'opció *Open CRISM file* i per exemple carregarem una imatge ja processada, és a dir, ja projectada i corregida. Per seleccionar una imatge d'estes característiques acudim a la carpeta d'on hem descarregat les dades de l'ODE i podem filtrar les imatges escrivint en la caixa de text: **mtr**, que fa referència a les imatges projectades i corregides:



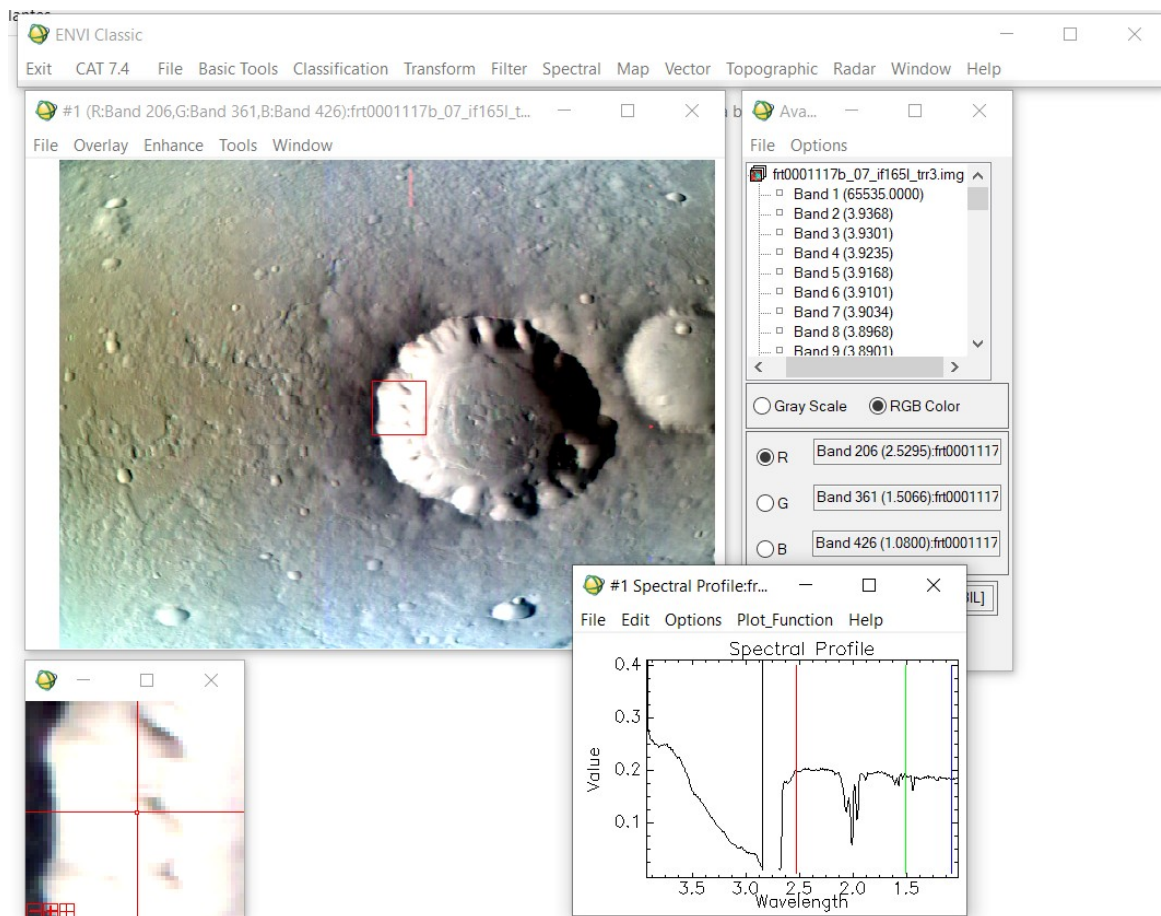
Il·lustració 66: Escrivint **mtr** filtrem les imatges projectades.

Carreguem la imatge i també mostrem l'espectre d'un píxel qualsevol amb Botó dret→Z *profile* (*spectrum*)...:



Il·lustració 67: Imatge d'exemple ja projectada i corregida.

En canvi, si carreguem una imatge de baix nivell, sense corregir ni projectar ho farem amb el comando **trr**. Després seleccionem una imatge com la següent, on s'aprecien clares deformacions perquè la imatge no està projectada.



Il·lustració 68: Una imatge del CRISM sense projectar.

Cal destacar que estes imatges tenen algunes bandes defectuoses (vore salt en els ~2,7µm a l'espectre).

7.5.3. Conversió de PDS a CAT

Este pas és necessari per fer que les dades descarregades del PDS siguin processables per la ferramenta CAT. Per realitzar esta conversió, des d'ENVI seleccionem CAT→Convert Format: PDS to CAT i guardem l'arxiu transformat. Visualment la imatge serà igual, en canvi les bandes, o l'espectre s'haurà invertit:

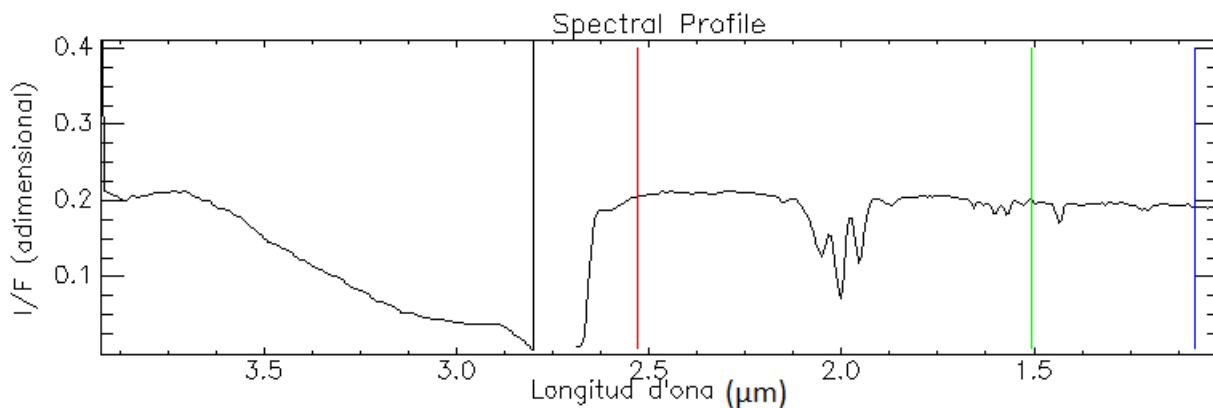


Figura 19: Espectre d'un píxel qualsevol en el format del PDS.

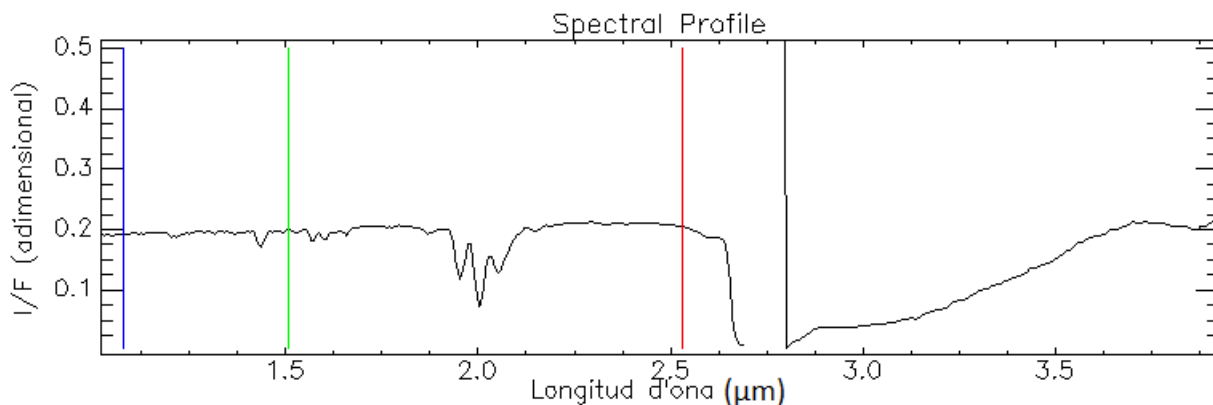


Figura 20: Espectre del mateix píxel però amb el format de CAT.

Si recorrem amb el cursor diferents parts de la imatge vorem que espectralment és molt similar. Per tant, és clau detectar les mínimes variacions espectrals i destacar-les per poder realitzar una correcta classificació. En els pròxims apartats vorem com solucionem este problema. També estudiarem el salt que hi ha entorn dels 2,7µm.

7.5.4. Correcció fotomètrica

La correcció fotomètrica servix per corregir la radiància espectral per a angles d'incidència no normals. Amb esta correcció podem obtindre la component normal del raig incident. Es calcula com:

$$Píxel\ corregit = \frac{Radiància}{\cos i}$$

L'angle d'incidència per a cada píxel s'obté de l'arxiu DDR que haurem descarregat junt amb la imatge que corregirem.

Farem les correccions fotomètriques en l'apartat següent.

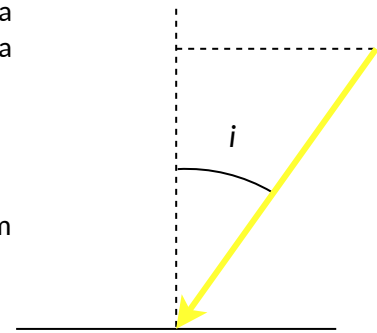


Figura 21: Angle d'incidència.

7.5.5. Correcció atmosfèrica: Només IR

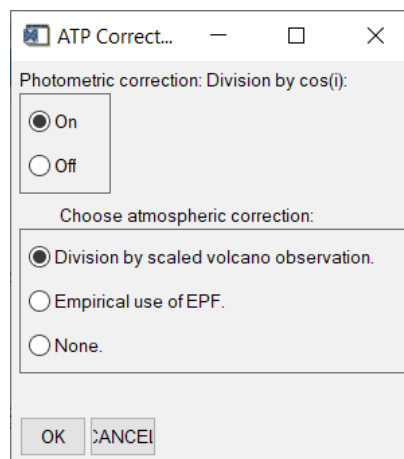
Com hem vist a l'inici d'este document, la major part de l'atmosfera de Mart és diòxid de carboni. Per tant, són els efectes del CO₂ els que haurem de corregir. Estos efectes són molt notables al voltant dels 2µm, on es reduïx notablement la resposta espectral.

Per corregir esta absorció utilitzarem l'algoritme de correcció volcano-scan. Esta correcció es basa en la diferència que es troba entre els espectres; un en la base i un altre en el cim del mont Olimp (vore mapa). El mont Olimp és la muntanya i volcà en escut més alt conegut del Sistema Solar, amb una altura d'uns 21km sobre l'el·lipsoide o punt triple de l'aigua. Esta gran altura provoca que la diferència en la transmissivitat de l'atmosfera entre la base i el cim siga tan gran que pot ser utilitzat per corregir els efectes radiomètrics del CO₂ i altres gasos.

Podem expressar este espectre matemàticament com:

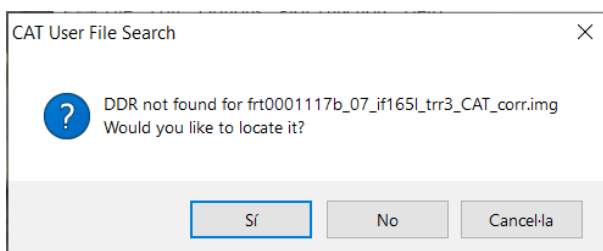
$$Espectre\ de\ transmissivitat\ de\ referència(\lambda) = \frac{Espectre\ del\ cim(\lambda)}{Espectre\ de\ la\ base(\lambda)}$$

Tenint este espectre de referència podem corregir les nostres imatges dels efectes dels gasos atmosfèrics. Des d'ENVI en dirigim a CAT→ATP Corrections i seleccionem:



Il·lustració 69: Correcció fotomètrica i volcano-scan.

Per realitzar estes correccions és necessari utilitzar dades altimètriques (MDT) auxiliar que trobarem en l'arxiu DDR:



Il·lustració 70: L'arxiu DDR és necessari per corregir les imatges.

Notarem que després de les correccions l'espectre ja no té les línies d'absorció en els 2µm:

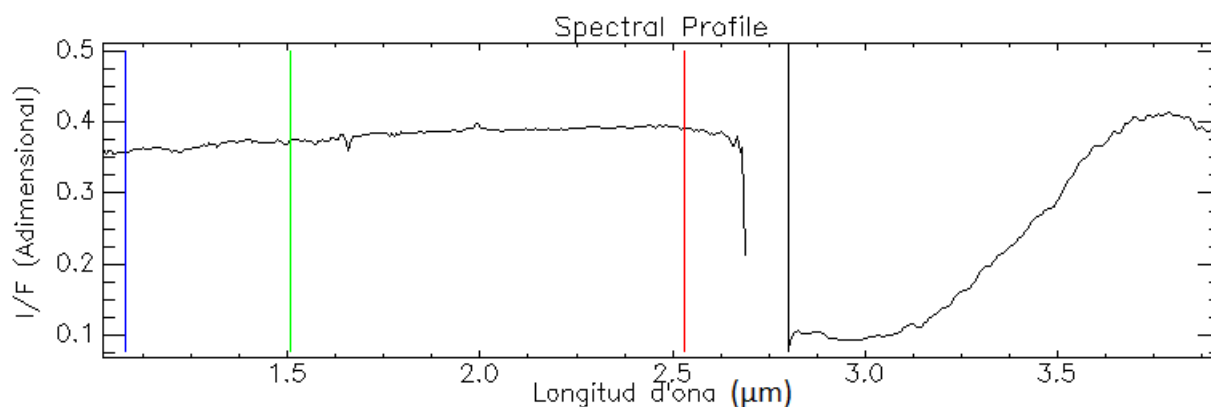
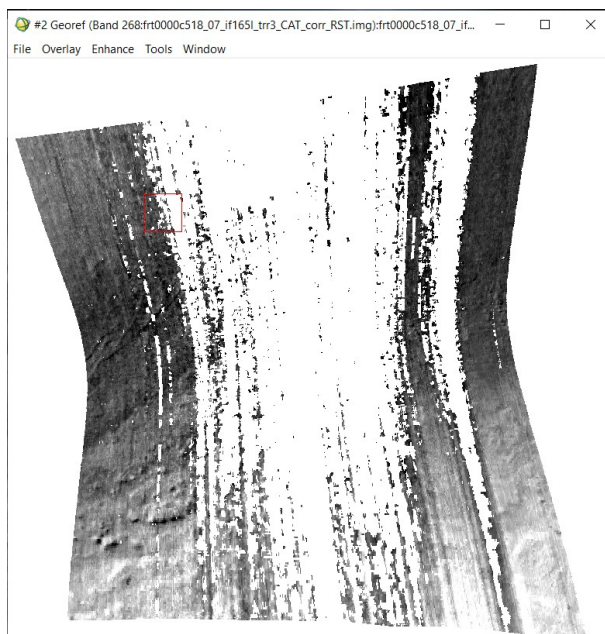


Figura 22: Espectre després de corregir.

7.5.6. Correcció del bandeig

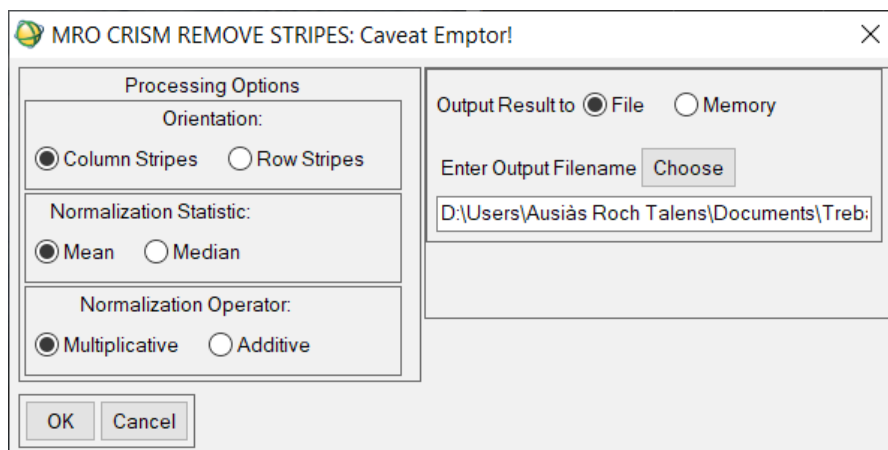
Com comprovarem de seguida, CRISM captura les seues imatges amb un bandeig vertical en totes les seues imatges a causa d'un problema en l'instrument. Este bandeig no és igualment notable en totes les bandes. Part d'este bandeig es pot corregir però en algunes bandes el sensor no funciona i capta bandes com esta, totalment inutilitzable:



Il·lustració 71: Per exemple, la banda 268 està inutilitzada.

Bandes com l'anterior no es poden corregir perquè no es disposa d'informació de la zona inutilitzada. Entre 50 i 70 bandes del CRISM patixen este problema, al voltant dels $2,7\mu\text{m}$. Tot i això, depenent de la imatge, el nombre de bandes inutilitzades pot ser major o menor.

Per a corregir el bandeig vertical de bandes menys afectades utilitzarem la ferramenta CAT→MRO CRISM Remove Stripes. On se'ns mostrarà una finestra com la següent.

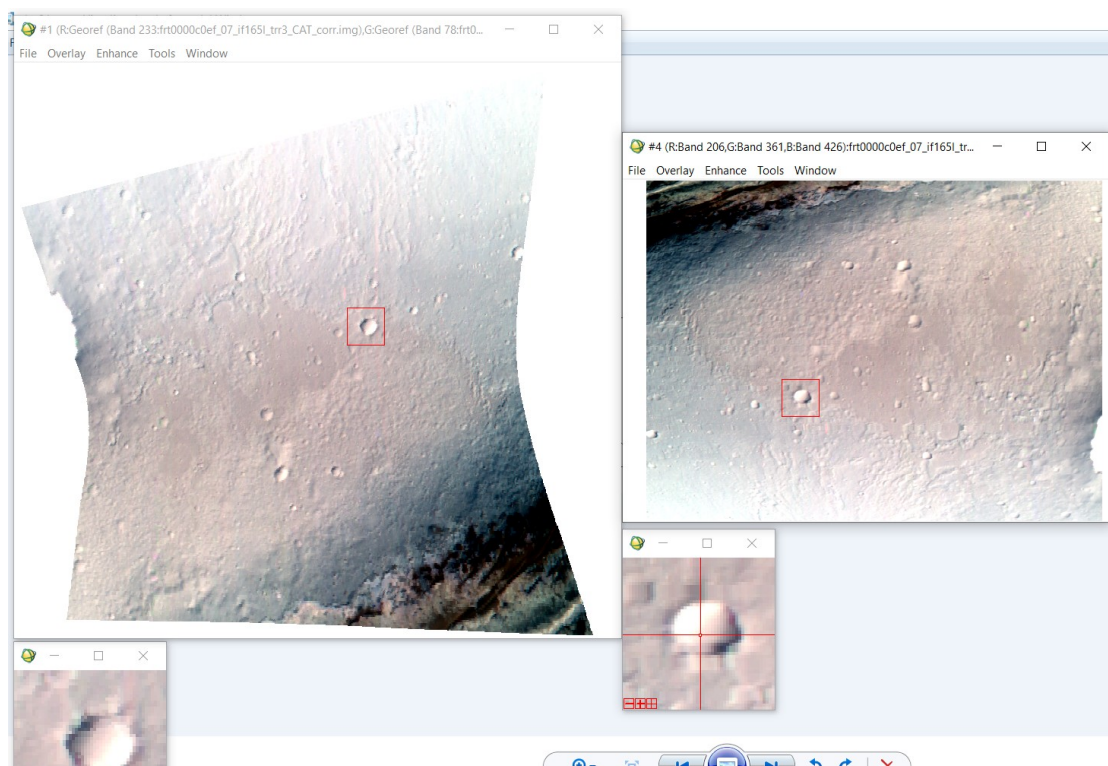


Il·lustració 72: Correcció del bandeig.

Tot i que la literatura recomana fer este pas s'ha de dir que les diferències no són excessives després d'esta correcció.

7.5.7. Projectió de les imatges

Una vegada corregit el bandeig projectarem les imatges en la projecció cilíndrica equidistant. Per fer-ho anirem a CAT→Project Single Cube Data. Per projectar la imatge també necessitem l'arxiu DDR, amb el qual podrem obtindre:



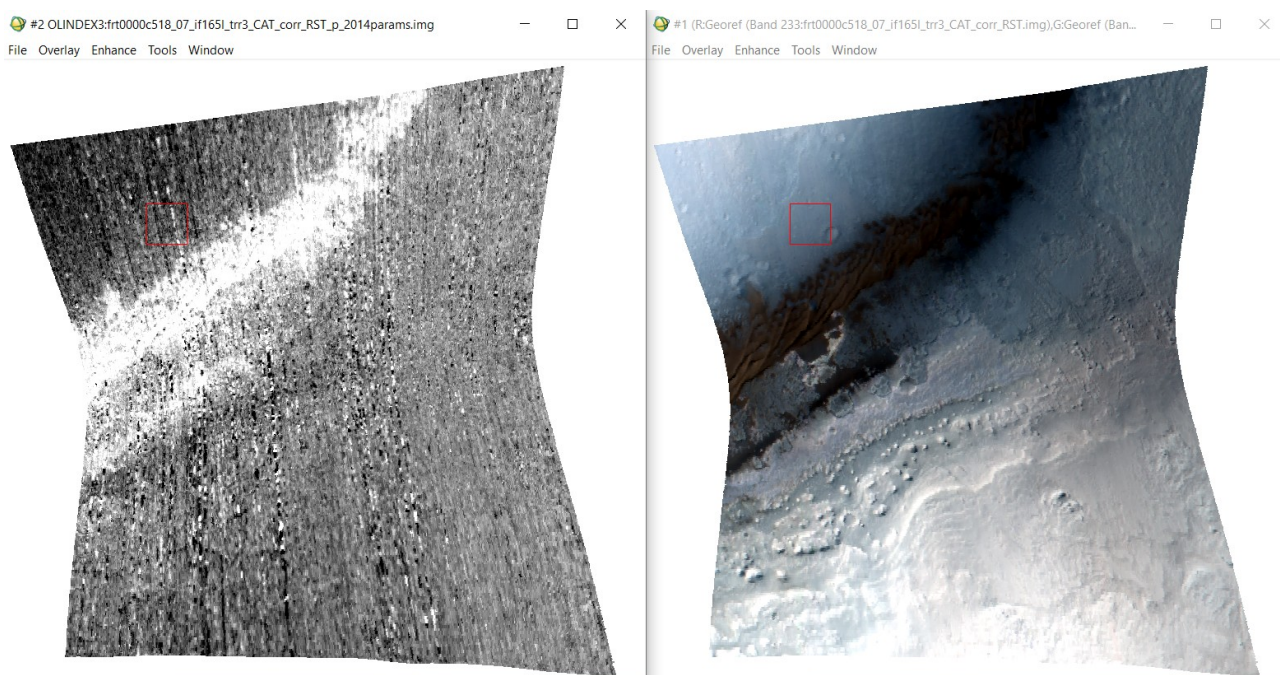
Il·lustració 73: Imatge a fals color projectada i la seua anàloga sense projectar. S'ha seleccionat el mateix cràter en les dues imatges per tindre una mateixa referència.

7.5.8. Generació del producte resum

Per últim, CAT ofereix una eina prou útil que s'anomena *summary file* (72) que resumeix els aspectes mineralògics més importants de la imatge. Este producte és una recopilació d'índexs empírics i han estat calculats específicament per al CRISM. Alguns d'estos índexs són OLINDEX (destaca l'olivina), BD1900 (destaca compostos que tinguen enllaços moleculars amb H_2O) o el BD2290 (destaca minerals amb Mg , Fe i hidratats).

Per generar este producte anem a CAT → *Spectral Analysis Utilities* → *Spectral Summary Products*.

Per exemple si carreguem l'OLINDEX vorem que les zones més clares contenen un major contingut d'olivina:



Il·lustració 74: OLINDEX de la imatge.

Cal dir, que per al cas dels arxius MTR ja comptem amb el *summary file* preparat, sempre que seleccionem descarregar-lo.

7.6. Processament

En este apartat desenvoluparem la classificació pròpiament dita. Per fer esta classificació mineralògica provarem dos mètodes: El mapa d'angles espectrals i l'ús d'índexs espectrals:

7.6.1. Mapeig d'angle espectral SAM

L'Spectral Angle Mapper (SAM) (73) o mapeig d'angle espectral és un mètode de classificació supervisada que estima la semblança entre dos espectres mitjançant un valor anomenat angle espectral α . Este mètode destaca per la seua senzillesa conceptual i computacional.

L'angle espectral es pot calcular a partir de la definició del producte escalar entre dos vectors:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \alpha$$

D'on l'angle entre els dos vectors és:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} \right)$$

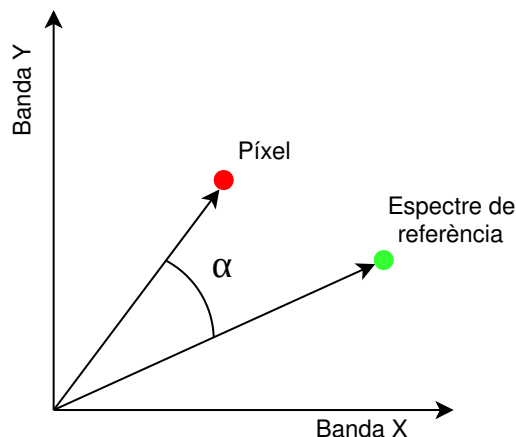


Figura 23: Funcionament del SAM.

Generalitzant per a un espai n-dimensional l'angle entre dos vectors és:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2}} \right)$$

Serà l'angle α el resultat de la comparació entre els dos espectres i és el valor que tindrà el píxel resultat. És lògic pensar que quan menor siga el valor d' α , major serà la semblança entre els espectres.

Per classificar les nostres imatges amb este algorisme haurem d'utilitzar una llibreria d'espectres. Podem utilitzar la *USGS High Resolution Spectral Library* (74) o bé utilitzar la llibreria proposada per l'equip del CRISM específicament per a este instrument (75), molt similar a la de l'USGS. En este cas optarem per la segona, fàcilment descarregable per la pàgina referenciada a la bibliografia i ja preparada per utilitzar amb ENVI:

Spectral Library Files for Use with ENVI

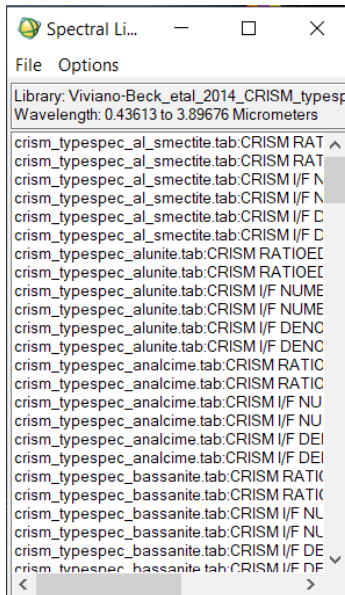
The **CRISM Analysis Tool (CAT)** software distribution includes the CRISM Spectral Library in the form of ENVI-compatible files.

[crism_speclib_envi.zip](#) (6 MB Zip file)

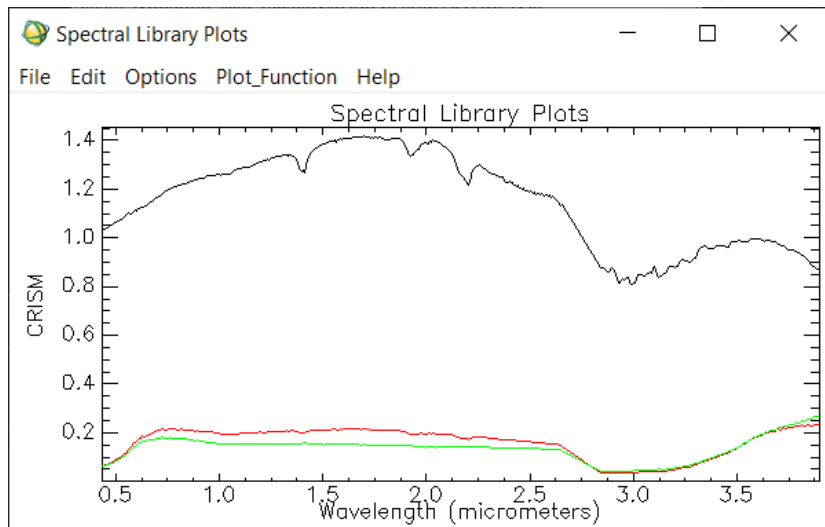
Il·lustració 75: Llibreria espectral d'ENVI.

Si carreguem esta llibreria amb ENVI vorem que inclou dades espectrals de trenta-dos compostos químics: argiles, sulfats i fins i tot gel d'aigua. A causa de la tipologia de les dades de les imatges CRISM hi han sis espectres de cada compost:

- Numerator/Numerator Corrected: Espectres de compostos en I/F en zones «brillants o clares».
- Denominator/Denominator Corrected: Espectres de compostos en I/F en zones «espectralment neutres o fosques».
- Ratioed/Ratioed Corrected: Rati dels dos espectres anteriors.

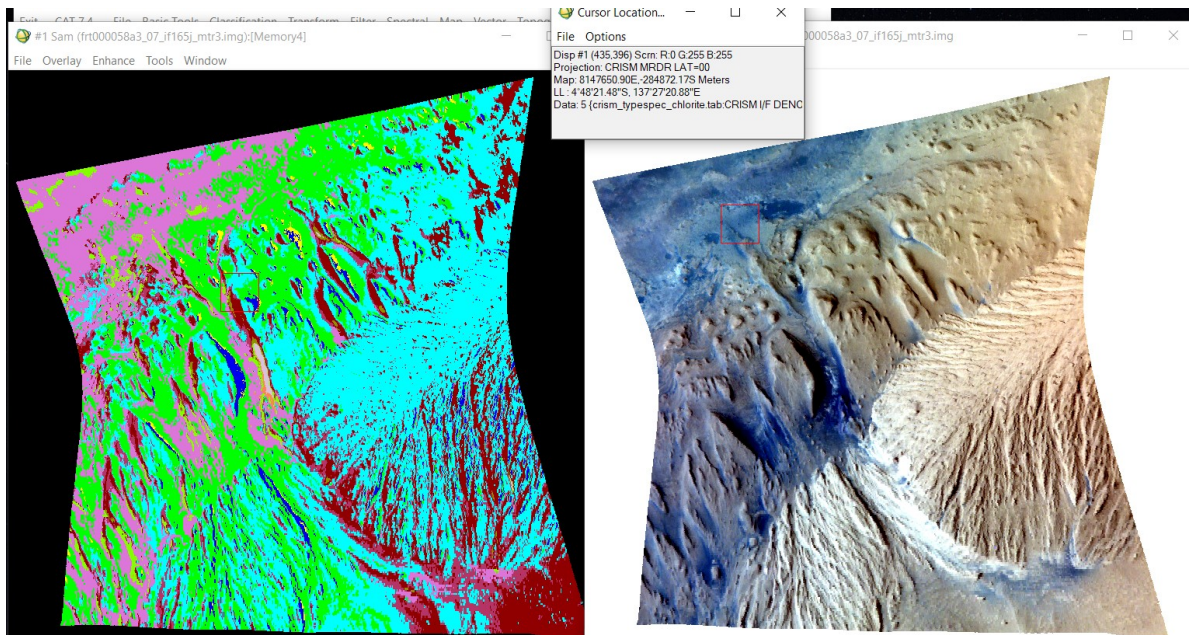


Il·lustració 76: Llibreria espectral.



Il·lustració 77: Espectre de la caolinita. En negre ratioed, en roig numerator i en verd denominator.

Per realitzar la comparació d'estos espectres amb cada píxel de la nostra imatge haurem de seleccionar la classificació amb SAM, des d'*Spectral*→*Mapping Methods*→*Spectral Angle Mapper*. Seleccionarem la imatge i els espectres amb el sufix *Numerator*. Una vegada finalitzat el procés de classificació obtenim:



Il·lustració 78: Imatge de la classificació i la seua ànloga en color vertader.

Vegem un exemple amb la zona on es troba el Curiosity ara mateix (extrem NO de la imatge). Esta imatge és prou representativa de què ens podem trobar al cràter de Gale doncs conté part de les planes d'Aeolis Palus (NO) i part de les regions muntanyoses d'Aeolis Mons (SE), ambdues connectades pel Gadiz Vallis (centre).

Cada color^a en la imatge de la classificació representa un compost:

- Verd: Analcima. $Na(AlSi_2O_6) \cdot H_2O$
- Blau clar: Clorita: $(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg, Fe)_3(OH)_6$
- Roig: Margarita: $CaAl_2[(OH)_2Al_2Si_2O_{10}]$
- Rosa: Sílice hidratada (*hydrated silica*): $SiO_2 \cdot nH_2O$

Estos resultats semblen estar afectats de manera important per l'ombregat que produïxen alguns turons o altres accidents del relleu de la imatge, resultant un poc incoherents.

Conceptualment el mètode de classificació SAM és un bon mètode però en este cas s'hauria de caracteritzar molt més els espectres doncs són molt similars. La gran semblança entre espectres en I/F provoquen que este tipus de classificació siga altament inestable. Si introduïm o eliminem un compost en el càlcul els resultats poden canviar molt.

Analitzarem els resultats amb documents de referència més avant, primer parlarem sobre la problemàtica amb les dades i SAM.

7.6.1.1. Problemàtica amb les dades

Per tractar d'exagerar més els espectres de les imatges s'ha recorregut a informació científica que, de vegades era escassa o restringida. Per este motiu, els autors del document varen recórrer a preguntar en el *PDS Geosciences Node Community* (76), un fòrum d'internet gestionat per l'USGS i la Universitat de Washington per tractar informació rellevant sobre el node. Poc temps després de preguntar (77) com destacar estos espectres vàrem rebre una resposta de Ray Arvidson (78), professor de Ciències de Planetàries i de la Terra en la Universitat de Washington, membre del grup de treball del *Mars Science Laboratory* (Curiosity), de la *Mars Reconnaissance Orbiter* i director del Node de Geociències del PDS de la NASA.

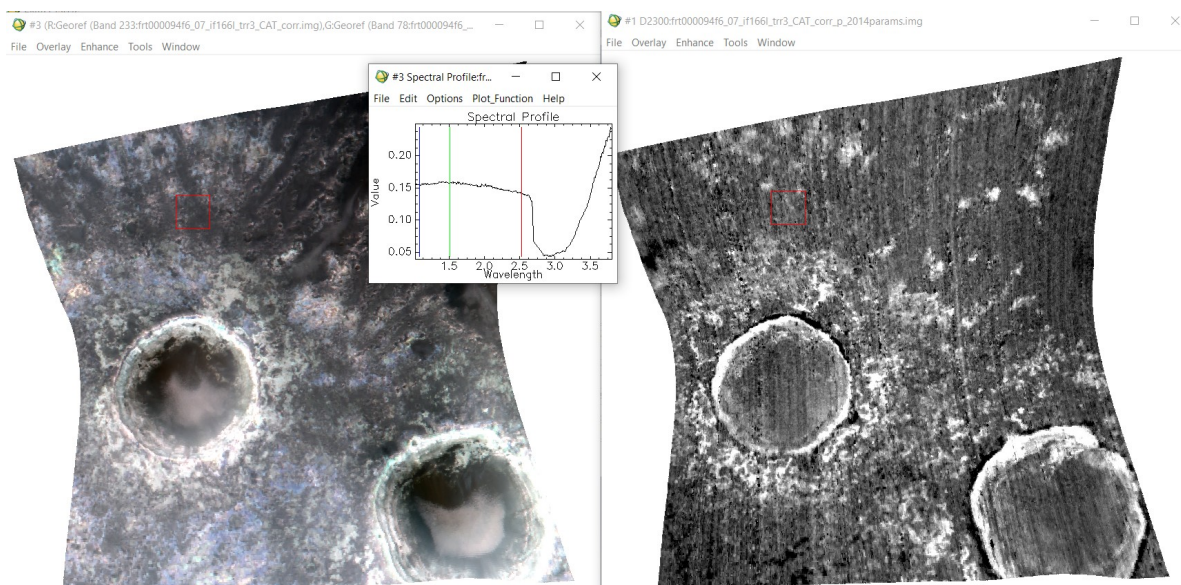
La seua resposta està detallada per ell en el fòrum i va ser molt útil per comprendre millor la problemàtica amb les dades. La qüestió és que la metodologia que ell proposa és que és lenta, manual i només estudia xicotetes regions. De tota manera, sembla prou efectiva. En este apartat esmentarem la metodologia d'Arvidson:

Se'ns recomana utilitzar una zona d'estudi (79) anomenada cràter de Muara, un xicotet cràter de 3,5km de diàmetre, situat a 341°20'E i 24°20'N, al nord-oest d'Arabia Terra.

Partirem de l'arxiu mtr i del *summary file* del cràter de Muara, concretament de l'índex D2300, sensible a minerals amb OH enllaçat amb Fe o Mg.

En la imatge següent podem vore dos cràters; el de Muara a la part superior, i el de Tarrafal a la part inferior. Quant a l'espectre, com podem comprovar, no presenta cap banda d'absorció notable:

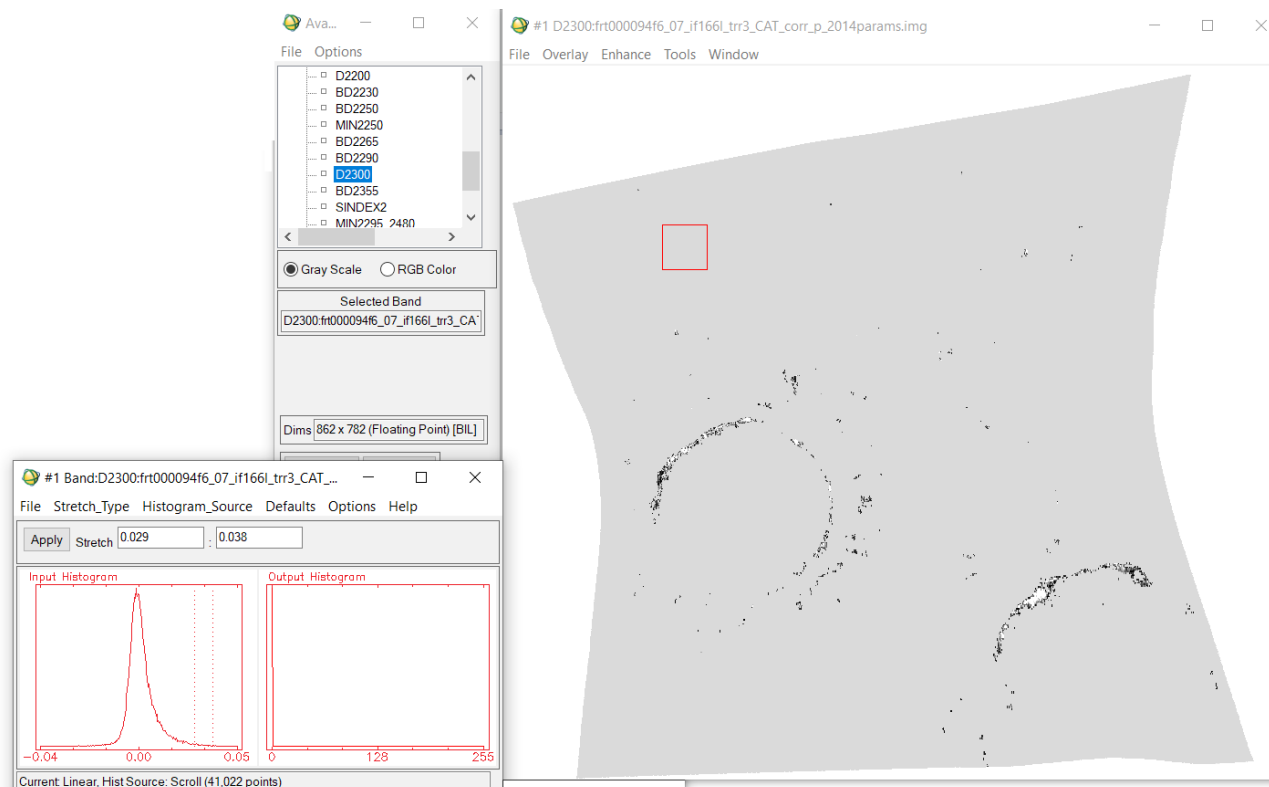
a S'ha intentat exportar la imatge de la classificació a un programa SIG com QGIS per mostrar-ho millor al lector, però el programari necessari no estava a l'abast de l'autor, doncs en el moment de l'elaboració del document (pandèmia per la COVID-19) hi havia massa restriccions de moviment.



Il·lustració 79: Cràters de Muara (superior) i Tarrafal (inferior). A l'esquerra la imatge en color vertader i a la dreta l'índex D2300.

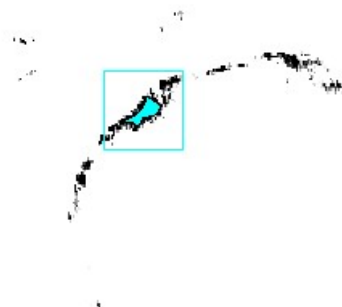
A continuació destacarem els *endmembers* o termes extrems de l'índex D2300. Els termes extrems es definixen com espèctres o píxels amb un alt grau de puresa espectral, és a dir, la llum incident només ha interactuat amb un material abans d'haver sigut recollida (80).

Hi han moltes maneres de destacar els termes extrems, en este cas, se'ns recomana utilitzar els píxels de l'índex D2300 amb un major valor. Per fer-ho cliquem sobre *Enhance* → *Interactive Stretching* a la imatge D2300. I seleccionem els valors més alts de l'histograma:



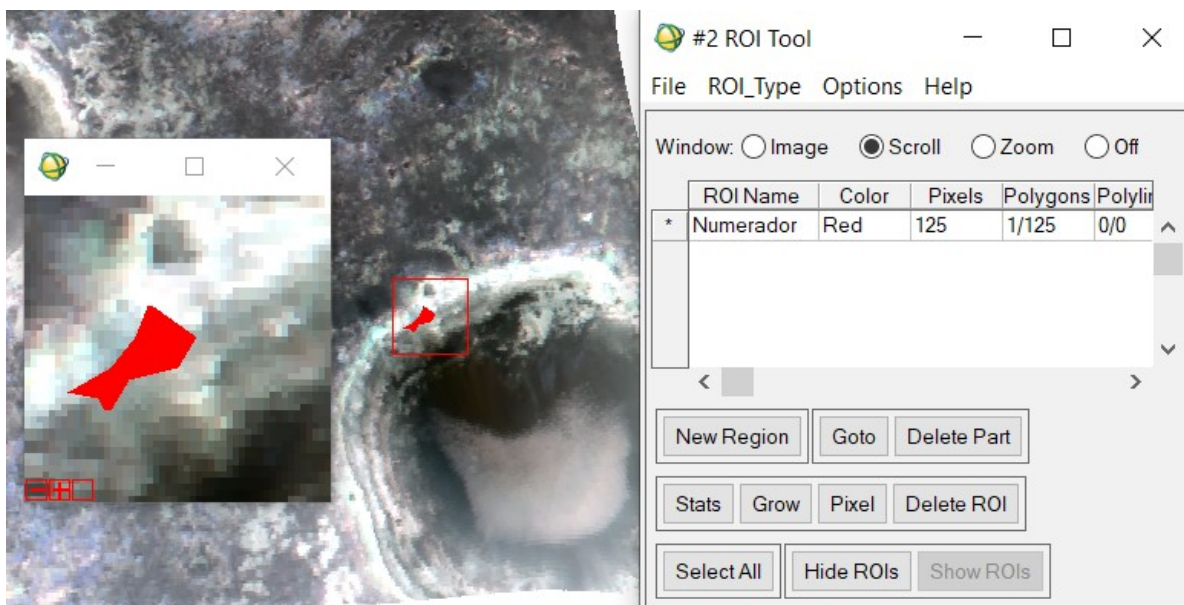
Il·lustració 80: Els colors de la imatge han sigut alterats. Les zones més obscures i blanques representen els nivells digitals més elevats. Les zones grises els nivells digitals més baixos de l'índex.

En este cas els *endmembers* de l'índex D2300 es troben a la pared del cràter de Tarrafal. Generarem una ROI o àrea d'interés i seleccionarem estos píxels. *Basic Tools*→*Region of interest*→*ROI Tool*.



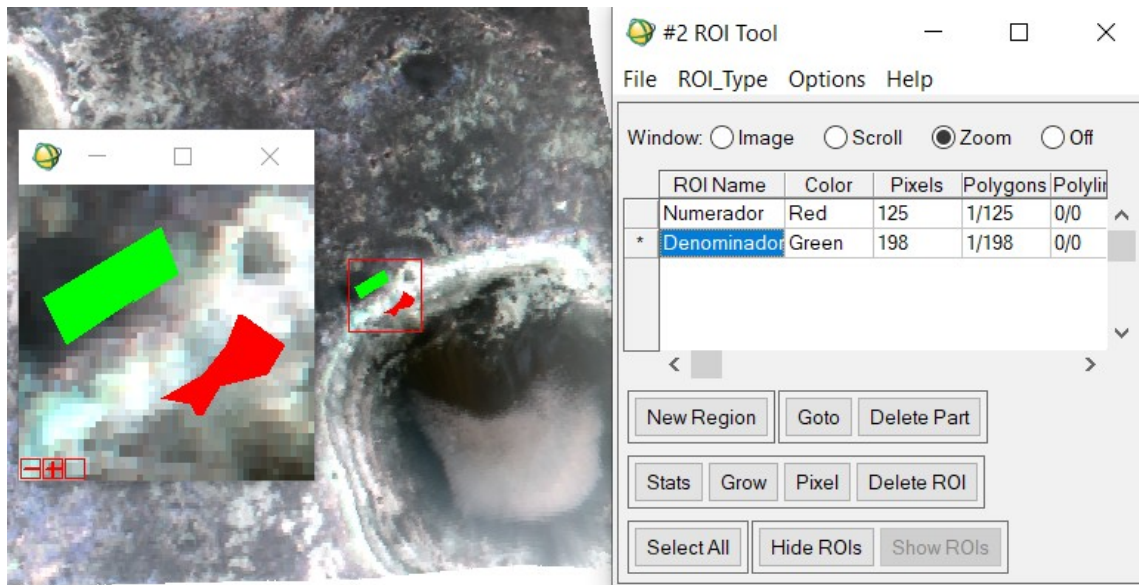
Il·lustració 81: Píxels seleccionats (s'han invertit els colors de la imatge).

Tot seguit, guardarem esta ROI com a «Numerador» i la carregarem en l'arxiu mtr:



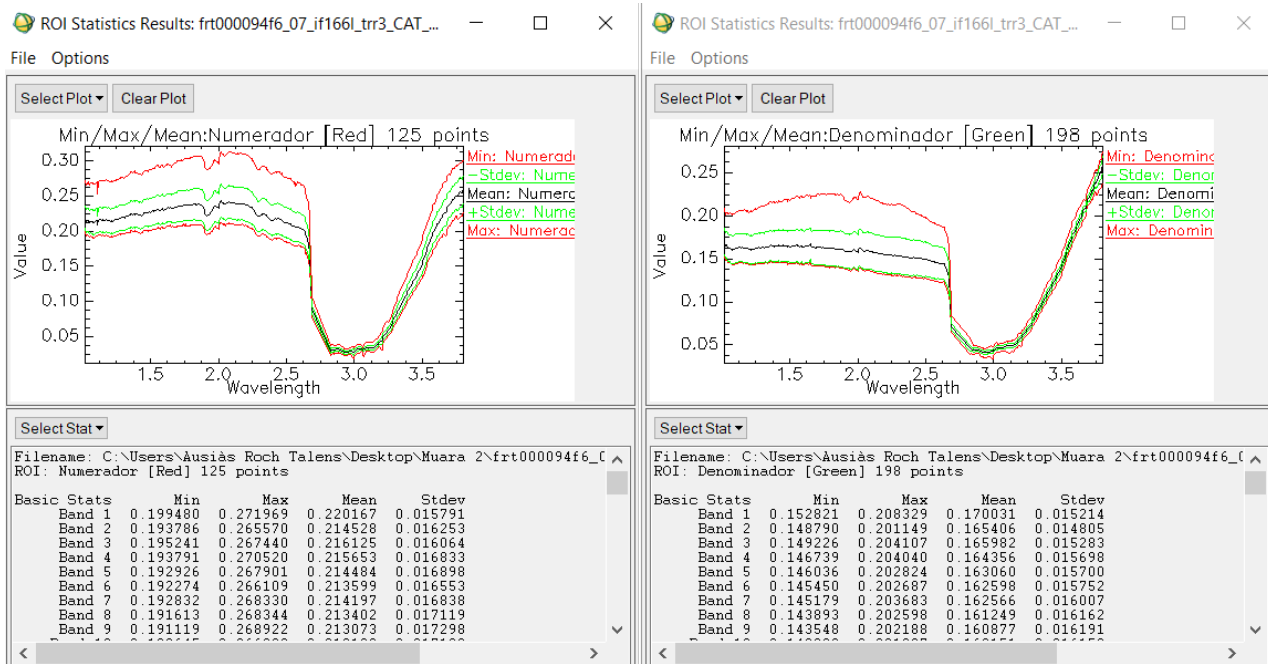
Il·lustració 82: ROI del Numerador en l'arxiu mtr.

Ara, segons Arvidson, hem de seleccionar una zona *propera espectralment neutra*, (77). Esta zona espectralment neutra ha de ser una regió amb nivells digitals baixos en tot el seu espectre. Triarem la següent i farem una roi anomenada «Denominador». És convenient que les dos ROIs tinguen un nombre semblant de píxels:



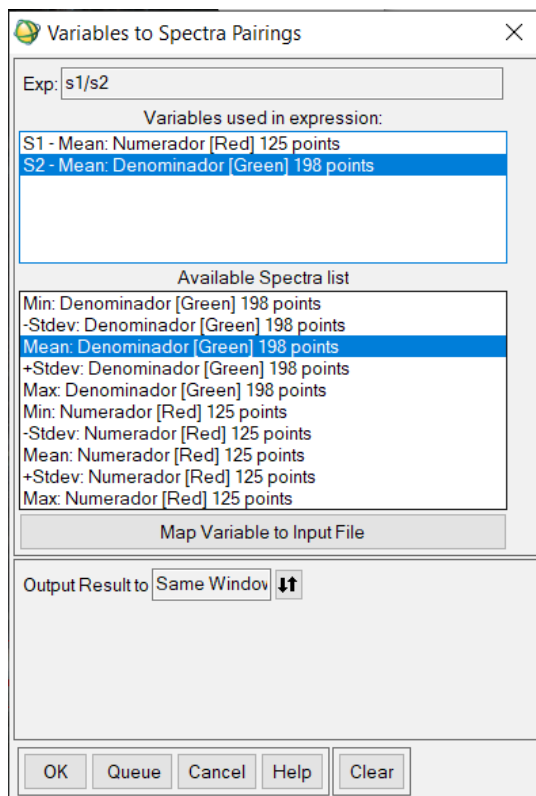
Il·lustració 83: Dos ROIs, numerador i denominador.

Després de capturar la ROI del denominador calclem les estadístiques d'ambdues regions, d'on obtenim:



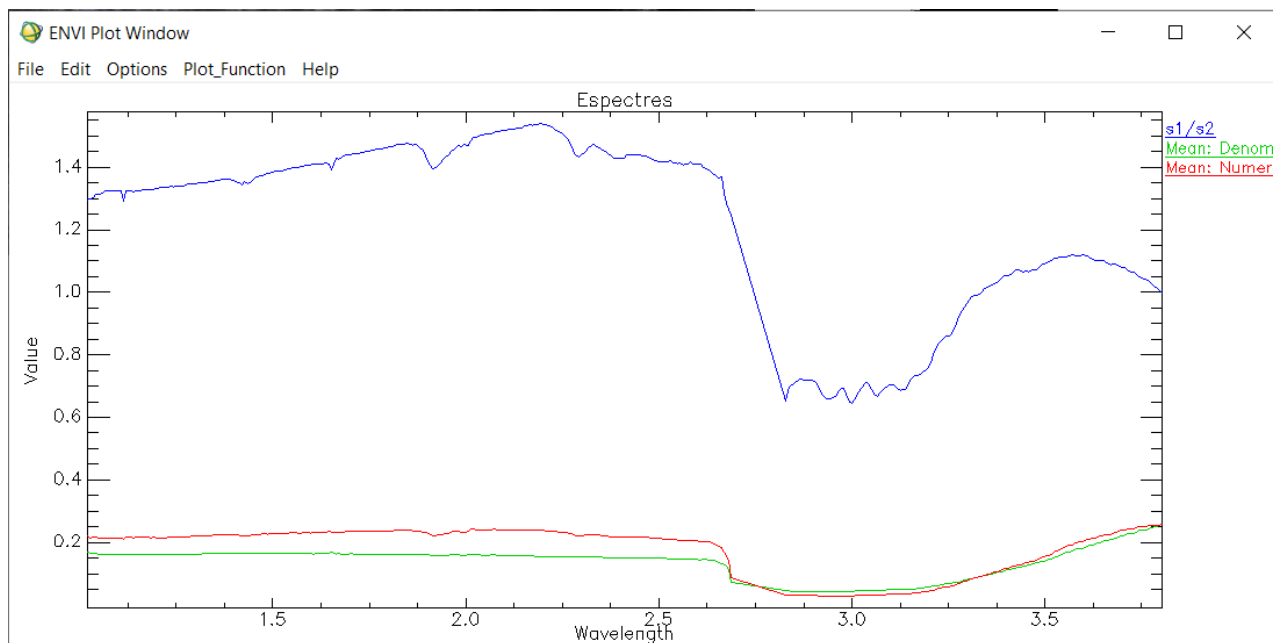
Il·lustració 84: Estadístiques del numerador i del denominador. El numerador té uns nivells digitals més elevats que el denominador, com és previsible.

Una vegada hem calculat les estadístiques procedim a calcular l'espectre final des de *Basic Tools*→*Spectral Math*. Afegirem l'expressió $s1/s2$ i seleccionarem la mitjana dels espectres del numerador i denominador:



Il·lustració 85: Selecció de variables en l'operació $s1/s2$.

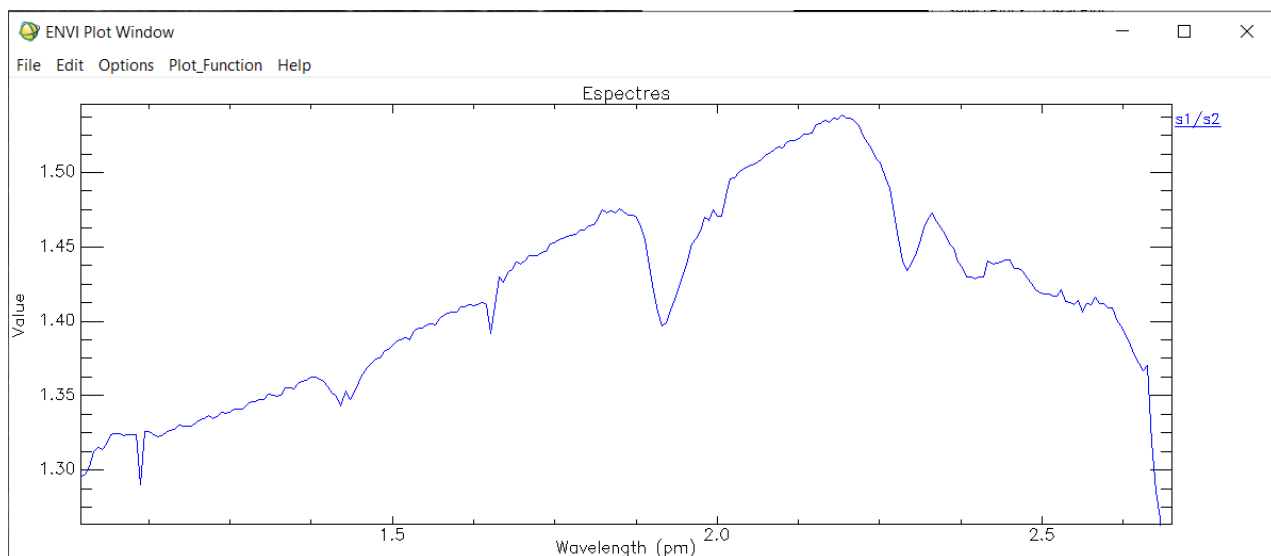
El resultat de l'operació és:



Il·lustració 86: Resultat de la ràtio.

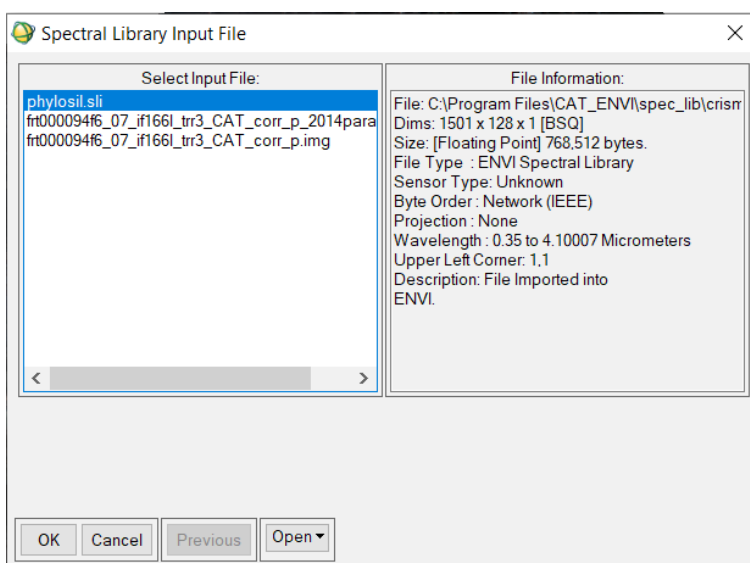
On la ràtio destaca molt millor les bandes d'absorció d'un compost químic que encara desconeguem.

Si ajustem el rang i el domini de la gràfica podem veure-ho millor:



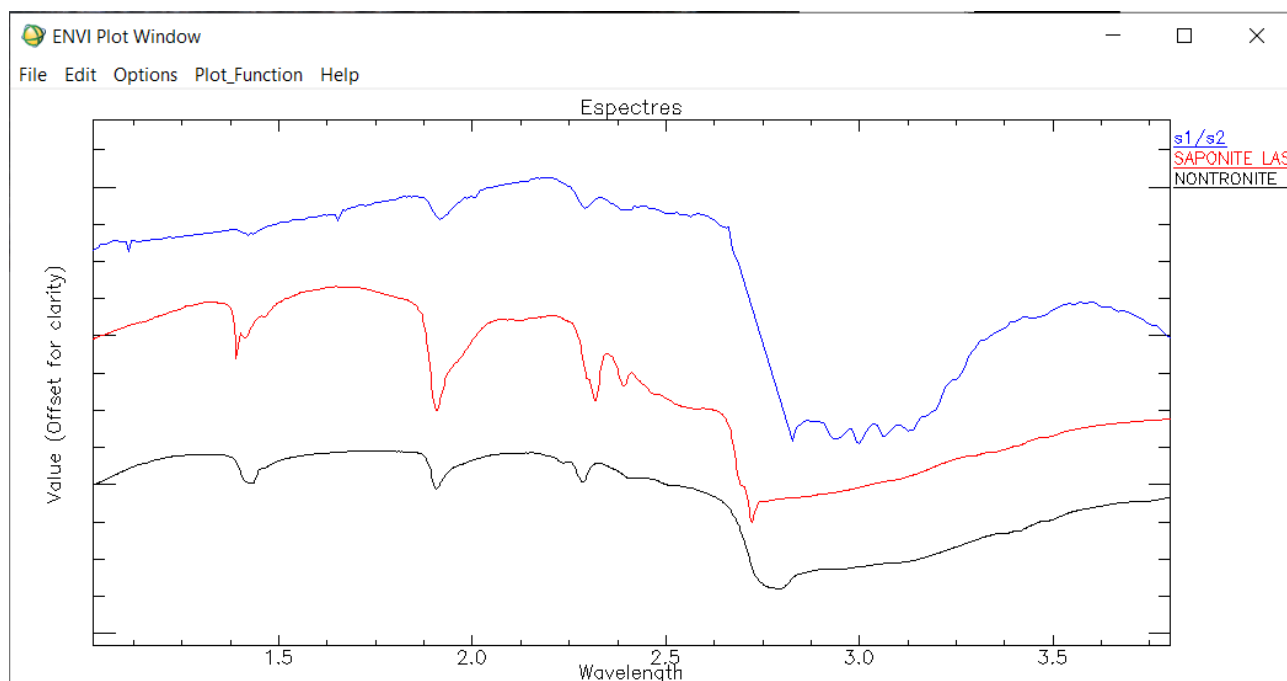
Il·lustració 87: El espectre de la ràtio però ajustant-lo millor.

Per acabar, hem de comparar el nostre espectre calculat amb una llibreria de referència. Per a este cas es recomana utilitzar la llibreria *phylosil.sli*, que fa referència als fil·losilicats. Esta llibreria ve inclosa en la instal·lació de CAT, així que no necessitem descarregar res més.



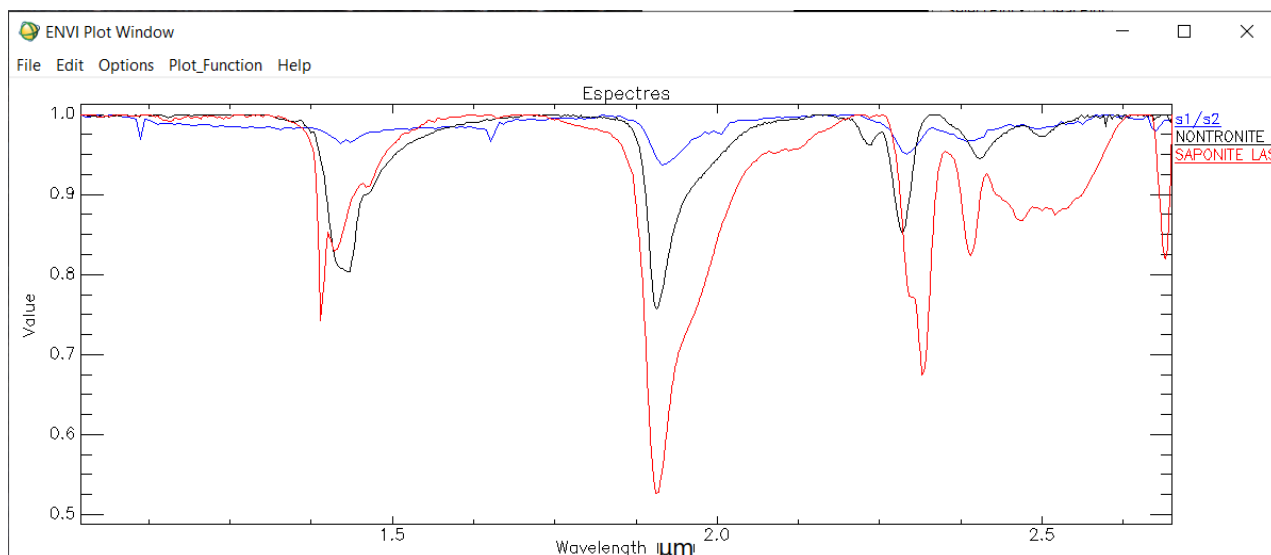
Il·lustració 88: La llibreria *phylosil.sli* ja ve integrada en CAT.

Segons la documentació, els espectres que millor s'adapten són els de la saponita $Ca_{0.25}(Mg, Fe)_3((Si, Al)_4O_{10})(OH)_2 \cdot n(H_2O)$ i el de la nontronita $(CaO_{0.5}, Na)_{0.3}Fe_2^{3+}(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot n(H_2O)$. Com podem apreciar, ambdós fil·losilicats tenen una fórmula molt similar, essent este últim el preferit pels autors de l'exemple.



Il·lustració 89: Espectres dels tres elements, on tots tres presenten una gran semblança. L'eix Y ha estat desfassat per claritat.

Podem veure millor les bandes d'absorció si eliminem les tendències dels espectres des de `Plot_Function` → `Continuum Removed`:



Il·lustració 90: Espectres amb les tendències eliminades.

Heus ací els resultats. Esta metodologia és la recomanada per Arvidson i la utilitzada en els tallers (*workshops*) de CRISM. Finalitzem este apartat recordant que hem de tindre en compte que en un sol píxel (~20m) és improbable trobar només un tipus de mineral. La diversitat de compostos és quasi sempre la regla en la naturalesa. També volem recordar que, com hem dit abans, esta és una metodologia lenta i manual. És per això que en el pròxim apartat en treballarem una altra.

7.6.2. Utilització d'índexs espectrals

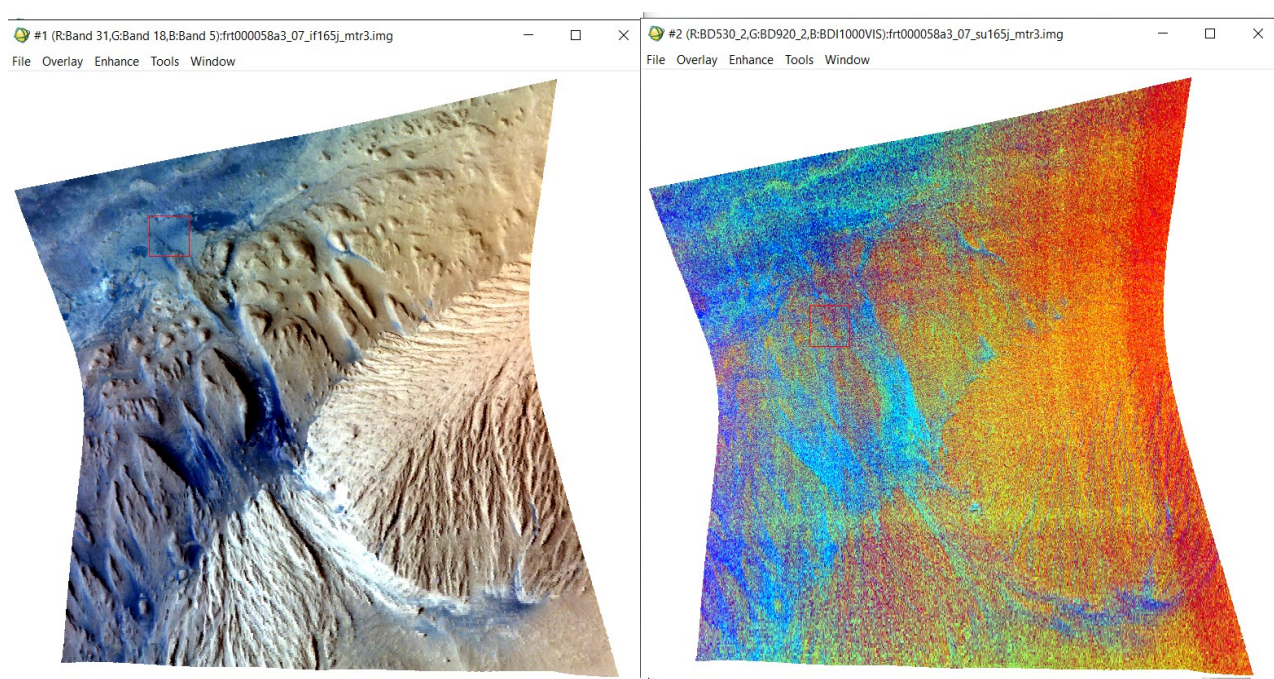
Donat que la caracterització de l'espectre en unitats I/F és manual i lent hem optat per una opció diferent: Utilitzar els productes resum (*summary files*) per destacar els minerals o grups de minerals de la superfície. Utilitzarem els mateixos arxius que hem generat en l'apartat del processament combinats en imatges RGB per donar resultats qualitius de la mineralogia de la zona.

Algunes d'estes composicions RGB recomandades per l'equip de CRISM en els seus tallers (*workshops*) (79) (81) (72) i escollides per al nostre treball són:

Taula 12: Diferents composicions RGB triades per a este treball.

Nom de la composició	Composició (RGB)	Significat	Per detectar
FM2	BD530 BD920 BDI1000VIS	Minerals amb òxid fèrric Hematites (groc) Mescla de les anteriors Altres substàncies, de vegades substàncies màfiques	Minerals rics en ferro
MAF	OLINDEX LCPINDEX HCPINDEX	Olivina (roig obscur) Fil·losilicat amb ferro Piroxé pobre en calci Piroxé ric en calci	Roques màfiques (silicats o roques ígnies)
PH2	BD2350 D2300 BD2210	Serpentinita Argila rica en magnesi o ferro Argila amb alumini	Fil·losilcats
HYD	SINDEX BD2100 BD1900	(magenta) Sulfat polihidratat (molta aigua) (verd-groc) Sulfat monohidratat (poca aigua) Altres minerals hidratats	Sulfats hidratats
CAR	D2300 BD2500H BD1900	(roig-magenta) Fil·losilicat hidratat ric en magnesi o ferro (groc-blanc) Carbonat hidratat ric en magnesi Altres minerals hidratats (argiles, sulfats...)	Carbonats

Mostrem els resultats de la composició FM2, per al mateix lloc que l'analitzat amb el SAM.

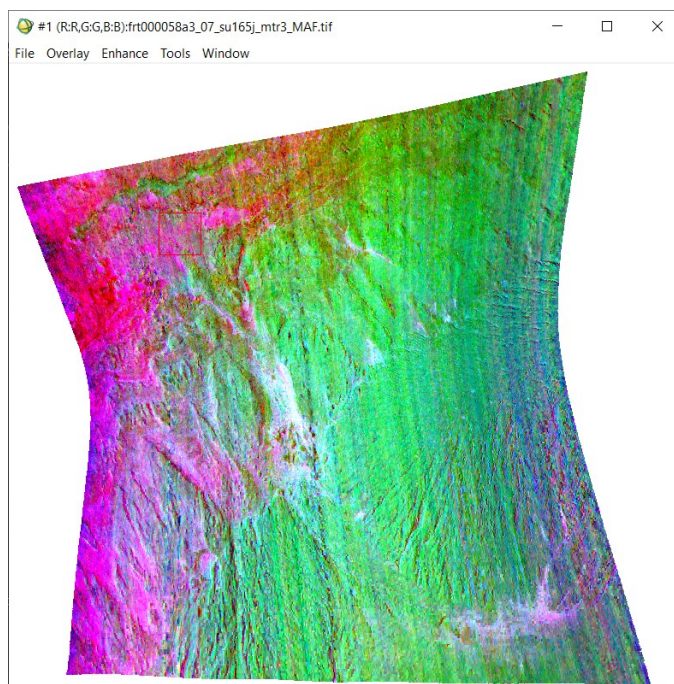


Il·lustració 91: Imatge en color vertader i la seua respectiva composició FM2

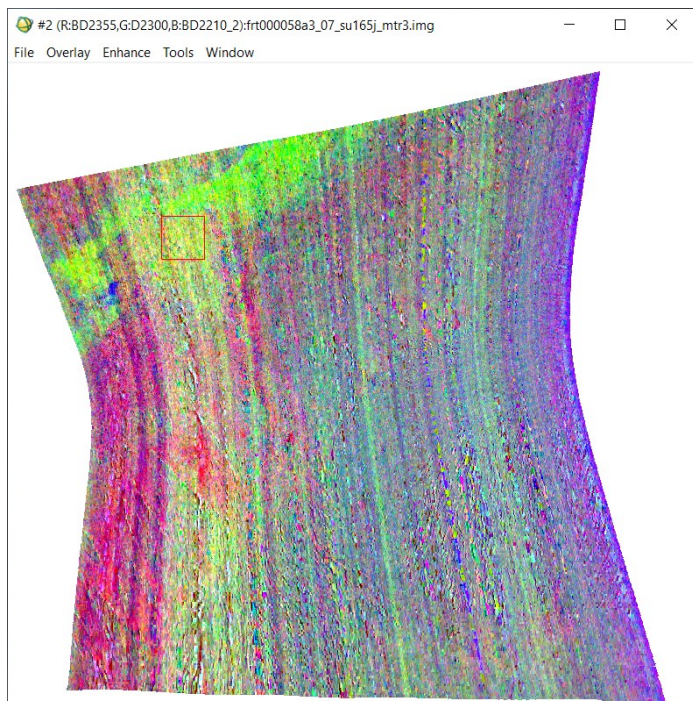
Esta composició mostra la presència de minerals rics en ferro. Les zones de color taronja-roig indiquen la presència de minerals amb òxid fèrric, generalment partícules fines. Les breus bandes verdes del nord, a Vera Rubin Rigde poden indicar la presència d'hematites. La presència d'hematites en esta zona ha sigut confirmada pel Curiosity (82). Les zones blavoses de la imatge en color vertader són generalment zones amb un alt contingut d'arena, tal i com ho confirma el Curiosity (83). Cal destacar que l'arena no és blava, la tonalitat blavosa es deu a les correccions del color aplicades a la imatge (84). Segons la composició FM2 esta arena deu seua substància màfica, és a dir un mineral silicat o roca ígnia.

Continuem analitzant la composició MAF:

Com hem dit adés, esta composició tracta detectar roques màfiques. Les tonalitats rogenques destaquen un alt contingut en olivina, és probable que esta siga la composició de les dunes de Bagnold. Les zones roges més obscures mostren fil·losilicats amb ferro. Per últim les regions verdoses representen piroxens pobres en calci. Açò és coherent amb la composició anterior, perquè si un piroxé té un contingut baix en calci, és possible que continga ferro (85).



Il·lustració 92: Composició MAF.



La composició PH2 ens identifica la presència de fil·losilicats.

A causa del mal funcionament de CRISM les barres verticals són notables.

Les tonalitats verdoses mostren un alt contingut d'argiles riques en magnesi o ferro possiblement transportades per fluxos d'aigua d'altres parts del cràter o a través de Gediz Vallis des d'Aeolis Mons. El Curiosity confirma (86) la presència d'argiles en les proximitats a Vera Rubin Ridge i aporta imatges del sòl d'un antic llac anomenat Lake Orcadie.

Les regions roges corresponen a la presència de serpentinita i les blaves a altres minerals hidratats. Tot i això, demanem precaució amb estos últims resultats docs són molt difusos i estan molt afectats pels problemes del CRISM.

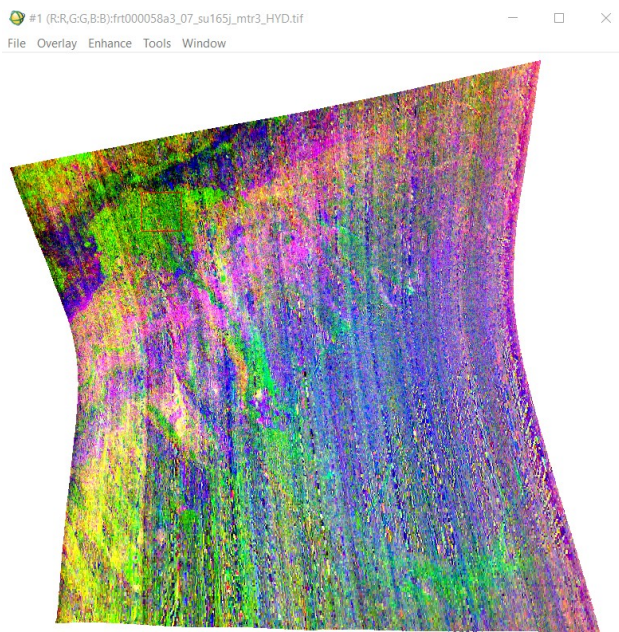
Il·lustració 93: Composició PH2



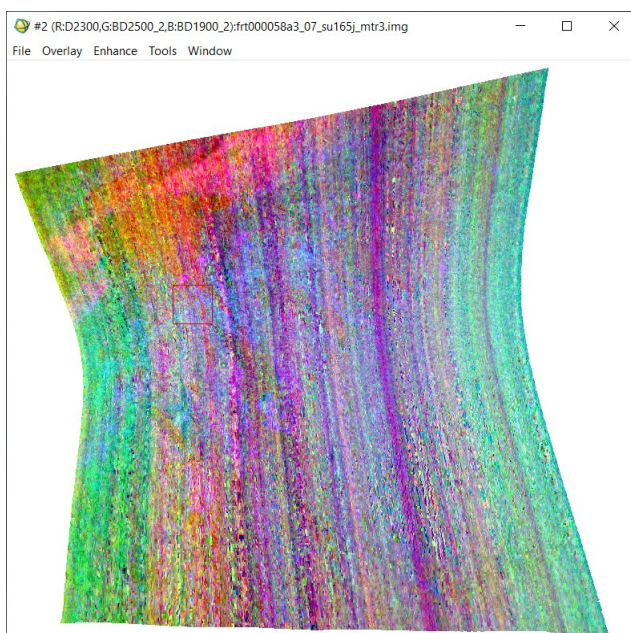
Il·lustració 94: Imatge captada pel Curiosity des de la Cresta de Vera Rubin. Al centre Gediz Vallis. Els monts rugosos amb regalls (càrcavas) de l'esquerra corresponen a les faldes d'Aeolis Mons. Al llarg de tota la imatge podem vore una capa de sediments, és el llit del llac Orcadie.

A continuació, continuarem amb la composició HYD que és indicatiu de sulfats hidratats.

Les tonalitats magentes indiquen la presència de sulfats polihidratats. Els colors verdosos i grocs representen sulfats monohidratats. Probablement transportats per l'aigua des d'Aeolis Mons i depositats prop de Vera Rubin Ridge, formant una xicoteta delta. Per últim les tonalitats blavoses als peus de l'Aeolis Mons indiquen la presència d'altres minerals hidratats.



Il·lustració 95: Composició HYD.



Il·lustració 96: Composició CAR.

Per últim, la composició CAR, que mostra la presència de carbonats. La imatge no destaca cap color excepte els colors que mostren les barres verticals de CRISM. Este bandeig pot haver-se exagerat perquè la presència de minerals carbonatats és molt baixa o nul·la al cràter de Gale segons el Curiosity (87). La quantitat de carbonats en Mart és inferior a l'esperada, generant alguns dubtes sobre el passat del planeta (88). És esta absència de carbonats el motiu per el qual la NASA té intenció de llançar el pròxim ròver anomenat *Perseverance* (89) al cràter Jezero, on hi han indicis de la presència de roques carbonatades . Tornant a la imatge, les regions roges-magenta representen fil·losilicats hidratats rics en magnesi o ferro, generalment en la part nord de la imatge. Les zones blanques-verdes són indicadores de carbonats hidratats rics en magnesi, però descartem totalment esta possibilitat a causa de la mala visualització de la imatge. Per últim, les zones blavoses destaquen la presència d'altres minerals hidratats, com argiles o sulfats.

7.6.2.1. Conclusió

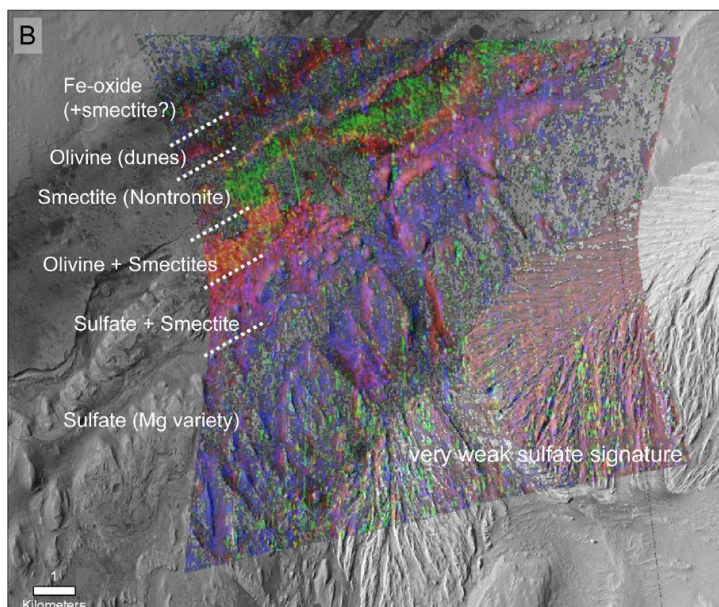
Podem concloure esta breu anàlisi dient que els resultats de les composicions d'índexs espectrals semblen coherents amb altres fonts d'informació ja esmentades adés.

Inclús podríem intuir alguns dels processos d'erosió donats a esta part del cràter. Sembla evident que hi ha hagut fluxos d'aigua que varen discórrer per Gediz Vallis realitzant una aportació de sediments des de l'Aeolis Mons a l'hipotètic llac Orcadie. Avaluant la informació actual diguem que és possible que la línia de costa d'este llac va estar (un període suficient) una cota d'aproximadament 4.000m per baix del punt triple de l'aigua o cota zero. D'altra banda l'actual Aeolis Palus hauria sigut el llit del llac d'este cràter, és per això que seria tant pla i llis.

7.7. Comparació dels resultats

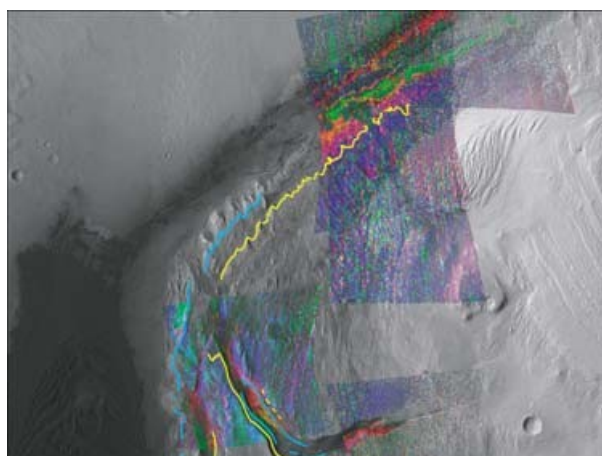
L'anàlisi dels resultats haurà de ser qualitativa i de manera visual. La informació de referència és escassa i de vegades està restringida. Compararem la classificació feta pel SAM i per les composicions d'índexs espectrals amb alguns treballs trobats per a esta zona:

→ B. J. Thomson et al. (90): Classifica els compostos com:



Il·lustració 97: Anàlisi realitzat per Thomson i companyia.

→ R. E. Milliken proposa un resultat molt semblant (91): Segons els autors, el roig representa minerals rics en ferro, els verds argiles amb ferro o magnesi i el blau representa als sulfats.



Il·lustració 98: Classificació de Milliken i companyia.

Si comparem estes classificacions i la realitzada amb el SAM ens adonarem que la classificació no és del tot correcta. Segons el SAM a Aeolis Palus no trobarem minerals amb ferro. A més a més, diu que les dunes estan compostes per sílice hidratada, contradictori amb les imatges de Milliken, Thomson i les composicions d'índexs espectrals. Segons el SAM, trobarem margarita i clorita als peus d'Aeolis Palus, quan sembla que estos estan fonamentalment fets de sulfats. Per acabar amb el SAM, mostra que trobarem analcima, una opció que sembla improbable si ho comparem amb les fonts disponibles. És possible que el fet que l'algoritme només done un resultat en la classificació per píxel faça que done peu a error. Això és un problema, ja que és sabut que la geologia d'una zona pot ser molt diversa en un espai molt reduït, també és habitual trobar més d'un compost en un mateix lloc.

D'altra banda, si analitzem les composicions d'índexs espectrals, resulten ser prou bones i congruents amb les classificacions de Milliken i de Thomson. A més a més, compten amb el suport d'algunes observacions del Curiosity com s'ha detallat adés. Concordeu que les falces d'Aeolis Mons contenen sulfats i que les dunes semblen contindre olivina. També es detecten minerals argilosos al voltant de Vera Rubin Ridge, igual que les referències utilitzades. En termes generals, és una classificació que concorda amb la documentació científica.

7.8. Productes

Finalment, hem optat per utilitzar les composicions d'índexs espectrals per classificar de manera qualitativa la mineralogia del cràter de Gale. Creiem que és la metodologia que millor s'adapta a les circumstàncies actuals, ja que representa en termes generals els principals grups de minerals que podem trobar en una ampla zona del cràter de Gale.

A l'apartat de cartografia d'este treball el lector podrà trobar mapes amb imatges d'una zona més extensa del cràter, inclosa l'analitzada. Esta cartografia compta amb les cinc composicions vistes en este treball. Estos productes poden ser útils per familiaritzar el lector amb la geologia de la zona així com fer-lo reflexionar sobre la història del cràter de Gale i de la resta del planeta.

8. Conclusions del treball

Per finalitzar este treball deguem dir que, tot i que la classificació no ha eixit com s'esperava, els resultats són acceptables de manera global.

Pel que fa a la dissertació pensem que ha sigut molt útil per als autors per aprendre noves metodologies partint del que s'ha après al grau. Els autors volem destacar la importància i el valor dels coneixements apresos quan es relacionen. S'han expandit nous horitzons i s'ha après molt.

També esperem haver fet patent amb esta dissertació que la geomàtica també pot ser important fora de la Terra i que pot aportar molt.

9. Aspectes a millorar

En este apartat esmentarem alguns punts a tindre en compte en cas que es volguera millorar la qualitat d'este treball:

- Millorar la georeferenciació de les imatges amb els recursos actuals: Potser elaborar xarxes de control podria reduir l'error en el posicionament de les imatges de la MRO.
- Millorar l'exageració de l'espectre d'imatges CRISM: Denotar millor les línies d'absorció dels compostos químics faria més fàcil la detecció.
- Automatitzar la detecció dels compostos.
- Reduir amb més ferramentes estadístiques o empíriques l'efecte de bandeig en algunes bandes del CRISM: Reduir esta classe d'errors instrumentals faria més congruents les imatges entre si.

10. Bibliografia

La normativa de bibliogràfica utilitzada correspon a la ISO960:2013 en format numèric i per a llengua catalana segons la Universitat de Barcelona (92), processada de manera automàtica amb una ferramenta anomenada Mendeley (93), recomanada per la Universitat Politècnica de València.

1. Tesla, N. Talking with the planets. A: [en línia]. 1901. [Consulta: 3 juliol 2020]. Disponible a: http://teslacollection.com/tesla_articles/1901/colliers/nikola_tesla/talking_with_the_planets.
2. Feynman, R. *The Pleasure of Finding Things Out*. 1999. DOI 10.1119/1.1558111.
3. Dickens, C. *A tale of two cities*. book. 1993. Hertfordshire: Wordsworth,1993. Wordsworth classics. ISBN 1853260398.
4. Deboer, M.A. i Lammertsma, K. Scarcity of rare earth elements. A: *ChemSusChem*. 2013, Vol. 6, núm. 11, p. 2045-2055. ISSN 18645631. DOI 10.1002/cssc.201200794.
5. SpaceResources.lu Initiative. A: *Luxembourg Space Agency* [en línia]. 2016. [Consulta: 3 març 2020]. Disponible a: <https://space-agency.public.lu/en/space-resources/the-initiative.html>.
6. United Nations Office for Outer Space Affairs. *United Nations Treaties and Principles on Space Law* [en línia]. 1967. 1967. ISBN 9211009006. Disponible a: <http://www.oosa.unvienna.org/oosa/SpaceLaw/treaties.html>.
7. ESRI. ArcGIS. A: [en línia]. [Consulta: 4 abril 2020]. Disponible a: <https://www.esri.es/arcgis/>.
8. QGIS. A: [en línia]. [Consulta: 4 maig 2020]. Disponible a: <https://qgis.org/ca/site/>.
9. ENVI. ENVI. A: [en línia]. [Consulta: 16 abril 2020]. Disponible a: <https://www.harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI>.
10. National Aeronautics and Space Administration. CAT (CRISM Analysis Toolkit). A: [en línia]. [Consulta: 15 febrer 2020]. Disponible a: <https://pds-geosciences.wustl.edu/missions/mro/crism.htm#CAT>.
11. National Aeronautics and Space Administration. JCAT. A: [en línia]. [Consulta: 2 març 2020]. Disponible a: <http://crism.jhuapl.edu/JCAT/>.
12. Google. Google Earth. A: [en línia]. [Consulta: 4 abril 2020]. Disponible a: https://www.google.es/intl/ca_ALL/earth/versions/.
13. Google. Google Earth Studio. A: [en línia]. [Consulta: 15 gener 2020]. Disponible a: <https://www.google.com/earth/studio/>.
14. Python. Python. A: [en línia]. 2015. [Consulta: 5 juliol 2020]. Disponible a: <https://www.python.org/>.
15. Mathworks. MATLAB. A: [en línia]. 2016. [Consulta: 5 juliol 2020]. Disponible a: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.

16. FileZilla. A: [en línia]. [Consulta: 14 abril 2020]. Disponible a: <https://filezilla-project.org/>.
17. Salas, J. Así fue la última vez que el hombre pisó la Luna. A: *El País* [en línia]. 2012. [Consulta: 4 abril 2020]. Disponible a: <http://esmateria.com/2012/12/09/asi-fue-la-ultima-vez-que-el-hombre-piso-la-luna/>.
18. National Aeronautics and Space Administration. Explore Moon to Mars: Lunar Gateway. A: [en línia]. [Consulta: 18 maig 2020]. Disponible a: <https://www.nasa.gov/topics/moon-to-mars/lunar-gateway>.
19. Bridenstine, J. Why We're Going to the Moon. A: *NASA Blogs* [en línia]. 2019. [Consulta: 1 març 2020]. Disponible a: <https://blogs.nasa.gov/bridenstine/2019/10/02/why-were-going-to-the-moon/>.
20. SpaceX. Making life multiplanetary. A: [en línia]. [Consulta: 5 febrer 2020]. Disponible a: <https://www.spacex.com/mars>.
21. Wikipedia. Mart. A: *Wikipedia* [en línia]. 2020. [Consulta: 28 maig 2020]. Disponible a: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Mart_\(mitologia\)](https://ca.wikipedia.org/wiki/Mart_(mitologia)).
22. Lewis, R. Phobos. A: *Encyclopaedia Britannica* [en línia]. [Consulta: 5 febrer 2020]. Disponible a: <https://www.britannica.com/place/Phobos-moon-of-Mars>.
23. The editors of Encyclopaedia Britannica. Deimos. A: *Encyclopaedia Britannica* [en línia]. [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible a: <https://www.britannica.com/place/Deimos-moon-of-Mars>.
24. Williams, D.R. Planetary Fact Sheet. A: *Nasa* [en línia]. 2015. [Consulta: 19 abril 2020]. Disponible a: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/index.html>.
25. Kasting, J.F. i Siefert, J.L. Life and the evolution of Earth's atmosphere. A: *Science*. 2002, Vol. 296, núm. 5570, p. 1066-1068. ISSN 00368075. DOI 10.1126/science.1071184.
26. Opfer, C. What if Earth's core cooled down? A: [en línia]. 2015. [Consulta: 25 abril 2020]. Disponible a: <https://science.howstuffworks.com/science-vs-myth/what-if/what-if-earths-core-cooled-down.htm>.
27. Verne, J. *Veinte mil leguas de viaje submarino*. book. 1987. Madrid: Alianza, 1987. El libro de bolsillo Alianza 722. ISBN 8420617229.
28. Williams, D.R. Chronology of Mars. A: *Planet Mars* [en línia]. 2008, p. 12-14. DOI 10.1007/978-0-387-48927-8_4. Disponible a: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/chronology_mars.html.
29. Marechal, M. Triple point. A: *Wikipedia* [en línia]. 2020. [Consulta: 7 abril 2020]. Disponible a: http://en.wikipedia.org/wiki/Triple_point.
30. Carr, M.H. i Head, J.W. Geologic history of Mars. A: *Earth and Planetary Science Letters*. 2010, Vol. 294, núm. 3-4, p. 185-203. ISSN 0012821X. DOI 10.1016/j.epsl.2009.06.042.

31. Wikipedia. Late Heavy Bombardment. A: *Wikipedia* [en línia]. 2020. [Consulta: 2 juny 2020]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/Late_Heavy_Bombardment.
32. Where is zero degrees longitude on Mars? A: [en línia]. 2004. [Consulta: 17 gener 2020]. Disponible a: https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Where_is_zero_degrees_longitude_on_Mars.
33. Schiaparelli, G. Map of Mars. A: [en línia]. 1877. [Consulta: 12 abril 2020]. Disponible a: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Giovanni_map_mars.jpg.
34. O'Toole, S. How do you measure height on Mars? A: *ABC Science* [en línia]. 2013. [Consulta: 25 març 2020]. Disponible a: <https://www.abc.net.au/science/articles/2013/08/12/3820057.htm>.
35. Talens, A.R. Animacions de vols virtuals. A: *GitLab* [en línia]. 2020. [Consulta: 18 abril 2020]. Disponible a: <https://gitlab.com/escanyapobres/deteccio-compostos-quimics-en-mart/-/tree/master/Animacions>.
36. Duxbury, T.C. et al. Mars Geodesy/Cartography Working Group recommendations on Mars cartographic constants and coordinate systems. A: *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2002, Vol. 34, núm. 4, p. 743-748. ISSN 1682-1750.
37. International Astronomical Union. A: [en línia]. [Consulta: 15 febrer 2020]. Disponible a: <https://www.iau.org/>.
38. Mars Map Projections. A: [en línia]. 2012. [Consulta: 2 març 2020]. Disponible a: <http://chrisherwig.org/hirise/Data Processing/2012/10/21/mars-map-projections/>.
39. IAU2000:49900. A: [en línia]. [Consulta: 3 febrer 2020]. Disponible a: <https://spatialreference.org/ref/iau2000/49900/>.
40. International Association of Geodesy. A: [en línia]. [Consulta: 5 març 2020]. Disponible a: <https://www.iag-aig.org/>.
41. DATA SET MAP PROJECTION. A: [en línia]. 2007. [Consulta: 25 abril 2020]. Disponible a: <https://hirise-pds.lpl.arizona.edu/PDS/CATALOG/DSMAP.CAT>.
42. IAU2000:49910. A: [en línia]. [Consulta: 2 abril 2020]. Disponible a: <https://spatialreference.org/ref/iau2000/49910/>.
43. IAU2000:49913. A: [en línia]. [Consulta: 4 març 2020]. Disponible a: <https://spatialreference.org/ref/iau2000/49913/>.
44. Talens, A.R. Projeccions amb Python. A: *GitLab* [en línia]. 2020. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible a: <https://gitlab.com/escanyapobres/deteccio-compostos-quimics-en-mart/-/tree/master/Projeccions>.

45. IAU i IAG. IAU2000:49918. A: [en línia]. [Consulta: 16 abril 2020]. Disponible a: <https://spatialreference.org/ref/iau2000/49918/>.
46. IAU i IAG. IAU2000:49920. A: [en línia]. [Consulta: 17 març 2020]. Disponible a: <https://spatialreference.org/ref/iau2000/49920/>.
47. Butler, H. et al. Spatial Reference. A: [en línia]. [Consulta: 24 maig 2020]. Disponible a: <https://spatialreference.org/>.
48. USGS i Washington University. Mars Orbital Data Explorer. A: [en línia]. [Consulta: 15 setembre 2019]. Disponible a: <https://ode.rsl.wustl.edu/mars/>.
49. International Astronomical Union i Working Group for Planetary System Nomenclature. Gazetteer of Planetary Nomenclature: Mars. A: [en línia]. [Consulta: 15 desembre 2019]. Disponible a: <https://planetarynames.wr.usgs.gov/Page/MARS/target>.
50. NASA Jet Propulsion Laboratory. NASA Facts: Mars Global Surveyor. A: *Fact Sheet* [en línia]. 1999. ISBN 6612763566. Disponible a: http://www.jpl.nasa.gov/news/fact_sheets/mgs.pdf.
51. Hubble. Mars duststorm. A: [en línia]. 2001. [Consulta: 5 abril 2020]. Disponible a: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/Mars_duststorm.jpg.
52. Gómez, N. El temps de la A a la Z: Dimoniet o remolí de vent. A: [en línia]. 2019. [Consulta: 7 abril 2020]. Disponible a: <https://www.ccma.cat/el-temps/el-temps-de-la-a-a-la-z-dimoniet-o-remoli-de-vent/noticia/2667531/>.
53. Wikipedia. Remolino de arena. A: *Wikipedia* [en línia]. 2020. [Consulta: 6 abril 2020]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Remolino_de_arena.
54. Sanjoy M. Som, Harvey M. Greenberg, D.R.M. The Mars Orbiter Laser Altimeter dataset: Limitations and improvements. A: *The Mars Journal*. 2008, Vol. 4, p. 14-26. ISSN 15481921. DOI 10.1555/mars.2008.0002.
55. National Aeronautics and Space Administration. MARS Reconnaissance Orbiter. A: [en línia]. [Consulta: 25 abril 2020]. Disponible a: <https://mars.nasa.gov/mro/>.
56. National Aeronautics and Space Administration. NASA Facts: Mars Reconnaissance Orbiter. A: *NASA Facts* [en línia]. 2005. [Consulta: 5 desembre 2019]. Disponible a: <https://mars.nasa.gov/files/mro/MRO-060303.pdf>.
57. The University of Arizona. Camera Technical Specifications: HiRISE. A: [en línia]. [Consulta: 9 abril 2020]. Disponible a: <https://www.uahirise.org/specs/>.
58. Webster, G., Brown, D. i Cantillo, L. Ten Years of Discovery by Mars Reconnaissance Orbiter. A: [en línia]. 2016. [Consulta: 15 febrer 2020]. Disponible a: <https://mars.nasa.gov/news/ten-years-of-discovery-by-mars-reconnaissance-orbiter/>.

59. Ciani, A., Goss, K.U. i Schwarzenbach, R.P. Light penetration in soil and particulate minerals. A: *European Journal of Soil Science*. 2005, Vol. 56, núm. 5, p. 561-574. ISSN 13510754. DOI 10.1111/j.1365-2389.2005.00688.x.
60. NASA. A Guide to Gale Crater. A: [en línia]. 2017. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible a: <https://mars.nasa.gov/resources/20328/a-guide-to-gale-crater/>.
61. Herrick, R.R. The impact-cratering process. A: *Encyclopaedia Britannica* [en línia]. 2020. [Consulta: 16 abril 2020]. Disponible a: <https://www.britannica.com/science/meteorite-crater/The-impact-cratering-process>.
62. Wikipedia. Aeolis. A: [en línia]. 2020. [Consulta: 4 gener 2020]. Disponible a: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aeolis>.
63. Viquipèdia. Èol. A: [en línia]. 2019. [Consulta: 5 març 2020]. Disponible a: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Èol_\(fill_d%27Hípotes\)](https://ca.wikipedia.org/wiki/Èol_(fill_d%27Hípotes)).
64. Colhoun, O. File Transfer Protocol. A: [en línia]. 2019. DOI 10.1007/978-3-662-48986-4_1126. [Consulta: 2 abril 2020]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/File_Transfer_Protocol.
65. Mercator, P. Geocentric coordinates. A: [en línia]. [Consulta: 10 maig 2020]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Geocentric_coords_03.svg.
66. Calef, F.J. DATA_SET_MAP_PROJECTION. A: [en línia]. 2016. [Consulta: 4 maig 2020]. Disponible a: https://pds-imaging.jpl.nasa.gov/data/msl/MSLPLC_1XXX/CATALOG/DSMAP.CAT.
67. Calef, F.J. i Parker, T. MSL Gale Merged Orthophoto Mosaic. A: [en línia]. PDS Annex, U.S. Geological Survey, 2016. [Consulta: 15 març 2020]. Disponible a: https://astrogeology.usgs.gov/search/map/Mars/MarsScienceLaboratory/Mosaics/MSL_Gale_Orthophoto_Mosaic_10m_v3.
68. Gao, Y. Contemporary planetary robotics: An approach toward autonomous systems. A: *Contemporary Planetary Robotics: An Approach Toward Autonomous Systems* [en línia]. 2016. DOI 10.1002/9783527684977. [Consulta: 1 abril 2020]. Disponible a: <https://www.wiley.com/en-us/Contemporary+Planetary+Robotics+%3A+An+Approach+Toward+Autonomous+Systems-p-9783527413256>.
69. Oshagan, A., Edwards, C.S. i Ehlmann, B.L. A NEAR-AUTOMATED METHOD TO GENERATE MULTI-IMAGE HIRISE MOSAICS. A: *LPI contribution* [en línia]. 2014. [Consulta: 20 maig 2020]. Disponible a: <https://hdl.handle.net/20.500.11753/1536>.
70. NASA i CRISM Science Team. MRO: CRISM. A: [en línia]. [Consulta: 5 maig 2020]. Disponible a: https://pds-geosciences.wustl.edu/missions/mro/cat_setup.pdf.
71. NASA. What are the CRISM Products? A CRISM Product Primer. A: [en línia]. [Consulta: 1 desembre 2019]. Disponible a: https://ode.rsl.wustl.edu/mars/pagehelp/quickstartguide/index.html?crism_mtrdr.htm.

72. Viviano-Beck, C.E. et al. Revised CRISM spectral parameters and summary products based on the currently detected mineral diversity on Mars. A: *Journal of Geophysical Research E: Planets*. 2014, Vol. 119, núm. 6, p. 1403-1431. ISSN 21699100. DOI 10.1002/2014JE004627.
73. Künzer, C. Physical Principles and Methods of Remote Sensing. A: [en línia]. [Consulta: 14 desembre 2019]. Disponible a: <https://earth.esa.int/documents/973910/1002056/CK2.pdf>.
74. USGS. USGS High Resolution Spectral Library. A: [en línia]. [Consulta: 10 gener 2020]. Disponible a: https://www.usgs.gov/energy-and-minerals/mineral-resources-program/science/usgs-high-resolution-spectral-library?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects.
75. CRISM Science Team. CRISM Spectral Library. A: [en línia]. [Consulta: 12 desembre 2019]. Disponible a: https://pds-geosciences.wustl.edu/missions/mro/spectral_library.htm.
76. USGS i Washington University. PDS Geosciences Node Community. A: [en línia]. [Consulta: 20 maig 2020]. Disponible a: <https://geoweb.rsl.wustl.edu/community/>.
77. Talens, A.R. i Arvidson, R. About the data type of the CRISM I/F images. A: [en línia]. [Consulta: 2 juny 2020]. Disponible a: <https://geoweb.rsl.wustl.edu/community/index.php?/topic/2421-about-the-data-type-of-the-crism-if-images/>.
78. Washington University. Raymond E. Arvidson. A: [en línia]. [Consulta: 2 juny 2020]. Disponible a: <https://eps.wustl.edu/people/raymond-e-arvidson>.
79. CRISM Science Team. Data Users' Workshop. A: [en línia]. 2012. [Consulta: 2 febrer 2020]. Disponible a: http://crism.jhuapl.edu/data/CRISM_workshop_2012/.
80. Shen, X. i Bao, W. Hyperspectral endmember extraction using spatially weighted simplex strategy. A: *Remote Sensing*. 2019, Vol. 11, núm. 18, p. 1-22. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs11182147.
81. CRISM Science Team. 3rd Planetary Data Workshop Science Operations Center CRISM Demonstration: Data Access, Processing, and Analysis PDS Geosciences Node. A: [en línia]. 2017. [Consulta: 15 maig 2020]. Disponible a: http://crism.jhuapl.edu/data/CRISM_workshop_2017/index.php.
82. Lakdawalla, E. Curiosity Update, sols 1972-2026: Completing the Vera Rubin Ridge Walkabout. A: *The Planetary Society* [en línia]. 2018. [Consulta: 20 maig 2020]. Disponible a: <https://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2018/0417-curiosity-update-sols-1972-2026.html>.
83. Greicius, T. Curiosity Self-Portrait at Martian Sand Dune. A: [en línia]. 2016. [Consulta: 23 maig 2020]. Disponible a: <https://www.nasa.gov/image-feature/jpl/pia20316/curiosity-self-portrait-at-martian-sand-dune>.

84. Here's the Story Behind the Mesmerizing Blue Sand Dune NASA Snapped on Mars. A: [en línia]. [Consulta: 23 maig 2020]. Disponible a: <https://www.inverse.com/article/46381-mars-blue-sand-dune-nasa>.
85. Wikipedia. Pyroxene. A: *Wikipedia* [en línia]. 2020. [Consulta: 25 maig 2020]. Disponible a: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pyroxene>.
86. Lakdawalla, E. Curiosity Update, Sols 2163-2256: Hard Times Atop Vera Rubin Ridge. A: *The Planetary Society* [en línia]. 2018. [Consulta: 1 juny 2020]. Disponible a: <https://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2018/curiosity-update-sols-2163-2156.html>.
87. NASA. NASA's Curiosity Rover Sharpens Paradox of Ancient Mars. A: [en línia]. 2017. [Consulta: 24 maig 2020]. Disponible a: <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6734>.
88. Underwood, E. Detecting Carbonates on the Surface of Mars. A: *Journal of Geophysical Research: Planets* [en línia]. 2019. [Consulta: 25 maig 2020]. Disponible a: <https://eos.org/research-spotlights/detecting-carbonates-on-the-surface-of-mars>.
89. NASA. Mars Perseverance Rover. A: [en línia]. [Consulta: 5 juliol 2020]. Disponible a: <https://www.nasa.gov/perseverance>.
90. Thomson, B.J. et al. Constraints on the origin and evolution of the layered mound in Gale Crater, Mars using Mars Reconnaissance Orbiter data. A: *Icarus* [en línia]. Elsevier Inc., 2011, Vol. 214, núm. 2, p. 413-432. ISSN 00191035. DOI 10.1016/j.icarus.2011.05.002. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2011.05.002>.
91. Milliken, R.E., Grotzinger, J.P. i Thomson, B.J. Paleoclimate of Mars as captured by the stratigraphic record in Gale Crater. A: *Geophysical Research Letters*. 2010, Vol. 37, núm. 4, p. 1-6. ISSN 00948276. DOI 10.1029/2009GL041870.
92. Centre de Recursos per a l'Aprenentatge i la Investigació (Universitat de Barcelona). Recursos electrònics - Mendeley - ISO960. A: [en línia]. [Consulta: 22 març 2020]. Disponible a: <https://crai.ub.edu/ca/node/1881>.
93. The Mendeley Support Team. Mendeley. A: [en línia]. 2016. [Consulta: 20 maig 2020]. Disponible a: <https://www.mendeley.com/>.
94. Tanaka, K.L. et al. Geologic Map of Mars. A: *U.S. Geological Survey Geologic Investigations* [en línia]. 2014. DOI 10.3133/sim3292. Disponible a: <http://pubs.usgs.gov/sim/3292/>.
95. Mars MGS MOLA DEM 463m v2. A: [en línia]. 2003. [Consulta: 25 maig 2020]. Disponible a: https://astrogeology.usgs.gov/search/map/Mars/GlobalSurveyor/MOLA/Mars_MGS_MOLA_DEM_mosaic_global_463m.
96. USGS i NASA. Astrogeology WMS Map Layers. A: [en línia]. [Consulta: 25 maig 2020]. Disponible a: <https://astrowebmaps.wr.usgs.gov/webmapatlas/Layers/maps.html>.

97. NASA, NASA Jet Propulsion Laboratory i The University of Arizona. Mid-2017 Map of NASA's Curiosity Mars Rover Mission. A: [en línia]. 2017. [Consulta: 3 juny 2020]. Disponible a: <https://mars.nasa.gov/resources/mid-2017-map-of-nasas-curiosity-mars-rover-mission/>.

98. Baselga Moreno, S. *Fundamentos de cartografía matemática*. book. 2014. Valencia: Editorial UPV,2014. ISBN 9788490481707.

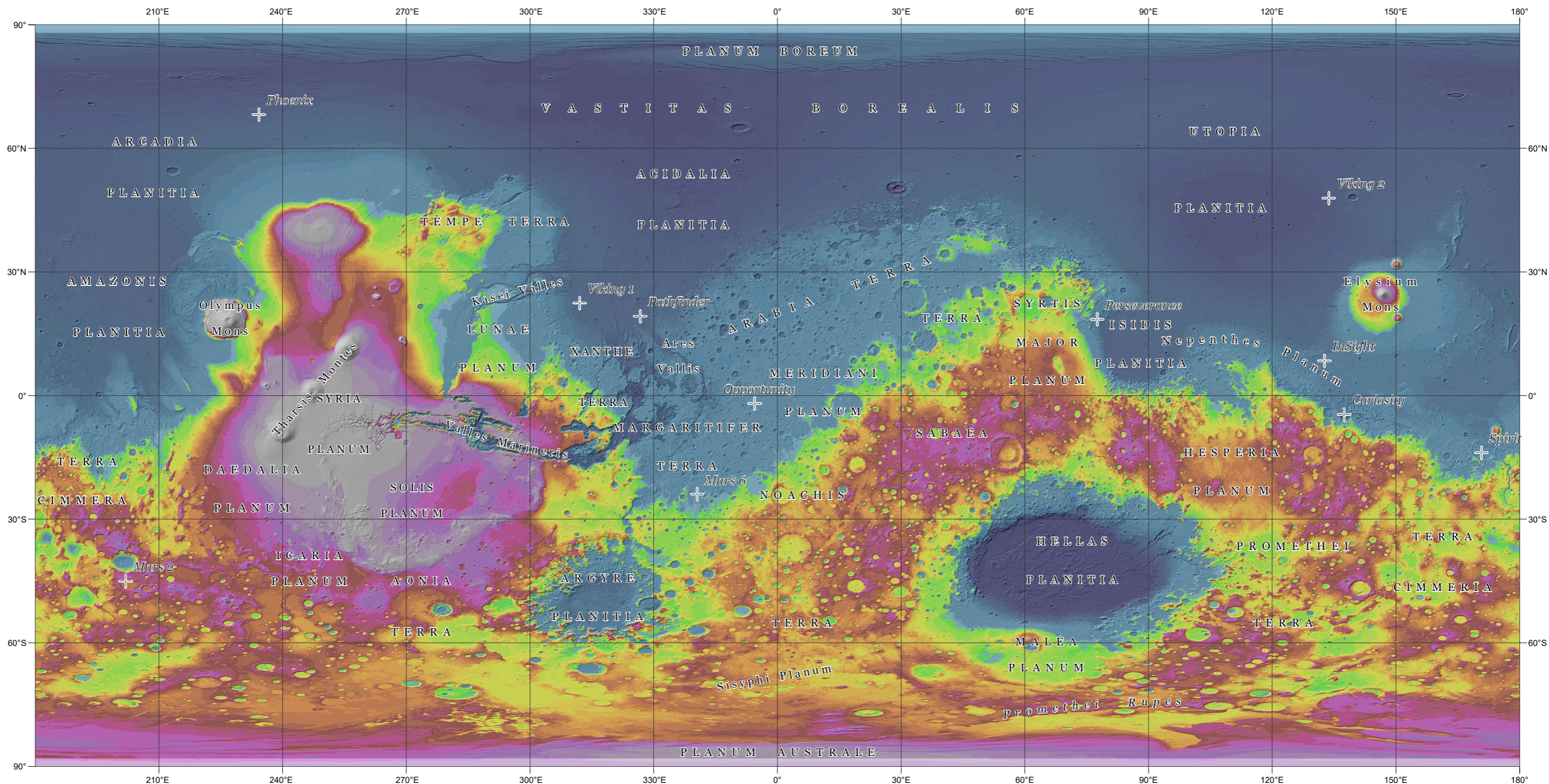
99. Talens, A.R. Escala gràfica. A: *GitLab* [en línia]. 2020. [Consulta: 6 juliol 2020]. Disponible a: <https://gitlab.com/escanyapobres/deteccio-compostos-quimics-en-mart/-/tree/master/Escala>.

100. Asimov, I. Lleis de la robòtica. A: *Wikipedia* [en línia]. [Consulta: 6 juliol 2020]. Disponible a: https://ca.wikipedia.org/wiki/Lleis_de_la_robòtica.

11.Cartografia

Adjuntem la cartografia realitzada per a este treball. L'ordre és:

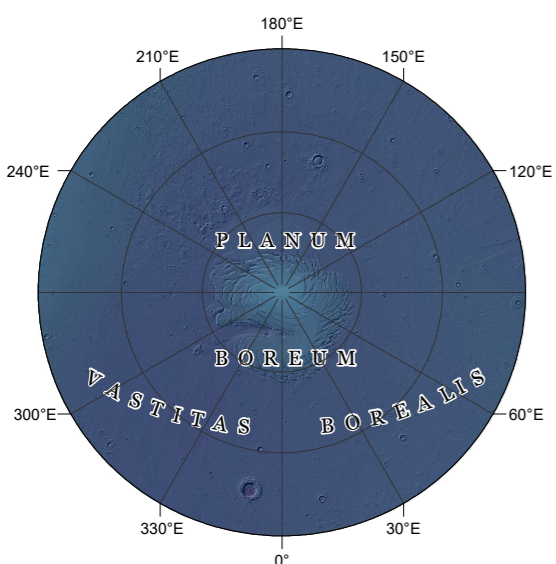
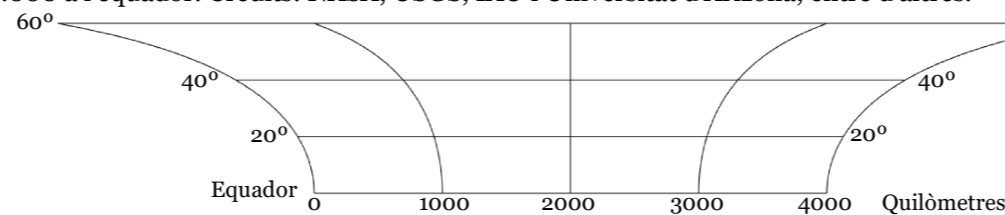
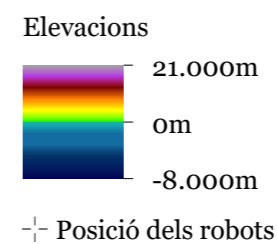
- Mapa de Mart.
- Mapa del cràter de Gale.
- Recorregut del MSL al cràter de Gale.
- Cràter de Gale: Composició FM2.
- Cràter de Gale: Composició MAF.
- Cràter de Gale: Composició PH2.
- Cràter de Gale: Composició HYD.
- Cràter de Gale: Composició CAR.



Mapa de Mart

per
Ausiàs Roch Talens

Este mapa representa l'altimetria el·lipsoidal a escala global del planeta roig. Les dades altimètriques s'han obtingut del Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA), instrument que hi anava a bord de la Mars Global Surveyor (MGS). Esta informació ha estat recollida entre els anys 1999 i 2001. Projectió cilíndrica equidistant (IAU2000:49910). L'el·lipsoide de referència és el Mars 2000 (IAU2000:49900). Escala 1:60.000.000 a l'equador. Crèdits: NASA, USGS, IAU i Universitat d'Arizona, entre d'altres.



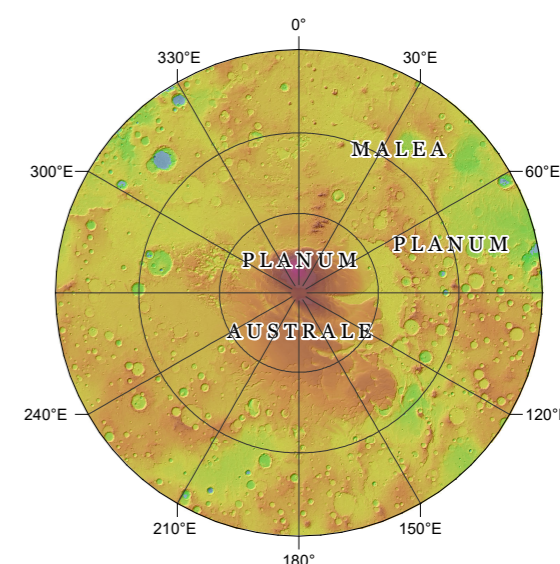
REGIÓ POLAR NORD
Projectió estereogràfica polar nord (IAU2000:49918)
Escala en el pol: 1:60.000.000
Escala a 70°: 1:55.000.000



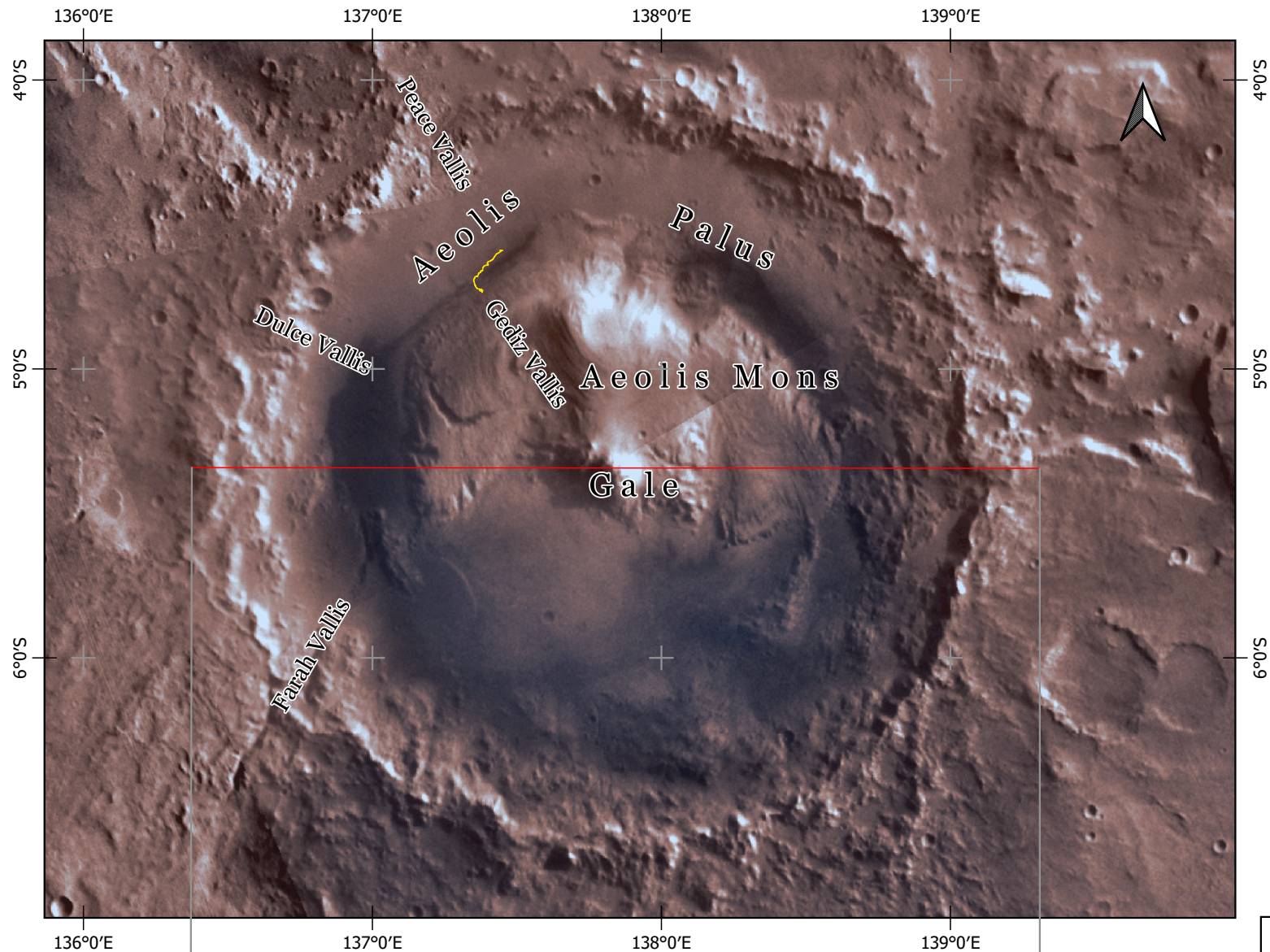
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



REGIÓ POLAR SUD
Projectió estereogràfica polar sud (IAU2000:49920)
Escala en el pol: 1:60.000.000
Escala a 70°: 1:55.000.000



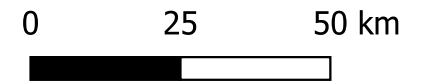
Cràter de Gale

per
Ausiàs Roch Talens

Mapa físic del cràter de Gale on va
amartitzar el MSL Curiosity el 6 d'agost de
2012.

Projecció cilíndrica equidistant
IAU2000:49910 amb l'el·lipsoide de
referència Mars 2000 IAU2000:49900.
Imatges captades per les sondes Viking.
Dades altimètriques del sensor MOLA, a
bord de la Mars Global Surveyor.
El model 3D compta amb una exageració
vertical d'un 5x, vista des del SO.
Crèdits: NASA i USGS, entre d'altres.

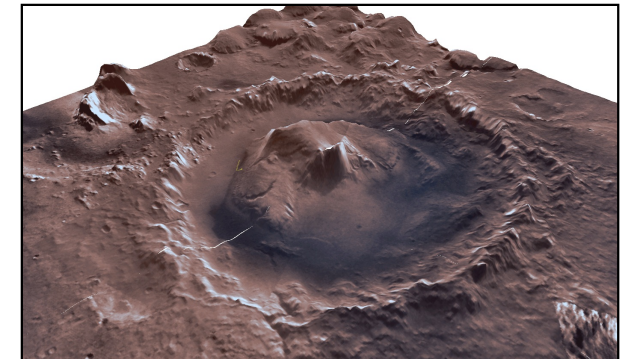
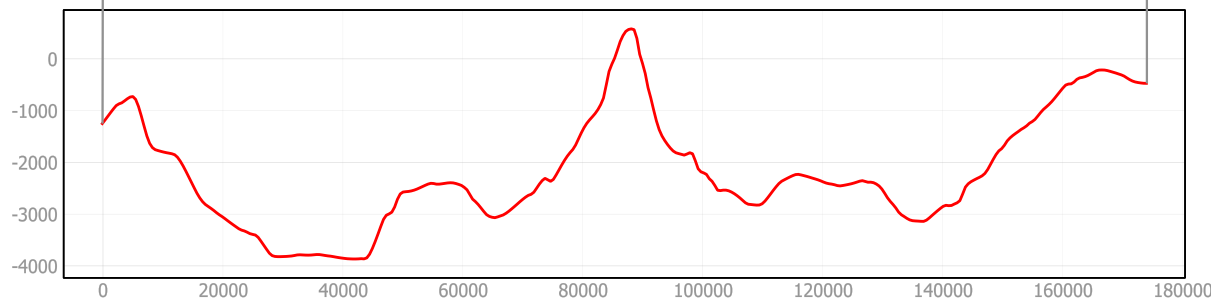
- Recorregut del MSL Curiosity
- Perfil oest-est

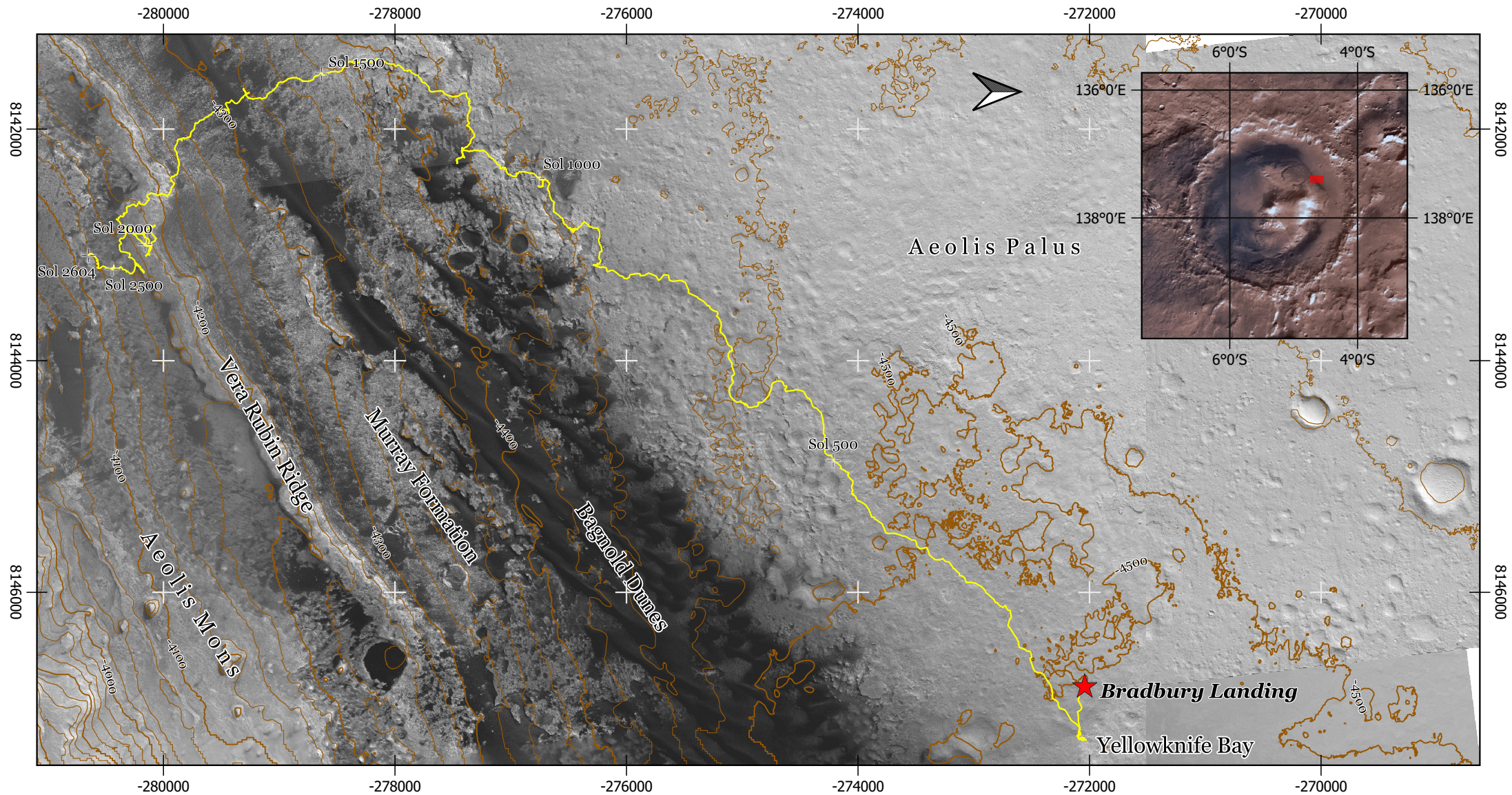


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA





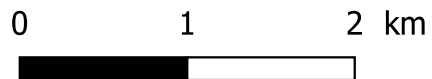
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Recorregut del MSL Curiosity al cràter de Gale

per
Ausiàs Roch Talens

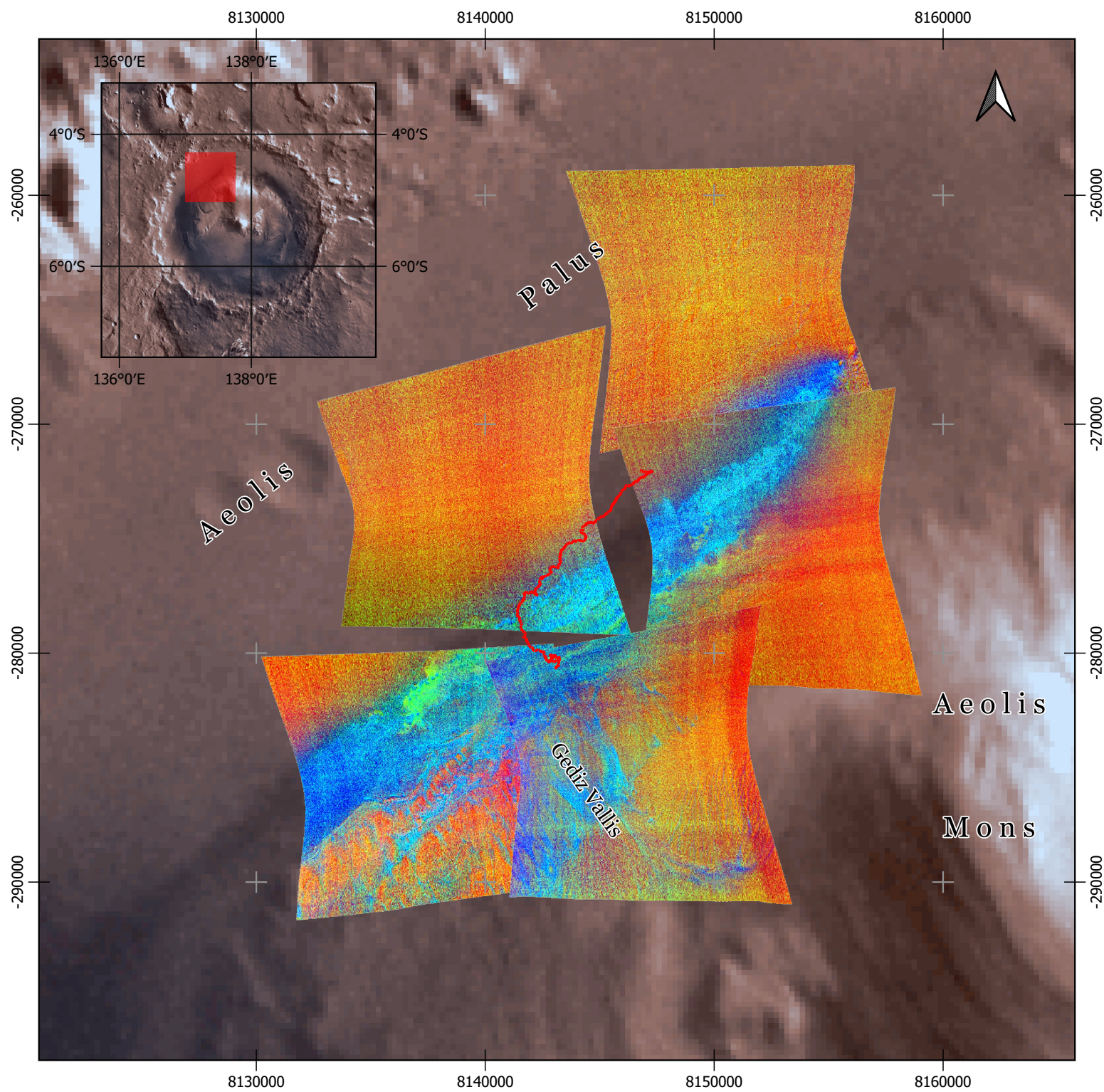


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



Recorregut del MSL Curiosity fins el 16 de març de 2020, sol 2604.
 Projecció cilíndrica equidistant IAU2000:49910 amb l'el·lipsoide de referència
 Mars 2000 IAU2000:49900.
 Imatges de situació de la sonda Mars Viking. Les imatges d'alta resolució
 pertanyen a l'instrument HiRISE, a bord de la Mars Reconnaissance Orbiter.
 Crèdits: NASA, USGS, Universitats d'Arizona i de Saint Louis, entre d'altres.

- Recorregut del MSL Curiosity
- ★ Lloc d'amartitzatge
- ⊕ Sols



Cràter de Gale Composició FM2

per
Ausiàs Roch Talens

Mapa amb la composició FM2 que reflexa l'abundància de compostos químics rics en ferro.

- Partícules fines amb òxid fèrric.
- Hematites.
- Combinació de les anteriors.
- Altres tipus de substàncies, potser siguen màfiques.
- Recorregut del MSL Curiosity

Projecció cilíndrica equidistant
IAU2000:49910 amb l'el·lipsoide de referència Mars 2000 IAU2000:49900.
Imatges captades per les sondes Viking.
Escala 1:23.500
Crèdits: NASA i USGS, CRISM science team, entre d'altres.

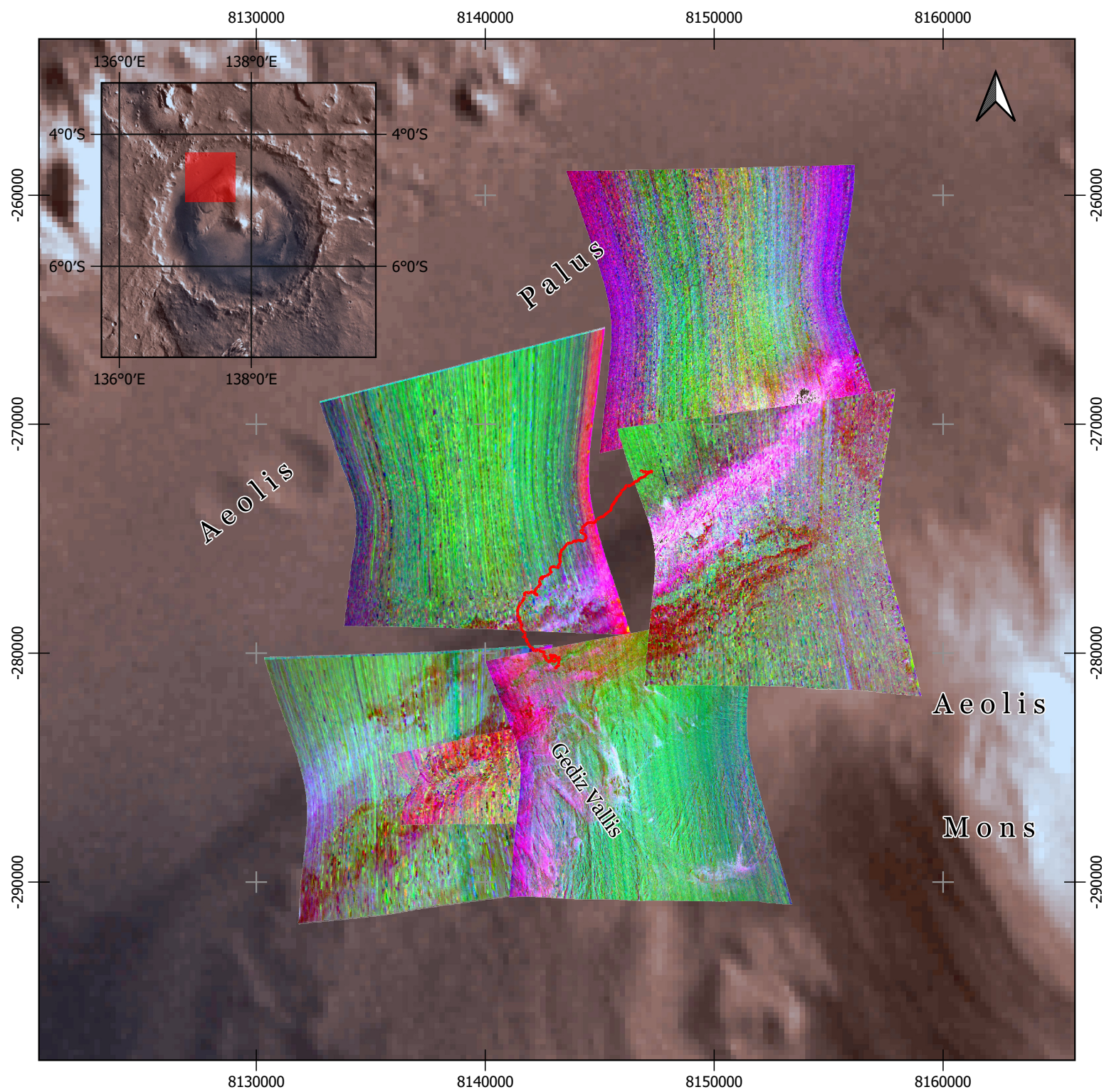
0 5 10 km



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



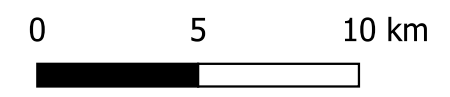
Cràter de Gale Composició MAF

per
Ausiàs Roch Talens

Mapa amb la composició MAF que reflexa l'abundància de roques màfiques (silicats o roques ígnies).

- Olivina
- Fil·losilicat ric en ferro.
- Piroxé pobre en calci.
- Piroxé ric en calci.
- Recorregut del MSL Curiosity

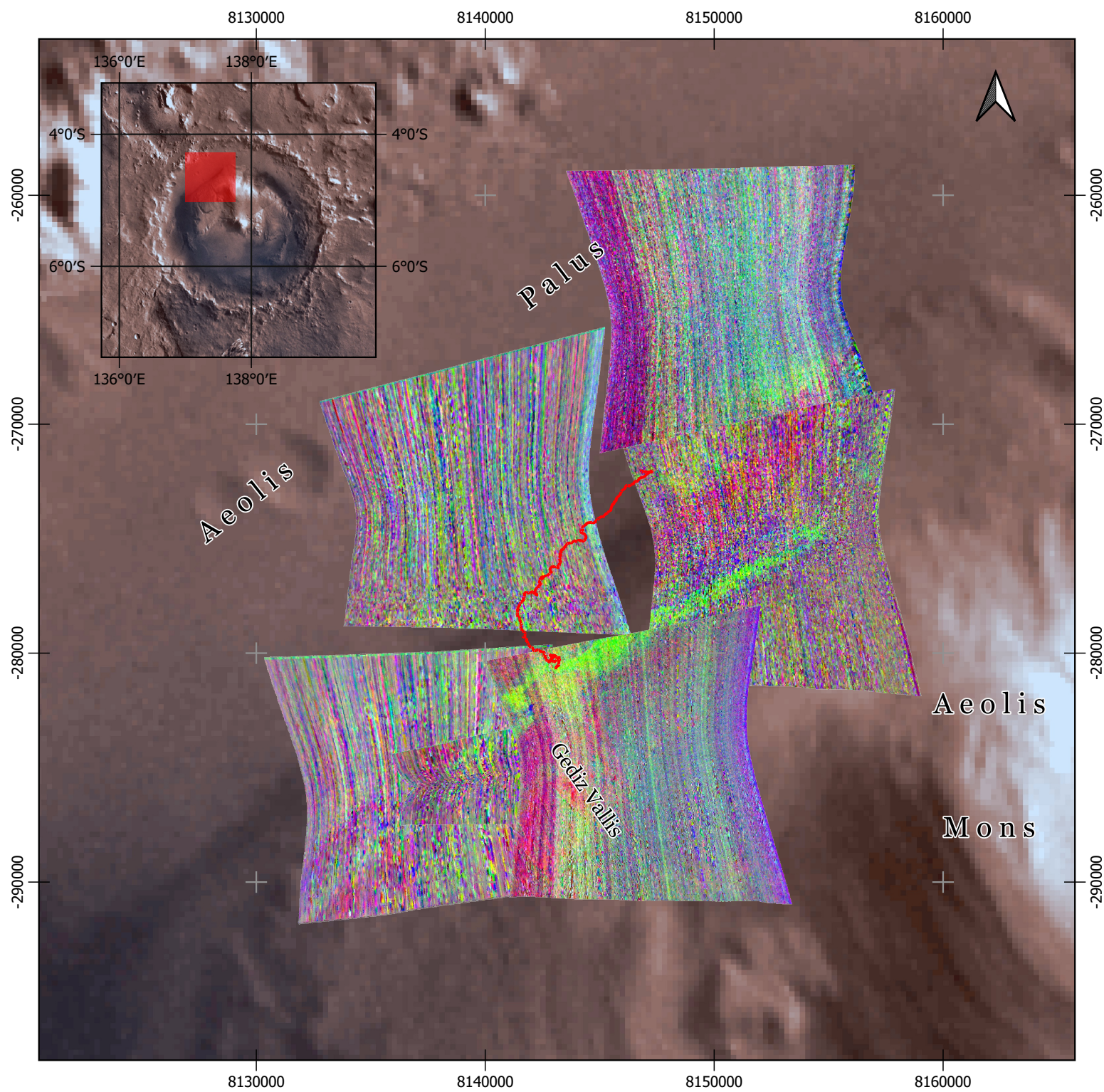
Projecció cilíndrica equidistant
IAU2000:49910 amb l'el·lipsoide de referència Mars 2000 IAU2000:49900.
Imatges captades per les sondes Viking.
Escala 1:23.500
Crèdits: NASA i USGS, CRISM science team, entre d'altres.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



Cràter de Gale Composició PH₂

per
Ausiàs Roch Talens

Mapa amb la composició PH₂ que reflexa l'abundància de fil·losilicats.

- Serpentina.
- Argila rica en magnesi o ferro.
- Argila rica en alumini.
- Recorregut del MSL Curiosity

Projecció cilíndrica equidistant
IAU2000:49910 amb l'el·lipsoide de referència Mars 2000 IAU2000:49900.
Imatges captades per les sondes Viking.
Escala 1:23.500
Crèdits: NASA i USGS, CRISM science team, entre d'altres.

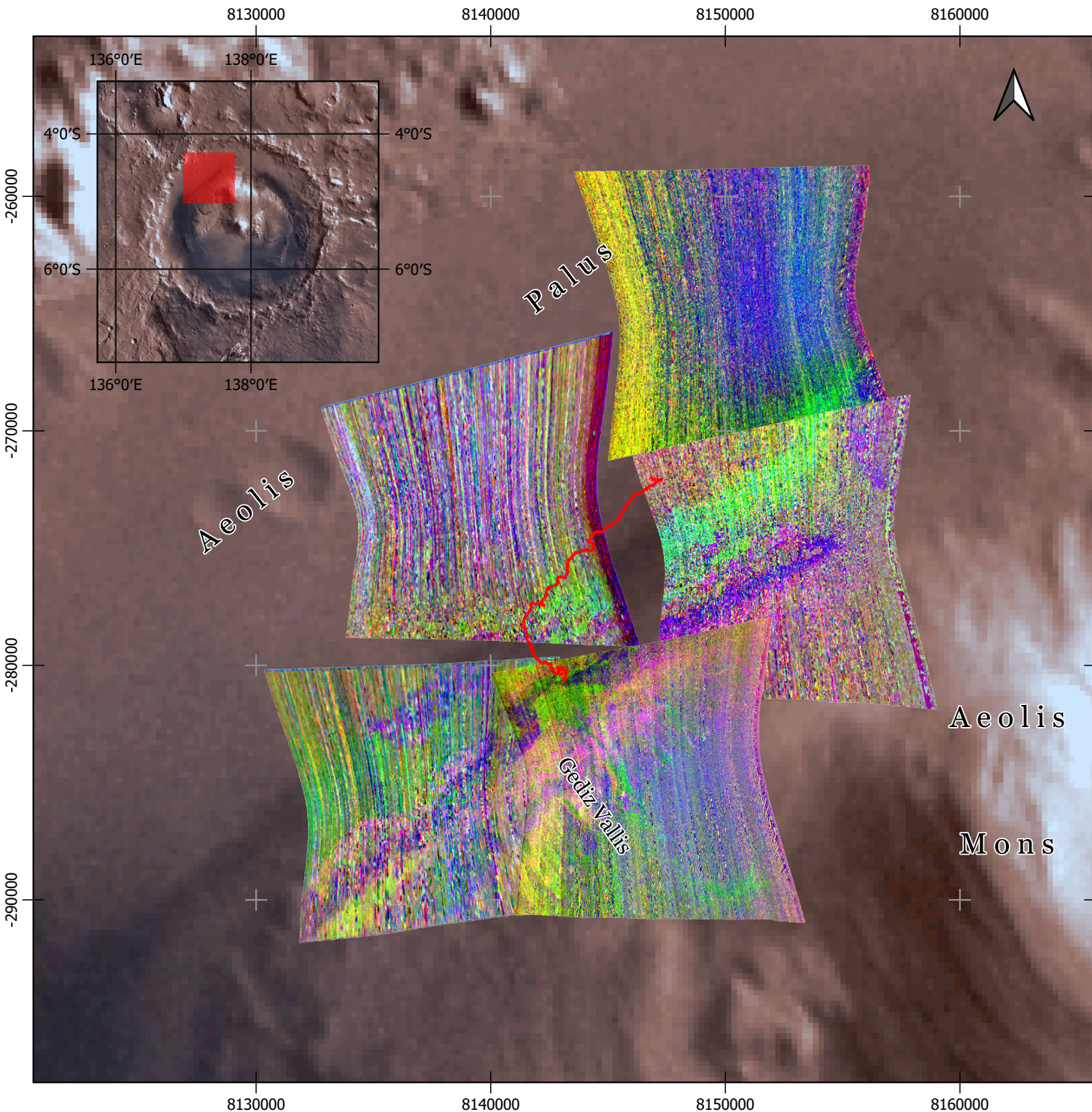
0 5 10 km



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



Cràter de Gale Composició HYD

per
Ausiàs Roch Talens

Mapa amb la composició HYD que reflexa l'abundància de sulfats hidratats.

- Sulfat polihidratat.
- Sulfat monohidratat.
- Altres minerals hidratats.
- Recorregut del MSL Curiosity

Projecció cilíndrica equidistant
IAU2000:49910 amb l'el·lipsoide de referència Mars 2000 IAU2000:49900.
Escala 1:23.500
Imatges captades per les sondes Viking.
Crèdits: NASA i USGS, CRISM science team, entre d'altres.

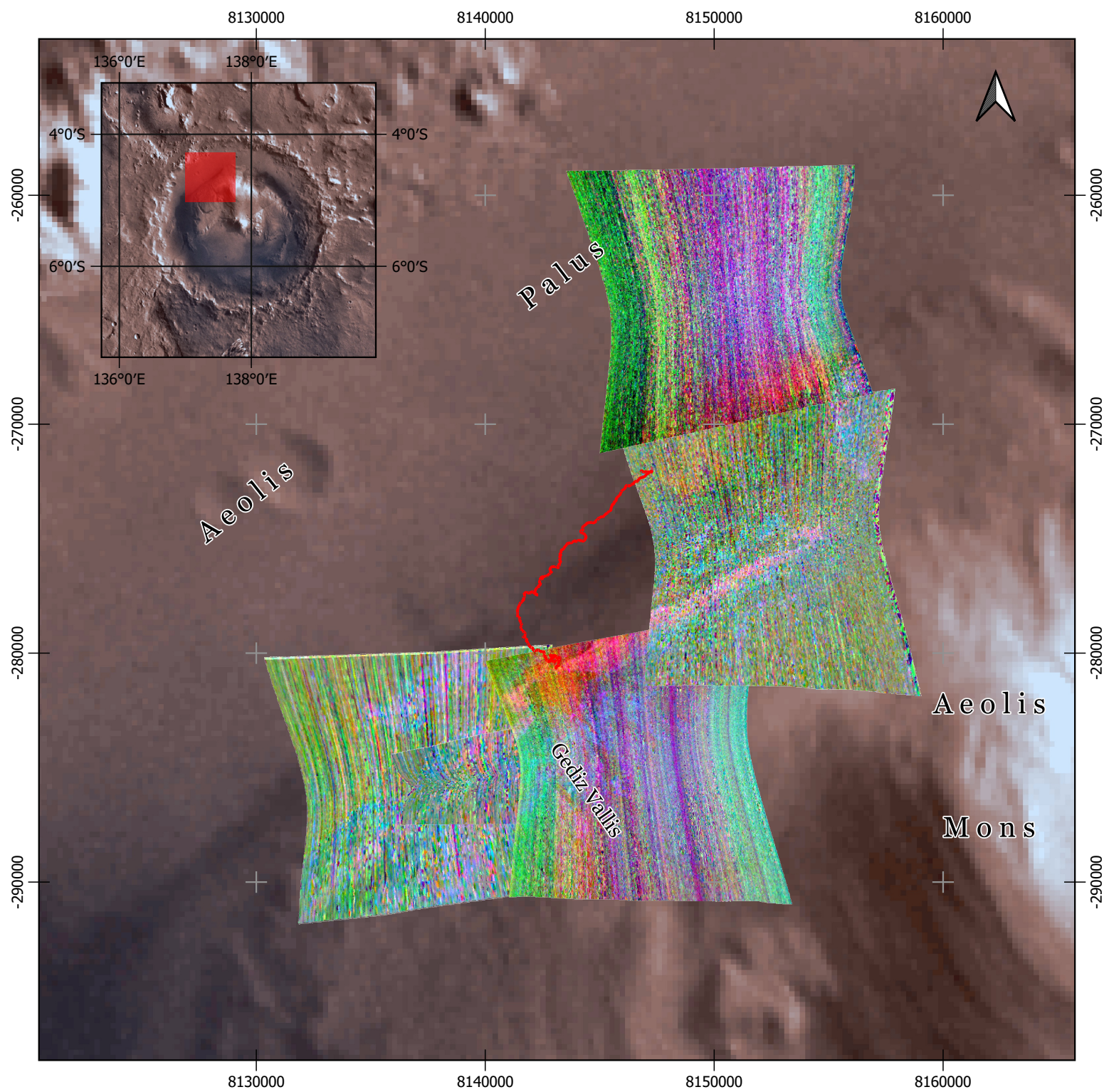
0 5 10 km



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA







ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



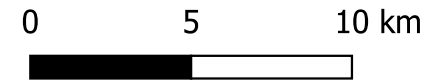
Cràter de Gale Composició CAR

per
Ausiàs Roch Talens

Mapa amb la composició CAR que reflexa l'abundància de carbonats.

-  Fil·losilicat hidratat ric en magnesi o ferro.
-  Carbonat hidratat ric en magnesi.
-  Altres minerals hidratats (argiles, sulfats...)
-  Recorregut del MSL Curiosity

Projecció cilíndrica equidistant
IAU2000:49910 amb l'el·lipsoide de referència Mars 2000 IAU2000:49900.
Imatges captades per les sondes Viking.
Escala 1:23.500
Crèdits: NASA i USGS, CRISM science team, entre d'altres.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

12. Annex

En els annexos incloquem informació rellevant per al lector que no s'ha adjuntat en el mateix document per no allargar-lo amb informació no fonamental.

12.1. Elaboració dels mapes

En este apartat esmentarem generalment com s'han elaborat els mapes d'este treball.

12.1.1. Mapa de Mart

Este mapa general mostra gràficament el relleu marcià amb un model digital del terreny acolorit. El mapa compta amb tres submapes; dos per als pols i un per a la totalitat del globus.

Primerament, s'ha de donar a conèixer que este mapa ha estat inspirat en el mapa geològic de Mart que realitzà el Servei Geològic dels Estats Units l'any 2014 (94).

Hem escollit mostrar un mapa del terreny de Mart en lloc d'una imatge visible. El motiu d'esta elecció és perquè visualment un mapa físic no aportaria massa informació, en canvi un MDT mostra clarament el relleu marcià.

12.1.1.1. Dades utilitzades

Per fer este mapa hem utilitzat les següents dades:

- Model digital del terreny: L'MDT global utilitzat està basat en més de 600 milions de mesures fetes per la MOLA (MGS) entre els anys 1999 i 2001. S'hi troben disponibles dues versions, una amb una resolució de 463m i una altra de 200m. A causa de limitacions computacionals s'ha optat per usar l'MDT de pitjor resolució (95).
- Sombrejat: Per millorar l'aspecte i donar una millor sensació de relleu s'ha superposat sobre l'MDT un sombrejat amb un sol a 335°.
- Nomenclàtor: El nomenclàtor marcià (49) utilitzat mostra els noms acceptats per la Unió Astronòmica Internacional. Tots estos noms estan en llatí, com és habitual en els astres que no són la Terra.
- Escala gràfica: L'escala gràfica per a la projecció cilíndrica equidistant ha estat elaborada amb MatLab, el codi es troba en les següents parts d'este annex.

12.1.1.2. Projeccions

Per a este mapa s'ha procurat fer ús de les projeccions normalitzades per la IAU i la NASA, és per això que les projeccions utilitzades són:

- El·lipsoide de referència marcià: Amb codi IAU2000:49900.
- Projecció equatorial (tot el globus): Projecció cilíndrica equidistant amb codi IAU2000:49910.
- Projeccions polars: Projeccions estereogràfiques polars amb codis IAU2000:49918 i IAU2000:49920, nord i sud, respectivament.

12.1.2. Mapes del cràter de Gale

Els mapes del cràter de Gale han fet servir les mateixes projeccions i nomenclàtor que el Mapa de Mart. Utilitzant de vegades, el recorregut del Curiosity, models digitals més precisos (67) o imatges descarregades del Mars ODE (48). A més a més s'ha utilitzat un WMS del centre d'astrogeologia de l'USGS (96). Alguns dels mapes han estat inspirats en imatges elaborades per la NASA (97).

12.2. Nomenclatura d'arxius

Alguns arxius utilitzats tenen una nomenclatura específica.

12.2.1. Arxius d'HiRISE

DTdps_XXXXXX_XXXX_YYYYYY_YYYY_inn.IMG

- **d** = Tipus de dades:
 - **E** = Elevacions.
 - **R** = Radis.
- **p** = Projeccions habituals:
 - **E** = Equirectangular.
 - **P** = Polar estereogràfica.
- **s** = resolució:
 - **A** = 0,25m.
 - **B** = 0,5m.
 - **C** = 1,0m.
 - etc.
- **XXXXXX_XXXX** = Número de l'òrbita i codi de l'observació del primer producte.
- **YYYYYY_YYYY** = Número de l'òrbita i codi de l'observació del segon producte.
- **i** = Lletra de la institució:
 - **U** = USGS
 - **A** = University of Arizona
 - **P** = Planetary Science Institute
- **nn** = Número de versió.

Per a les imatges d'alta resolució del HiRISE:

ppp_ooooo_tttt_fff.JP2

- **ppp** = Fase de la missió:
 - **TRA** = Fase de transició.
 - **PSP** = Fase científica primària.
 - **ESP** = Fase científica estesa.
- **ooooo** = Número d'òrbita de la MRO.
- **tttt** = Codi de l'objecte d'observació. Fa referència a l'angle d'observació respecte l'equador.

Exemples:

- 0000 = Equador (descens).
- 0900 = Pol sud.
- 1800 = Equador (ascens).
- 2700 = Pol nord.
- Altres.

- **fff** = Filtre o banda:
 - **RED** = Monobanda, banda roja.
 - **COLOR** = Imatge en fals color (R = IR-NIR, G = roig, B = blau-verd).

12.2.2. Arxius de CRISM

modxxxxxxxx_yy_clzzs_tttt.IMG

- **mod** = Mode d'observació:
 - **frt** = Màxima resolució.
 - **hrl** = Resolució mitjana.
 - Etc.
- **xxxxxxxx** = Identificador únic de l'observació de huit dígitos en codi hexadecimal.
- **yy** = Segment d'observació.
- **cl** = tipus de dades.
 - **if** = Unitats I/F.
 - **ra** = Radiància en el sensor.
 - Etc.
- **zzz** = Macroidentificador del producte.
- **s** = Sensor.
 - **s** = Espectre visible i infraroig proper.
 - **l** = Espectre infraroig.
 - **j** = Els dos anteriors junts.
- **tttt** = Producte.
 - **trr** = Imatges captades pel sensor sense corregir ni projectar.
 - **mtr** = Imatges corregides i projectades.
 - Etc.

12.3. Guions en Python i MatLab

Per últim, adjuntem uns guions escrits en Python i Matlab que han servit per resoldre alguns problemes. Estos guions també es troben al repositori de GitLab (44) (35):

12.3.1. Projeccions

Per a la generació de previsualitzacions de les projeccions:

→ Projecció equiàrea:

```
# Llibreries
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from mpl_toolkits.basemap import Basemap

# Generem el mapa base
fig = plt.figure(1, frameon=False)
m = Basemap(projection = 'cyl', llcrnrlon = -180, llcrnrlat = -90, urcrnrlon = 180,
            urcrnrlat = 90, resolution = 'l')

# Grossor dels meridians i els paral·lels
gl = 0.3

# Altres paràmetres del mapa
m.drawcoastlines(linewidth = 0.4)
#m.drawcountries(linewidth = 0.7)
m.drawparallels(np.arange(-90, 90, 30), linewidth = gl)
m.drawmeridians(np.arange(-180, 180, 30), linewidth = gl)

# Color dels continents
m.fillcontinents(color = 'lightgray')

# Guardem la imatge en .png o .svg
fig.savefig("PEA.png", dpi = 600)

# Mostrar
plt.show()

# Referències:
# https://matplotlib.org/basemap/api/basemap_api.html
# https://stackoverflow.com/questions/51394926/basemap-round-stereographic-plot-
# mapboundary-cropped
# https://matplotlib.org/basemap/users/graticule.html
```

→ Projecció polar nord (la sud és igual però canviant la latitud de la projecció):

```
# Llibreries
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from mpl_toolkits.basemap import Basemap

# Generem el mapa base
fig = plt.figure(1, frameon=False)
m = Basemap(projection = 'npstere', boundinglat = 0, lon_0 = 0, resolution = 'l', round =
            True)

# Grossor dels meridians i els paral·lels
gl = 0.3

# Altres paràmetres del mapa
m.drawcoastlines(linewidth = 0.4)
#m.drawcountries(linewidth = 0.7)
m.drawparallels(np.arange(-90, 90, 30), linewidth = gl)
m.drawmeridians(np.arange(-180, 180, 30), linewidth = gl)

# Extrems del mapa circulars
```

```

cercle = m.drawmapboundary(linewidth = gl, color = 'w')
cercle.set_clip_on(False)

# Color dels continents
m.fillcontinents(color = 'lightgray')

# Guardem la imatge en .png o .svg
fig.savefig("PSPN.png", dpi = 600)

# Mostrar
plt.show()

# Referències:
# https://matplotlib.org/basemap/api/basemap_api.html
# https://stackoverflow.com/questions/5139426/basemap-round-stereographic-plot-
mapboundary-cropped
# https://matplotlib.org/basemap/users/graticule.html

```

12.3.2. Vols virtuals

Codi per a la generació de vols virtuals sobre Mart:

```

# Importem llibreries
import cv2
import numpy as np
import os
from os.path import isfile, join

# Ruta on es troben les imatges
pathIn= 'C:/footage/'

# Eixida
pathOut = 'video.mp4'
# Imatges per segon
fps = 60

frame_array = []
files = [f for f in os.listdir(pathIn) if isfile(join(pathIn, f))]#for sorting the file
names properly

files.sort(key = lambda x: x[5:-4])
files.sort()

frame_array = []
files = [f for f in os.listdir(pathIn) if isfile(join(pathIn, f))]

#for sorting the file names properly
files.sort(key = lambda x: x[5:-4])

files.sort()

for i in range(len(files)):
    filename=pathIn + files[i]
    #reading each files
    print(filename)
    img = cv2.imread(filename)
    height, width, layers = img.shape
    size = (width,height)

    #inserting the frames into an image array
    frame_array.append(img)

out = cv2.VideoWriter(pathOut,cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v'), fps, size)
for i in range(len(frame_array)):
    # writing to a image array
    out.write(frame_array[i])
out.release()

```

12.3.3. Escala gràfica

Este codi genera una escala gràfica per a la projecció cilíndrica equidistant. S'ha calculat partint dels coneixements previs de cartografia matemàtica (98). També es pot trobar al repositori de GitLab (99):

```
clear all
format long
tic
% PROGRAMA PER MOSTRAR UNA ESCALA DEPENDENT DE LA LATITUD PER A LA PROJECCI
% CILINDRICA EQUIDISTANT. CAS PER A MART:
% https://spatialreference.org/ref/iau2000/49900/
a=3396190;
b=3376200;
R=(a+b)/2;
% Projecció projecció equirectangular
% https://en.wikipedia.org/wiki/Equirectangular_projection
syms phi;
syms lambda;
x=R*lambda;
y=R*phi;

% Derivades parcials
syms xp;
syms xl;
syms yp;
syms yl;

xp=diff(x,phi);
xl=diff(x,lambda);
yp=diff(y,phi);
yl=diff(y,lambda);

syms dphi;
syms dlamb;

% Coeficient de deformació k1
num=sqrt((xp^2+yp^2)*dphi^2+(xl^2+yl^2)*dlamb^2+2*(xp*xl+yp*yl)*dphi*dlamb);
den=sqrt(R^2*dphi^2+R^2*cos(phi)^2*dlamb^2);
k1=num/den;

% Fem els dibuixos al llarg de paral·lels.
% Paràmetres previs:
latmax=60/180*pi; % Latitud màxima de la gràfica. El HiRISE recomana gastar 60.
latmin=0; % Latitud mínima de la gràfica.

k1=subs(k1,dphi,0);
k1=subs(k1,dlamb,1);

% Corbes a la dreta
k11=@(phi) eval(k1);
k12=@(phi) (1/2*eval(k1));

% Corbes a l'esquerra
k14=@(phi) (-1*eval(k1));
k15=@(phi) (-1/2*eval(k1));

eix=@(x) x;
fig=figure;
hold on
% Dibuem corbes
fplot(k11,eix,[latmin,latmax],'k')
fplot(k12,eix,[latmin,latmax],'k')
fplot(k14,eix,[latmin,latmax],'k')
fplot(k15,eix,[latmin,latmax],'k')
fplot(0,eix,[latmin,latmax],'k')

% Dibuem rectes horitzontals
```

```

l0=0;
l1=20/180*pi;
l2=40/180*pi;
l3=60/180*pi;
plot([-k11(l0) k11(l0)], [l0 l0], 'k')
plot([-k11(l1) k11(l1)], [l1 l1], 'k')
plot([-k11(l2) k11(l2)], [l2 l2], 'k')
plot([-k11(l3) k11(l3)], [l3 l3], 'k')

axis([-2 2 0 latmax])
set(gca, 'XColor', 'none', 'YColor', 'none')
hold off
toc
    
```

12.4. Llistat de sigles acrònims

Llistat amb algunes sigles i acrònims importants.

Sigles	Nom en la llengua original	Significat
CAT	CRISM Analysis Toolkit	Ferramenta per processar imatges del CRISM.
CRISM	Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars	Espectròmetre o càmera hiperespectral a bord de la MRO.
FoV	Field of View	Angle o camp de visió.
FRT	Full Resolution Targeted	Imatge del CRISM en màxima resolució.
HiRISE	High Resolution Imaging Science Experiment	Càmera de molt alta resolució a bord de la MRO.
IAG	International Association of Geodesy	Associació internacional sobre la geodèsia.
IAU	International Astronomical Union	Associació internacional sobre astronomia.
IR	Infrared	Infraroig
KML	Keyhole Markup Language	Arxiu per emmagatzemar coordenades. Creat per Google.
Mars ODE	Mars Orbital Data Explorer	Portal de descàrregues d'informació de Mart.
MDT	Model Digital del Terreny	Simplificació digital del relleu d'una zona.
MGS	Mars Global Surveyor	Satèl·lit llançat per la NASA que actualment orbita Mart.
MOLA	Mars Orbital Laser Altimeter	Sensor de la MGS especialitzat en captar dades altimètriques.
MRO	Mars Reconnaissance Orbiter	Satèl·lit llançat per la NASA que actualment orbita Mart.
MSL	Mars Science Laboratory	Nom que rep la missió de la NASA que va consistir en enviar a mart el ròver Curiosity.
MTRDR	Map Targeted Reduced Data Record	Imatge del CRISM projectada i corregida.
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Agència encarregada d'assumptes relatius a l'espai i l'aeronàutica.

PDS	Planetary Data System	Portal d'informació de la NASA.
RDR	Reduced Data Record	Imatge del CRISM sense projectar ni corregir.
RGB	Red-Green-Blue	Combinació de bandes de colors utilitzada per les pantalles actuals.
SAM	Spectral Angle Mapper	Metodologia de classificació.
SHP	Shape file	Arxiu per emmagatzemar informació vectorial. Creat per ESRI.
UA	Unitat Astronòmica	Distància entre la Terra i el Sol.
USGS	United States Geological Survey	Servei Geològic dels Estats Units.
VNIR	Visible and Near Infrared	Part de l'espectre electromagnètic que comprén l'espectre visible i part de l'infraroig.
WKT	Well Known Text	Codi informàtic per definir projeccions i sistemes de referència.
WMS	Web Map Service	Servei de visualització d'imatges georeferenciades a través del web.

12.5. Terminologia

Llistat amb alguns termes més destacats.

Terminologia	Significat
<i>amartitzar</i>	Aterratge en Mart. Esta paraula no ha estat acceptada en el Diccionari Normatiu Valencià però sí en el Diccionario de la Real Academia de la Lengua.
<i>Ar</i>	Argó.
<i>atm</i>	Atmosfera. Unitat de pressió.
<i>banda</i>	Porció de l'espectre electromagnètic.
<i>CH₄</i>	Metà.
<i>CO</i>	Monòxid de carboni.
<i>CO₂</i>	Diòxid de carboni.
<i>easting</i>	Coordenada cartesiana en una projecció, normalment associada a la coordenada X.
<i>el·lipsoide</i>	Figura geomètrica que s'aproxima a la forma de la Terra o un altre cos celeste.
<i>esmectita</i>	Silicats d'alumini hidratats que poden contindre ferro, magnesi...
<i>fil·losilicat</i>	Silicats amb estructura tetraèdrica.
<i>gimbal</i>	Tipus del sistema del sensor en que este es mou per prendre la imatge.
<i>H₂O</i>	Aigua.
<i>hidratació</i>	Procés per el qual un compost integra una o més d'una molècules d'aigua a la seua estructura.

<i>imatge hiperespectral</i>	Imatge que conté un número de bandes molt nombrós.
<i>mons</i>	Muntanya.
μm	Micròmetre.
N_2	Nitrogen molecular.
<i>northing</i>	Coordenada cartesiana en una projecció, normalment associada a la coordenada Y.
O_2	Oxigen molecular.
<i>olivina</i>	Grup de minerals pertanyent a les roques ígnies. Amb fórmula $(Mg, Fe_{2+})_2[SiO_4]$
<i>Pa</i>	Pascal. Unitat de pressió del SI.
<i>palus</i>	Xicoteta plana en un altre planeta.
<i>planitia</i>	Plana.
<i>planum</i>	Plana.
<i>ròver</i>	Robot capaç de desplaçar-se per la superfície d'un altre planeta.
<i>rupes</i>	Penya-segat.
<i>serpentina</i>	Roca composta per minerals d'una classe de silicats.
<i>silicat</i>	Compost que conté silici i habitualment oxigen.
SO_2	Diòxid de sofre.
<i>sol</i>	Nom que rep un dia marcià.
<i>sulfat</i>	Són minerals que contenen l'ió sulfat (SO_4^{-2}) en la seua composició.
<i>terra</i>	Terra.
<i>vallis/valles</i>	Vall/valls.

Les tres lleis de la robòtica:

1. Un robot no pot fer mal a un ésser humà o, per inacció, permetre que un ésser humà es faça mal.
2. Un robot ha d'obeir les ordres dels éssers humans, excepte si entren en conflicte amb la primera llei.
3. Un robot ha de protegir la seua existència en mesura que esta protecció no entre en conflicte amb la primera o la segona llei.

- Isaac Asimov, *Jo, robot* (100).