

Cálculo del limbo lunar

Sergio Díaz, Grupo de Cálculo Astronómico FAAE

Introducción

El proyecto consiste en el cálculo del relieve del limbo lunar para cualquier instante dado, con aplicación directa en el cálculo de ocultaciones lunares, usando un enfoque de computación paralela basado en GPU (Graphics Processing Unit). En particular, se emplea la librería [cupy](#) de python.

La topografía lunar a usar es la del levantamiento digital (DEM, *Digital Elevation Model*) del LRO (*Lunar Reconnaissance Orbiter*), en particular el basado en el instrumento LOLA (*Lunar Orbiter Laser Altimeter*). Los datos, ya reducidos e interpolados a una rejilla regular (512 píxeles/°), están disponibles en la [web del PDS \(Planetary Data System\) de la NASA](#).

Fase 1: cálculo de la banda de libraciones

El primer paso es extraer del DEM la banda en la que se producen las libraciones, ensanchándola varios grados para dar margen suficiente al cálculo del limbo real, figura 1. El resultado es el DEM de interés para este proyecto, figura 2, y al ser un único fichero, facilita el acceso a los datos de relieve para los cálculos del limbo de la fase siguiente.

Este cálculo sólo ha de realizarse una vez, y una vez obtenido el DEM de la banda de libraciones, ya se pueden descartar los ficheros DEM originales.

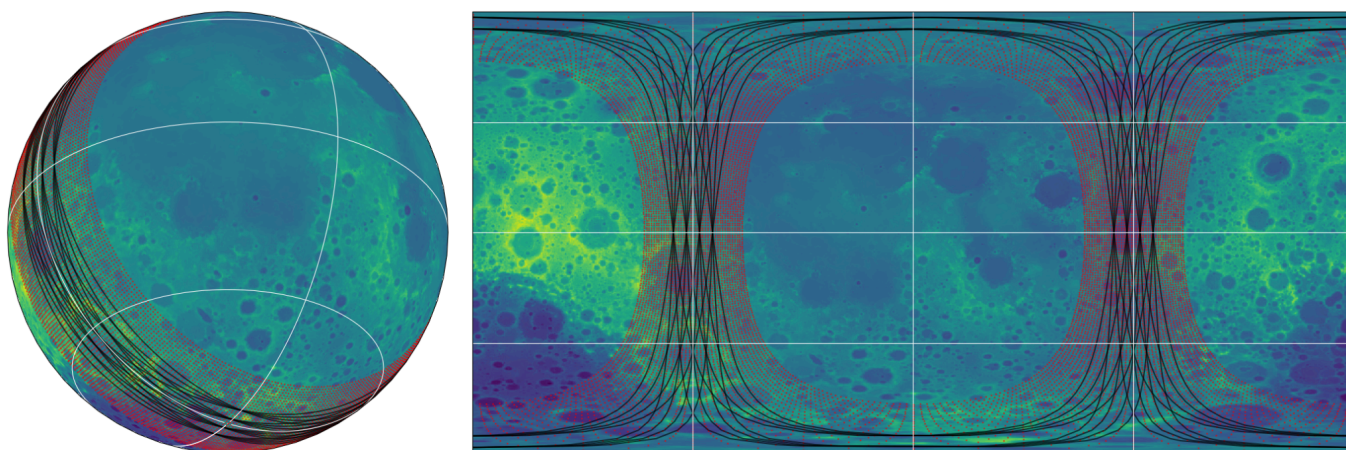


Figura 1. DEM lunar sobre el que se ha marcado la banda para cálculo del limbo (zona punteada, con un ancho de 40°). Las líneas negras corresponden al limbo teórico correspondiente a varias libraciones. Las líneas blancas delimitan las áreas del DEM correspondientes a los distintos ficheros GDR (*Gridded Data Records*) disponibles en PDS con resolución de 512 píxeles/°. Izquierda: proyección ortográfica. Derecha: proyección Plate Carrée.

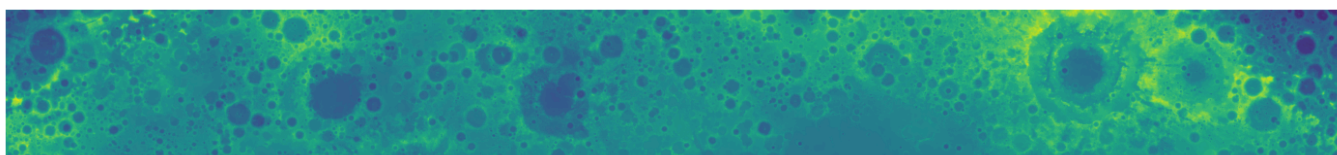


Figura 2. DEM correspondiente a la banda para cálculo de limbo.

Fase 2: cálculo del limbo para un instante dado

En primer lugar, es necesario ampliar la implementación actual de la rutina de cálculo de coordenadas aparentes para poder considerar las coordenadas del lugar de observación, de forma que podamos calcular las libraciones topocéntricas, al influir considerablemente en la perspectiva que se tiene al observar el limbo lunar.

Una vez calculada la libración, se determina el limbo instantáneo teórico, es decir, el limbo sin considerar el relieve para el instante de interés. Este limbo traza una línea sobre la banda DEM, figura 3. Para poder calcular el limbo real, considerando la elevación del terreno, necesitamos considerar una franja alrededor de dicha línea, con un cierto ancho a determinar empíricamente, suficientemente grande como para no obviar algún accidente geográfico que pudiera influir en el relieve del limbo. Esta nueva franja define, por tanto, un nuevo DEM de libración instantánea, que será la región a explorar para la búsqueda del limbo.

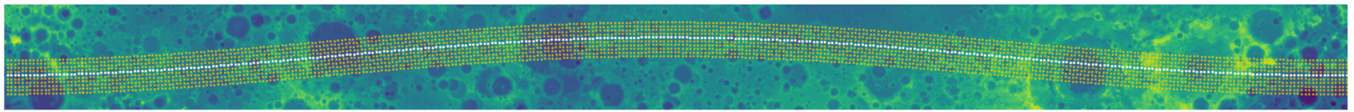


Figura 3. Limbo instantáneo teórico (línea punteada blanca) y franja de búsqueda para el limbo real (zona punteada en amarillo) sobre la banda DEM.

Para un ángulo de posición dado, estudiamos la “rodaja” de Luna correspondiente: el problema consiste en determinar el ángulo aparente máximo para esa “rodaja” considerando el modelo de elevación, $\vartheta_{\text{máx}}$ en la figura 4. Este cálculo debe repetirse para todo el contorno lunar, o para un rango de ángulos de posición, con una resolución angular compatible con la del DEM de partida. Aquí es donde se espera una mayor ventaja de la implementación basada en GPU, ya que los cálculos para todos los ángulos de posición se realizarán en paralelo (o por lotes, si fuese necesario por consumo de recursos).

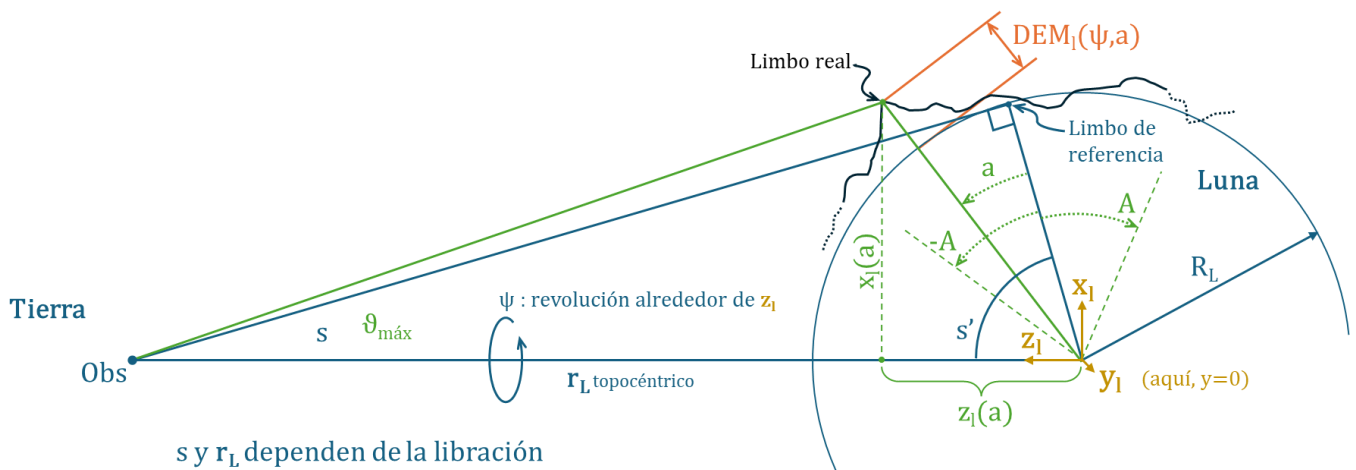


Figura 4. Cálculo del limbo real para un ángulo de posición dado.

La figura 5 muestra un ejemplo del limbo calculado para un determinado rango de ángulos de posición.

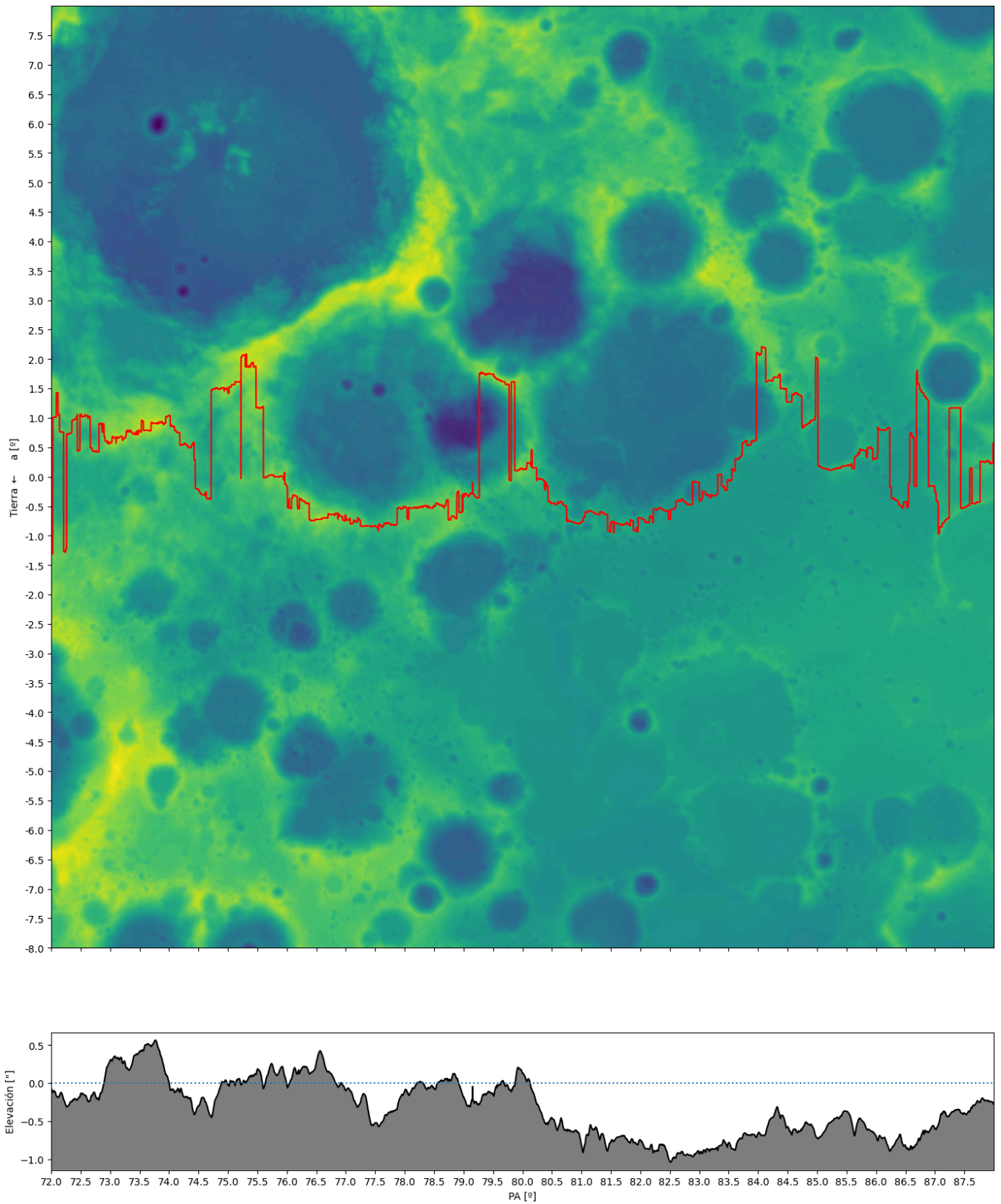


Figura 5. Abajo: relieve calculado en torno al ángulo de posición 80° (la escala vertical está en segundos de arco, mientras que la horizontal está en grados). Arriba: proyección de dicho relieve sobre la franja de búsqueda del DEM, representado con la línea roja (el observador está situado en la parte inferior de la figura).

Fase 3: cálculo de ocultaciones lunares considerando el limbo

Para esta fase del proyecto, es apropiado desarrollar un mecanismo de *caché* que mantenga en la memoria de la GPU el fragmento de la banda DEM relevante para la ocultación, es decir, en un entorno del punto teórico de ocultación, figura 6. De esta manera, los cálculos de relieve realizados dentro del bucle de barrido temporal serán más ágiles, al poderse realizar sin necesidad de movimiento de datos entre memoria principal y memoria dedicada de la GPU.

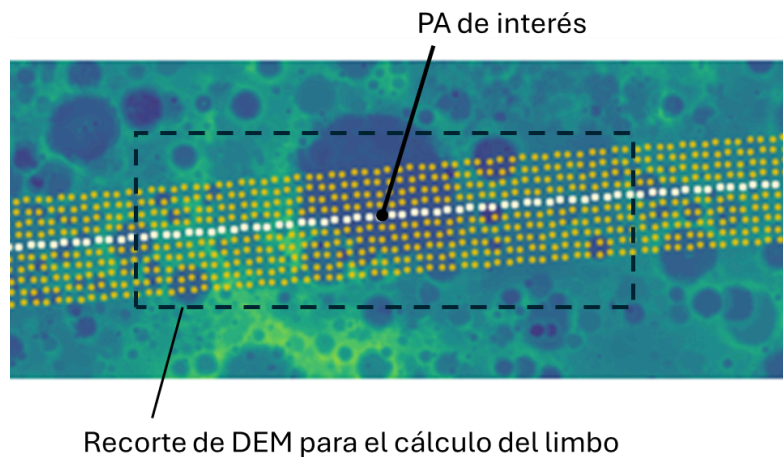


Figura 6. Recorte del DEM para el cálculo del limbo centrado en un ángulo de posición de interés, p.ej. para cálculo de ocultaciones lunares.

En principio el cálculo de ocultaciones mantendrá el enfoque iterativo previamente implementado, definiendo una nueva función para la búsqueda de ceros, que tendrá en cuenta el limbo real calculado en GPU además de la posición del astro ocultado, para cada instante de tiempo.

Estado actual

Se dispone de una implementación preliminar de la fase 2, pendiente de verificar que el relieve calculado para el limbo es correcto.

En las pruebas realizadas se ha constatado que existen artefactos de interpolación en el DEM proporcionado por PDS, que generan relieves imposibles (elevaciones extremadamente abruptas), como la de la figura 7, que será necesario detectar mediante alguna técnica estándar de detección de outliers y analizar pormenorizadamente. Puede ser conveniente realizar un proceso de filtrado previo, generando una versión curada del DEM de la banda del limbo que servirá de base para el resto de cálculos.

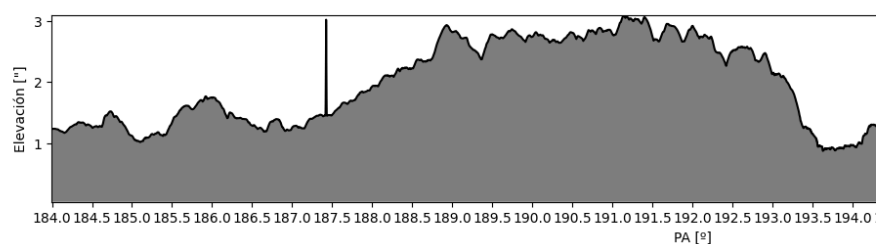


Figura 7. Relieve espurio alrededor del ángulo de posición 187.5° debido a artefactos de interpolación en el DEM.