

Data Analysis with images from Mars

Ortega, Jennifer. Gomez, Carla. Semprúm, Gerardo.*

*Escuela Politécnica Nacional , Universidad Simón Bolívar, Universidad Central de Venezuela.
Ecuador, Venezuela, Venezuela*

Versión α . 18 de Mayo de 2021.

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 2 |
| 2. Metodología | 3 |
| 3. El experimento y los resultados | 7 |
| 3.1. Análisis comparativo de cráteres en la superficie marciana. | 7 |
| 3.2. Filtrado por FFT. | 8 |
| 3.3. Segmentación. | 11 |
| 4. Conclusiones y Recomendaciones | 13 |
| 5. Referencias | 14 |

Resumen

Las exploraciones Marte a través de los Rovers Perseverance y Curiosity de la NASA, han captado gran cantidad de imágenes digitales, de la cuales se puede extraer mucha información del planeta rojo. Dichas imágenes han permitido la aplicación de diversos tipos de algoritmos para extraer información de ellas. Entre esos métodos en el presente reporte se manejan 3 análisis: Identificación de objetos por segmentación con el algoritmo de "Watershed", procesamiento digital de imágenes o filtrado por FFT (Transformadas de Fourier) y análisis comparativo de cráteres en la superficie marciana.

El procesamiento de la imágenes es una herramienta científica importante con aplicaciones en campos como la astrofísica, en el cual las imágenes digitales son una fuente de datos, y a partir de estas se pueden aplicar algoritmos para reconocer formas, medir tamaños, contar y medir densidades, también se pueden corregir para obtener visuales mas definidas. Todos los análisis de las imágenes fueron realizados en Python, implementando varias de sus librerías: PIL , Matplotlib, Numpy, OpenCV.

*e-mail: jennifer.ortegaaguilar@gmail.com, 10-11266@usb.ve, gsemp27@gmail.com

En los análisis mencionados se pudieron identificar rocas y cráteres mediante el uso de filtros pasa-alto y pasa-bajo (FFT) y análisis comparativos. El punto fuerte del trabajo, se centró en la segmentación de diferentes imágenes con el fin de identificar características de la superficie del planeta (partes del Rover, huellas, rocas en la superficie, hendiduras, superficies rocosas, sombras). La exploración y colonización de Marte, es un proyecto a futuro que es de interés para la humanidad, por lo tanto, es de gran importancia poder caracterizarlo mejor, para que a medida que pasé el tiempo se de un buen trabajo exploratorio.

1. Introducción

La observación es uno de los pilares de la investigación. Las imágenes son una fuente importante de información y con el avance de las tecnologías para la captación de imágenes estas pueden ser digitales. Las imágenes digitales están formadas por píxeles como su unidad mas pequeña pudiendo entonces representarse en forma de matrices numéricas cuyas entradas son los intensidades lumínicas de los píxeles y bajo este esquema a través de algoritmos de programación se pueden corregir, modificar y analizar como es el presente trabajo.

Las imágenes digitales son una fuente importante de datos en la astrofísica, y a partir de éstas se pueden aplicar algoritmos para reconocer formas, medir tamaños, contar y estimar densidades. A las imágenes de Marte obtenidas por los Rovers Curiosity y Perseverance se le aplicaron los siguientes procesamientos de imagen: segmentación , filtrado por FFT y comparación de elementos (cráteres).

El método de filtrado de imágenes por Transformada de Fourier (FFT) es uno de los mas usados por su sencillez y por mantener la información de la imagen completa, consiste en transformar la imagen un dominio temporal o espacial a un dominio de frecuencias en el cual la imagen pasa a estar formada por un conjunto de senos y cosenos con distintas frecuencias y amplitudes lo que permite aplicar filtros a conveniencia para afinar la imagen, ajustar contrastes o realizar algún análisis. Aplicando la FFT como funciones de las librerías Numpy y Opencv en Python, se pudo acentuar la delimitación de los bordes de los cráteres de la superficie de Marte.

Las imágenes de cráteres de Marte fueron estudiadas mediante un análisis comparativo para determinar su estado y características obteniendo una edad relativa entre los cráteres.

La segmentación consiste en separar e identificar regiones de la imagen que tienen características y propiedades similares. Es de importancia para reconocer objetos, tiene múltiples aplicaciones cotidianas como en el manejo de vehículos autónomos. Los resultados obtenidos con la aplicación de este algoritmo en Python fue la identificación de rocas, áreas rocosas y partes del Rover.

El presente trabajo final de cursos enmarcado dentro del proyecto LaConga Physics, tiene un aporte de aprendizaje al documentar la aplicación de cada uno de los métodos para el procesamiento de imagen anteriormente descritos.

2. Metodología

Las fotos de la superficie marciana que sirvieron como fuente de información fueron obtenidas de la página de la NASA [Ver referencias].

El análisis de cráteres se trabajó de forma teórica. Consistió en un procesamiento muy sencillo de las imágenes (obtener, recortar y ajustar) con el fin de hacer un comparativo teórico con las referencias obtenidas y poder estimar que clase de cráter se estaba observando (preservado, modificado o destruido). Esto sirvió como un anexo que complementó la profundidad de los otros análisis llevados a cabo. Analizar de esta manera la superficie en cuestión ofrece un primer entendimiento, sin embargo, es poco preciso y la información que se puede obtener de él es escasa.

Las transformadas de Fourier (FFT) resultaron en un método fácil y bastante completo de como analizar diferentes superficies. En sí, consiste en transformar la imagen en un barrido de frecuencias, para así aplicar diferentes filtros, consiguiendo un afinamiento, ajuste y una acentuación de las superficies identificables en la imagen. Se diseñó un filtro pasa-bajo LPF (Ver Figura 7), otro pasa-altos HPF y un filtro pasa bandas BPF, con el objetivo de poder resaltar protuberancias (como rocas, huellas del Rover, etc.) o hendiduras (como huecos, líneas en la tierra, fracturas en la superficie) presentes en la imagen

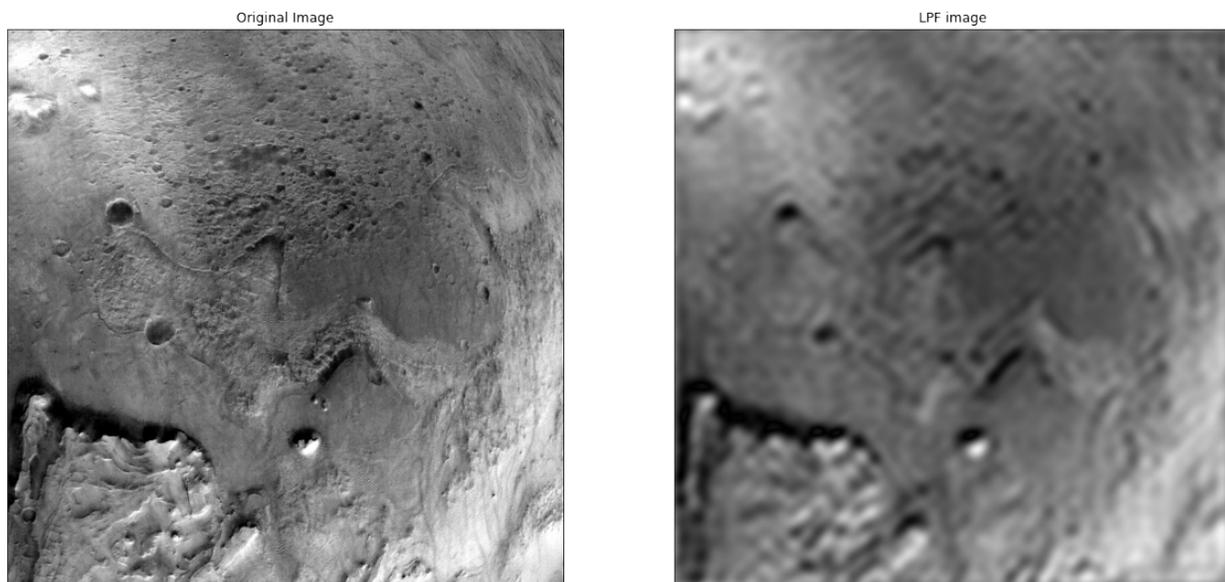


Figura 1: Izquierda Imagen Original , Derecha Imagen con LPF

La imagen en el dominio de las frecuencias se puede graficar y ver de la siguiente manera (Ver Figura 2) , en donde las zonas claras son las zonas de baja frecuencia, de acuerdo a la forma de estas imágenes se pueden ajustar los filtros como plantillas o mascarar que limiten el paso de determinadas frecuencias y permitan el paso de otras modificando la imagen original, para el caso de un BPF el

esquema es el siguiente (Ver Figura 9).

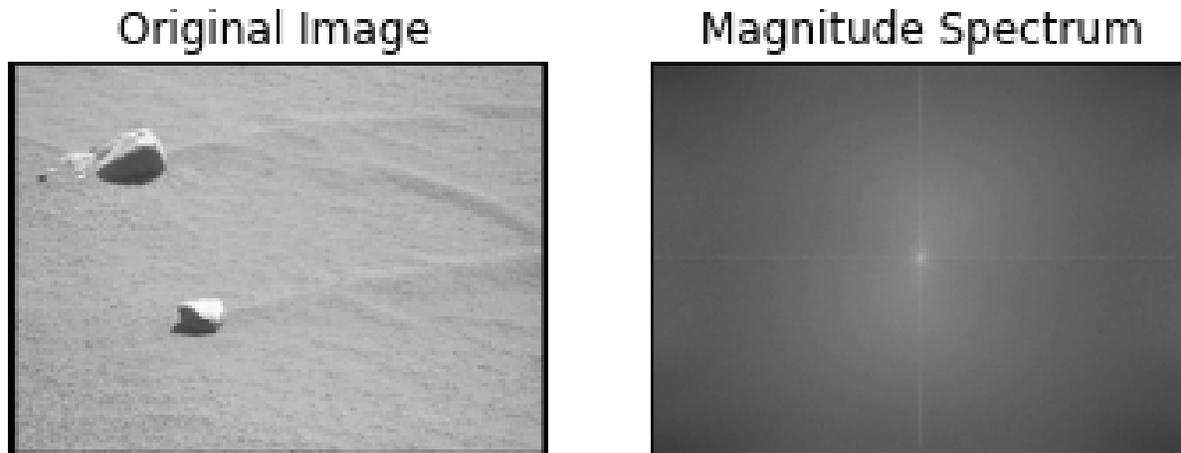


Figura 2: Izquierda Imagen Original , Derecha Imagen en el dominio de las Frecuencias

Es un método que puede ser usado para mejorar la calidad de la imagen, extraer información o ser un pre-procesamiento para obtener un resultado al que se le puedan aplicar otros procedimientos para aplicaciones mas específicas.

El método de filtrado por FFT permite dar un primer paso a entender mejor la topografía de la superficie y podría aprovecharse a gran escala y así servir como modelado de un mapeado de la superficie de Marte.

La parte con mejores resultados del proyecto, correspondió al análisis mediante segmentación, que consiste en dividir la imagen en partes y poder simplificar la data en algo mas fácil de interpretar (En este caso, diferentes contornos que fueron evaluados). Mediante el algoritmo de Watershed se visualizaron imágenes como si se tratara de una superficie topográfica.

En las imágenes digitales la unidad mínima son los píxeles. Para el procesamiento el algoritmo toma en cuenta los cambios bruscos de intensidades de los píxeles próximos y con esto identificar bordes.

Se implemento el comando Image (Libreria PIL) para adquirir la data visual necesaria. En caso de una imagen a color, se hizo un transformación a escala de grises mediante la multiplicación cada matriz (correspondiente a los canales rojo, verde y azul) por una constante definida.

La técnica de segmentación usada fue el "algoritmo de Watershed"[Ver referencias] que consiste en ver una imagen como una superficie topográfica, donde los valores de alta intensidad se relacionan

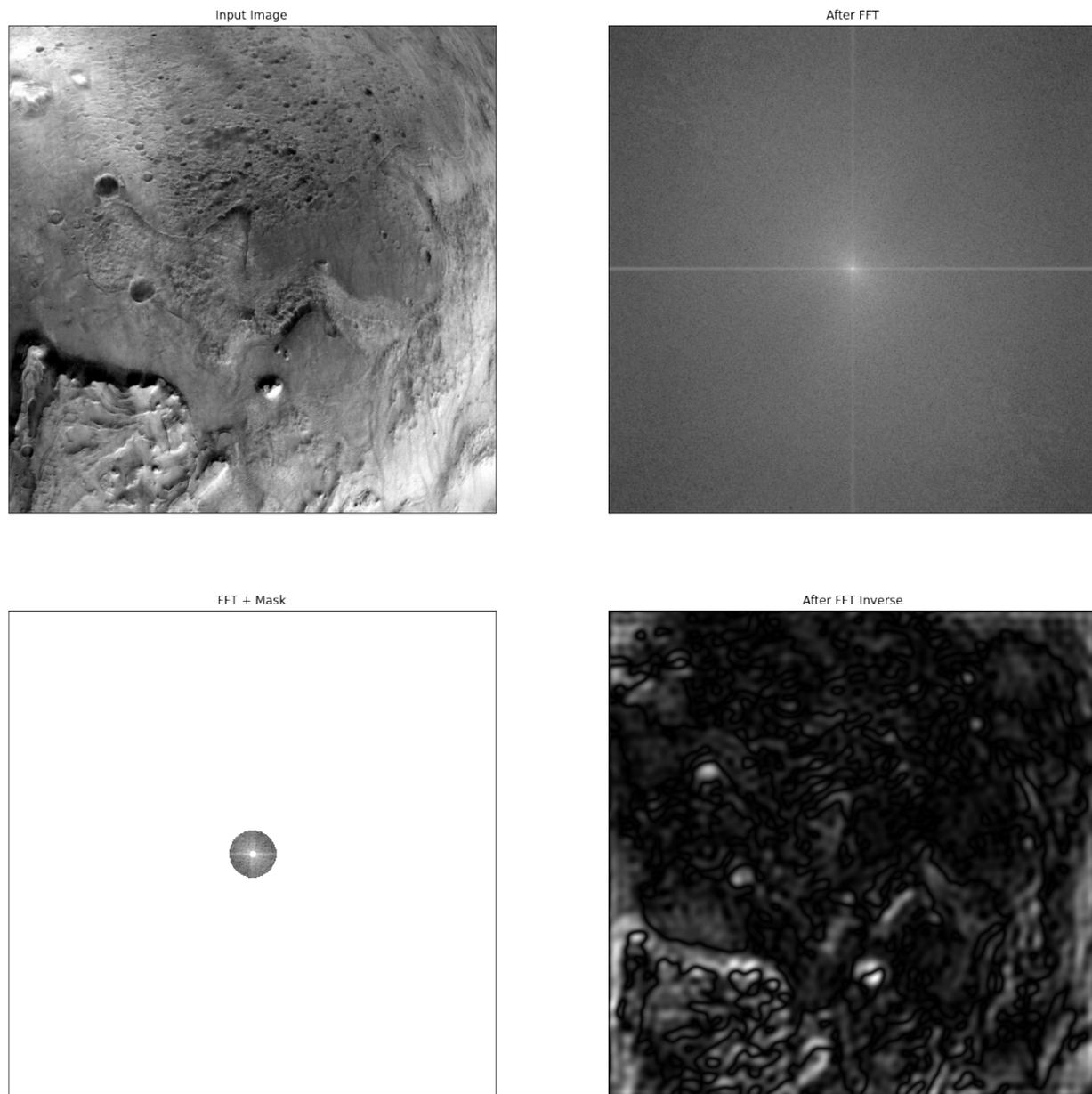


Figura 3: arriba: Izquierda Imagen Original , Derecha Imagen en el dominio de las Frecuencias, abajo: Izquierda : Plantilla pasa banda compuesta por dos circunferencias concéntricas, Derecha imagen luego de aplicar la transformada de Fourier Inversa

con picos y los de baja intensidad se representan con valles. Para buena suerte del estudio, la librería OpenCV (cv2) cuenta con una función `cv2.watershed()`. Dicha función, implementa marcadores

etiquetando la imagen en tres secciones:

- **Fondo:** Es una sección despreciable que se desea descartar.
- **Objeto:** Lo que reconocemos como objeto en la imagen (región de interés).
- **Desconocido:** Es una región que no se identifica ya que se desconoce que tipo de superficie sea, dicha región se etiqueta como cero "0".

El algoritmo retorna una matriz que corresponde a los limites del objeto.

Antes de definir los marcadores es necesario establecer un umbral para la segmentación, el umbral es el valor del píxel con el cual se hará una división de la imagen en dos zonas:

- Zona menor: Píxeles con valores menores al umbral.
- Zona mayor: Píxeles con valores mayores al umbral.

Para dar con el umbral es necesario realizar un histograma y así tener una cuantificación de los píxeles. (Ver Figura 4)

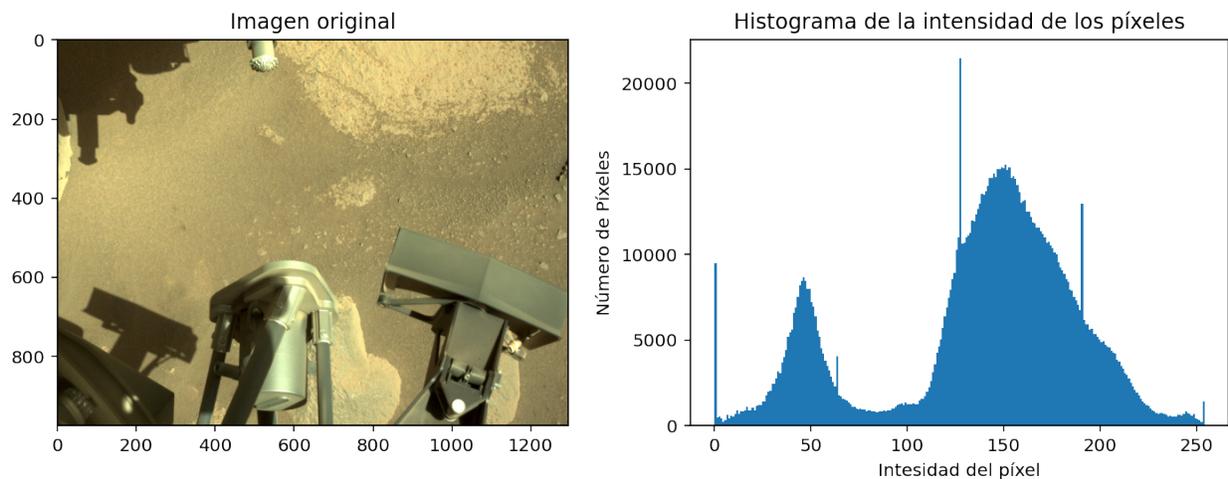


Figura 4: Imagen con su Histograma de intensidad de píxeles

Seguidamente se realizaba el cálculo de marcadores (mediante la función `cv2.threshold()`), que, dependiendo del umbral ingresado se genera una imagen de ceros y unos (identifica como "1" si el píxel supera el umbral, "0" en caso contrario).

Aplicación del algoritmo "Watershed": Encontrará los bordes dentro de la franja en donde no se tiene seguridad entre diferenciar que es fondo y que es objeto. El algoritmo logra segmentar la imagen, de acuerdo a los píxeles con menor luminosidad, que en este caso serían los que corresponden

a sombras, todos los píxeles con una luminosidad mayor los considera fondo. El algoritmo depende del umbral y del tipo de threshold que se le asigne, además del parámetro que determina la anchura de la banda donde se aplicará el algoritmo Watershed ($0.1 \times \text{dist-transform.max}()$), estos parámetros pueden ser modificados y así se podrán segmentar otros objetos, como rocas, aunque esto puede ser una tarea muy difícil ya que las rocas tienen casi el mismo tono de gris en las imágenes que el fondo (suelo).

3. El experimento y los resultados

EL trabajo realizado es un procesamiento de imágenes con 3 análisis realizados en Python.

- Análisis comparativo de cráteres en la superficie marciana.
- Filtrado por FFT.
- Segmentación con el algoritmo de "Watershed".

3.1. Análisis comparativo de cráteres en la superficie marciana.

Según la referencia obtenida el cráter 1 (marca en rojo) puede ser considerado un cráter bastante antiguo, ya que ha perdido su forma y se ha sido llenado casi completamente por sedimento, además de que su anillo está muy deformado, en el pasado pudieron haber sido cráteres separados que con el tiempo y la erosión dieron paso a esa forma. El cráter 2 correspondería con la descripción de un cráter modificado, dicho cráter tendría una edad media (menor al cráter 1), ha sido cambiado por la erosión (viento, agua o impactos que haya sufrido). Observamos que parte de su anillo se ha perdido y parte de su interior ha sido llenado con sedimento.

Al estar el cráter 2 cubriendo una pequeña parte del cráter 1 podemos asegurar que el cráter 1 es más antiguo. El cráter 3 también será considerado como un cráter modificado (igual que el cráter 2), sin embargo, no se observa que la erosión lo haya afectado en igual manera por lo que podría ser más joven que el cráter 2. El cráter 4 es un cráter preservado, conserva un anillo casi perfecto por lo que sería el más joven de este grupo seleccionado (Ver Figura 5).

Siguiendo la línea de (*) dibujada en azul es posible reconocer un canal que podría significar la presencia de agua en dicha zona de estudio, llegamos a esta conclusión ya que el camino recorrido parece la ruta seguida por un pequeño flujo de agua que se secó. (Ver Figura 6)

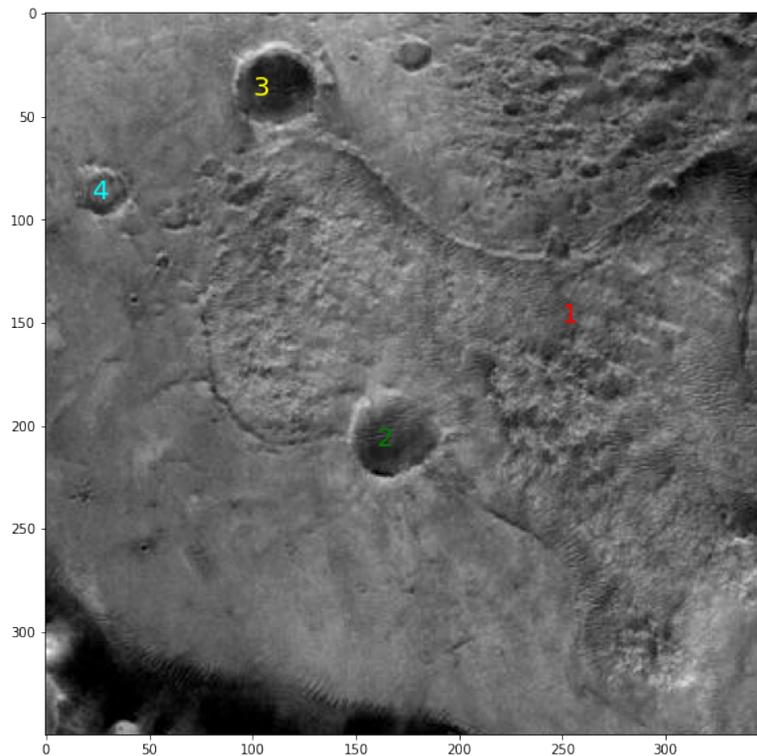


Figura 5: Cráteres identificados en la superficie de Marte

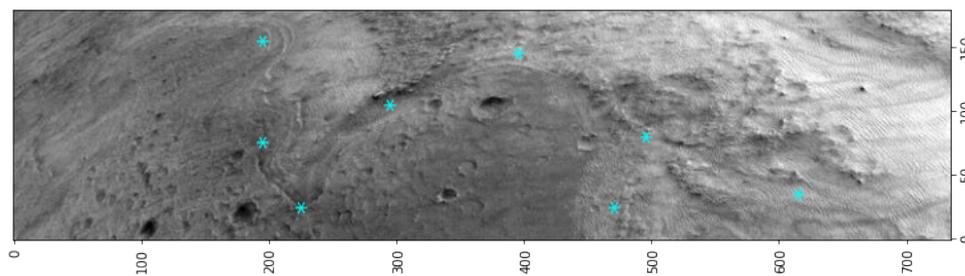


Figura 6: Cráteres identificados en la superficie de Marte

3.2. Filtrado por FFT.

Se logró un filtrado en varias imágenes, haciéndolo mediante los filtros descritos en la metodología. El filtro pasa-bajos (LPF) cumple con la función de suavizar la imagen (Ver Figura 7), en el caso del filtro pasa-altos (HPF) amplificó los relieves según las frecuencias requeridas (Ver figura 8).

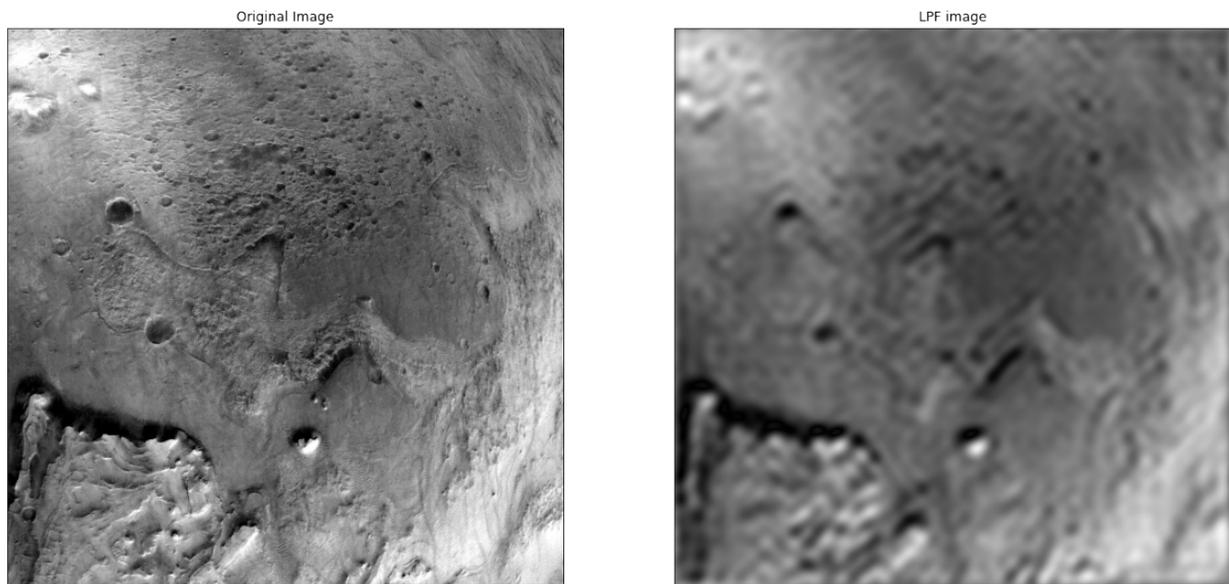


Figura 7: Izquierda Imagen Original , Derecha Imagen con LPF

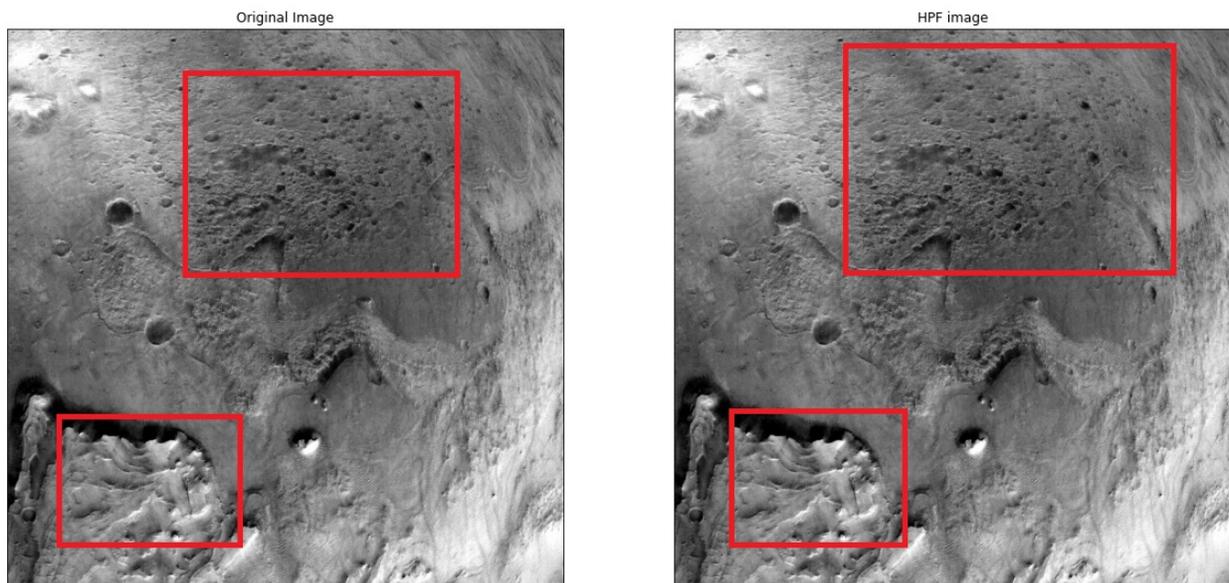


Figura 8: Izquierda Imagen Original , Derecha Imagen con HPF

Para acentuar más los bordes se realizó un filtro pasa bandas BPF, con una máscara compuesta de dos círculos circunscritos, siguiendo el esquema a continuación (Ver Figura 8)

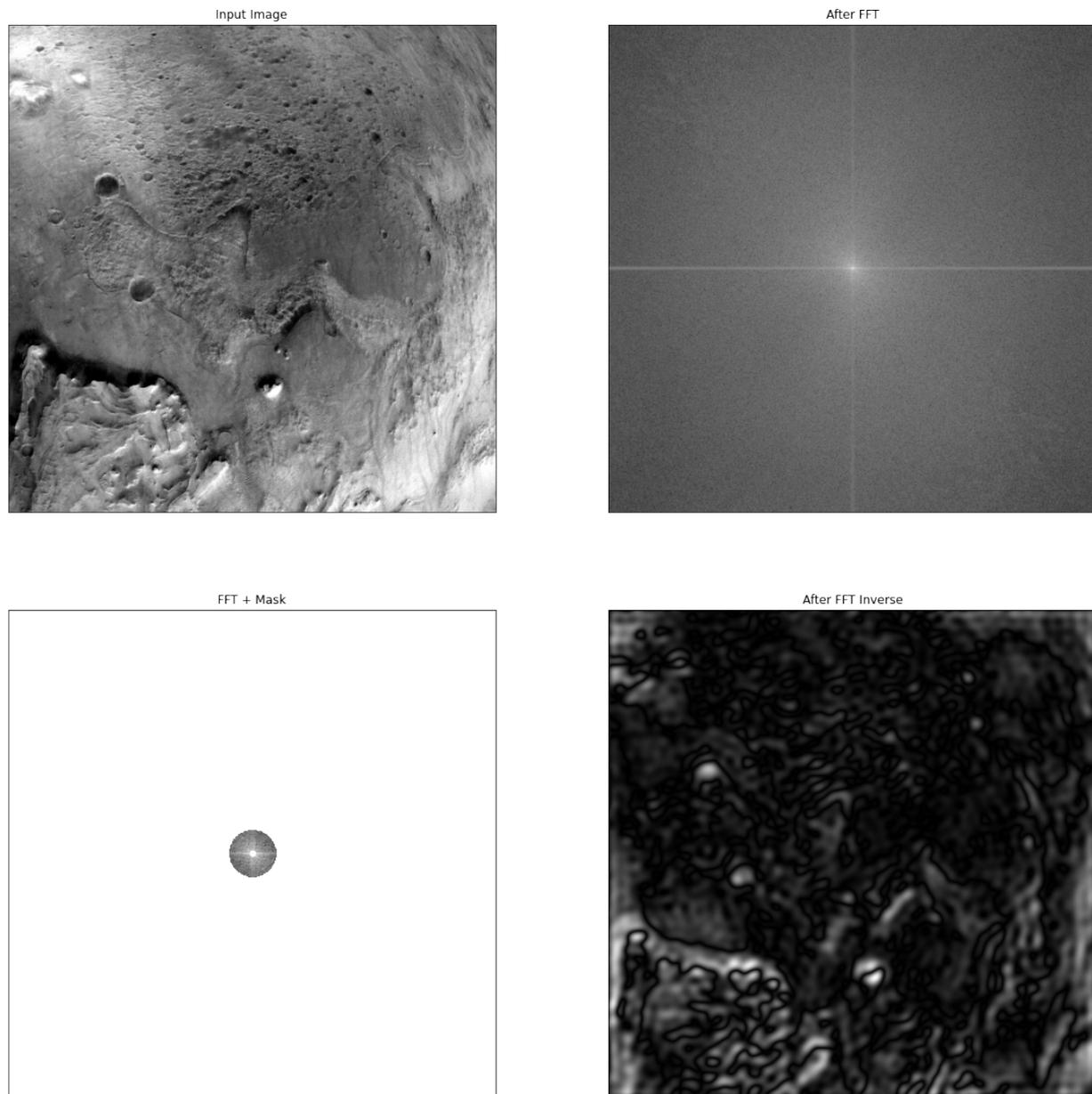


Figura 9: arriba: Izquierda Imagen Original , Derecha Imagen en el dominio de las Frecuencias, abajo: Izquierda : Plantilla pasa banda compuesta por dos circunferencias concéntricas, Derecha imagen luego de aplicar la transformada de Fourier Inversa

El filtro BPF tambien puede ser aplicado para identificar objetos (Ver Figura 8)

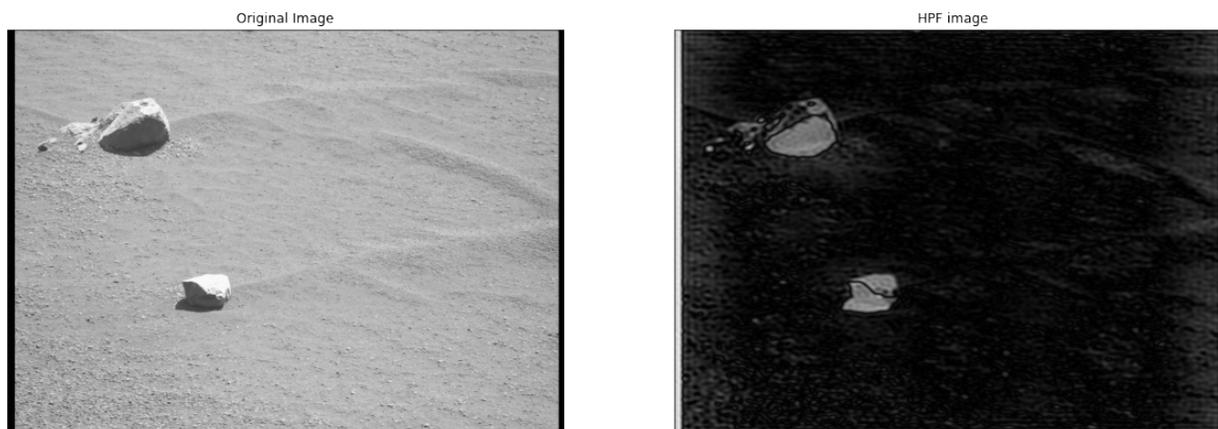


Figura 10: Izquierda imagen origina, Derecha: imagen tras aplicar el BPF

3.3. Segmentación.

Esta sección consistió en aplicar el algoritmo descrito en la metodología para diferentes imágenes (Umbral, marcadores y segmentación) (Ver figura 11). y con diferentes parámetros para estudiar el funcionamiento y la validez del algoritmo para segmentar diferentes objetos en la imagen, el objetivo principal fue intentar agrupar regiones con características similares para identificar rocas, huellas y partes del Rover, características de la superficie, el horizonte, etc. (Ver Figuras 12,13).

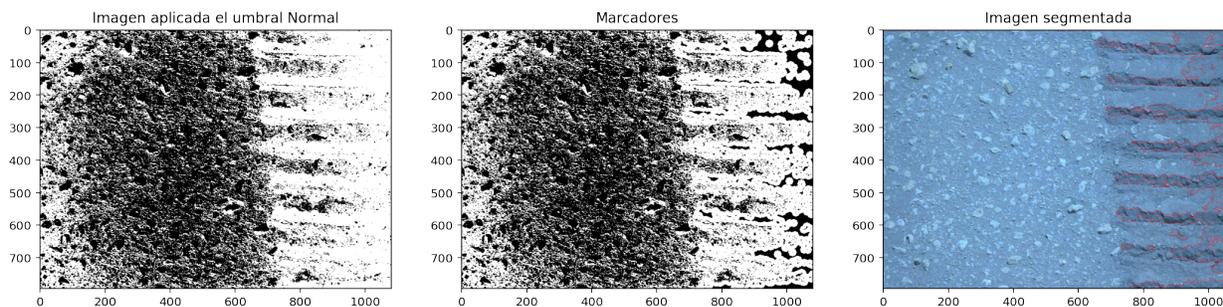


Figura 11: Umbral, marcadores y segmentación de la huella del Rover

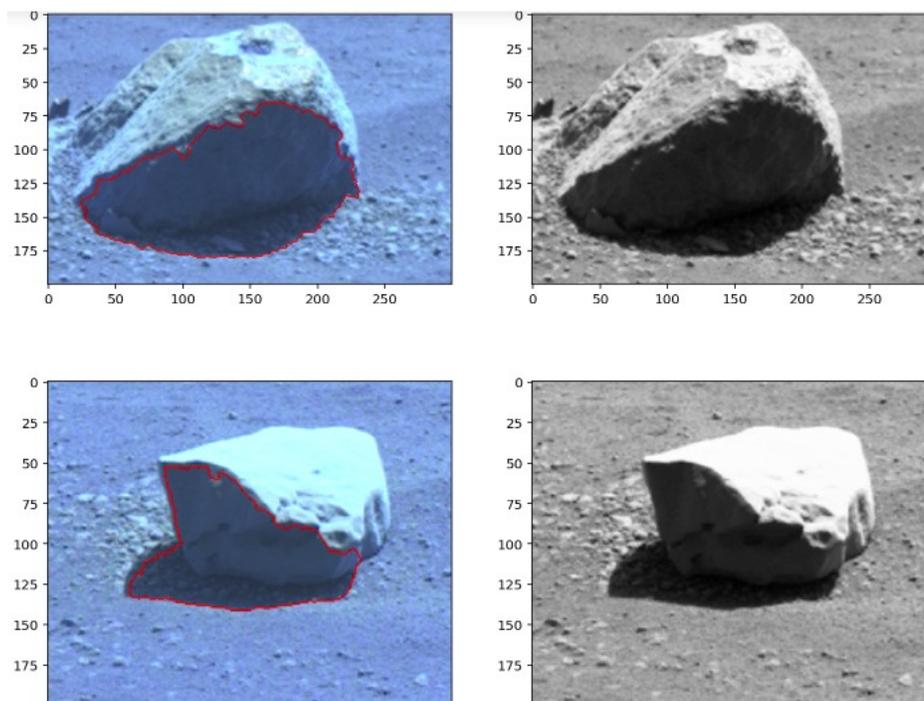


Figura 12: Comparación entre imagen original y bordes segmentados de rocas marcianas

La importancia resultaba en la intensidad de los píxeles ya que eso influyó directamente en el umbral y marcadores que podían ser aplicados a estos. Imágenes que contenían píxeles de intensidades muy cercanas resultaron difíciles de procesar debido que para el algoritmo no podía delimitar una zona óptima. Para casos distintos, la segmentación resultó ser satisfactoria, identificando con un contorno rojo diferentes características de la superficie marciana. (Ver figura 13).

Al juntar los resultados obtenidos de cada apartado de los anteriormente mencionados, conseguimos una buena aproximación topográfica de partes específicas del suelo marciano. Siguiendo esta lógica y ordenando de forma secuencial la data suministrada por los Rovers (Imágenes) sería posible generar un mapa de la superficie de Marte, o por lo menos, un primer aproximado aceptable.

Los algoritmos aplicados cumplen con la limitación de ser elementos de procesamiento para una poca cantidad de imágenes, ya que dependen de manipulación directa del usuario para llevarse a cabo y obtener un resultado. El método de segmentación es muy susceptible a la intensidad de píxeles, por lo que, una foto de un área muy grande, podría ser complicada de procesar. Toda esta problemática podría reducirse, automatizando y consiguiendo desarrollar un software más pesado y completo que pueda manejar mayor cantidad de datos con poca intervención del usuario.

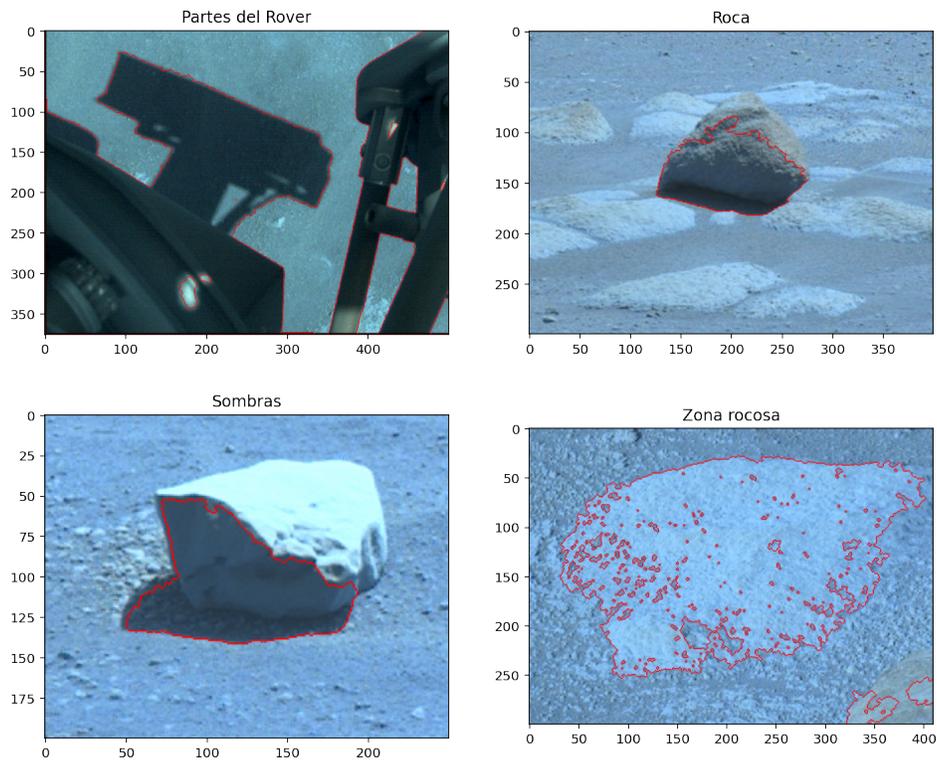


Figura 13: Delimitación de bordes color Rojo, Segmentación.

4. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis en cuestión sirve como piloto para realizar una caracterización topográfica de la superficie marciana a pequeña escala. Al ser Marte, un objeto de estudio con bastante auge, las caracterizaciones de este tipo son importantes y necesarias para conocer la evolución que ha sufrido el planeta durante décadas y para tener una imagen bien aproximada de lo que ocurre en dicha superficie y como se comporta.

- Juntar los tres análisis realizados resulta en una caracterización bastante completa y a la vez simple de la superficie de Marte.
- Como una recomendación, se podría hacer un algoritmo combinando con el filtrado de imagen por FFT y la segmentación, al aplicar un realce de bordes con filtros pasa-banda u específicos para la imagen a tratar, esto resultaría en muestra condicionada para tener mejores resultados al aplicar la segmentación.
- Python es un lenguaje de programación muy completo y amplio con posibilidad de aplicaciones en distintos campos, sus librerías PIL, Opencv para el procesamiento de imágenes, junto con

Numpy y las funciones integradas para FFT y algoritmos de Watershed permitieron aplicar a las imágenes de la investigación los análisis propuestos.

5. Referencias

- Cameras. (2019, August 20). Retrieved from <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/cameras/science-cameras>
- Fundamentos básicos del procesamiento de imágenes. (n.d.). Retrieved from <https://www.famaf.unc.edu.ar/pperez1/manuales/cim/cap2.html>
- Karsli, F., Dihkan, M. (2013). An image analysis method to detect CSD on rocks with adjusted color images. *Sensor Review*, 33(4), 323-340. doi:10.1108/sr-08-2012-686
- Leger, P., Deen, R., Bonitz, R. (n.d.). Remote Image Analysis for Mars Exploration Rover Mobility and Manipulation Operations. 2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. doi:10.1109/icsmc.2005.1571263
- Li, J., Zhang, L., Wu, Z., Ling, Z., Cao, X., Guo, K., Yan, F. (2020). Autonomous Martian rock image classification based on transfer deep learning methods. *Earth Science Informatics*, 13(3), 951-963. doi:10.1007/s12145-019-00433-9
- Thompson, D., Niekum, S., Smith, T., Wettergreen, D. (2005). Automatic detection and classification of features of geologic interest. 2005 IEEE Aerospace Conference. doi:10.1109/aero.2005.1559329
- Mars Image Analysis,
https://mars.nasa.gov/files/msip/independent/Meeting23/MarsUncoveredSGV14.pdf
- Mars Image Analysis.
https://mars.nasa.gov/files/mep/MarsImageAnalysispowerPoint6.pdf