



**INAOE**

# **Taxonomía de asteroides cercaos a la tierra**

por

**Judith Guadalupe Morales Chávez**

Tesis sometida como requisito parcial para  
obtener el grado de

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEL ESPACIO**

en el

**Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y  
Electrónica**

Septiembre 2023

Tonantzintla, Puebla

Bajo la supervisión de:

**Dr. Raúl Mújica García**

Investigador Titular INAOE

**Dr. José S. Guichard Romero**

Investigador Titular INAOE

©INAOE 2023

El autor otorga al INAOE el permiso de  
reproducir y distribuir copias parcial o totalmente  
de esta tesis.



# Resumen

En este trabajo se reportan los resultados de un estudio espectroscópico de Asteroides Cercanos a la Tierra (NEAs, por sus siglas en inglés), utilizando datos obtenidos en varias temporadas de observación entre 2017 y 2020 con el telescopio de 2.12 m del Observatorio Astrofísico Guillermo Haro (OAGH) ubicado en Cananea, Sonora, utilizando el espectrógrafo Boller & Chivens con una rejilla de 150 l/mm.

El proceso de reducción de los datos se llevo a cabo utilizando el programa IRAF en su versión del entorno de Python (Pyraf), mediante tareas estándar de limpieza, linealización, calibración en longitud de onda y normalización, para obtener espectros unidimensionales en el intervalo de 0.4 a 0.9 micras.

La muestra final de estudio fue de 92 NEAs, de los cuales se determinó su clasificación taxonómica utilizando tres diferentes métodos. Se hace una discusión sobre los mismos y el porqué de la importancia de utilizarlos y compararlos.

Se encuentra que 42 de los objetos estudiados no contaban con una clasificación taxonómica previa, de tal manera que la asignada en este trabajo es la primera reportada en la literatura. Para el resto de los objetos de la muestra se les determinó un tipo taxonómico y se comparó con lo reportado en trabajos anteriores.

Este trabajo se realizó en el marco de la colaboración IAWN (International Asteroid Warning Network) de la cual el INAOE forma parte desde 2015.

# Abstract

In this work we report a spectroscopic study of Near-Earth Asteroids (NEAs), using data obtained in several observing seasons between 2017 and 2020 with the 2.12 m telescope of the Guillermo Haro Astrophysical Observatory (OAGH) located in Cananea, Sonora, using a Boller Chivens spectrograph with a 150 l/mm grating.

The data reduction process was performed using Pyraf, a Python environment version of the IRAF program, by standard cleaning, linearization, wavelength calibration and normalization tasks to obtain one-dimensional spectra in the range of 0.4 to 0.9 microns range.

The studied sample consists of 92 NEAs, which were taxonomically classified using three different methods to determine their taxonomic type. These methods and why it is important to use them was discussed.

It was found that 42 objects in the sample did not have a previous taxonomic classification, thus the one assigned in this work is the first one reported in the literature.

A taxonomic type was determined also for the rest of the objects in the sample, which were compared with those reported in previous.

This work was carried out in the framework of the IAWN (International Asteroid Warning Network) collaboration framework, of which INAOE has been a member since 2015.

# Índice general

<b>Índice general</b>	<b>IV</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>1</b>
<b>Índice de cuadros</b>	<b>2</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. International Asteroid Warning Network (IAWN) . . . . .	4
1.2. Asteroides . . . . .	6
1.3. Taxonomía . . . . .	10
1.4. Objetivo . . . . .	12
<b>2. La muestra</b>	<b>17</b>
<b>3. Observaciones, reducción y procesado de datos</b>	<b>22</b>
3.1. Reducción de datos . . . . .	24
3.2. Proceso de reducción y calibración . . . . .	25
3.3. Inspección . . . . .	27
<b>4. Análisis</b>	<b>29</b>
4.1. Discusión de asteroides con notas en observación. . . . .	32
4.2. Discusión de la Ponderación . . . . .	34
4.3. Asteroides descartados . . . . .	36
4.4. Asteroides con diferente taxonomía . . . . .	36
<b>5. Resultados</b>	<b>40</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>58</b>
<b>Referencias</b>	<b>59</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>61</b>

# Índice de figuras

1.1.	Primeros firmantes de IAWN . . . . .	6
1.2.	Orbitas de los diferentes tipos de NEAs. . . . .	8
1.3.	Número total de NEAs descubiertos. Imagen obtenida del Center for Near-Earth Objects Studies (CNEOS) del Jet Propulsion Laboratory (JPL). . . . .	9
1.4.	Población observada de NEAs vs la población estimada, Harris (2006). . . . .	10
1.5.	Se muestran las taxonomías de Tholen & Barucci (1989) que va de 0.34 a 1.04 micras, la de Bus & Binzel (2002) que va de 0.44 a 0.92 micras y la de DeMeo et al. (2009) que va de 0.45 a 2.45 micras. Imagen tomada de Vissiniti (2023) . . . . .	11
1.6.	Diagrama de flujo del procedimiento. . . . .	13
3.1.	Espectrógrafo Boller & Chivens. . . . .	23
4.1.	Relación de las coincidencias por tipo taxonómico o complejo taxonómico sin ponderación. . . . .	32
4.2.	Comparación de coincidencia sin ponderación y con ponderación. . . . .	36
4.3.	Espectro del asteroide a18736 (1998 NU). . . . .	37
4.4.	Espectro del asteroide a07336 con los tipos taxonómicos posibles. . . . .	38
4.5.	Espectro del asteroide a038167 con los tipos taxonómicos posibles. . . . .	39
5.1.	Distribución de tipos taxonómicos de los NEAs de nuestra muestra. . . . .	40
5.2.	Distribución de tipos taxonómicos de los NEAs con ponderación y sin ponderación. . . . .	41
5.3.	Muestra total de asteroides con respecto a la asignación de tipo taxonómico. . . . .	43

# Índice de cuadros

# Capítulo 1

## Introducción

La clasificación de los objetos que nos rodean en el espacio siempre ha sido un paso fundamental para profundizar y conocer su naturaleza. Es por ello por lo que para la ciencia es muy importante agrupar objetos con las mismas características, de tal manera que nos ayuden a comprender mejor sus propiedades, su entorno, y otros aspectos de él. En esta tesis se asignará un tipo taxonómico a una muestra de Asteroides Cercanos a la Tierra (NEAs, por sus siglas en inglés) observados en el Observatorio Astrofísico Guillermo Haro (OAGH) durante varias temporadas entre los años 2017 y 2020. Entendemos por taxonomía la ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación (RAE); es decir, una clasificación taxonómica es una clasificación basada en principios y métodos científicos rigurosos. La importancia de la taxonomía de asteroides abarca muchas áreas, desde el sistema solar primitivo, hasta la futura minería espacial. En ambos casos, conocer el tipo taxonómico al que pertenece un asteroide nos ayuda a progresar en el conocimiento de ambas áreas. Para ello debemos tener muy claro qué es un asteroide y los diferentes tipos de asteroides que hay en el sistema solar.

Los asteroides pertenecen a los llamados Cuerpos Menores del sistema solar, los cuales se diferencian de los planetas por tener formas irregulares y por sus órbitas. Muchos de ellos son candidatos a ser clasificados como planetas enanos. Los asteroides son restos de la formación del sistema solar, que orbitan alrededor del Sol y, dependiendo de su ubicación reciente, es su denominación. Tal es el caso de los pertenecientes al Cinturón Principal de Asteroides (MBA, por sus siglas en inglés), aquellos asteroides que se ubican entre Marte y Júpiter; los ya mencionados Asteroides Cercanos a la Tierra, cuya órbita cerrada menor a 1 UA (Unidades Astronómicas); los Troyanos, asteroides en los puntos de Lagrange que comparten órbita con Júpiter; y los Centauros, asteroides más allá de Júpiter.

Los asteroides con los que se trabajará en esta tesis son los NEA, y su estudio es importante ya que, por tener una trayectoria cercana a la de la órbita de la Tierra, es necesario para el sistema de defensa planetaria conocer de la mejor manera posible la naturaleza de dichos objetos y de esta manera saber cómo actuar ante un eventual impacto.

Los NEAs son asteroides que tienen una órbita que los lleva a acercarse a menos de 1.3 UA del Sol y a menos de 0.3 UA de la Tierra. Más adelante, en este trabajo, se da un panorama más amplio de los NEAs explicando su importancia y el número de asteroides que han sido descubiertos relacionados con su tamaño.

Este trabajo está realizado en el marco de un proyecto internacional del cual forma parte el INAOE: la Red Internacional de Alerta de Asteroides (IAWN, por siglas en inglés).

## **1.1. International Asteroid Warning Network (IAWN)**

El origen del interés del tema de los NEAs como una de las directrices del Milenio de la ONU está en la UNISPACE III (Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos), realizada en julio de 1999 en Viena, Austria; en la declaración de Viena sobre Espacio y Desarrollo Humano (el Milenio del Espacio), Resolución 1, párrafo (1) (c), se establece:

(i) Mejorar el conocimiento científico sobre el espacio cercano y ultraterrestre promoviendo actividades de cooperación en áreas tales como la astronomía, biología y medicina espacial, física espacial, estudio de los objetos cercanos a la Tierra y la exploración planetaria.

(iii) Mejorar la coordinación internacional de actividades relacionadas a los objetos cercanos a la Tierra, armonizando los esfuerzos dirigidos a la identificación, observaciones de seguimiento y predicción de órbita, y al mismo tiempo considerando el desarrollo de una estrategia común que incluya actividades futuras relacionadas a los objetos cercanos a la Tierra.

Para implementar las recomendaciones de la ONU, la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS, por sus siglas en inglés) y la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos (SACT), establecieron en 2001 un Equipo de Acción, el AT-14, que durante varios años se encargó de estudiar, investigar, evaluar y discutir con diferentes actores de la sociedad, la comunidad científica y los gobiernos, las consecuencias del posible impacto de un asteroide y las medidas a seguir para evitar o mitigar los efectos de tal impacto.

Una respuesta internacional conjunta a un evento de estas características tiene aspectos muy complejos, desde la parte técnica, como decidir si el asteroide se destruye o se desvía, y en que dirección, etc., hasta la parte política y económica a nivel gobierno: el costo de una misión de este tipo es increíblemente cara (¿quién paga?), y ¿quién asume la responsabilidad en el caso de una falla? Por eso, el trabajo del AT-14 fue muy importante, ya que finalmente logró convencer a todos los involucrados de la necesidad



de crear un esquema de respuesta internacional al posible impacto de un asteroide en la Tierra. Por cierto, la presidencia del AT-14 la tuvo el Reino Unido hasta 2008, cuando pasó a México. En 2013, la COPUOS y la SACT aceptaron las recomendaciones finales del AT-14.

1. Establecer una Red Internacional de Alerta de Asteroides (IAWN), usando instituciones que realicen las siguientes funciones:
  - Descubrir, monitorear y caracterizar físicamente la población de NEOs potencialmente peligrosos.
  - Mantener un repositorio internacionalmente reconocido para la recepción, reconocimiento y procesamiento de todas las observaciones de NEAs.
  - Recomendar políticas relacionadas con criterios y umbrales para la notificación de una amenaza emergente.
  - Desarrollar una estrategia usando planes bien definidos de comunicación y protocolos para apoyar a los gobiernos en el análisis de las consecuencias de un impacto y planificación de la respuesta de mitigación.
  
2. Establecer un Grupo Consultivo de Planificación de Misiones Espaciales (SMPAG, por sus siglas en inglés), compuesto por representantes de países con capacidad espacial e instancias pertinentes. Sus responsabilidades son:
  - Preparar marcos de referencia, línea de tiempos y opciones para iniciar actividades de respuesta.
  - Informar a la comunidad de defensa civil sobre la naturaleza de los impactos.
  - Incorporar a esa comunidad al proceso de planificación de mitigación a través de un Grupo Consultivo sobre Planificación para Desastres por Impacto (IDPAG, por sus siglas en inglés.)

Actualmente IAWN y SMPAG cuentan con muchos integrantes en todo el mundo; cabe mencionar que la Agencia Espacial Mexicana es uno de los miembros iniciales de SMPAG y que el INAOE es uno de los cinco firmantes iniciales de IAWN. El INAOE utiliza sus observatorios en Tonantzintla y Cananea para realizar observaciones de asteroides, tanto del Cinturón Principal como de NEAs (participación en IAWN). Con

## Initial Signatories to IAWN



Figura 1.1: Primeros firmantes de IAWN

la Cámara Schmidt de Tonanzintla se realizan observaciones fotométricas y con el telescopio de 2.12 m del OAGH en Cananea se realizan observaciones espectroscópicas. Parte de estas últimas es lo que se reporta en este trabajo.

## 1.2. Asteroides

¿Qué son los asteroides?

Los asteroides son cuerpos rocosos o metálicos sin atmósfera, restos de la formación del sistema solar, con un tamaño menor al de un planeta. Por lo general poseen formas irregulares, ya que debido a su tamaño no tienen suficiente masa para que su propia gravedad supere las fuerzas de cuerpo rígido, de manera que adquieran una condición de equilibrio hidrostático (forma prácticamente redonda).

Los asteroides se pueden clasificar de acuerdo con su ubicación dentro del sistema solar:

- Asteroides cercanos a la Tierra (NEAs): al moverse al interior del sistema solar, un asteroide se convierte en un NEA, con distancias perihélicas menores a 1.3 UA; pueden pasar a 0.3 UA de la Tierra o menos, es decir 45 millones de km, unas 120 veces la distancia media de la Tierra a la Luna. Un subgrupo importante de los NEAS son los Asteroides Potencialmente Peligrosos (PHAs, por sus siglas en inglés), que pueden tener distancias mínimas de intersección orbital con la Tierra de 0.05 UA (7.5 millones de km de la Tierra, unas 20 veces la distancia media de la Tierra a la Luna). Estos objetos pueden estar en trayectorias de coli-

sión con la Tierra.

- Asteroides del Cinturón Principal: se encuentran entre las órbitas de Marte y Júpiter, ocupando una banda entre 2 y 4 UA del Sol, pero adquiriendo mayor concentración de objetos entre los 2.2 y 3.3 UA. Es opinión común que estos asteroides son, en gran parte, fragmentos de un planeta que se desintegró o que en todo caso, no llegó a formarse por completo, debido a la fuerte perturbación gravitatoria de Júpiter. En el Cinturón Principal hay algunos planetas enanos como Ceres, Vesta, Juno y Palas.
  
- Troyanos: son aquellos asteroides que comparten órbita con un planeta como Júpiter y se encuentran en los puntos 4 y 5 de Lagrange (que, respectivamente, preceden y siguen a Júpiter en aproximadamente  $60^\circ$  en su trayectoria orbital), ya que el triángulo de fuerzas con vértices Júpiter - Sol - L4 o Júpiter - Sol - L5 les permite tener una órbita estable. Los asteroides troyanos se distribuyen en dos regiones oblongas y curvas alrededor de los puntos Lagrangianos, y poseen órbitas alrededor del sol con un medio eje principal promedio de aproximadamente 5.2 UA.
  
- Centauros: tienen un perihelio o un semieje mayor entre aquellos de los planetas exteriores, se localizan entre Júpiter y Saturno o entre Urano y Neptuno. Los Centauros generalmente tienen órbitas inestables porque cruzan, o han cruzado, las órbitas de uno o más de los planetas gigantes, por lo que casi todas sus órbitas tienen vidas dinámicas de sólo unos pocos millones de años. Los Centauros suelen mostrar las características tanto de los asteroides como de los cometas.
  
- Asteroides del Cinturón de Kuiper: El Cinturón de Kuiper se encuentra más allá de la órbita de Neptuno, y está formado por cometas, asteroides y algunos planetas enanos como Plutón, Eris, Haumea y Quaoar. Aunque son similares, los cometas y asteroides tienen una composición diferente. Los cometas son cuerpos celestes compuestos de polvo, rocas y hielo (gas congelado), mientras que los asteroides están compuestos de rocas y/o metales.

De acuerdo con sus órbitas, los NEAs se clasifican de la siguiente manera:

- Atira: orbitan al Sol completamente en el interior de la órbita de la Tierra

- Aten: órbitas más pequeñas y elípticas que la Tierra, cruzan la órbita de la Tierra en su punto más alejado del Sol
- Apolo: órbitas poco más grandes que la Tierra, cruzan la órbita de la Tierra en su punto más cercano al Sol
- Amor: con órbitas completamente fuera de la de la Tierra, pero dentro de la órbita de Marte

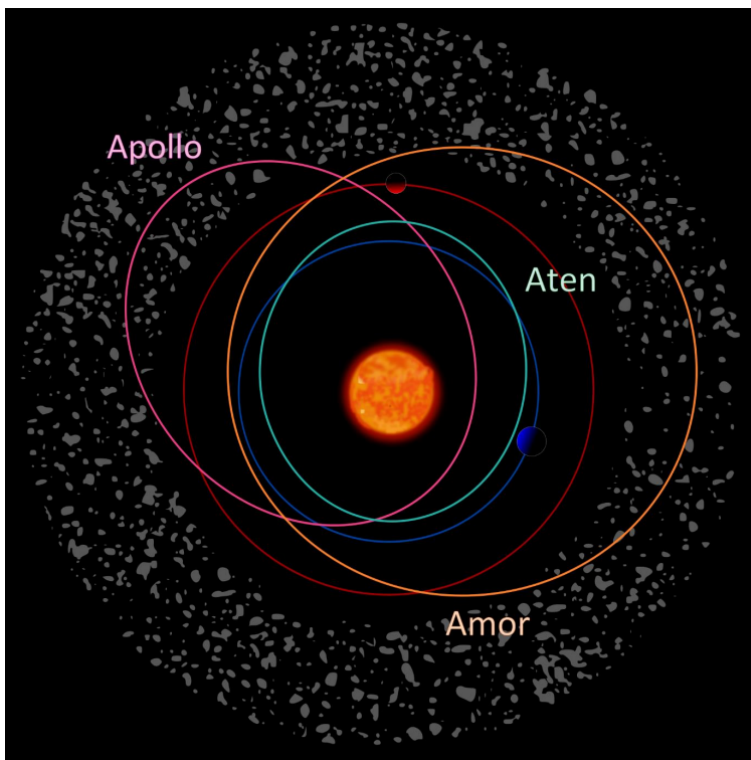


Figura 1.2: Órbitas de los diferentes tipos de NEAs.

Actualmente se conocen más de 30,000 NEAs; hay un sesgo observacional ya que los objetos más pequeños, debajo de 1 km de diámetro, son más difíciles de detectar. En la Figura 1.4 se muestra la comparación entre los NEAs detectados y la población estimada por los modelos (Harris, 2005). Puede verse claramente que se calcula la existencia de millones de objetos y la detección actual es muy exigua, sobre todo para los objetos más pequeños.

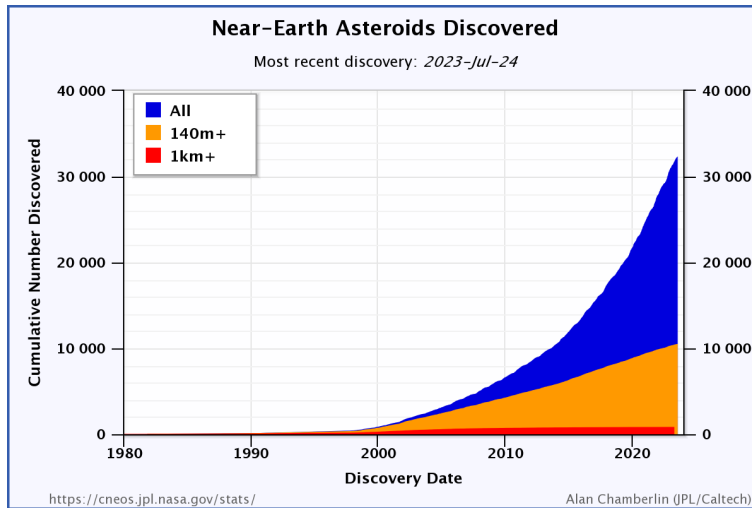


Figura 1.3: Número total de NEAs descubiertos. Imagen obtenida del Center for Near-Earth Objects Studies (CNEOS) del Jet Propulsion Laboratory (JPL).

El estudio de los NEAs es muy importante ya que su cercanía a la Tierra puede implicar un posible peligro de colisión con nuestro planeta, es por eso por lo que, como se mencionó antes, es conveniente tener esquemas de alerta internacionales para su descubrimiento y vigilancia. Conocer su composición es una parte fundamental del estudio de estos objetos, y una de las formas más eficaces para ello ha sido la llamada taxonomía de asteroides.

El estudio de la composición de los NEAs puede ser útil también para la minería espacial, una actividad que hasta hace poco se consideraba muy lejana, pero que últimamente está adquiriendo visos de realidad; dada su cercanía, los NEAs pueden ser excelentes candidatos para su explotación minera en un futuro no muy lejano.

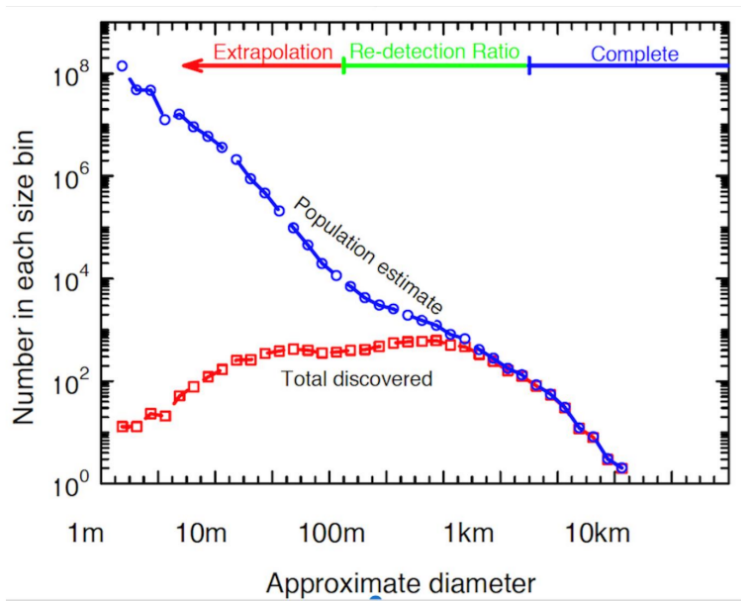


Figura 1.4: Población observada de NEAs vs la población estimada, Harris (2006).

### 1.3. Taxonomía

La taxonomía de asteroides consiste en clasificarlos a partir de sus características espectrales en diferentes intervalos de longitudes de onda, lo que permite determinar su composición mineralógica.

La taxonomía es la clasificación de un grupo de estudio, en este caso de asteroides, tomando en cuenta sus características espectrales. Al observar un asteroide, lo que vemos es la luz que refleja del Sol. Esta luz, al reflejarse en el cuerpo celeste, por su composición mineralógica, es absorbida o reflejada en ciertas longitudes de onda.

Existen muchos trabajos sobre la taxonomía de asteroides, entre los más relevantes se pueden mencionar los de Tholen (1984), Tholen & Barucci (1989), Bus & Binzel (2002) y DeMeo et al. (2009). En estos trabajos se establecen las bases de la clasificación taxonómica y se definen los diferentes complejos y clases (o tipos) que determinan la taxonomía de cada objeto. En estos trabajos nos vamos a basar para nuestros estudios.

La taxonomía de Tholen define 14 clases que se nombran con letras mayúsculas, en un intervalo espectral de 0.34 a 1.04  $\mu\text{m}$ .

En la taxonomía Bus & Binzel se definen 26 clases y se basa en la taxonomía de Tholen. En este trabajo se introdujeron más subclases, y estas subclases se derivan de los complejo C (oscuro): C, Cb, Cg, Ch, Cgh; el S más brillante, Sa, Sk, Sl, Sq, Sr; el X: X, Xc, Xe, Xk.

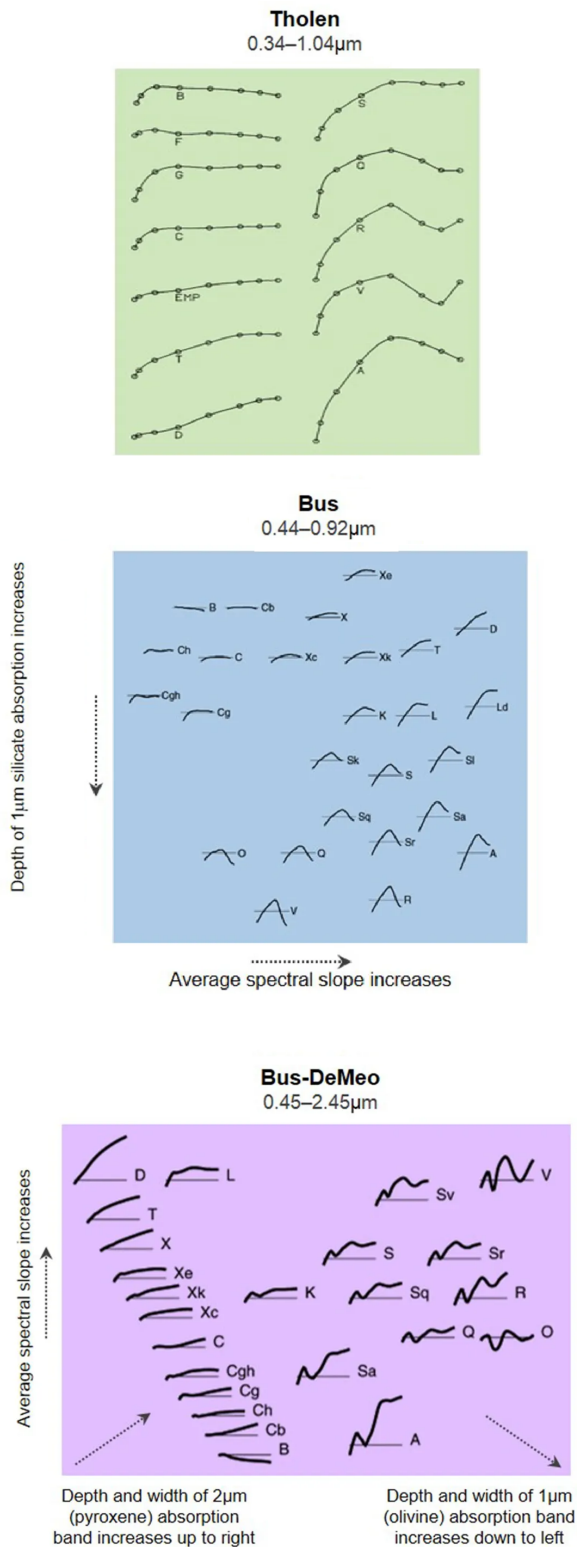


Figura 1.5: Se muestran las taxonomías de Tholen & Barucci (1989) que va de 0.34 a 1.04 micras, la de Bus & Binzel (2002) que va de 0.44 a 0.92 micras y la de DeMeo et al. (2009) que va de 0.45 a 2.45 micras. Imagen tomada de Vissinuti (2023)

Las taxonomía Bus - DeMeo completa la de Bus & Binzel, y la de Tholen, extendiéndose al infrarrojo cercano, en un intervalo de 0.45 a 2.45 micras. Esta taxonomía define 25 clases, agregando unas y retirando otras de las taxonomías anteriores. Se agregaron Sv, Xn y un subíndice “w” para espectros enrojecidos. La clase C permanece como C, Cb, Cg, Ch, Cgh; el complejo S, Sa, Sq, Sr, Sv; el complejo X, Xc, Xe, Xk, Xn.

En las Tablas 1.1, 1.2 y 1.3 se muestran los tipos taxonómicos existentes agrupados por familia.

Los tipos taxonómicos se determinan a partir de sus características espectrales como se dijo antes, y nos ayudan a determinar sus propiedades químicas y mineralógicas, que al final de cuentas dan una idea de su historia evolutiva y por lo tanto de la evolución del sistema solar, ya que los asteroides son los cuerpos que más conservan las propiedades originales del sistema solar primitivo, es decir, son los cuerpos menos afectados por los cambios a los que ha sido sometido el sistema solar a lo largo de su historia.

Para poder asignar un tipo taxonómico a los asteroides, se utilizará la espectroscopia, esto es, obtener las distribuciones espectrales de energía, es decir, el flujo de energía recibido de los objetos para cada longitud de onda. Estos espectros servirán para llevar a cabo el método llamado distancia espectral, procesado por tres formas diferentes. Con estos tres procesos se pretende llegar a una asignación taxonómica muy confiable.

La importancia de asignar una taxonomía a un asteroide es aportar al conocimiento de su estructura, ya sea para conocer su evolución o la evolución del sistema solar, así como de tener un registro de los componentes primitivos y su interacción.

## **1.4. Objetivo**

El objetivo principal de este trabajo es asignar una taxonomía confiable a los NEAs observados en el Observatorio Astrofísico Guillermo Haro, en varias temporadas entre 2017 y 2020.

Para comprobar la confiabilidad del proceso, se probarán y compararán diferentes métodos, utilizando en todos el concepto de distancia espectral, que se explica más adelante.

En el capítulo 2 se presenta y discute la muestra de estudio; en el capítulo 3 se discuten la metodología observacional y el procesamiento de los datos; en el capítulo 4 se hace el análisis de los datos y se discuten los diferentes métodos que se utilizaron para dicho análisis; en el capítulo 5 se presentan y discuten los resultados del trabajo y en el capítulo 6 se presentan las conclusiones del mismo.



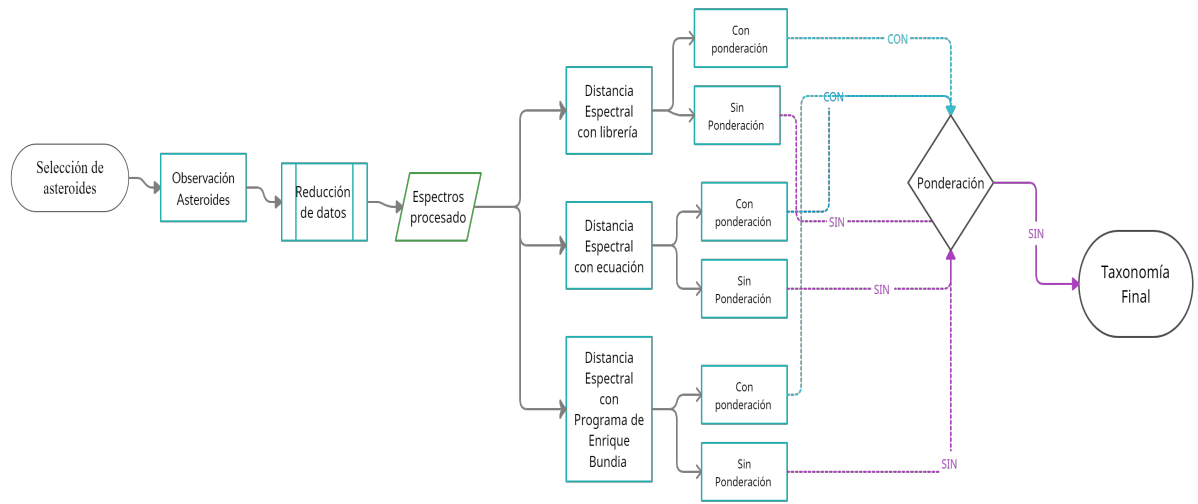


Figura 1.6: Diagrama de flujo del procedimiento.

En la Figura 1.6 se muestra un "diagrama de flujo" del procedimiento que se utilizó para realizar este trabajo, desde las observaciones hasta los resultados finales y su análisis.

Clases	Características
A	Alto albedo. Pendiente muy roja para longitudes de onda mayores a 0.7 $\mu\text{m}$ . Banda intensa cerca de 1.05 $\mu\text{m}$ +/- banda poco profunda a 2 $\mu\text{m}$ . Originalmente llamado VR (muy rojo).
Complejo C: B, Cb, C, Cg, Cgh, Ch:	
B	Albedo moderadamente bajo. Pendiente plana o azul, negativa en general. Absorción débil a 0.4 $\mu\text{m}$ , bump (protuberancia) a aproximadamente 0.6 $\mu\text{m}$ . Algunos muestran una absorción a 1 $\mu\text{m}$ atribuida a la magnetita. Algunos muestran una curvatura cóncava hacia arriba de 1 a 2 $\mu\text{m}$ .
Cb	Bajo albedo. Plano con ligera pendiente positiva a partir de 1.1 $\mu\text{m}$ .
C	Bajo albedo. Plano a rojo para longitudes mayores a 0.4 $\mu\text{m}$ , absorción a longitudes menores a 0.4 $\mu\text{m}$ , +/- bump a aproximadamente 0.6 $\mu\text{m}$ , +/- peculiaridad a 1 $\mu\text{m}$ y pendiente ligeramente positiva a partir de 1.3 $\mu\text{m}$ .
Cg	Bajo albedo. Ligera pendiente positiva que comienza en 1.3 $\mu\text{m}$ con una caída pronunciada en UV (es decir, abajo de 0.4 $\mu\text{m}$ ).
Cgh	Bajo albedo. Ligera pendiente positiva que comienza en 1 $\mu\text{m}$ con una caída pronunciada en UV. Absorción ancha y poco profunda centrada cerca de 0.7 $\mu\text{m}$ .
Ch	Bajo albedo. Ligera pendiente positiva que comienza en 1.1 $\mu\text{m}$ con una ligera caída en UV. Absorción ancha y superficial cerca de 0.7 $\mu\text{m}$ .
D	Bajo albedo. Lineal y sin rasgos. Neutro a roja abajo de 0.55 $\mu\text{m}$ , pendiente roja muy pronunciada a lo largo de 0.55 $\mu\text{m}$ , nivelándose alrededor de 0.95 $\mu\text{m}$ +/- ligera curvatura alrededor de 1.5 $\mu\text{m}$ .
I	No es una clase: se refiere a Inconsistente con los datos particulares.
J	Alto albedo. Pico más agudo que V, y absorción más profunda y estrecha a 0.9 $\mu\text{m}$ desplazada a una longitud de onda más corta.
K	Entre las clases C y S. Albedo de bajo a moderado. Banda de absorción profunda abajo de 0.75 $\mu\text{m}$ , banda ancha y poco profunda a 1 $\mu\text{m}$ con lados rectos. Sin banda a 2 $\mu\text{m}$ . Análogo: condritas CV/CO, como la familia dinámica Eos.
L	Entre las clases K y S. Albedo de bajo a moderado. Con pendiente empinada en el visible que se nivela después de 0.7 $\mu\text{m}$ , a veces una curvatura cóncava hacia abajo a 1.5 $\mu\text{m}$ , +/- banda a 2 $\mu\text{m}$ . Análogo: meteoritos portadores de espinela ricos en CAI.
O	Plano abajo de 0.8 $\mu\text{m}$ , absorción ancha, profunda y redondeada a 1 $\mu\text{m}$ y otra absorción a 2 $\mu\text{m}$ .
Q	Entre V y S. Albedo moderadamente alto. Fuerte absorción por abajo de 0.7 $\mu\text{m}$ . Banda intensa cerca de 1 $\mu\text{m}$ , otras cerca de 1.3 $\mu\text{m}$ y 2 $\mu\text{m}$ . Un ejemplo de este tipo es el asteroide cercano a la Tierra 1862 Apolo.
R	Alto albedo. Banda intensa abajo de 0.7 $\mu\text{m}$ . Bandas fuertes cerca de 1 $\mu\text{m}$ y cerca de a 2 $\mu\text{m}$ .

Tabla 1.1: Se presenta el tipo taxonómico A, la familia taxonómica C que contiene 6 tipos taxonómicos y los tipos taxonómicos D, I, J, K, L, O, Q, R. Tabla de toma de Vissiniti (2023).

Complejo S: S, Sa, Sq, Sr, Sv (y tipos degradados Sqw, Srw, Svw):	
Clases	Características
S	Albedo moderado. Absorción moderada a 1 $\mu\text{m}$ y a 2 $\mu\text{m}$ que varía en profundidad entre objetos. Originalmente llamado así por los meteoritos silíceos o pétreos de hierro. Análogo actual: condritas ordinarias.
Sa	Albedo moderado. Absorción ancha y profunda a 1 $\mu\text{m}$ . Características similares a la clase A, pero menos rojas. Esta clase se incorpora a la antigua clase SI, ahora que los espectros se extienden al NIR.
Sq	Albedo moderado. Absorción ancha a 1 $\mu\text{m}$ . Peculiaridades a 1 $\mu\text{m}$ y 1.3 $\mu\text{m}$ similares a la clase Q, pero con una banda menos profunda a 1 $\mu\text{m}$ . Incorpora algunos de los antiguos objetos de clase Sk, ahora que los espectros se extienden al NIR. Análogo actual: condritas ordinarias.
Sr	Albedo moderado. Peculiaridades a 1 $\mu\text{m}$ y 2 $\mu\text{m}$ similares a la clase R, pero con una banda a 1 $\mu\text{m}$ menos profunda.
Sv	Albedo moderado. Peculiaridades a 1 $\mu\text{m}$ y 2 $\mu\text{m}$ similares a la clase V, pero con una banda a 1 $\mu\text{m}$ menos profunda.
T	Bajo albedo. Pendiente moderadamente roja, lineal y sin rasgos distintivos, con una absorción abajo de 0.85 $\mu\text{m}$ . Plano a longitudes mayores a 0.85 $\mu\text{m}$ , a menudo ligeramente cóncava hacia abajo. Se ha denominado T por tentativo o que requiere seguimiento.
U	No es una clase: se refiere a Inusual (Unusual) , y antes se refería a Inclasificable (Unclassifiable) en el sistema particular de la época.
V	Alto albedo. Banda intensa cerca de 0.95 $\mu\text{m}$ y banda estrecha cerca de 1 $\mu\text{m}$ . Clase definida para 4 Vesta. Análogo: acondritas HED.
W	Albedo moderado. Espectro como M pero con una peculiaridad de hidratación a 3 $\mu\text{m}$ .

Tabla 1.2: Se presenta la familia taxonómica S que contiene 9 tipos taxonómicos; S, Sa, Sq, Sr, Sv, T, U, Y, W. Tabla de toma de Vissiniti (2023).

Complejo X: X, Xc, Xe, Xk, Xn:	
Clases	Características
X	Lineal con pendiente media a alta. Los análogos incluyen meteoritos de hierro, meteoritos de enstatita y otros tipos primitivos.
Xc	Pendiente baja a media, ligeramente curvada, cóncava hacia abajo. Bajo albedo. Transicional entre los tipos X y C. Algunos de los tipos P antiguos (que tienen un espectro intermedio a C y D e incluían los troyanos de tipo menos rojo) ahora se clasifican como Xc ahora que los espectros se extienden al NIR.
Xe	Pendiente baja a media, similar a Xc y Xk, y de transición entre los tipos X y E. Absorción alrededor de $0.49 \mu\text{m}$ , como el antiguo tipo E. Alto albedo. Análogo: condritas de enstatita.
Xk	Pendiente baja a media, ligeramente curvada, cóncava hacia abajo, similar a los Xc. Peculiaridad débil de $0.8 \mu\text{m}$ a $1 \mu\text{m}$ . Transicional entre los tipos X y K.
Xn	Pendiente baja a media. Clase definida para 44 Nysa (que antes se clasificaba como E y Xc).

Tabla 1.3: La familia taxonómica X con 5 tipos taxonómicos; X, Xc, Xe, Xk, Xn. Y del lado derecho las características como pendiente curvatura y características de absorción. Tabla de toma de Vissiniti (2023).

# Capítulo 2

## La muestra

Como se ha mencionado, el INAOE forma parte de IAWN, por lo que se desarrolló un programa de monitoreo de asteroides, utilizando el telescopio de 2.12 m del OAGH en Cananea, Sonora para las observaciones espectroscópicas y la Cámara Schmidt en Tonantzintla para las observaciones fotométricas. Mientras que la Cámara Schmidt está casi en su totalidad dedicada al monitoreo de asteroides, en el OAGH se solicita tiempo de observación cada semestre para este programa, de tal manera que, dependiendo de las fechas asignadas es que se seleccionan los objetos a observar.

Además, se deben tener en cuenta otros criterios, tales como:

1. Establecer una magnitud límite para los objetos a observar, de tal manera que se pueda obtener una buena señal a ruido en tiempos de integración razonables; en el caso del OAGH una magnitud límite de 18.5 en la banda V ha resultado ser adecuada.
2. Para observaciones en el OAGH la declinación del objeto debe ser mayor a  $-10^\circ$ . Esto nos asegura que sea visible para masas de aire menores a 2.

Desde luego que siempre es conveniente evitar las fases brillantes de la luna.

La muestra de objetos en la que se basa este trabajo fue seleccionada a partir de un grupo total de asteroides observados durante distintas temporadas en un periodo de 3 años. De este grupo se seleccionaron solamente los NEAs, ya que observar y estudiar estos objetos es una de las funciones primordiales del programa IAWN.

Durante las temporadas de enero de 2017 a febrero de 2020 se observaron 276 asteroides, de los cuales 103 son NEAs y 157 pertenecen a la familia Flora del Cinturón Principal, de manera que los NEAs representan un 37 % del total observado durante

este periodo. Se descartaron 11 objetos de la muestra final de estudio por varias razones (muy débiles, fallas instrumentales, duplicidad, etc.) quedando al final 92, lo que consideramos un buen número para los propósitos del presente trabajo.

En la Tabla 2.1 se listan los objetos de la muestra de estudio, se incluye el número de identificación del asteroide, su nombre, fecha de observación, ascensión recta, declinación, magnitud aparente, distancia del objeto al observador, distancia del objeto al Sol, ángulo de fase, diámetro y, en caso de existir, tipo taxonómico reportado en la literatura.

Como podemos apreciar en la Tabla 2.1, hay asteroides que cuentan con uno o más tipos taxonómicos y otros que sólo cuentan con el tipo dado por "default", que es S\*. Estos últimos son importantes, ya que por primera vez se les asignará un tipo taxonómico, lo cual es una contribución nueva e importante al conocimiento sobre estos objetos.

N°	Nombre	Fecha de ob	AR	Declinacion	Magnitud	$\Delta$ (UA)	r (UA)	$\alpha$ (°)	Diam (km)	T.Taxonomico
a000719	Albert	13/09/2018	17 54 17.2	-06 47 34.0	16.69	0.546	1.212	55.3	2.35	S*,S, X
a001685	Toro	22/10/2017	11 43 54.3	-04 01 42.6	17.65	2.104	1.352	22.3	3.78	S*, S, Sq
a002059	Baboquivari	24/10/2019	21 38 59.8	-08 09 24.7	16.68	0.488	1.275	45.4	1.9	S*
a002061	Anza	14/09/2018	04 57 24.1	+29 36 46.0	15.97	0.233	1.051	72.7	1.6	S*, TCG:
a005131	1990 BG	19/01/2019	07 38 59.8	+31 56 46.4	15.27	0.596	1.571	7.8	3.26	S*, S, Sq, Sa
a005693	1993 EA	13/04/2019	13 48 13.9	+01 02 05.4	17.85	0.744	1.738	6.7	1.26	S*, Sq, C, S
a006053	1993 BW3	22/09/2017	14 49 17.7	+88 53 38.7	15.11	0.319	1.047	73.5	2.67	S*,Sq,A
a006063	Jason	30/05/2017	17 46 02.1	+16 08 52.5	13.72	0.152	1.13	37.3	1.9	S*,Scomp
a007336	Saunders	22/10/2017	23 38 50.9	-16 34 41.5	17.97	0.294	1.23	32.6	0.467	S*,Sq,Q
a008037	1993 HO1	01/01/2017	21 42 26.2	-17 35 30.0	22.03	0.417486	1.987147	22	1.35	S*,T
a009856	1991 EE	20/04/2018	11 25 16.0	+20 31 03.4	17.17	0.415	1.32	34.3	1.24	S*, S
a013553	Masaakikoyar	13/09/2018	22 39 55.9	+03 35 35.6	15.07	0.291	1.292	10.2	1.35	S*, U
a015745	Yuliya	14/06/2018	16 56 18.2	+23 17 13.3	17.22	0.362	1.289	35.3	1.02	S*,S
a018109	2000 NG11	13/09/2018	23 20 54.3	-08 43 20.0	14.78	0.226	1.232	3.9	1.09	S*, C, X
a018172	2000 QL7	21/12/2019	02 35 40.5	+88 50 45.5	15.7	0.377	1.189	49	2.24	S*, Q, S, Sr
a031210	1998 BX7	12/02/2019	09 20 58.2	+13 58 57.0	17.81	0.87	1.855	2.5	1.57	S*, S, Sq
a031345	1998 PG	14/09/2018	20 46 49.8	+03 49 17.0	17.26	0.359	1.3	30.2	0.881	S*, Sq
a035107	1991 VH	24/02/2020	10 32 04.9	-08 37 21.9	17.59	0.474	1.215	50.4	1.19	S*, Sq
a0381677	2009 BJ81	16/02/2019	11 12 06.7	+33 20 30.2	15.85	0.169	1.141	23.2	0.624	S*, Q
a054660	2000 UJ1	01/11/2018	05 50 15.7	+26 43 18.7	5.34	0.126	1.079	44.5	0.796	S*, S
a06456	Galombek	12/09/2018	22 25 53.5	+06 24 53.6	15.65	0.428	1.421	12.1	1.85	S*,Q
a065733	1993 PC	01/11/2018	23 00 40.3	+31 42 20.5	15.61	0.116	1.072	44.7	0.627	S*, X:
a066391	Moshup	02/06/2017	19 46 26.0	+29 41 41.4	15.19	0.172	1.084	61.7	1.33	S*,Q,S cpx
a085953	1999 FK21	18/04/2018	08 04 58.4	+46 08 01.7	17.3	0.168	1.007	84.3	0.678	S*,S
a085989	1999 JD6	02/06/2019	18 02 34.4	+17 33 14.6	17.8	0.525	1.435	29.8	1.12	S*,K, X,L,D
a088263	2001 KQ1	01/11/2018	04 38 32.0	+29 18 35.5	16.11	0.516	1.447	22.9	2.25	S*, X
a112221	2002 KH4	27/06/2019	16 38 23.2	+62 27 48.4	18.11	1.032	1.471	43.7	2.3	S*
a115052	2003 RD6	15/09/2018	23 23 41.9	+29 59 14.2	17.41	0.424	1.38	23.6	0.984	S*
a136923	1998 JH2	03/06/2017	14 54 17.4	-19 05 38.3	18.09	0.86	1.828	13.9	1.66	S*,D, Sw
a137170	1999 HF1	03/06/2017	23 04 54.8	+44 51 38.6	16	0.535	0.979	78.1	3.41	S*,PM,C/X,Xk
a137199	1999 KX4	21/12/2019	07 14 08.9	+10 00 38.8	16.25	0.357	1.319	17.3	1.13	S*, V, Q, S, Sr
a137805	1999 YK5	17/01/2019	11 41 35.7	+57 54 02.7	16.5	0.35	1.218	41.5	1.36	S*, X, P
a138847	2000 VE62	18/04/2018	12 09 25.7	-08 50 08.6	14.62	0.176	1.168	19.7	1.17	S*, S
a139345	2001 KA67	12/06/2018	18 24 42.4	+11 25 19.7	16.58	0.381	1.337	27.9	1.15	S*,C,P
a141079	2001 XS30	01/11/2018	19 32 47.0	+74 10 39.9	17.66	0.31	1.092	63.5	0.869	S*, Xc
a141525	2002 FV5	13/04/2019	15 20 54.1	+21 47 45.0	17.28	0.297	1.239	32.8	0.726	S*
a141593	2002 HK12	27/10/2019	01 49 50.7	+20 32 06.5	17.26	0.371	1.362	6.3	0.681	S*, C, X
a142464	2002 TC9	22/09/2017	00 17 11.1	+13 38 22.0	17.52	0.372	1.367	11	0.659	S*, S comp
a144332	2004 DV24	13/09/2018	18 01 32.7	+44 53 04.5	14.09	0.081	1.015	81.5	1.44	S*
a144898	2004 VD17	14/04/2019	12 09 45.3	-08 41 35.6	17.94	0.339	1.328	14.3	0.493	S*, E
a152931	2000 EA107	21/04/2018	09 38 19.7	+61 35 31.3	17.79	0.627	1.199	56.9	1.75	S*, Q, S
a153814	1994 PX12	24/10/2019	04 23 23.0	+29 42 08.1	17.02	0.249	1.197	32	0.641	S*
a153957	2002 AB29	13/06/2018	17 48 56.6	+24 37 28.9	16.39	0.213	1.168	40.4	0.818	S*
a159686	2002 LB6	27/06/2019	19 25 22.6	+46 43 02.6	16.21	0.309	1.152	56.8	1.6	S*
a162004	1991 VE	20/12/2019	07 54 57.2	+34 47 31.3	17.89	0.385	1.333	21.4	0.665	S*, X
a162082	1998 HL1	24/10/2019	01 29 51.5	+41 49 43.2	13.64	0.043	1.032	29.5	0.444	S*
a162723	2000 VM2	02/11/2019	02 33 14.6	+38 24 37.9	17.11	0.378	1.346	17.4	0.885	S*
a163899	2003 SD220	02/12/2018	11 34 34.6	+40 44 16.8	15.27	0.09	0.995	81.9	0.914	S*, S/D, Sr
a184990	2006 KE89	27/05/2019	21 57 38.3	+51 50 13.3	16.77	0.293	0.983	87.4	1.55	S*, A
a18736	1998 NU	17/01/2019	07 15 26.5	+22 57 41.4	14.86	0.353	1.333	6.6	1.93	S*
a190208	2006 AQ	22/10/2017	03 02 17.8	+43 57 34.1	15.99	0.172	1.137	31.7	0.681	S*,Cg,S,K
a192563	1998 WZ6	20/12/2019	04 33 03.0	+55 27 01.3	16.25	0.292	1.234	27.2	1.05	S*, V
a212359	2006 EV52	18/04/2018	17 22 39.0	+11 37 04.8	17.59	0.542	1.365	39.1	1.38	S*
a220839	2004 VA	13/06/2018	14 24 34.7	-05 54 35.3	17.46	0.393	1.317	34	0.975	S*, C
a243025	2006 UM216	20/12/2019	06 31 07.5	+07 09 36.4	16.24	0.519	1.484	12.5	1.81	S*
a248926	2006 WZ2	24/10/2019	23 15 43.0	+80 59 18.8	17.04	0.357	1.158	54.6	1.23	S*
a265962	2006 CG	22/09/2017	22 37 27.3	+12 55 37.9	17.22	0.227	1.215	19.3	0.471	S*,X
a275611	1999 XX262	13/04/2019	09 41 35.2	+06 26 32.9	19.84	0.745	1.538	33.3	0.713	S*, Q
a311044	2004 BB103	21/12/2019	06 10 25.3	+30 25 11.9	16.46	0.429	1.41	5.5		S*
a326291	1998 HM3	27/10/2019	00 28 48.0	+10 55 22.9	16.91	0.206	1.186	19.2	0.433	S*

a326388	2001 QD96	23/09/2017	23 11 12.4	+50 37 37.0	17.49	0.263	1.185	41.7	0.644	S*,C
a333555	2005 VY17	20/12/2019	05 49 31.4	+39 59 03.0	16.16	0.32	1.294	12.5		S*
a333888	1998 ST4	23/10/2017	01 28 29.5	+25 41 44.4	16.31	0.413	1.398	10.8	1.33	S*
a337084	1998 SE36	21/04/2018	13 18 08.7	+02 58 25.0	17.72	0.217	1.214	14.1	0.3	S*
a338292	2002 UA31	22/10/2017	22 41 46.4	+16 35 01.1	17.9	0.241	1.178	36.7	0.41	S*
a354030	2001 RB18	24/10/2019	04 04 02.7	+11 03 15.8	15.63	0.127	1.104	28.9	0.566	S*, U,C
a395289	2011 BJ2	26/10/2019	05 27 13.6	+52 04 42.6	15.8	0.129	1.069	51.7	0.65	S*
a411201	2010 LJ14	26/10/2017	29 02.8	-13 11 02.2	18.19	0.5	1.435	23	0.803	S*,V
a416584	2004 JB12	03/06/2017	19 03 53.5	+18 39 30.1	18.05	0.255	1.184	43.5	0.495	S*
a438429	2006 WN1	14/09/2018	21 16 12.5	+09 49 52.0	16.87	0.188	1.164	29.8	0.498	S*,Xk
a441987	2010 NY65	02/06/2019	04 49 24.4	+02 44 24.0	27.05	0.156	0.869	157	0.158	S*,S,Sv
a442742	2012 WP3	03/11/2018	03 08 01.8	+23 49 33.6	16.91	0.372	1.358	9	0.838	S*
a443923	2002 RU25	14/09/2018	01 25 40.6	-22 47 07.2	16.28	0.255	1.225	27.8	0.94	S*
a444193	2005 SE71	20/04/2018	16 05 25.2	+54 50 52.8	15.24	0.083	1.033	67.7	18.14	S*
a454177	2013 GJ35	19/01/2019	07 40 18.1	-21 22 17.5	14	0.196	1.136	35.5	2	S*
a455176	1999 VF22	12/02/2019	12 45 58.0	+14 45 34.7	18.22	0.141	1.092	39.7		S*
a455550	2004 JO2	03/11/2018	05 30 45.5	+13 31 35.8	16.2	0.266	1.199	34.7	1.08	S*
a457260	2008 RY24	01/11/2018	03 15 08.9	+39 05 49.4	16.26	0.239	1.21	22.1	0.746	S*
a457768	2009 KN4	24/10/2017	18 55 25.9	+24 55 53.8	17.94	0.205	0.988	86.1	0.627	S*
a467309	1996 AW1	12/06/2018	15 44 51.2	+09 35 40.9	17.1	0.123	1.112	36	0.311	S*
a468481	2004 TP20	03/11/2018	00 30 25.8	-04 13 44.2	17.67	0.162	1.128	30.8	0.297	S*
a481394	2006 SF6	02/11/2019	03 46 36.0	+28 19 52.9	16.08	0.096	1.081	21.2	0.293	S*,ASD,S
a489486	2007 GS3	27/10/2019	04 35 19.5	+17 30 20.0	16.88	0.151	1.118	32.4	0.428	S*
a494999	2010 JU39	27/06/2019	15 11 30.2	+18 20 39.9	15.92	0.063	1.047	59.3	0.341	S*
a512245	2016 AU8	24/01/2019	07 15 04.0	+24 26 05.3	17.17	0.177	1.155	14	0.323	S*
a518635	2008 HO3	01/11/2018	23 31 10.5	-05 26 24.5	17.44	0.292	1.21	36.9	0.713	S*
a54401	2000 LM	04/11/2018	01 30 50.5	+30 44 24.7	17.96	0.62	1.585	13.2	1.07	S*
a68347	2001 KB67	12/06/2018	16 29 56.1	+23 57 19.0	17.02	0.11	1.091	44.3	0.316	S*
a85628	1998 KV2	17/04/2018	15 22 03.2	+04 06 49.0	17.55	0.499	1.46	19.7	1.02	S*
a96631	1999 FP59	22/09/2017	00 18 32.1	-00 44 35.5	16.6	0.309	1.312	4.3	0.713	S*
	2018 RQ2	14/09/2018	03 06 04.5	+23 21 05.9	17.38	0.029	1.021	58.5	0.078	S*
	2018 UQ1	04/11/2018	03 26 46.5	+31 39 19.1	17.46	0.075	1.063	18.8	0.116	S*

Tabla 2.1: Muestra de asteroides NEAs del periodo de 2017-2020.



Los tipos taxonómicos mostrados en la Tabla 2.1 se recopilaron de la base de datos del Minor Planet Center, específicamente del Collaborative Asteroid Lightcurve Link (CALL).

Cuando no hay registro del tipo taxonómico de un asteroide, se utilizan ciertos valores predeterminados para relacionarlos con el albedo. En el Tabla 2.2 se muestran esos valores predeterminados cuando se conoce al menos uno de los dos parámetros, de Warner et al. (2009).

Taxonomic Class	Albedo
C,G,B,F,P,T,D	$0.057 \pm 0.02$
M	$0.16 \pm 0.04$
S,Q	$0.20 \pm 0.07$
E,V,R	$0.46 \pm 0.06$

Tabla 2.2: Interrelación de clase taxonómica predeterminada y albedo, Warner et al. (2009).

## Capítulo 3

# Observaciones, reducción y procesado de datos

Las observaciones en las que se basó este trabajo se llevaron a cabo con el telescopio de 2.1 m de diámetro del Observatorio Astrofísico Guillermo Haro (OAGH) ubicado a 2,480 m de altitud en la Sierra de la Mariquita, en Cananea, Sonora. Se utilizó un espectrógrafo Boller & Chivens, que obtiene espectros de rendija larga de resolución baja/intermedia por medio de diferentes rejillas de difracción.

El telescopio es un reflector Ritchey-Chrétien, que cuenta con un espejo primario de 2.12 m y uno secundario de 0.5m, en una montura de horquilla que le permite movimientos perpendiculares en dos direcciones.

El espectrógrafo, montado sobre un foco  $f/12$  Cassegrain, está equipado con un colimador de 1080 mm y una cámara con longitud focal de 465 mm. El ancho de la rendija se puede modificar manualmente hasta 1000 micras con pasos de una micra. La ranura, con un ancho de 250 micras (o 2 segundos de arco) corresponde en el detector a aproximadamente 4 pixeles. La rejilla está orientada este – oeste, lo que corresponde a una lectura de 263 grados en el panel de la montura del telescopio.

Se obtuvieron datos útiles para 92 NEAs a lo largo de tres años, en 25 temporadas de observación, como parte de un proyecto observacional más general que incluye también asteroides del Cinturón Principal. En el Tabla 3.1 se listan las fechas asignadas a cada temporada.

Para cada objeto se obtienen tres espectros, con un tiempo de exposición de 900 s cada uno. Dado que la luz que vemos de los asteroides es esencialmente la luz del Sol reflejada por su superficie, es necesario restar la contribución solar al espectro del objeto. Para ello se utilizan los llamados análogos solares, que son estrellas muy similares al Sol por sus características físicas y fotométricas; estas similitudes nos ayudan a restar la aportación lumínica del Sol al espectro de nuestros asteroides. Por cada asteroide



Figura 3.1: Espectrógrafo Boller & Chivens.

de la muestra se observó también un análogo solar, procurando que la masa de aire al observarlo fuera la misma o muy parecida a la de la observación del objeto.

Durante la noche se toman también exposiciones de lámparas de comparación de He-Ar o He-Ne, para realizar la calibración en longitud de onda. Asimismo, se toman exposiciones de bias, darks y campos planos, que sirven para corregir las imágenes por ruidos espúreos e imperfecciones del CCD, como se explica más adelante.

2017	ENE	26
	MAR	24-26
	MAY	30
	JUN	2
	SEP	20,22,23
	OCT	22-24
	NOV	15-6
	DIC	9
2018	FEB	7-10, 12
	ABR	17-21
	JUN	12-14,17-18
	SEP	12-17
	OCT	11
	NOV	1-4, 30
	DIC	4
2019	ENE	24-25
	FEB	12-13, 16-17
	MAR	1-6
	ABR	13-16, 18
	MAY	27-31
	JUN	26-28
	JUL	1-5
	SEP	27
	OCT	23-27
	NOV	9
	DIC	20-23
2020	ENE	24-25
	FEB	24-25

Tabla 3.1: Listado de las temporadas de observación, incluidos el año, mes y días correspondientes.

### 3.1. Reducción de datos

Las imágenes obtenidas con CCDs contienen diferentes ruidos que añaden señal no deseada a nuestros datos, por lo que cada noche se deben tomar imágenes de calibración para contrarrestarlos y obtener al final la señal real del objeto astronómico.

La imagen que obtenemos de la observación es la imagen en “crudo”, esto quiere decir que es la imagen tomada del cielo con ruido de los elementos electrónicos del CCD, así como la contribución de la atmósfera. Para llevar a cabo el proceso de contrarrestar las señales no deseadas producidos por el CCD, y para obtener solo el espectro del asteroide ya calibrado en longitud de onda y flujo, se utiliza una herramienta llamada IRAF

(Image Reduction and Analysis Facility) o su derivado en Python, PYRAF.

IRAF es un software gratuito desarrollado por NOAO (National Optical Astronomy Observatories) para la reducción y el análisis de los datos astronómicos en forma de matriz de píxeles obtenidos por detectores electrónicos, como los CCD.

Unas de las muchas funciones de IRAF son la calibración en flujo y la ubicación de los objetos dentro de una imagen, así como la combinación de dos o más imágenes, la medición de desplazamiento en las líneas de absorción o emisión de un espectro y la compensación de la sensibilidad de los elementos individuales de los detectores. En el entorno que se trabaja se necesita una ventana Xterm, para ejecutar las tareas, con ventanas gráficas y un programa de visualización de imágenes con DS9. Al tener problemas de mantenimiento se creó PYRAF, que es el software IRAF en el entorno de Python, el cual también es gratuito.

Actualmente IRAF y PYRAF trabajan solamente en ambiente LINUX, con MacOS dejó de ser compatible hace tiempo y en Windows nunca ha funcionado.

## **3.2. Proceso de reducción y calibración**

Como se mencionó, el proceso de reducción y calibración se lleva a cabo para restar las señales ajenas al objeto astronómico, en este caso los asteroides. El proceso se realiza de la siguiente manera:

- Cortar la sección eficaz de la imagen
- Corrección por Bias
- Corrección por Dark
- Corrección por Flat
- Eliminación de rayos cósmicos
- Calibración en longitud de onda
- Restar la contribución de la atmósfera
- Conversión a una dimensión
- Normalización del flujo a 5500 angstrom
- Restar el espectro del análogo solar al del asteroide correspondiente

La sección eficaz de la imagen es aquella donde se encuentra la información de interés, en este caso la del espectro del asteroide. Para tomando la sección donde está la señal deseada, nos ayudamos de la lámpara de halógeno. Ya teniendo la sección identificada se cortan todas las imágenes con la tarea ccdproc usando sólo trim.

La corrección por Bias se hace debido a que el CCD y su electrónica tienen un ruido intrínseco que añade señal a cada espectro tomado. La corrección por Bias es el ajuste referente a los procesos electrónicos que tienen un impacto en el detector para compensar por el ruido de lectura, las interferencias provenientes del ordenador y el ruido electrónico. Ésta corrección se consigue tomando exposiciones de cero segundos, sin entrada de luz al detector. Se combinan todas las imágenes Bias obtenidas cada noche para así poder realizar esta corrección con ccdproc. La imagen Bias resultante se resta a todos los espectros de la noche correspondiente.

La corrección por Dark es para cuantificar la “corriente oscura” o ruido térmico del CCD. Para hacer la corrección, se obtienen imágenes Dark, asegurándose de que no entra luz en la cámara, con el mismo tiempo de exposición que el del espectro del objeto astronómico. Esto se debe a que los píxeles calientes pueden saturarse, lo cual tiene un impacto negativo en el resultado final. Estas imágenes Dark también se combinarán, para así procesarlas con ccdproc y aplicarlas también a todos los espectros de la noche.

La corrección por Flat Field se realiza para corregir la imagen de los defectos introducidos por variaciones en la sensibilidad pixel a pixel del CCD, viñeteo del sistema óptico, polvo sobre el detector, etc. Para realizar la corrección por Flat se combinan todas las lámparas de halógeno. Al espectro resultante le llamamos FlatC. Se obtiene la media a FlatC, que se llamará FlatM, y después se normaliza dividiendo FlatC entre FlatM, llamándolo FlatN. Terminado esto, se procede a hacer la corrección por iluminación llamándolo FlatI. Ya para finalizar se multiplica FlatN por FlatI para así obtener una imagen final (FlatFinal), con la cual aplicaremos la corrección, usando ccdproc, a todos los espectros de la noche.

Los rayos cósmicos son partículas con carga energética muy alta que se desplazan por el espacio y llegan hasta la Tierra. Al tener una carga energética alta el espectrógrafo los capta, y esto interfiere con los espectros de nuestros asteroides, así que debemos eliminarlos. Esto se logra combinando los espectros de un mismo asteroide o de los análogos solares, con un mismo tiempo de exposición. Al combinar los espectros se eliminan los rayos cósmicos, ya que es poco probable que en cada imagen un rayo cósmico caiga en un mismo píxel.

Ahora, para la calibración en longitud de onda se utilizan espectros de una lámpara de helio-argon, así se puede determinar la correspondencia entre píxeles y longitud de onda de nuestros espectros. Teniendo calibrado un espectro de la noche se puede replicar la matriz de transformación en todas las demás imágenes de la misma noche.

Ya en los últimos pasos se resta el cielo, ya que suma luz que no queremos. Esto con los datos de la noche y el lugar de observación. Los espectros ya reducidos y calibrados están en dos dimensiones, y es necesario convertirlos a una dimensión para poder analizarlos.

Después se normaliza el flujo de cada asteroide y los análogos solares a una longitud de onda de 5500 angstroms. Se realiza a esta longitud por el hecho que en esa zona no hay líneas telúricas.

Por último, teniendo un análogo solar correspondiente al asteroide obtenido en la misma noche que nuestros objetos y procesado de igual manera, se resta el espectro del análogo solar al espectro del asteroide para así solo quedarnos con la aportación de la luz de nuestro objeto.

Para poder continuar con nuestro análisis se convierten los archivos fits, de los espectros de los asteroides ya reducidos, a archivos txt. Como ya se encuentra en una dimensión, al convertir los archivos, cada imagen obtenida pasa a una matriz de 2 x 1175 donde en una columna tenemos el flujo y en la otra la distancia espectral que se explica más adelante.

### **3.3. Inspección**

Para empezar a clasificar nuestros espectros hay que asegurarnos que estos se puedan utilizar, ya que hay veces que nuestro proceso de reducción, o bien el de observación, puede tener fallas, ya sea un cielo mal restado o que su señal sea muy baja. Para esto se lleva a cabo una inspección visual de cada uno de los espectros. En cada uno se revisa que la normalización está bien ejecutada, que la normalización del flujo esté en los 5500 A, y que caiga dentro del continuo de nuestro asteroide, ya que si no se encuentra en el continuo podría haber un sesgo al momento de analizarlos y definir su tipo taxonómico. También se buscan espectros anormales, estas anomalías pudieran ser líneas de absorción y emisión altas o hasta rayos cósmicos que no se lograron eliminar del espectro.

Al mismo tiempo que se hace la inspección se van clasificando por medio de la comparación con las clases de Bus and Binzel (2002), como se describe en el capítulo 4, y se compara con los tipos taxonómicos establecidos en trabajos registrados en la base de datos del Minor Planet Center. Como ya se mencionó, el Minor Planet Center tiene un sitio web que tiene una base de datos y sirve como puerta de entrada al sitio web Collaborative Asteroid Lightcurve Link (CALL), además de muchos otros subsitios relacionados con la investigación de asteroides.

Antes de pasar a los métodos, debemos hacer que nuestros datos sean compatibles con los del catálogo SMASS II. El SMASS II contiene las observaciones de la fase II del estudio espectroscópico de asteroides del Cinturón Principal, realizado por Bus & Binzel (2002), en el intervalo que va de 0.44 a 0.92 micras. Este estudio se realizó para 1341 asteroides. La base de datos del SMASS y sus fases se encuentra en el sitio web [smass.mit.edu](http://smass.mit.edu).

Nuestros datos cuentan con 1175 puntos de flujo para 1175 puntos de longitud de onda que van de 4200 a 9700 angstroms, mientras que los datos del SMASS cuentan con 50 puntos de flujo para 50 puntos de longitud de onda, de 4200 a 9500 angstroms. Para que ambos sean compatibles es necesario realizar una interpolación, para lo cual se realizó un programa en Python con el paquete `scipy.interpolate` que utiliza la función de Lagrange. El resultado de este mini programa nos da 50 puntos de flujo y 50 puntos de longitud de onda. Teniendo esta correspondencia de puntos de datos del SMASSII con nuestros espectros ya se puede empezar a procesarlos.

Como nota adicional se observó que en el SMASS II hay un sesgo en la taxonomía, en los tipos taxonómicos O y Q, ya que sólo contienen 4 y 10 asteroides de estas clases, respectivamente, siendo que el SMASS II consta de 1447 asteroides. Para ello se optó por agregar 10 asteroides del tipo Q y 4 del tipo O a la base de datos del SMASS II, utilizada en este trabajo.



# Capítulo 4

## Análisis

En este capítulo se proponen y discuten tres diferentes métodos para asignar el tipo taxonómico; los tres están basados en el cálculo de la distancia espectral. Llevamos a cabo una comparación entre ellos y describimos cómo asignamos el tipo taxonómico final a cada uno de los objetos de nuestra muestra.

El método para asignar un tipo taxonómico se basa en el cálculo de la distancia espectral. Este método se utiliza para estimar la diferencia entre el flujo del asteroide de estudio y el de cada uno de los asteroides del SMASS II, para así definir qué tan similares o diferentes son dos espectros entre sí. Esto se logra midiendo la diferencia entre dos flujos del espectro para cada punto de longitud de onda dentro de un intervalo dado. La distancia espectral se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$D_x = \sqrt{\sum (x_n - y_n)^2} \quad (4.1)$$

Donde:

$x_n$  = flujos normalizados de los espectros de los asteroides de estudio.

$y_n$  = flujos normalizados de los espectros de las clases taxonómicas de Bus & Binzel.

Con este método vamos a comparar cada uno de nuestros asteroides con cada uno de los asteroides del SMASS II, esto con la finalidad de encontrar similitudes que nos permitirán asignar una clasificación taxonómica a los asteroides de nuestra muestra.

Se calcula la distancia espectral entre nuestro asteroide y los asteroides de la base de datos del SMASS II. De los 1447 asteroides del SMASS II, los 10 asteroides con los valores más bajos de la distancia espectral son los más similares al nuestro. Con base en los tipos taxonómicos de estos primeros 10 asteroides, se toma el más frecuente entre ellos y se le asigna al asteroide a clasificar.

Se siguieron tres métodos, con el mismo principio, esto con la finalidad de establecer uno solo que nos lleve al resultado más confiable. Los tres métodos están basados en un mismo principio, la determinación de la distancia espectral. Comparando los resultados de estos tres métodos nos dará una buena certidumbre al asignar una clase taxonómica.

Los tres métodos son:

1. Utilizando la biblioteca de programas: `scipy.spatial.distance.euclidean`, mediante la cual se calcula la distancia euclidiana entre dos matrices de una dimensión. Para utilizar esta biblioteca sólo se le deben indicar las dos matrices con las que trabajará. En nuestro caso, una contiene los valores de los flujos de cada asteroide en la muestra y otro con los datos de flujo de cada uno de los asteroides del SMASS II.
2. Por medio del cálculo de la distancia espectral usando la Ecuación 1. Esto es, se resta el flujo de cada NEA de nuestra muestra al flujo de cada uno de los asteroides del SMASS II, luego se eleva al cuadrado para proceder a realizar una sumatoria y finalizar obteniendo la raíz cuadrada.
3. Con el programa desarrollado por Buendía (2021). La principal diferencia es que utiliza los valores medios de reflectancia y sus desviaciones estándar para los 25 tipos taxonómicos de la taxonomía Bus-DeMeo (DeMeo et al. 2009), la cual contiene datos que abarcan dos intervalos de longitud de onda: el visible y el infrarrojo. Los datos de la taxonomía de Bus-DeMeo se utilizan al realizar la diferencia entre el flujo de nuestros asteroides y el flujo de cada uno de los 25 tipos taxonómicos. Y así las distancias espectrales más bajas serían de los tipos taxonómicos semejantes al de nuestro asteroide.

Los resultados de los tres métodos se cotejaron y se observó que el que menos coincidencia tenía con los otros dos procesos es el programa que sólo utiliza la Ecuación 1. Es un proceso en el que se aplica la Ecuación 1 de manera directa, el cual consiste en una resta de dos datos, seguido de una sumatoria cuadrática y después una raíz cuadrada, sin asignar algún peso en la ecuación. Hay que recordar que, al ser un método tan simple, no se definió cuantos decimales se deberían usar, lo cual podría tener efectos en la precisión de los valores.

Los otros dos métodos siguen un tratamiento diferente para los datos. En el caso de la biblioteca de programas, SciPy v1.11.2 manual(2023), se calcula la distancia euclidiana entre dos matrices que describen una curva de una dimensión; la distancia euclidiana entre matrices 1-D  $u$  y  $v$ , se define como:

$$D_x = \sqrt{\sum (w_i |x_n - y_n|)^2} \quad (4.2)$$

donde:

$x_n$  como una matriz (matriz de entrada).

$y_n$  tipo arreglo (matriz de entrada).

$w_i$  tipo matriz, opcional.

El valor  $w$  es el peso para cada valor en  $x$  y  $y$ . El valor predeterminado es “Ninguno”, lo que otorga a cada valor un peso de 1; en el programa utilizado en este trabajo se usó precisamente el valor de 1.

El programa hecho por Buendía (2021), utiliza los valores medios de reflectancia y las desviaciones estándar de los 25 tipos taxonómicos. Estos datos se encuentran en una hoja de cálculo, la cual contiene, para cada longitud de onda de 0.45  $\mu\text{m}$  a 2.45  $\mu\text{m}$ , el flujo correspondiente a cada tipo taxonómico.

La distancia espectral se calcula utilizando los flujos de nuestros espectros y los flujos estándares de Bus-DeMeo, correspondientes a cada longitud de onda de 0.45  $\mu\text{m}$  a 0.95  $\mu\text{m}$ . Se lleva a cabo en dos pasos sencillos, el primero es elevando al cuadrado el resultado de la resta de los flujos, y sumando el resultado de la operación anterior a ese punto. Consiguiendo así la sumatoria del cuadrado de la resta de los flujos. El segundo paso es calcular la raíz cuadrada de dicha sumatoria.

Para llevar un control de la asignación del tipo taxonómico para los NEAs de nuestra muestra, nos basamos en los siguientes criterios: que el tipo taxonómico coincidiera en tres o dos de los métodos y que el complejo taxonómico coincidiera en tres o dos de los métodos.

En la Figura 4.1 mostramos el número de objetos para cada uno de los cinco casos diferentes encontrados en la clasificación:

- 3T, asteroides cuyo tipo taxonómico coincide en los tres métodos
- 2T, asteroides cuyo tipo taxonómico coincide en dos de los tres métodos
- 3F, asteroides cuyo complejo taxonómico coincide en los tres métodos
- 2F, asteroides cuyo complejo taxonómico coincide en dos de los tres métodos
- N, asteroides que en ninguno de los tres métodos coinciden, ni en tipo taxonómico ni en complejo taxonómico

En caso de que el tipo taxonómico encontrado sea diferente para cada uno de los tres procesos, se sometió a revisión.



Figura 4.1: Relación de las coincidencias por tipo taxonómico o complejo taxonómico sin ponderación.

Para este asteroide se realizó una revisión desde la obtención del espectro y de todo el proceso de reducción para descartar posibles sesgos o errores.

En la Figura 4.1, se muestra cuántos asteroides coinciden por tipo taxonómico o complejo taxonómico sin ponderación. En aquellos asteroides donde la coincidencia es de tipo taxonómico nos da un resultado más real y efectivo que el criterio de complejo taxonómico.

## 4.1. Discusión de asteroides con notas en observación.

Al realizar las observaciones se llevan bitácoras mencionando los detalles de cada observación y se resalta cualquier inconveniente durante el proceso. Se revisaron las bitácoras buscando notas de las observaciones con posibles inconvenientes, encontrándolas para 12 asteroides.

Luego de analizar estos 12 espectros se descartan las observaciones de Moshup, del 30 de mayo de 2017, ya que en la bitácora se anotó repetir la observación, y en el espectro de esa noche aparecen líneas de emisión inusuales. Se reobservó el 2 de junio de 2017.

El asteroide 1993 BW3 se observó el 22 de septiembre de 2017, aun cuando la bitácora marca que estaba nublado y con humedad en un alto porcentaje, se encontró un espectro del asteroide con una buena relación señal a ruido. Así que se continuo con

la clasificación, llegando a un tipo taxonómico coincidente en los tres procesos: Sq. Este tipo taxonómico también coincide con el encontrado en la literatura. Sin embargo, es importante tener en cuenta la nubosidad y la humedad, ya que la confiabilidad de la asignación generalmente se ve sesgada.

El asteroide 2001 QD96, observado el 23 de septiembre de 2017, era muy débil, la nota menciona que al observarlo no se alcanzó a distinguir donde se encontraba centrado, por ello se encuentra dentro de la asignación de tipos taxonómicos poco confiables. Esto lo podemos confirmar al analizar el espectro ya que es bastante ruidoso.

Con respecto al asteroide 2002 RU25, observado el 14 de septiembre de 2018, aunque se encontraba nublado, lo cual afecta la relación señal a ruido, fue posible asignar un tipo taxonómico X, teniendo una coincidencia en dos de los tres métodos. Es la primera vez que se asigna un tipo taxonómico para este asteroide, así que, a pesar de las condiciones climatológicas, la confiabilidad en la asignación taxonómica es buena.

2001 XS20 fue observado el 1 de noviembre de 2018. Se trata de un objeto muy débil, señal a ruido del espectro es muy mala, por lo cual no se tiene la seguridad de que la asignación taxonómica sea la correcta. El tipo taxonómico R no coincide con el encontrado en la literatura, por lo que, en este caso, es poco confiable.

2016 AU8 fue observado el 24 de enero de 2019. No cuenta con un tipo taxonómico asignado en la literatura. Cuando se observó se encontraba cerca de una estrella por lo que cuenta con un espectro con baja señal a ruido. Aunque se le ha asignado un tipo taxonómico O, también es poco confiable.

El 24 de octubre de 2019 se observó el asteroide 1998 HL1, al igual que el objeto anterior, se encontraba en un campo cercano a una estrella, por lo que en el espectro se encuentra una línea de emisión poco confiable. Sin embargo, se le asignó Sq, coincidiendo en los tres métodos. Se recomienda volver a observar para confirmar que la clasificación es correcta.

Al asteroide 2006 WZ2, observado el 24 de octubre de 2019, se le asignó por primera vez un tipo taxonómico, S, la señal a ruido es baja, lo cual se debe a que en la noche de observación se encontraba una estrella brillante cerca. Por lo cual el tipo taxonómico es poco confiable.

A pesar de haber tenidos problemas con el telescopio, se obtuvo un espectro del asteroide 2011 BJ2, con el cual se pudo asignar el tipo taxonómico S. Este asteroide no cuenta con taxonomía en la literatura, así que es la primera vez que se le asigna, pero se recomienda confirmar con otras observaciones.

1998 HM3 se observó el 27 de octubre de 2019, al momento de la observación atravesó

el campo de una estrella, por lo que el espectro es un poco ruidoso, sin embargo, sí fue posible clasificarlo. El tipo S coincide en dos métodos de tres.

El asteroide 1998 WZ6, observado el 20 de diciembre de 2019, aunque hay una nota de que se contaminó, el espectro no presenta ninguna anomalía. Siendo así, se le asignó el tipo taxonómico V, el cual coincidió en los tres métodos, asimismo coincide con el reportado en la literatura.

El asteroide 2006 UM216 que se observó el 20 de diciembre de 2019, se localiza también cerca de una estrella, pero aun así el espectro no es ruidoso. Por lo que se le asignó S como tipo taxonómico. Es la primera vez que se le clasifica.

Finalmente, el asteroide 2002 NT7, observado el 16 de febrero de 2019, es muy ruidoso, en la bitácora se anotó que dicho asteroide tiene una reflectancia era muy débil, lo que implica que la clasificación es poco confiable.

## **4.2. Discusión de la Ponderación**

Como se mencionó, de los diez asteroides con valores más bajos de distancia espectral, se toma el tipo taxonómico más frecuente entre ellos y se le asigna al asteroide a clasificar. Sin embargo, el número de asteroides por cada tipo taxonómico en SMASS II no es igual, por lo que fue necesario revisar si era necesario hacer algún tipo de ponderación.

En la ponderación tomamos en cuenta qué tantos asteroides hay de un tipo taxonómico en SMASS II para los 10 asteroides más cercanos con respecto a la distancia espectral. La ponderación se estima simplemente dividiendo la cantidad de asteroides de un tipo taxonómico, en los primeros 10 asteroides, sobre el total de asteroides del mismo tipo taxonómico dentro del SMASS II.

Para ejemplificar cómo se llevó a cabo la ponderación tomaremos el asteroide a457260 (2008 RY24), observado el 1 de noviembre de 2018. Dentro de los 10 primeros asteroides, de la base de datos SMASS II, con distancia espectral más cercana, encontramos los tipos taxonómicos que se muestran en el Tabla 4.1, cada uno seguido de la cantidad de cada clase, luego el número que hay en el SMASS II. La razón entre los dos nos da el valor en la columna de la ponderación.

Como se puede observar, el tipo taxonómico O es el más frecuente, con 5 asteroides dentro de los 10 primeros, por otro lado, tenemos el tipo Q con sólo 2 asteroides.

Estos cinco O representan el 63 % del número total de las O (8) que hay en el SMASS II, mientras que las dos Q representan el 10 % del número total de las Q (20) que hay

Clases	Cantidad	SMASS II	Ponderación
Sq	1	77	1.3 %
C	1	145	0.7 %
V	1	39	2.6 %
O	5	8	62.5 %
Q	2	20	10 %

Tabla 4.1: Ejemplo de ponderación para el asteroide 2008 RY24.

en SMASS II.

Por ende, el tipo taxonómico O será el asignado al asteroide 2008 RY24 ya que tiene el porcentaje más alto y la cantidad más grande de asteroides coincidentes.

Luego de llevar a cabo la asignación del tipo taxonómico para los NEAs de nuestra muestra tomando en cuenta este proceso de ponderación, encontramos que, con o sin ponderación, no hay gran variación cuando se utilizan sólo los 10 primeros asteroides (de la base de datos SMASS II) con la distancia espectral más baja.

En la Figura 4.2 se muestra una comparación de coincidencia en tipo taxonómico y complejo taxonómico, también se incluyen aquellos asteroides que en ninguno de los tres procesos coincidieron ni en clase ni en complejo. Esta comparación nos indica que podemos confiar en ambos métodos de clasificación taxonómica.

Ahora bien, esta rápida comparación también nos revela que hay muy poca diferencia entre las clasificaciones hechas por los dos métodos. Sin embargo, como es necesario elegir un proceso, se seleccionó usar la clasificación sin ponderar ya que presenta mayor coincidencia, en tipo taxonómico, que ponderando.

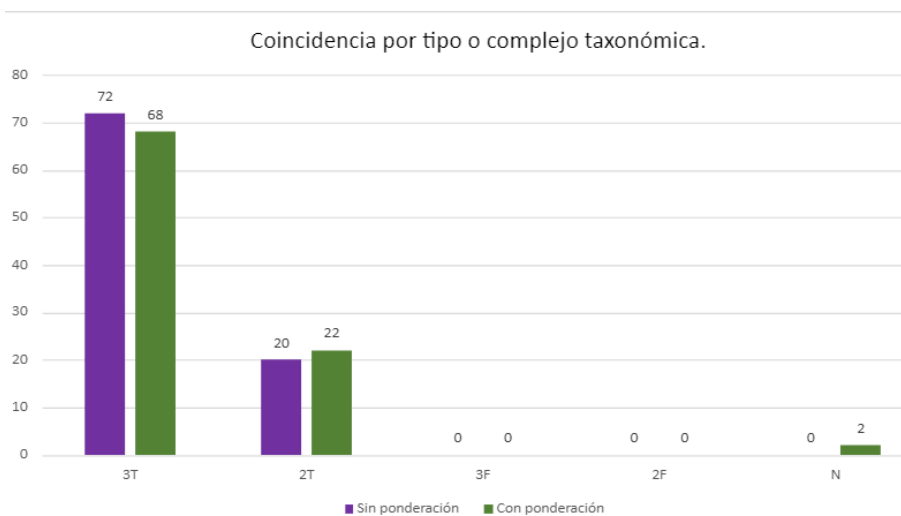


Figura 4.2: Comparación de coincidencia sin ponderación y con ponderación.

### 4.3. Asteroides descartados

Nuestra muestra original basada en la bitácora está compuesta de 103 asteroides, de los cuales se descartaron ocho asteroides. Se descartaron por los siguientes motivos:

- Cuatro asteroides cuyos espectros no encontramos (aunque en la bitácora sí estaban listados)
- Un asteroide cuyo espectro mostraba desvíos anormales en las últimas líneas de absorción (de 0.85 a 0.92 micras). Se descartó al tratarse de un espectro defectuoso
- Tres asteroides por ser simulacros.
- Dos asteroides cuyos espectros tiene baja relación señal a ruido.

### 4.4. Asteroides con diferente taxonomía

Dentro de nuestra muestra se encuentra el asteroide a18736 (1998 NU), observado en dos noches diferentes el 2 de diciembre de 2018 y otro el 17 de enero de 2019. Se obtuvo diferente tipo taxonómico en cada caso, uno siendo S y otro siendo Sq. Se decidió registrar el tipo taxonómico de 1998 NU como Sq, ya que la observación realizada el 1 de enero del 2019, tiene mejor señal a ruido.

En la Figura 4.3 se observan los espectros obtenidos del asteroide 1998 NU para ambas fechas.



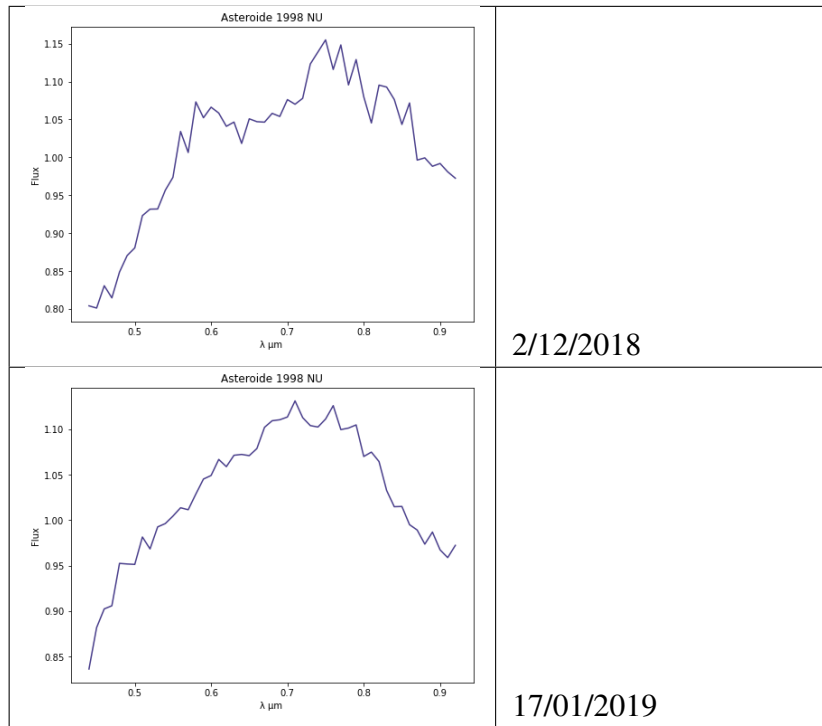


Figura 4.3: Espectro del asteroide a18736 (1998 NU).

Tomando en cuenta la ponderación, encontramos que dos de los asteroides en nuestra muestra, tiene diferente tipo taxonómico para cada proceso utilizado, en cambio sin ponderación el tipo taxonómico coincide en los tres procesos, para uno de los asteroides. A continuación, en la Tabla 4.2 se presentan los tipos taxonómicos obtenidos por los tres métodos con y sin ponderación. En la Figura 4.4 y 4.5 se pueden apreciar los espectros de cada asteroide junto a los tipos taxonómicos obtenidos por los tres métodos.

#	Nombre	Fecha	Libreria	Ecuación	Buendia	Taxonomia	
a007336	Saunders	01/01/2017	Sq	Sq/Xc	Sq	Sq	sin ponderación
			Xc	Sq	Q		con ponderación
a0381677	2009 BJ81	16/02/2019	V	V	Q	V	sin ponderación
			V	O	Q		con ponderación

Tabla 4.2: Asteroides sin taxonomia utilizando ponderación.

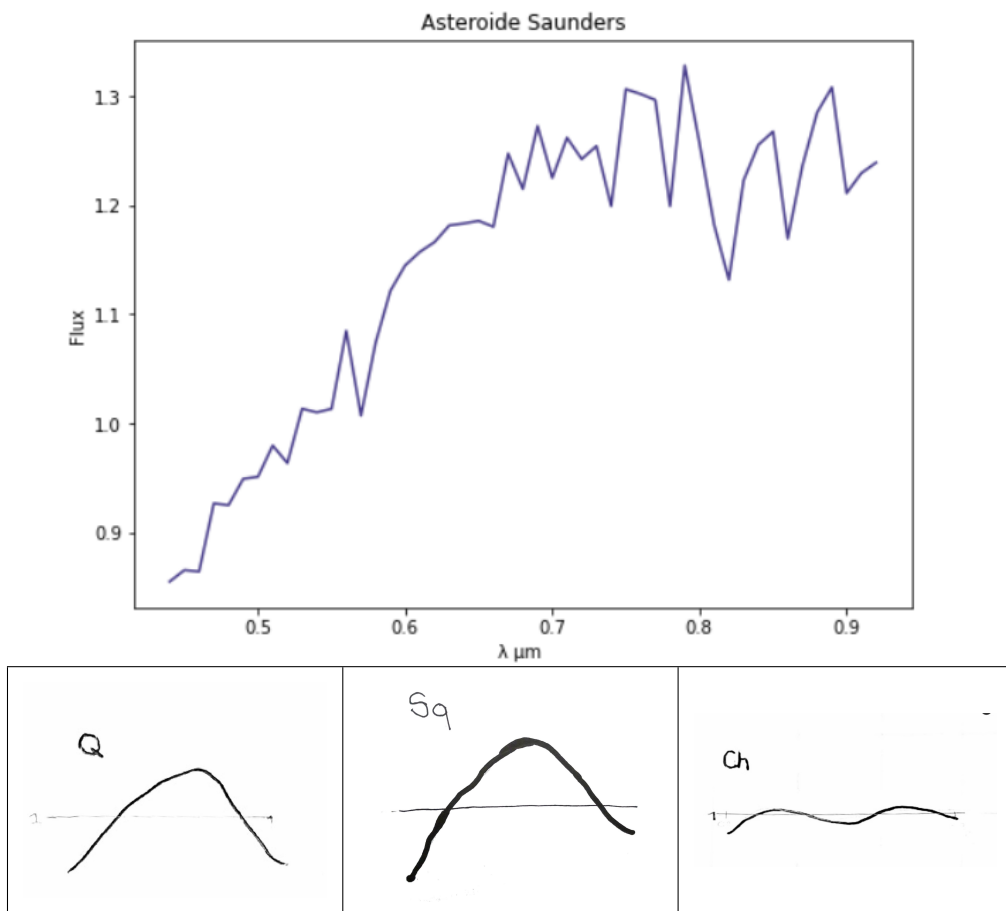


Figura 4.4: Espectro del asteroide a07336 con los tipos taxonómicos posibles.

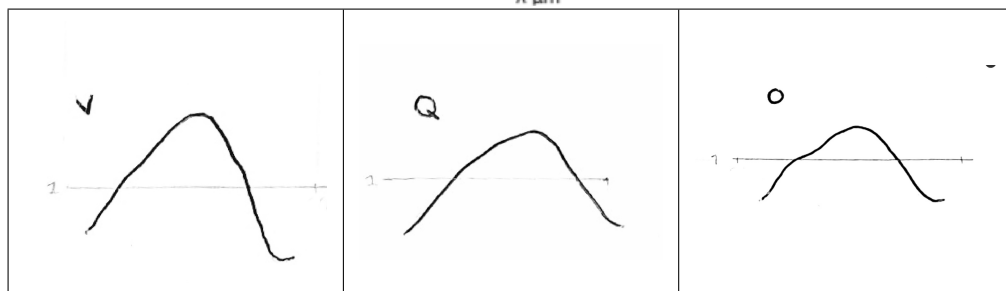
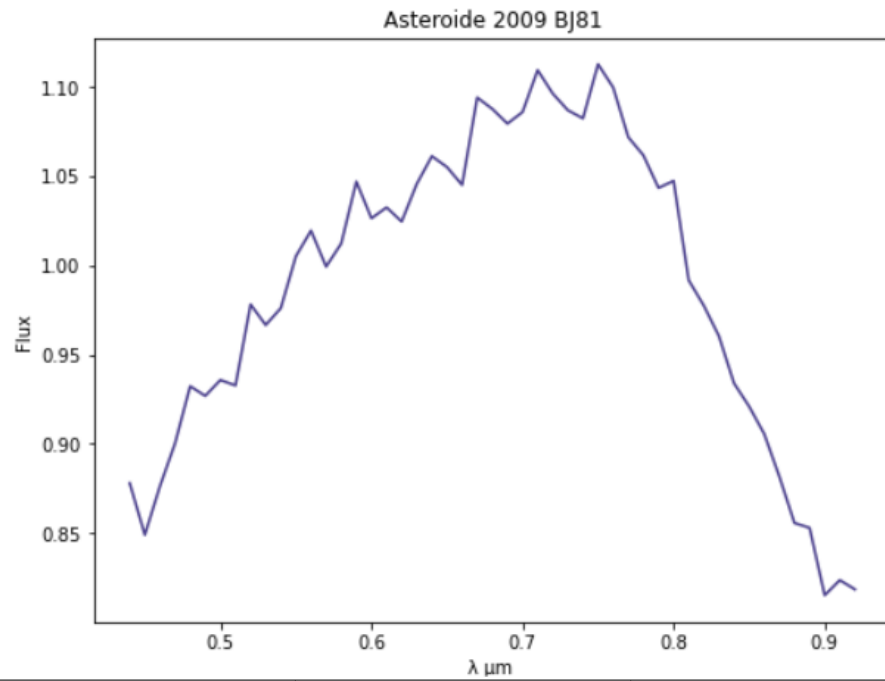


Figura 4.5: Espectro del asteroide a038167 con los tipos taxonómicos posibles.

# Capítulo 5

## Resultados

En esta sección se presentan los resultados del estudio de nuestra muestra consistente de 92 NEAs.

El principal resultado es la clasificación taxonómica para todos los asteroides de la muestra, una fracción de ellos ya contaban con alguna asignación, mientras que otra parte fueron por primera vez clasificados. Discutimos las diferencias entre los métodos que se siguieron para asignar los tipos taxonómicos finales, así como la justificación. También discutimos los resultados estadísticos.

A continuación, en la Figura 5.1, se presenta la distribución de los tipos taxonómicos de nuestra muestra. Se puede apreciar que la clase S es la que predomina. Esta clasificación no tiene ningún tipo de ponderación.

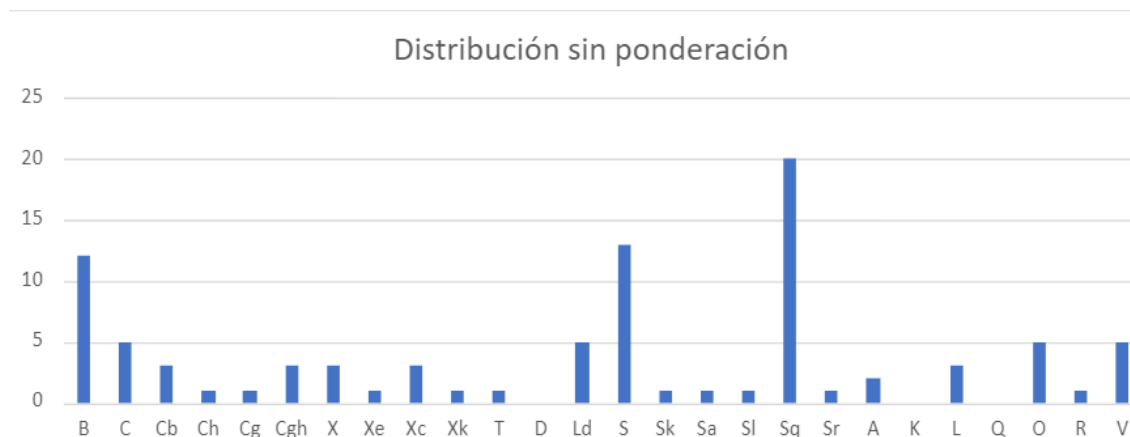


Figura 5.1: Distribución de tipos taxonómicos de los NEAs de nuestra muestra.

En la Figura 5.2 se observan las dos distribuciones obtenidas para los tipos taxonómicos; en morado se representan los resultados sin ponderación de la distribución mientras

que en verde representa los resultados con ponderación.

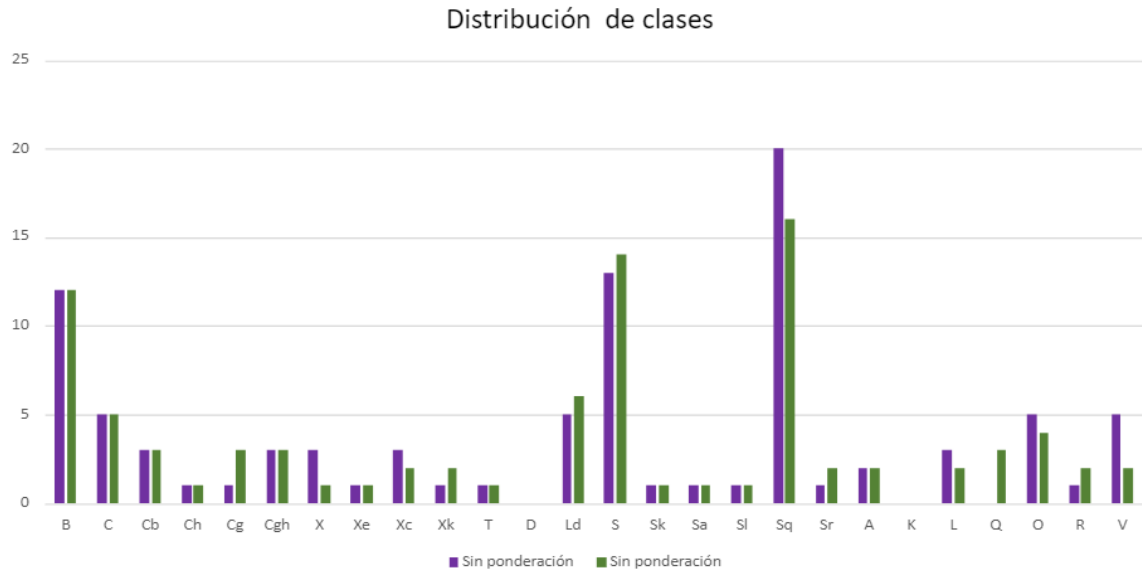


Figura 5.2: Distribución de tipos taxonómicos de los NEAs con ponderación y sin ponderación.

Ahora bien, el objetivo principal de esta tesis es clasificar taxonómicamente a todos los asteroides de nuestra muestra, con ponderación y sin ponderación, siendo de particular interés aquellos que aún no cuentan con una clase asignada. De la nuestra muestra total de 92 asteroides 42 de ellos aún no contaban con tipo taxonómico. En la Tabla 5.1 se listan los 42 asteroides mencionados.

N°	Nombre	Fecha de ob	Tax final
a416584	2004 JB12	03/06/2017	Ld
a096631	1999 FP59	22/09/2017	S
a338292	2002 UA31	22/10/2017	Sq
a333888	1998 ST4	23/10/2017	X
a457768	2009 KN4	24/10/2017	Ld
a085628	1998 KV2	17/04/2018	O
a212359	2006 EV52	18/04/2018	S
a444193	2005 SE71	20/04/2018	S
a337084	1998 SE36	21/04/2018	A
a068347	2001 KB67	12/06/2018	Sq
a467309	1996 AW1	12/06/2018	Cgh
a153957	2002 AB29	13/06/2018	V
a144332	2004 DV24	13/09/2018	O
a443923	2002 RU25	14/09/2018	X
	2018 RQ2	14/09/2018	L
a115052	2003 RD6	15/09/2018	Sk
a457260	2008 RY24	01/11/2018	O
a518635	2008 HO3	01/11/2018	B
a442742	2012 WP3	03/11/2018	Ch
a455550	2004 JO2	03/11/2018	Sq
a468481	2004 TP20	03/11/2018	O
a054401	2000 LM	04/11/2018	Sq
	2018 UQ1	04/11/2018	Sa
a18736	1998 NU	17/01/2019	Sq
a454177	2013 GJ35	19/01/2019	V
a512245	2016 AU8	24/01/2019	Sq
a455176	1999 VF22	12/02/2019	B
a141525	2002 FV5	13/04/2019	Sq
a112221	2002 KH4	27/06/2019	Sq
a159686	2002 LB6	27/06/2019	Sq
a494999	2010 JU39	27/06/2019	V
a002059	Baboquivari	24/10/2019	Sq
a153814	1994 PX12	24/10/2019	Cb
a162082	1998 HL1	24/10/2019	Sq
a248926	2006 WZ2	24/10/2019	B
a395289	2011 BJ2	26/10/2019	S
a326291	1998 HM3	27/10/2019	S
a489486	2007 GS3	27/10/2019	Cgh
a162723	2000 VM2	02/11/2019	O
a243025	2006 UM216	20/12/2019	S
a333555	2005 VY17	20/12/2019	Xe
a311044	2004 BB103	21/12/2019	S

Tabla 5.1: Asteroides a los cuales se les asignó por primera vez un tipo taxonómico.

Con respecto al resto de los asteroides de nuestra muestra, los cuales son 50, que tienen registro de al menos un tipo taxonómico, se compararon los tipos taxonómicos ya asignados por la literatura con los asignados por nosotros. Se encontró que 12 de ellos coinciden con los asignados en este trabajo y 17 coinciden con el complejo taxonómico asignado en la literatura. Mientras que en otros 17 asteroides no coincide el tipo taxonómico con el documentado en la literatura, gran parte de los tipos taxonómicos asignados de estos asteroides están dados por Binzel et al. (2019), finalmente, para cuatro asteroides, el tipo taxonómico asignado fue mediante estudios fotométricos, los cuales no son tan precisos como los espectroscópicos.

En la Figura 5.3 se observa el total de la muestra conforme a la asignación de los tipos taxonómicos.

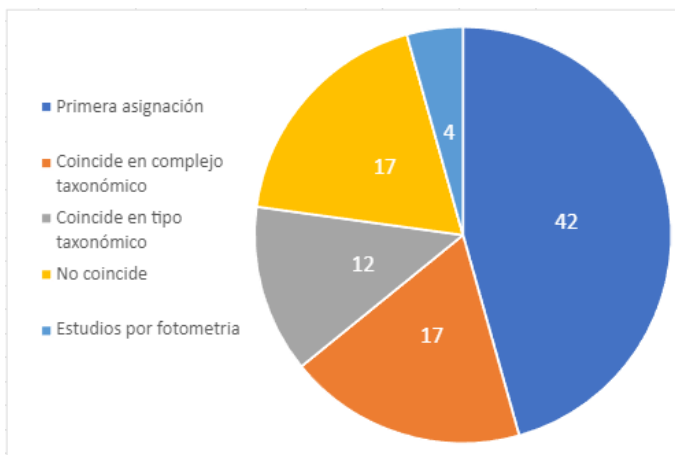


Figura 5.3: Muestra total de asteroides con respecto a la asignación de tipo taxonómico.

A lo largo de este trabajo siempre se tuvo presente la importancia que tiene cada paso del proceso para obtener un resultado efectivo y correcto, desde la selección de los asteroides a observar hasta la asignación final de un tipo taxonómico, pasando por una observación muy cuidadosa con un instrumento muy potente y un procesamiento de los datos muy acucioso, además de un análisis crítico y con diferentes métodos. De manera que creemos que los resultados de esta investigación están bien respaldados en buenas observaciones, una cuidadosa reducción de los datos y en un análisis completo y robusto.

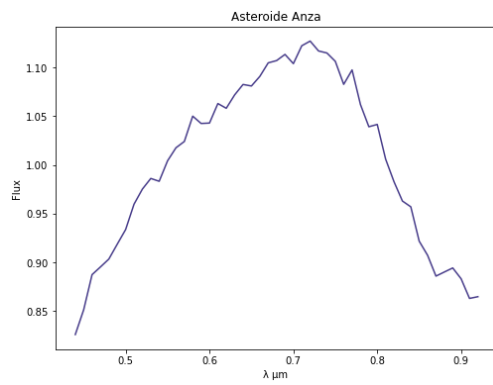
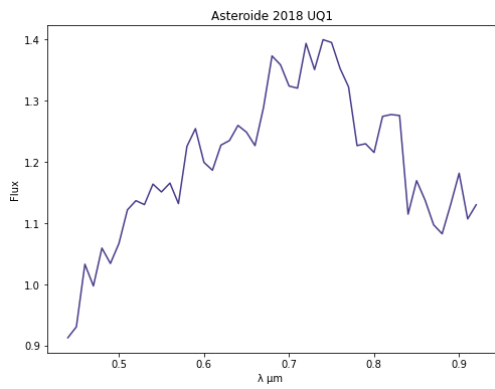
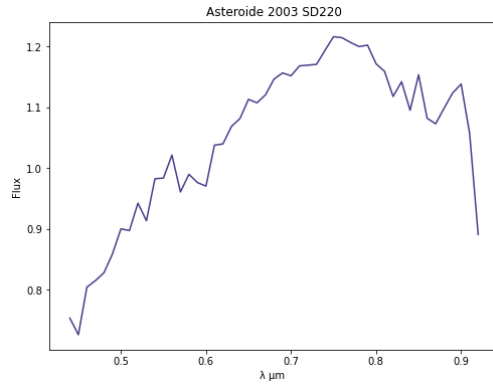
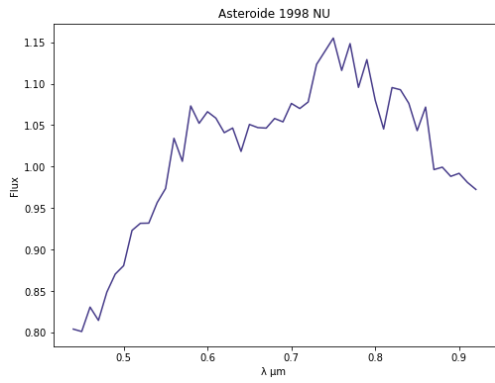
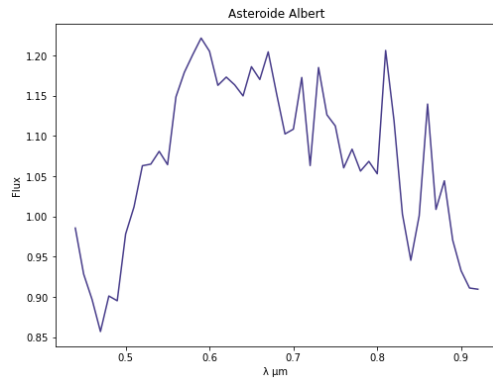
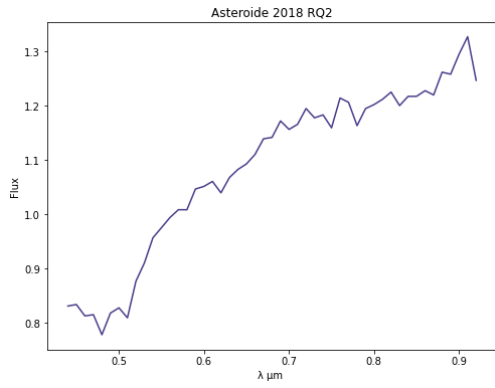
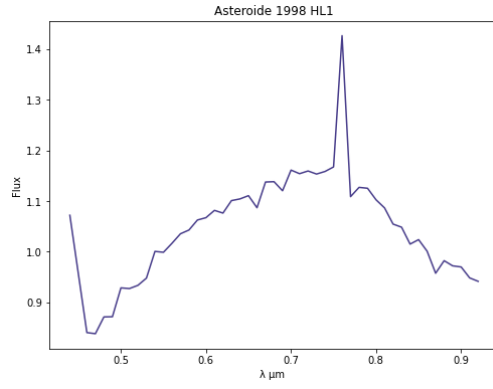
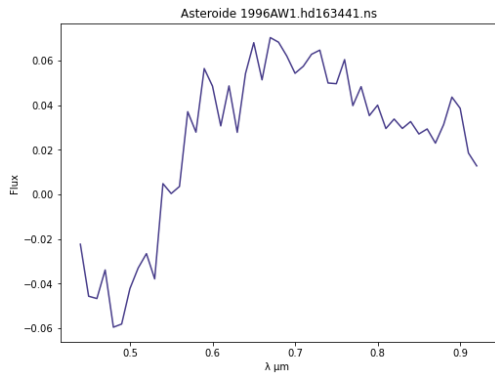
En la Tabla 5.2 se listan los objetos analizados en este trabajo; se incluye el número del asteroide, nombre, fecha de observación, ascensión recta, declinación, magnitud, distancia a la Tierra (UA), distancia al Sol (UA), ángulo de fase y diámetro del asteroide; y la taxonomía asignada. En la Figura 5.4 se muestran los espectros correspondientes.

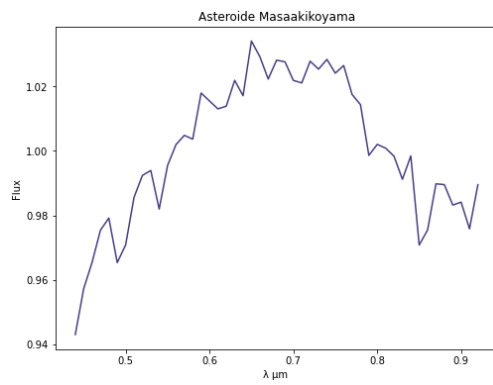
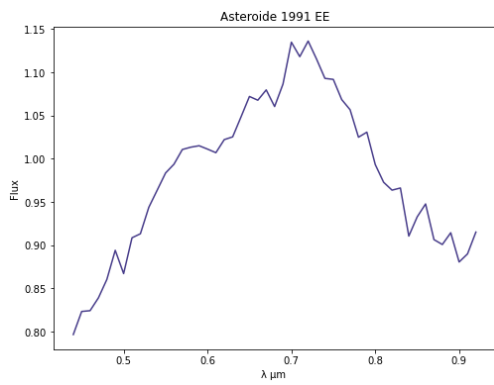
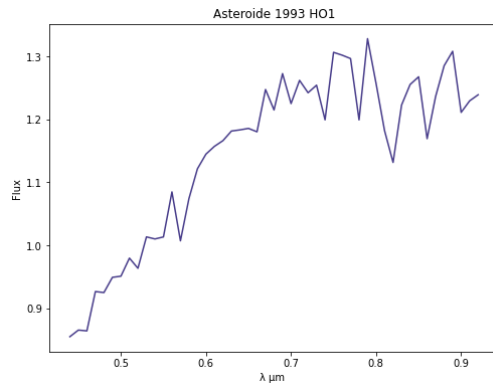
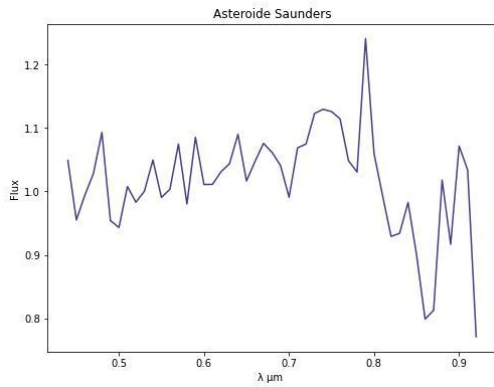
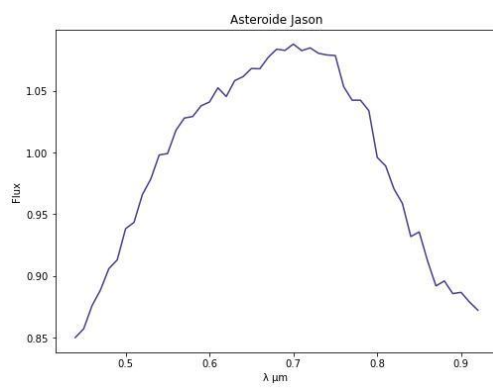
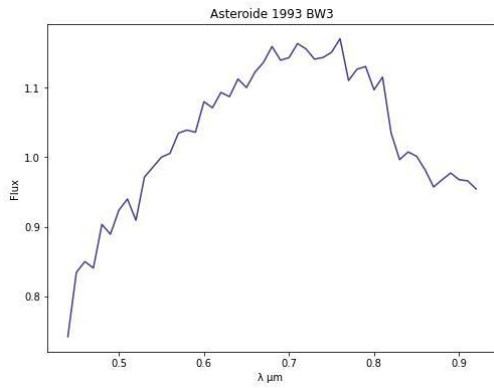
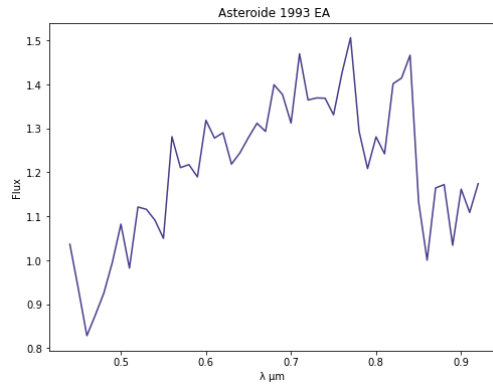
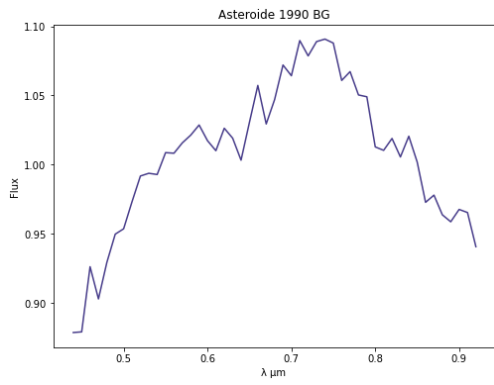
Nº	Nombre	Fecha de ob	AR	Declinacion	Magnitud	Δ (UA)	r (UA)	α (°)	Diam (km)	T.Taxonomico	Tax final
a000719	Albert	13/09/2018	17 54 17.2	-06 47 34.0	16.69	0.546	1.212	55.3	2.35	S*,S, X	S
a001685	Toro	22/10/2017	11 43 54.3	-04 01 42.6	17.65	2.104	1.352	22.3	3.78	S*, S, Sq	Ld
a002059	Baboquivari	24/10/2019	21 38 59.8	-08 09 24.7	16.68	0.488	1.275	45.4	1.9	S*	Sq
a002061	Anza	14/09/2018	04 57 24.1	+29 36 46.0	15.97	0.233	1.051	72.7	1.6	S*, TCG:	Sq
a005131	1990 BG	19/01/2019	07 38 59.8	+31 56 46.4	15.27	0.596	1.571	7.8	3.26	S*, S, Sq, Sa	Xc
a005693	1993 EA	13/04/2019	13 48 13.9	+01 02 05.4	17.85	0.744	1.738	6.7	1.26	S*, Sq, C, S	A
a006053	1993 BW3	22/09/2017	14 49 17.7	+88 53 38.7	15.11	0.319	1.047	73.5	2.67	S*,Sq,A	Sq
a006063	Jason	30/05/2017	17 46 02.1	+16 08 52.5	13.72	0.152	1.13	37.3	1.9	S*,Scomp	Sq
a007336	Saunders	22/10/2017	23 38 50.9	-16 34 41.5	17.97	0.294	1.23	32.6	0.467	S*,Sq,Q	Sq
a008037	1993 HO1	01/01/2017	21 42 26.2	-17 35 30.0	22.03	0.417486	1.987147	22	1.35	S*,T	L
a009856	1991 EE	20/04/2018	11 25 16.0	+20 31 03.4	17.17	0.415	1.32	34.3	1.24	S*, S	Sq
a013553	Masaakikoyar	13/09/2018	22 39 55.9	+03 35 35.6	15.07	0.291	1.292	10.2	1.35	S*, U	C
a015745	Yuliya	14/06/2018	16 56 18.2	+23 17 13.3	17.22	0.362	1.289	35.3	1.02	S*,S	Ld
a018109	2000 NG11	23/09/2018	23 20 54.3	-08 43 20.0	14.78	0.226	1.232	3.9	1.09	S*, C, X	T
a018172	2000 QL7	21/12/2019	02 35 40.5	+88 50 45.5	15.7	0.377	1.189	49	2.24	S*, Q, S, Sr	S
a031210	1998 BX7	12/02/2019	09 20 58.2	+13 58 57.0	17.81	0.87	1.855	2.5	1.57	S*, S, Sq	Sr
a031345	1998 PG	14/09/2018	20 46 49.8	+03 49 17.0	17.26	0.359	1.3	30.2	0.881	S*, Sq	Cg
a035107	1991 VH	24/02/2020	10 32 04.9	-08 37 21.9	17.59	0.474	1.215	50.4	1.19	S*, Sq	B
a0381677	2009 BJ81	16/02/2019	11 12 06.7	+33 20 30.2	15.85	0.169	1.141	23.2	0.624	S*, Q	V
a054660	2000 UJ1	01/11/2018	05 50 15.7	+26 43 18.7	5.34	0.126	1.079	44.5	0.796	S*, S	Sq
a06456	Galombek	22/09/2018	22 25 53.5	+06 24 53.6	15.65	0.428	1.421	12.1	1.85	S*,Q	B
a065733	1993 PC	01/11/2018	23 00 40.3	+31 42 20.5	15.61	0.116	1.072	44.7	0.627	S*, X:	B
a066391	Moshup	02/06/2017	19 46 26.0	+29 41 41.4	15.19	0.172	1.084	61.7	1.33	S*,Q,S cpx	B
a085953	1999 FK21	18/04/2018	08 04 58.4	+46 08 01.7	17.3	0.168	1.007	84.3	0.678	S*,S	Sq
a085989	1999 JD6	02/06/2019	18 02 34.4	+17 33 14.6	17.8	0.525	1.435	29.8	1.12	S*,K, X,L,D	Xc
a088263	2001 KQ1	01/11/2018	04 38 32.0	+29 18 35.5	16.11	0.516	1.447	22.9	2.25	S*, X	C
a112221	2002 KH4	27/06/2019	16 38 23.2	+62 27 48.4	18.11	1.032	1.471	43.7	2.3	S*	Sq
a115052	2003 RD6	15/09/2018	23 23 41.9	+29 59 14.2	17.41	0.424	1.38	23.6	0.984	S*	Sk
a136923	1998 JH2	03/06/2017	14 54 17.4	-19 05 38.3	18.09	0.86	1.828	13.9	1.66	S*,D, Sw	Ld
a137170	1999 HF1	03/06/2017	23 04 54.8	+44 51 38.6	16	0.535	0.979	78.1	3.41	S*,PM,C/X,Xk	Cb
a137199	1999 KX4	21/12/2019	07 14 08.9	+10 00 38.8	16.25	0.357	1.319	17.3	1.13	S*, V, Q, S, Sr	Cb
a137805	1999 YK5	17/01/2019	11 41 35.7	+57 54 02.7	16.5	0.35	1.218	41.5	1.36	S*, X, P	B
a138847	2000 VE62	18/04/2018	12 09 25.7	-08 50 08.6	14.62	0.176	1.168	19.7	1.17	S*, S	S
a139345	2001 KA67	12/06/2018	18 24 42.4	+11 25 19.7	16.58	0.381	1.337	27.9	1.15	S*,C,P	C
a141079	2001 XS30	01/11/2018	19 32 47.0	+74 10 39.9	17.66	0.31	1.092	63.5	0.869	S*, Xc	R
a141525	2002 FV5	13/04/2019	15 20 54.1	+21 47 45.0	17.28	0.297	1.239	32.8	0.726	S*	Sq
a141593	2002 HK12	27/10/2019	01 49 50.7	+20 32 06.5	17.26	0.371	1.362	6.3	0.681	S*, C, X	Xc
a142464	2002 TC9	22/09/2017	00 17 11.1	+13 38 22.0	17.52	0.372	1.367	11	0.659	S*, S comp	Sq
a144332	2004 DV24	13/09/2018	18 01 32.7	+44 53 04.5	14.09	0.081	1.015 81.5	81.5	1.44	S*	O
a144898	2004 VD17	14/04/2019	12 09 45.3	-08 41 35.6	17.94	0.339	1.328	14.3	0.493	S*, E	L
a152931	2000 EA107	21/04/2018	09 38 19.7	+61 35 31.3	17.79	0.627	1.199	56.9	1.75	S*, Q, S	S
a153814	1994 PX12	24/10/2019	04 23 23.0	+29 42 08.1	17.02	0.249	1.197	32	0.641	S*	Cb
a153957	2002 AB29	13/06/2018	17 48 56.6	+24 37 28.9	16.39	0.213	1.168	40.4	0.818	S*	V
a159686	2002 LB6	27/06/2019	19 25 22.6	+46 43 02.6	16.21	0.309	1.152	56.8	1.6	S*	Sq
a162004	1991 VE	20/12/2019	07 54 57.2	+34 47 31.3	17.89	0.385	1.333	21.4	0.665	S*, X	B
a162082	1998 HL1	24/10/2019	01 29 51.5	+41 49 43.2	13.64	0.043	1.032	29.5	0.444	S*	Sq
a162723	2000 VM2	02/11/2019	02 33 14.6	+38 24 37.9	17.11	0.378	1.346	17.4	0.885	S*	O
a163899	2003 SD220	02/12/2018	11 34 34.6	+40 44 16.8	15.27	0.09	0.995	81.9	0.914	S*, S/D, Sr	S
a184990	2006 KE89	27/05/2019	21 57 38.3	+51 50 13.3	16.77	0.293	0.983	87.4	1.55	S*, A	Sq
a18736	1998 NU	17/01/2019	07 15 26.5	+22 57 41.4	14.86	0.353	1.333	6.6	1.93	S*	Sq
a190208	2006 AQ	22/10/2017	03 02 17.8	+43 57 34.1	15.99	0.172	1.137	31.7	0.681	S*,Cg,S,K	C
a192563	1998 WZ6	20/12/2019	04 33 03.0	+55 27 01.3	16.25	0.292	1.234	27.2	1.05	S*, V	V
a212359	2006 EV52	18/04/2018	17 22 39.0	+11 37 04.8	17.59	0.542	1.365	39.1	1.38	S*	S
a220839	2004 VA	13/06/2018	14 24 34.7	-05 54 35.3	17.46	0.393	1.317	34	0.975	S*, C	B
a243025	2006 UM216	20/12/2019	06 31 07.5	+07 09 36.4	16.24	0.519	1.484	12.5	1.81	S*	S
a248926	2006 WZ2	24/10/2019	23 15 43.0	+80 59 18.8	17.04	0.357	1.158	54.6	1.23	S*	B
a265962	2006 CG	22/09/2017	22 37 27.3	+12 55 37.9	17.22	0.227	1.215	19.3	0.471	S*,X	C
a275611	1999 XX262	13/04/2019	09 41 35.2	+06 26 32.9	19.84	0.745	1.538	33.3	0.713	S*, Q	B
a311044	2004 BB103	21/12/2019	06 10 25.3	+30 25 11.9	16.46	0.429	1.41	5.5		S*	S
a326291	1998 HM3	27/10/2019	00 28 48.0	+10 55 22.9	16.91	0.206	1.186	19.2	0.433	S*	S
a326388	2001 QD96	23/09/2017	23 11 12.4	+50 37 37.0	17.49	0.263	1.185	41.7	0.644	S*,C	X
a333555	2005 VY17	20/12/2019	05 49 31.4	+39 59 03.0	16.16	0.32	1.294	12.5		S*	Xe
a333888	1998 ST4	23/10/2017	01 28 29.5	+25 41 44.4	16.31	0.413	1.398	10.8	1.33	S*	X
a337084	1998 SE36	21/04/2018	13 18 08.7	+02 58 25.0	17.72	0.217	1.214	14.1	0.3	S*	A
a338292	2002 UA31	22/10/2017	22 41 46.4	+16 35 01.1	17.9	0.241	1.178	36.7	0.41	S*	Sq

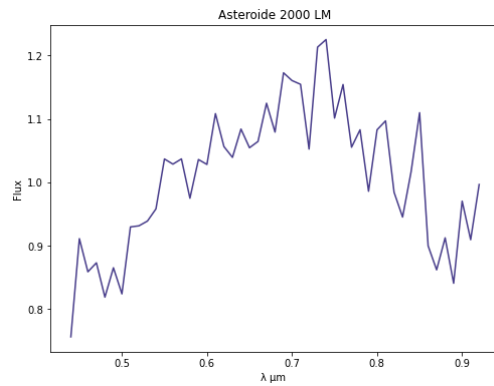
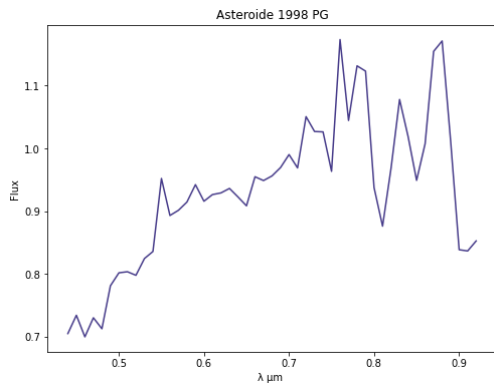
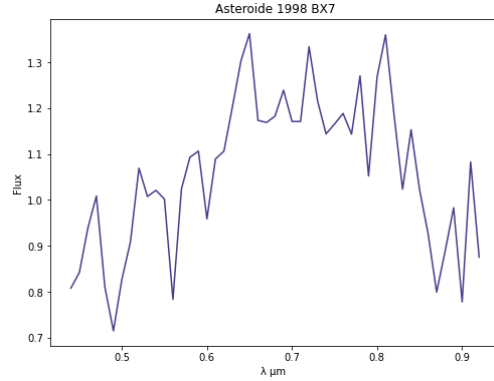
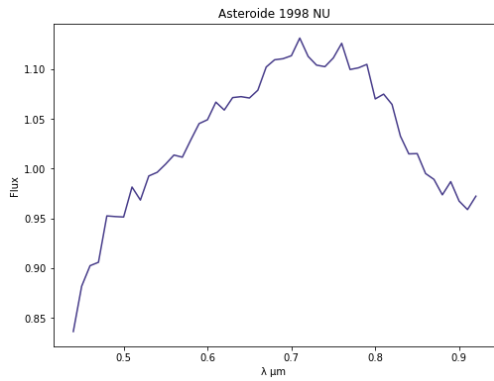
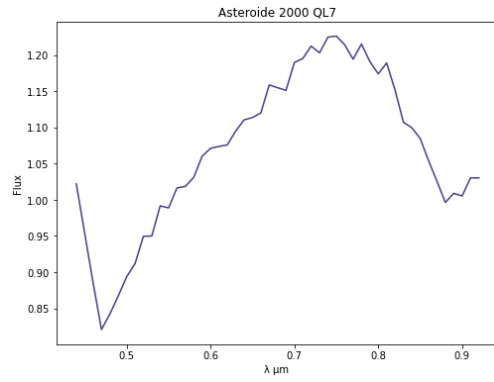
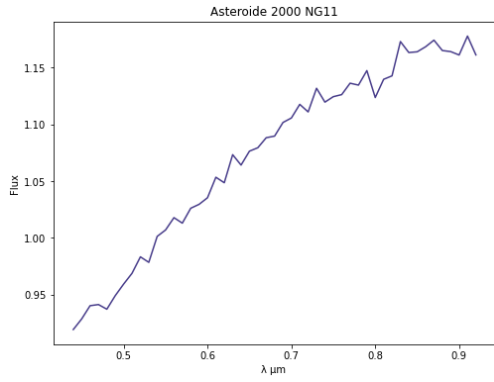
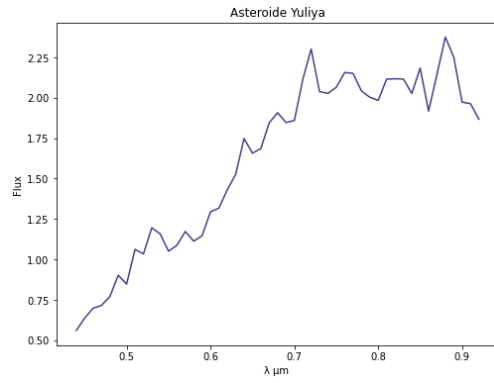
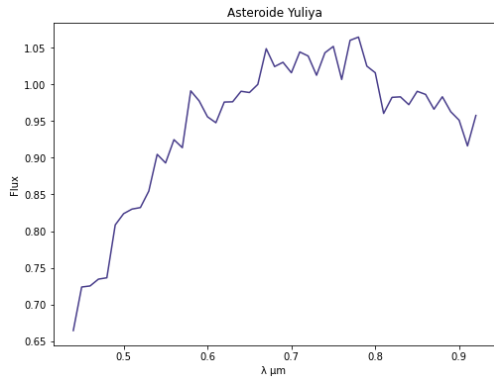


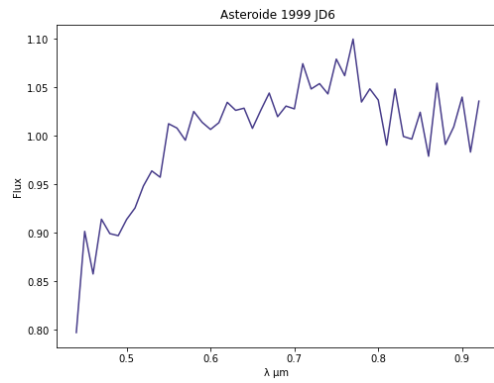
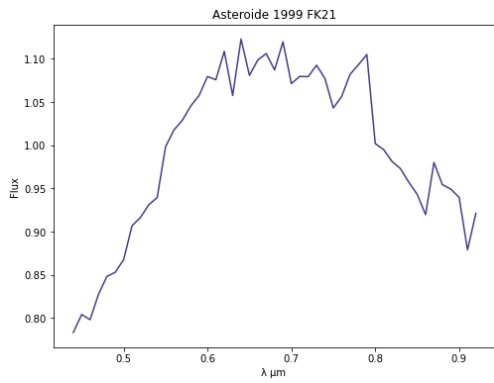
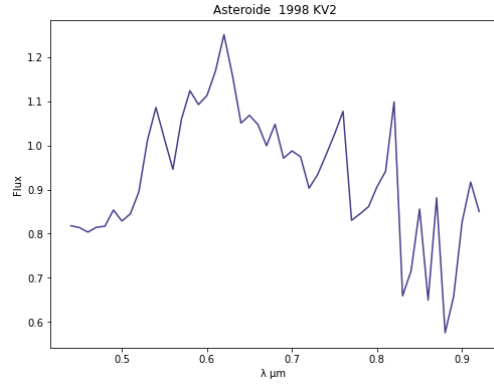
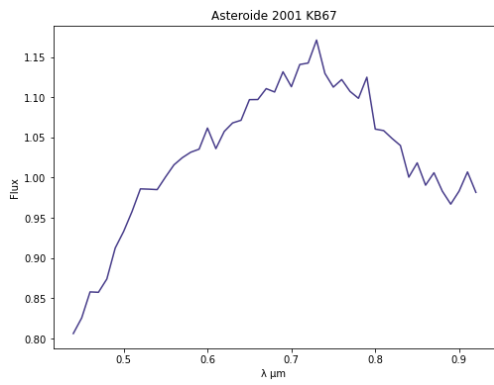
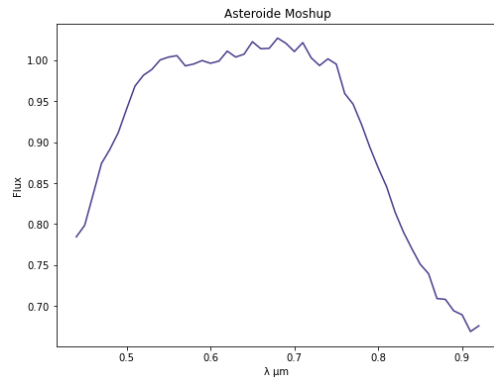
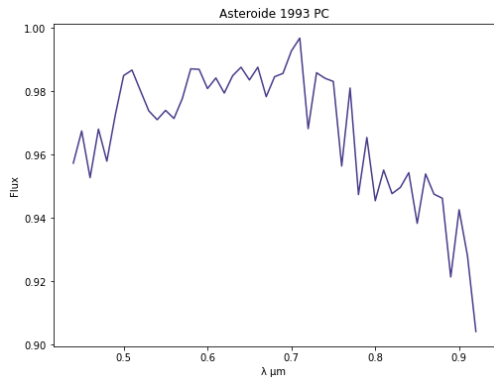
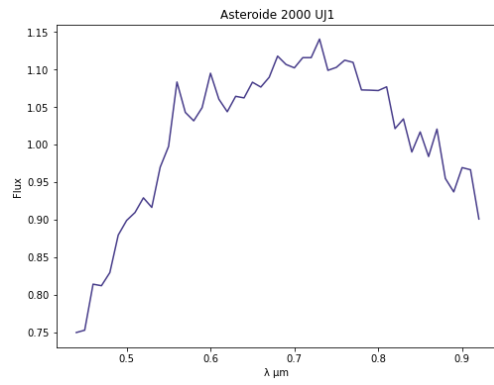
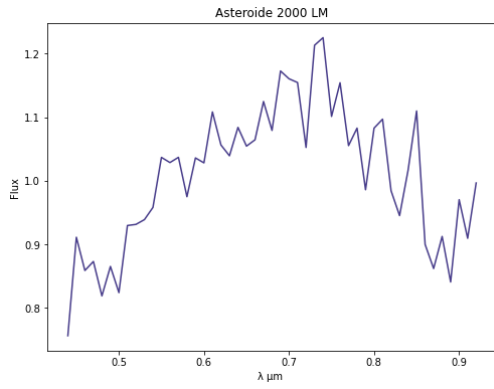
a354030	2001 RB18	24/10/2019	04 04 02.7	+11 03 15.8	15.63	0.127	1.104	28.9	0.566	S*, U,C	Cgh
a395289	2011 BJ2	26/10/2019	05 27 13.6	+52 04 42.6	15.8	0.129	1.069	51.7	0.65	S*	S
a411201	2010 LJ14	26/10/2017	29 02.8	-13 11 02.2	18.19	0.5	1.435	23	0.803	S*,V	B
a416584	2004 JB12	03/06/2017	19 03 53.5	+18 39 30.1	18.05	0.255	1.184	43.5	0.495	S*	Ld
a438429	2006 WN1	14/09/2018	21 16 12.5	+09 49 52.0	16.87	0.188	1.164	29.8	0.498	S*,Xk	Xk
a441987	2010 NY65	02/06/2019	04 49 24.4	+02 44 24.0	27.05	0.156	0.869	157	0.158	S*,S,Sv	Sl
a442742	2012 WP3	03/11/2018	03 08 01.8	+23 49 33.6	16.91	0.372	1.358	9	0.838	S*	Ch
a443923	2002 RU25	14/09/2018	01 25 40.6	-22 47 07.2	16.28	0.255	1.225	27.8	0.94	S*	X
a444193	2005 SE71	20/04/2018	16 05 25.2	+54 50 52.8	15.24	0.083	1.033	67.7	18.14	S*	S
a454177	2013 GJ35	19/01/2019	07 40 18.1	-21 22 17.5	14	0.196	1.136	35.5	2	S*	V
a455176	1999 VF22	12/02/2019	12 45 58.0	+14 45 34.7	18.22	0.141	1.092	39.7		S*	B
a455550	2004 JO2	03/11/2018	05 30 45.5	+13 31 35.8	16.2	0.266	1.199	34.7	1.08	S*	Sq
a457260	2008 RY24	01/11/2018	03 15 08.9	+39 05 49.4	16.26	0.239	1.21	22.1	0.746	S*	O
a457768	2009 KN4	24/10/2017	18 55 25.9	+24 55 53.8	17.94	0.205	0.988	86.1	0.627	S*	Ld
a467309	1996 AW1	12/06/2018	15 44 51.2	+09 35 40.9	17.1	0.123	1.112	36	0.311	S*	Cgh
a468481	2004 TP20	03/11/2018	00 30 25.8	-04 13 44.2	17.67	0.162	1.128	30.8	0.297	S*	O
a481394	2006 SF6	02/11/2019	03 46 36.0	+28 19 52.9	16.08	0.096	1.081	21.2	0.293	S*,ASD,S	Sq
a489486	2007 GS3	27/10/2019	04 35 19.5	+17 30 20.0	16.88	0.151	1.118	32.4	0.428	S*	Cgh
a494999	2010 JU39	27/06/2019	15 11 30.2	+18 20 39.9	15.92	0.063	1.047	59.3	0.341	S*	V
a512245	2016 AU8	24/01/2019	07 15 04.0	+24 26 05.3	17.17	0.177	1.155	14	0.323	S*	Sq
a518635	2008 HO3	01/11/2018	23 31 10.5	-05 26 24.5	17.44	0.292	1.21	36.9	0.713	S*	B
a54401	2000 LM	04/11/2018	01 30 50.5	+30 44 24.7	17.96	0.62	1.585	13.2	1.07	S*	Sq
a68347	2001 KB67	12/06/2018	16 29 56.1	+23 57 19.0	17.02	0.11	1.091	44.3	0.316	S*	Sq
a85628	1998 KV2	17/04/2018	15 22 03.2	+04 06 49.0	17.55	0.499	1.46	19.7	1.02	S*	O
a96631	1999 FP59	22/09/2017	00 18 32.1	-00 44 35.5	16.6	0.309	1.312	4.3	0.713	S*	S
	2018 RQ2	14/09/2018	03 06 04.5	+23 21 05.9	17.38	0.029	1.021	58.5	0.078	S*	L
	2018 UQ1	04/11/2018	03 26 46.5	+31 39 19.1	17.46	0.075	1.063	18.8	0.116	S*	Sa

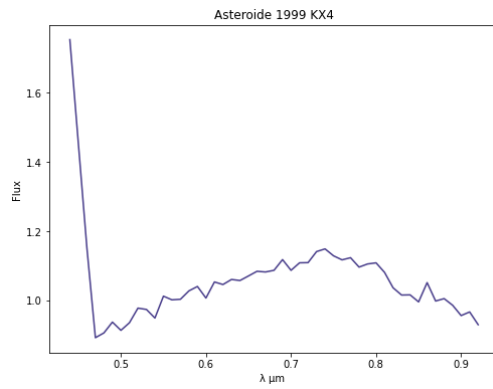
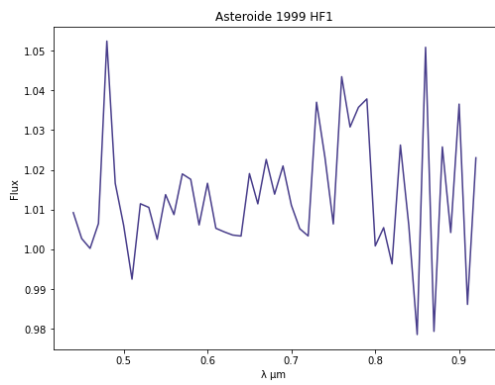
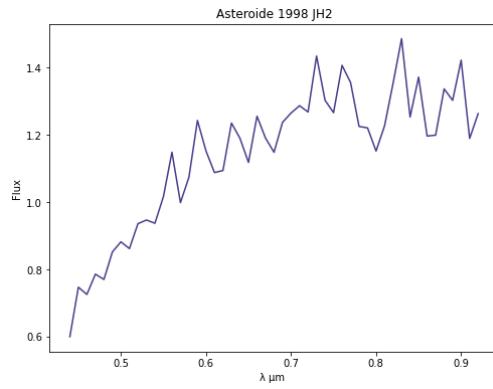
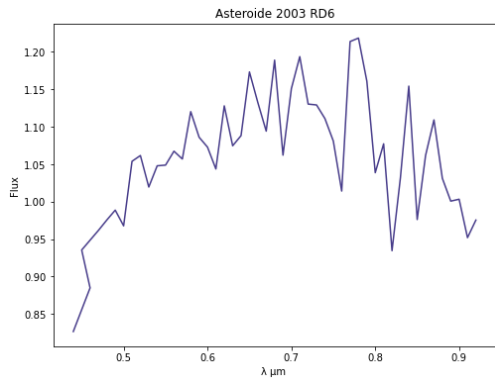
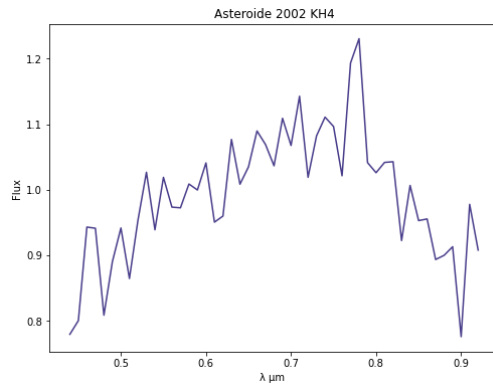
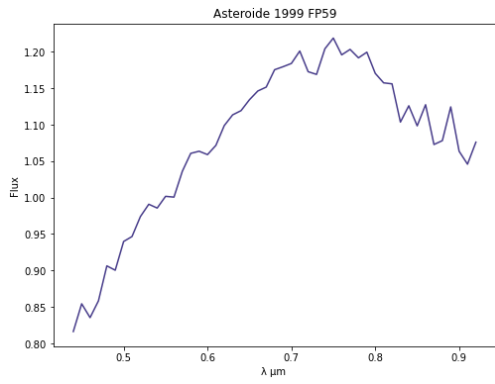
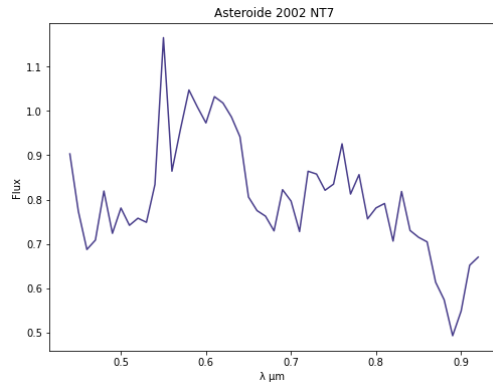
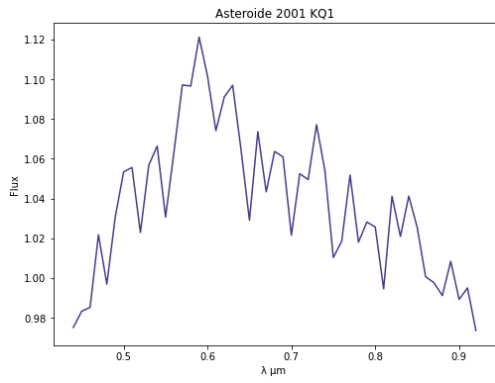
Tabla 5.2: Lista de asteroides NEAs en nuestra muestra observados durante el periodo de enero 2017 a enero 2020.

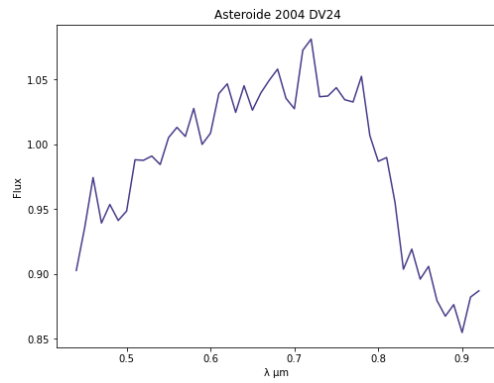
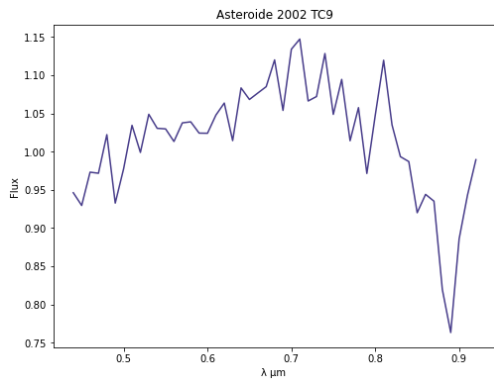
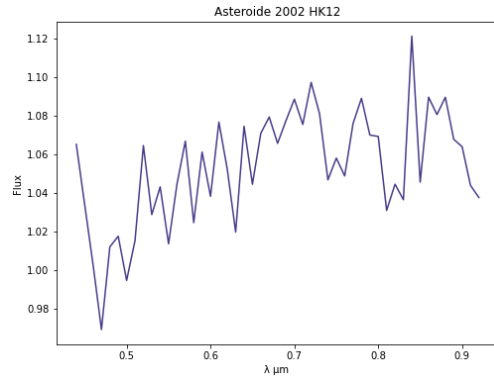
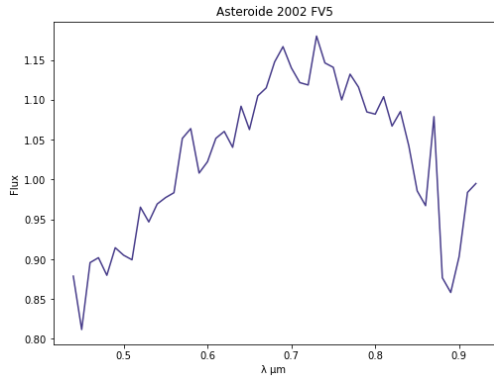
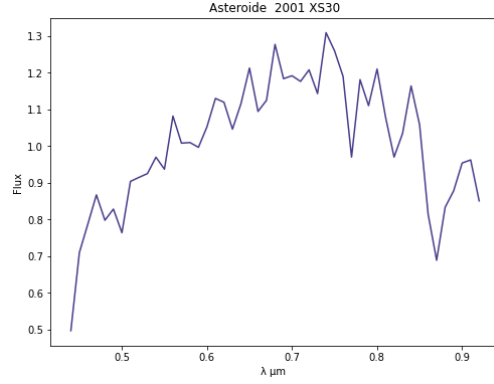
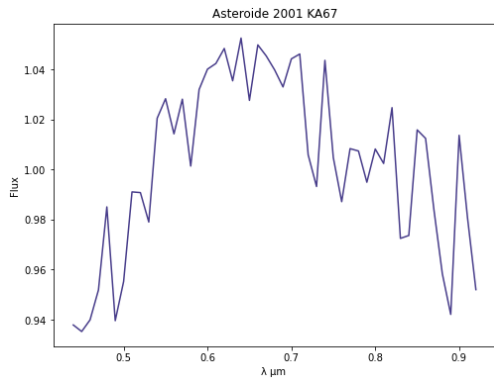
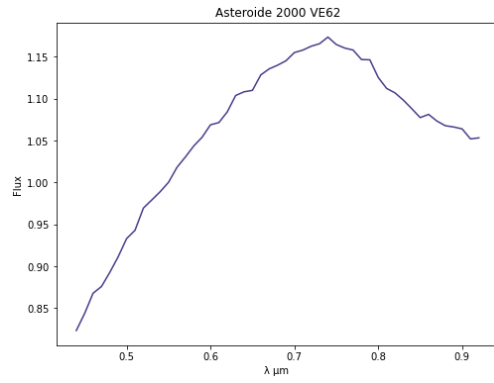
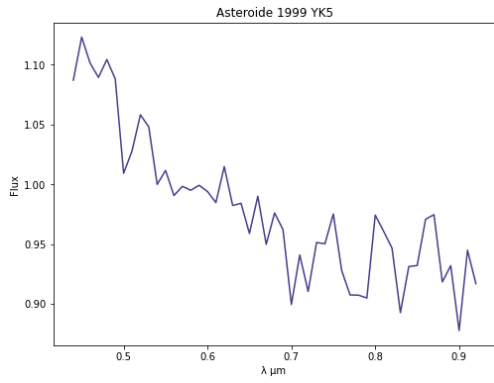


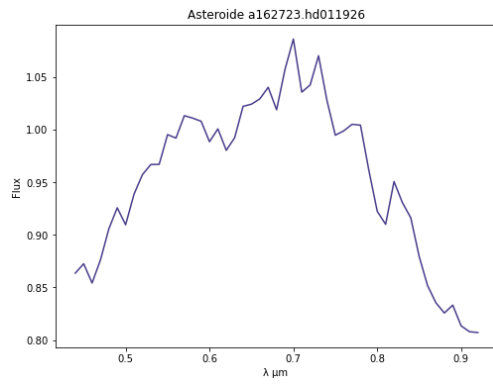
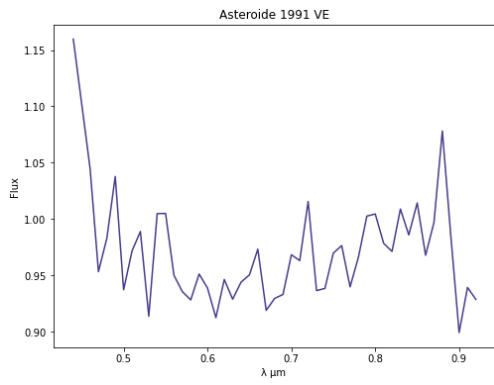
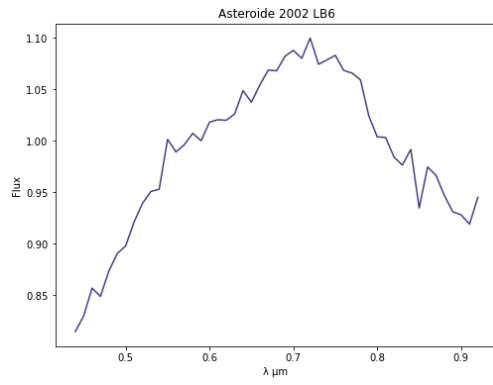
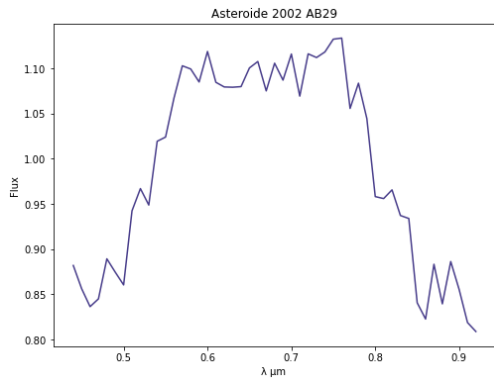
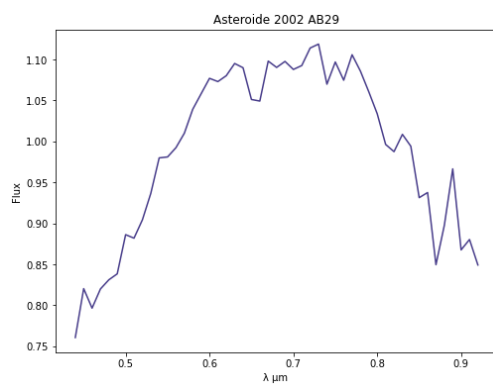
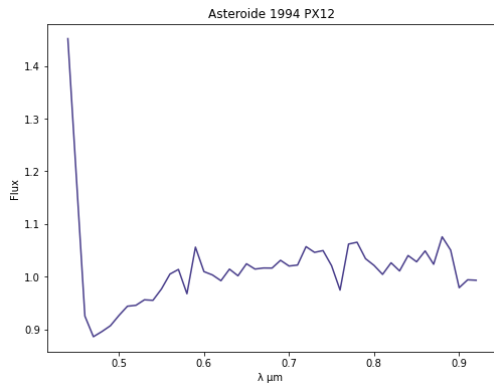
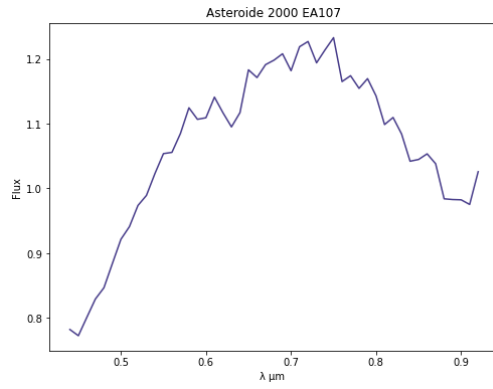
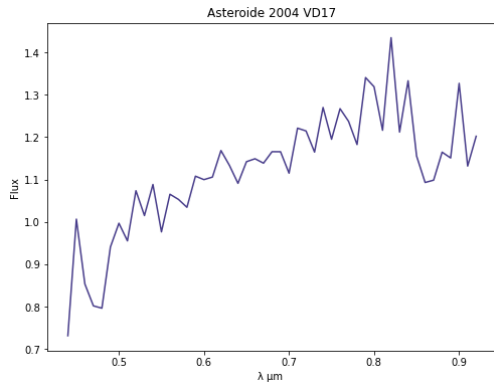




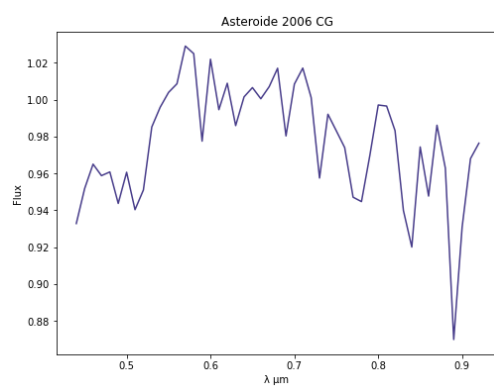
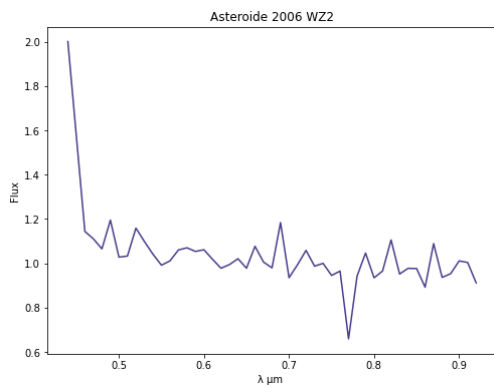
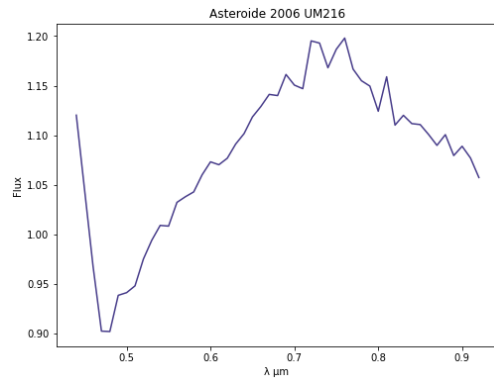
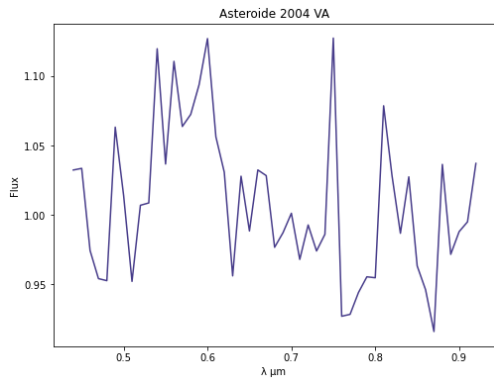
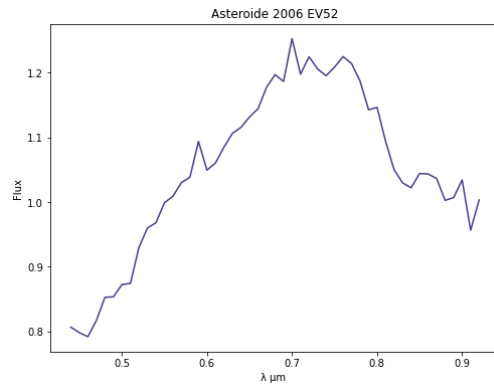
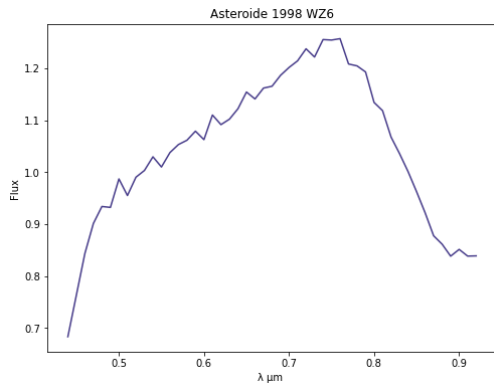
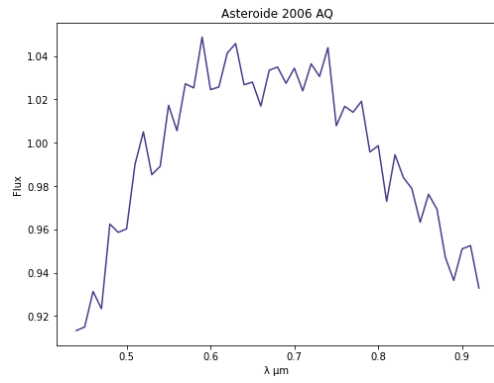
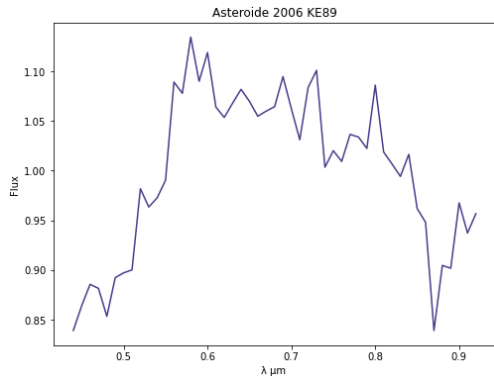


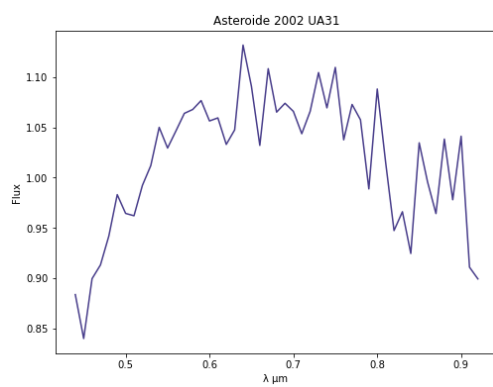
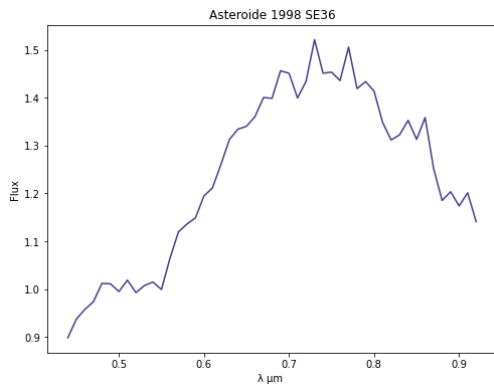
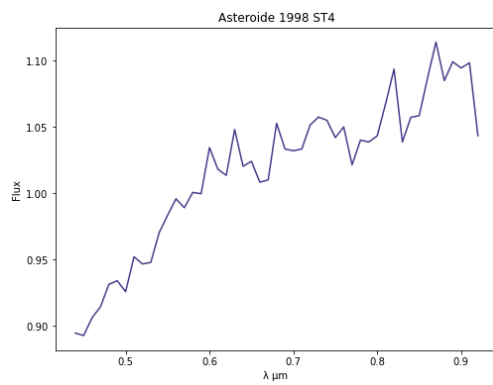
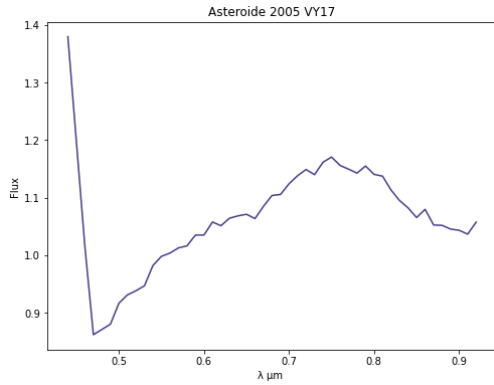
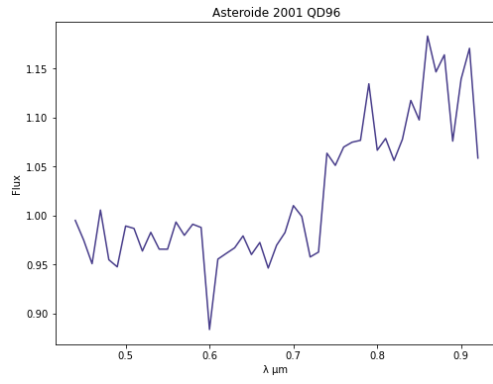
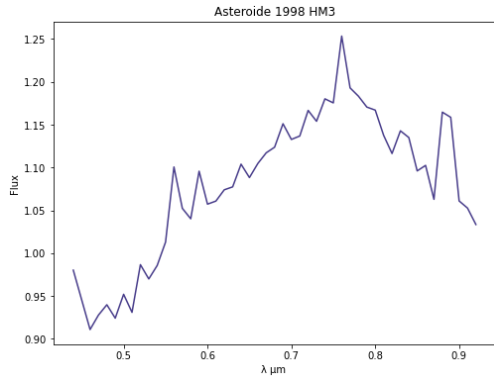
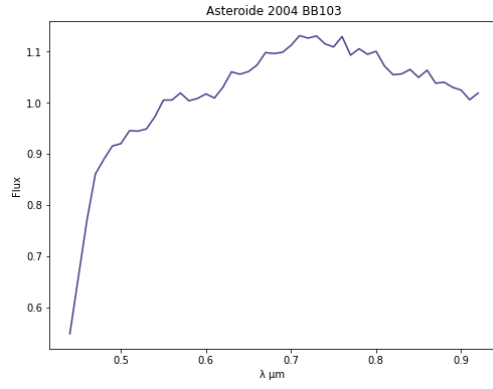
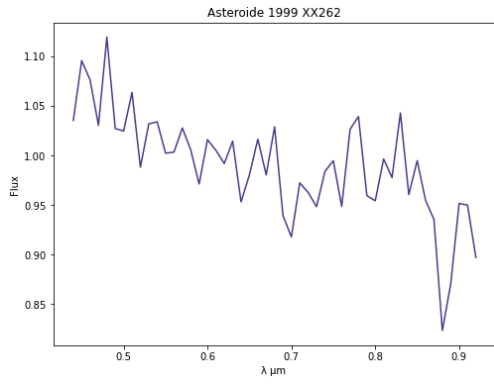


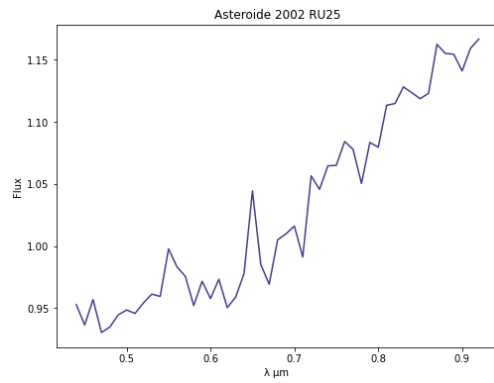
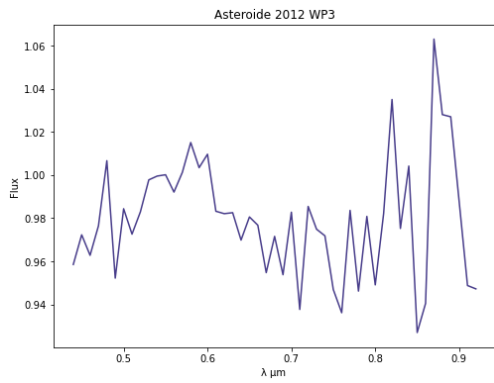
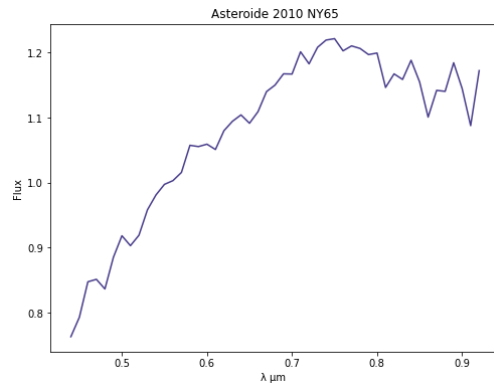
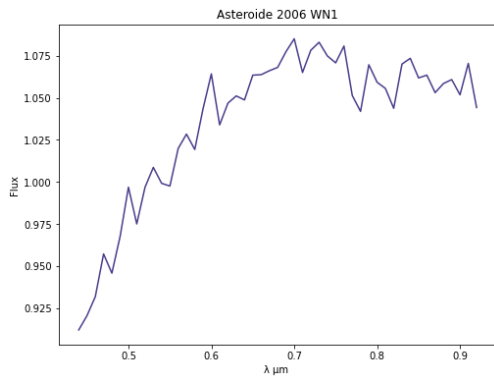
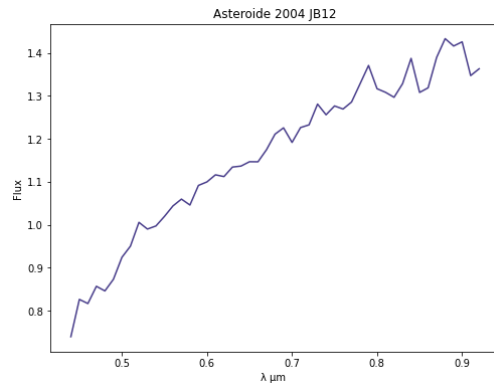
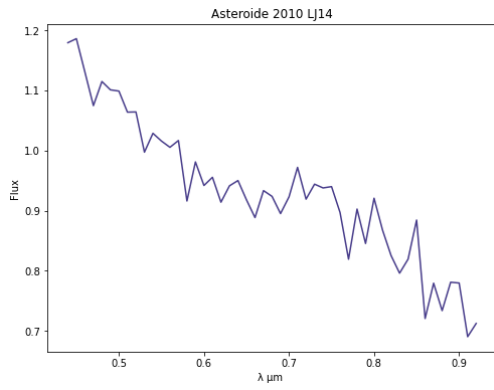
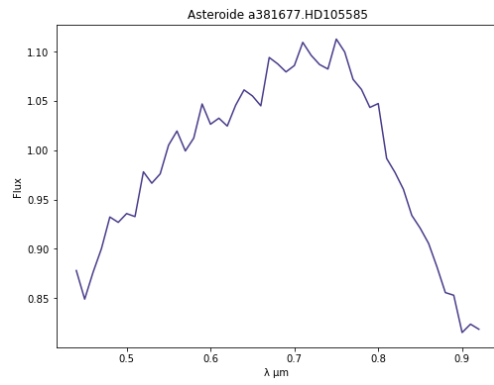
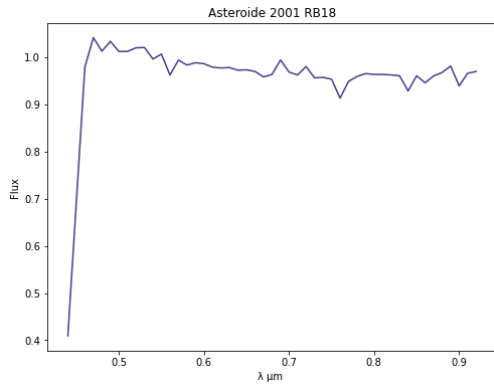


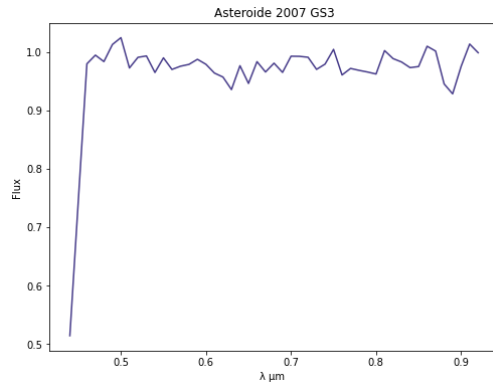
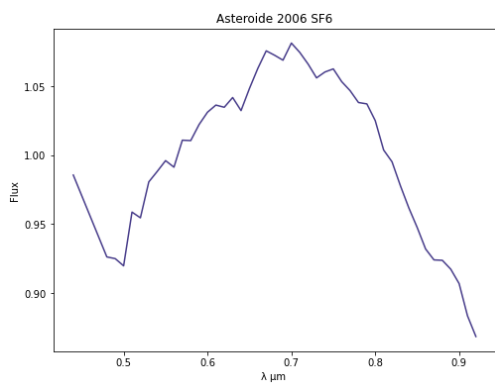
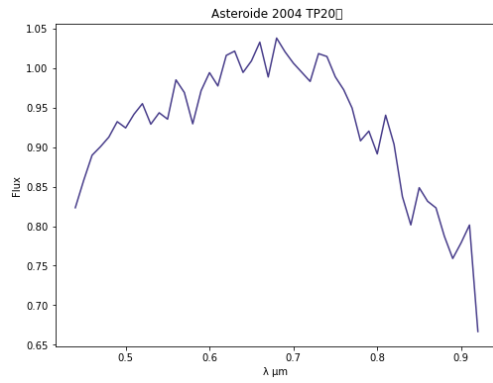
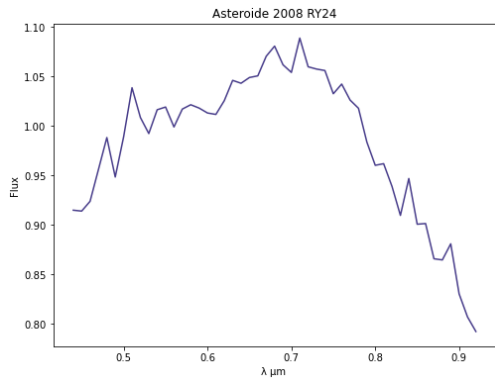
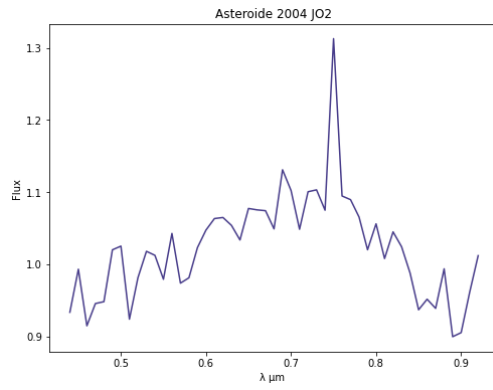
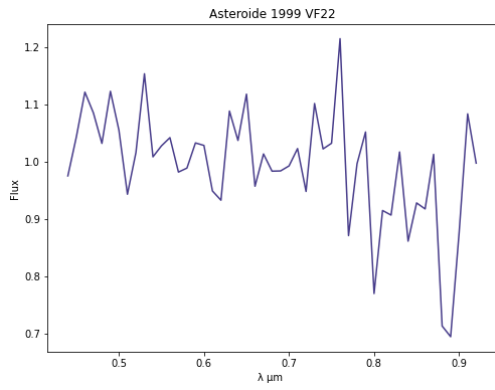
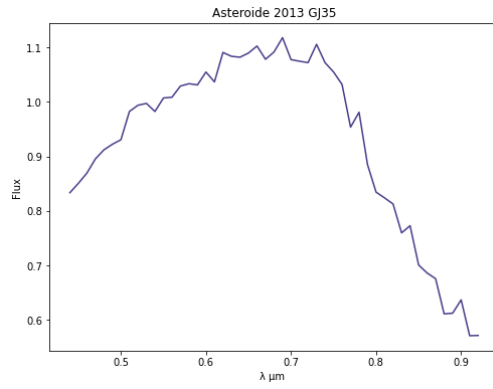
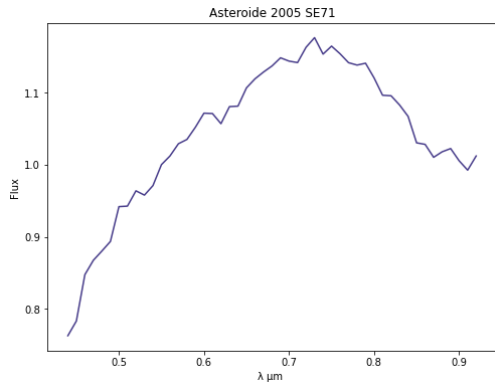












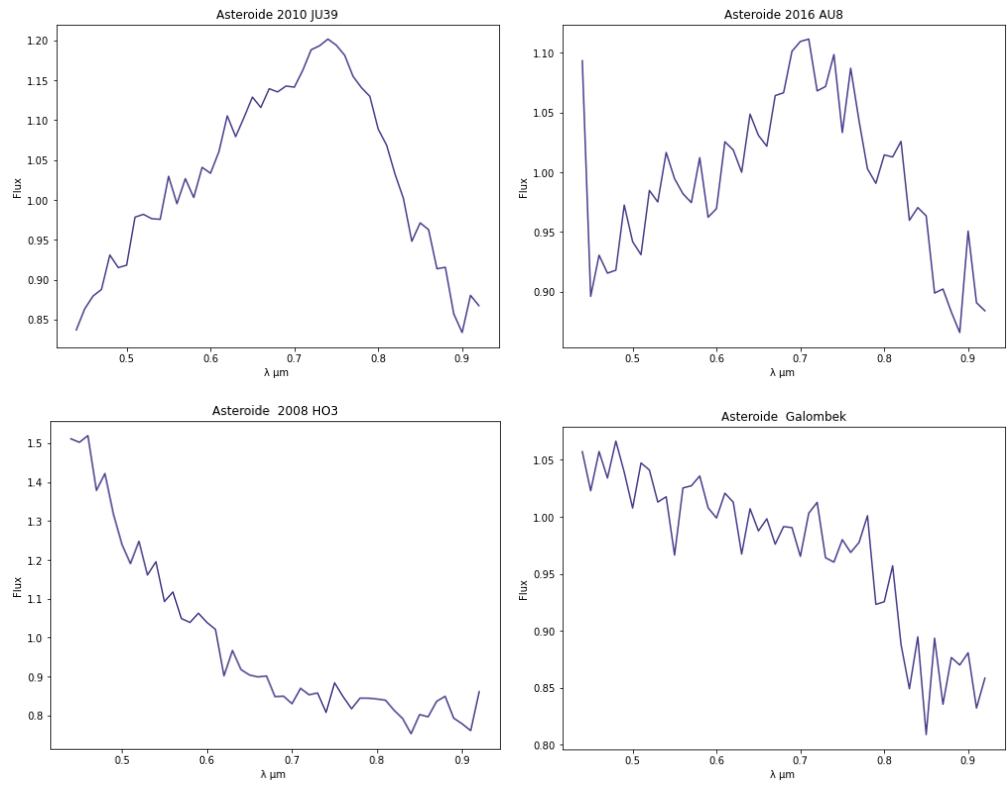


Figura 5.4: Se muestran los espectros de los asteroides analizados en este trabajo; el eje x corresponde a la longitud de onda de 0,4600  $\mu\text{m}$  a 0.9200  $\mu\text{m}$  y el eje y corresponde al flujo normalizado a 0.550  $\mu\text{m}$ .

# Capítulo 6

## Conclusiones

La clasificación taxonómica de asteroides es de vital importancia para determinar la naturaleza de estos objetos. Es por ello que, como parte de los compromisos que tiene el INAOE como miembro de la IAWN, llevamos a cabo la clasificación taxonómica para otra muestra, en esta ocasión de 92 asteroides cercanos a la Tierra.

Para 42 de los NEAs en esta muestra reportamos por primera vez su tipo taxonomico, contribuyendo de esta manera a los compromisos mencionados arriba, y a la vez mostrando las capacidades instrumentales con las que cuenta el OAGH para este proyecto.

Por otro lado, para el resto de la muestra, 50 NEAs, se realizó una comparación con los reportados en la literatura, encontrándose que 12 de ellos conciden con los tipo taxonómico reportados, otros 17 de ellos sólo coinciden en el complejo taxonómico y el resto difiere.

Hemos tratado de llevar a cabo esta clasificación con riguroso cuidado, por ello es que se han analizado diferentes métodos utilizando el mismo principio.

En cada paso del proceso, previo a la clasificación, desde la obtención de imágenes y análisis de las mismas, hasta la asignación final del tipo taxonómico, hemos puesto estricta atención. Por ejemplo, se eliminaron objetos dudosos de nuestra muestra, ya que encontramos errores en alguno de los pasos de nuestro procedimiento (observación, reducción, etc).

La experiencia obtenida en este trabajo indica que con un solo método, las variaciones que podrian existir, dependiendo del método que se siga, pueden pasar desapercibidas generando incertidumbre en la clasificación taxonómica.

# Referencias

- [1] Binzel, R. P. , DeMeo, F. E. , Turtelboom, E. V. , Bus, S. J. , Tokunaga, A. , Burbine, T. H. , Lantz, C. , Polishook, D. , Carry, B. , Morbidelli, A. , Birlan, M. , Vernazza, P. , Burt, B. J. , Moskovitz, N. , , Slivan, S. M. , Thomas, C. A. , Rivkin, A. S. , Hicks, M. D. , Dunn, T , Reddy, V. (2019). Compositional distributions and evolutionary processes for the near-Earth object population: Results from the MIT-Hawaii Near-Earth Object Spectroscopic Survey (MITHNEOS). *Icarus*, Volume 324, p. 41-76.
- [2] Buendía L. E. (2021). Clasificación taxonómica de asteroides de la familia Flora. Tesis de Maestría. INAOE.
- [3] Bus, S.J. and Binzel, R.P. (2002). Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey: A Feature-Based Taxonomy. *Icarus*, Volume 158, Issue 1, Pages 146-177.
- [4] DeMeo, F. E., Binzel, R. P., Slivan, S. M. and Bus S. J., (2009). An extension of the Bus asteroid taxonomy into the near-infrared. *Icarus* Volume 202, Issue 1, 160–180.
- [5] Harris, A. (2005). The surface properties of small asteroids from thermal-infrared observations. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 1(S229), 449-463.
- [6] Tholen, D.J. (1984) Asteroid Taxonomy from Cluster Analysis of Photometry. Ph.D. Thesis, University of Arizona, Tucson.
- [7] Tholen, D.J. and Barucci, M. A. (1989). Phase II of the small main-belt asteroid spectroscopic survey: A feature-based taxonomy. *Asteroids II* (R. P. Binzel et al.Eds.), pages 298–315.
- [8] Vissiniti (2023). A history of asteroid classification. Vissiniti. <https://vissiniti.com/asteroid-classification/>

[9] Warner, B.D., Harris, A.W. and Pravec, P. (2009). The asteroid lightcurve database. Icarus Volume 202, Issue 1, 134–146.

[10] IAU Minor Planet Center. Minorplanetcenter.net. Recuperado el 28 de julio de 2023, de <https://minorplanetcenter.net/>

[11] MinorPlanet.info: One Asteroid Info. Minorplanet.info.<https://www.minorplanet.info/php/oneasteroidinfo.php>

[12] Planetary Spectroscopy group at MIT. Mit.edu. <http://smass.mit.edu/>  
Bibliografia

[13] SciPy v1.11.2 manual. (2023).Scipy.org. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.spatial>



# Bibliografía

- [1] Binzel, R. P., Rivkin, A. S., Stuart, J. S., Harris, A. W., Bus, S. J., and Burbine, T. (2004). Observed Spectral Properties of Near-Earth Objects: Results for Population Distribution, Source Regions, and Space Weathering Processes. *Icarus*, 170, 259–294.
  
- [2] Bus, S. and Binzel, R. P. (2020) Small Main-belt Asteroid Spectroscopic Survey, Phase II V1.0.
  
- [3] De León, J., Gherase, R., Licandro, J., Boaca, I., Sonka, A., Ashley, R., Mocnik, T., Morate, D., Predatu, M., Pra, M., Farina, C., Stoev, H., Díaz Alfaro, M., and Ordóñez Etxeberria, I. *Astronomy & Astrophysics*. 627. 10. 1051/0004-6361/201935006.
  
- [4] Gehrels, T. (2002). *Asteroids III* (W. F. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, R. P. Binzel, Eds.). University of Arizona Press.
  
- [5] Harris, A. (2014). NASA Asteroid Grand Challenge Seminar Series.
  
- [6] Ieva, S., Dotto, E., Mazzotta Epifani, E., Perna, D. ; Rossi, A., Barucci, M. A. , Di Paola, A., Speziali, R., Micheli, M., Perozzi, E. , Lazzarin, M., Bertini, I.(2018). Photometric survey of 67 near-Earth objects. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 615, id.A127, 10 pp.
  
- [7] Ieva, S., Dotto, E., Mazzotta Epifani, E., Perna, D., Fanasca, C., Lazzarin, M. , Bertini, I. , Petropoulou, V. , Rossi, A., Micheli, M., Perozzi, E.(2020)Extended photometric survey of near-Earth objects. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 644, id.A23, 8 pp.

- [8] Michel, P., DeMeo, F. E., Bottke, W. F., and Dotson, R. (2015). Asteroids IV. University of Arizona Press.
- [9] Popescu, M. and Vaduvescu, O. (2019). Near-Earth asteroids spectroscopic survey at Isaac Newton Telescope. *Astronomy & Astrophysics*. 627. 10.1051/0004-6361/201935006.
- [10] Slivan, S. (2019). Asteroid spectrum classification using Bus-DeMeo taxonomy. <http://smass.mit.edu/busdemeoclass.html>
- [11] Tholen, D. J. (1989). Asteroid taxonomic classifications. Asteroids II; Proceedings of the Conference, Tucson, AZ, 1139-1150.
- [12] Thomas H. Burbine.(2017). Cambridge Planetary Science. Asteroids: Astronomical and Geological Bodies. Cambridge University Press.
- [13] Xu, S., Binzel, R.P., Burbine, T.H., and Bus, S.J. (2020). Small Main-Belt Asteroid Survey.
- [14] Definición de albedo - Qué es, Significado y Concepto. (2015). <https://definicion.de/albedo/>
- [15] Center for NEO studies. (s/f). Nasa.gov. Recuperado el 28 de julio de 2023, de <https://cneos.jpl.nasa.gov/>