



INAOE

Clasificación Taxonómica de Asteroides Cercanos a la Tierra

por

Ana Victoria Ojeda Vera

Tesis sometida como requisito parcial para
obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DEL ESPACIO**

en el

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

Agosto 2019

Tonantzintla, Puebla

Bajo la supervisión de:

Dr. José Ramón Valdés Parra

Investigador Titular INAOE

Dr. José Silviano Guichard Romero

Investigador Titular INAOE

©INAOE 2019

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



Dedicatoria

A mi familia, con gran cariño.
A mis sobrinos Ian y Nahil, y a mi pequeña Lia.

Agradecimientos

Gracias a mi familia por su apoyo incondicional. A mi mamá Tere, por enseñarme a ser perseverante y dedicada, y por sus miles de muestras de afecto. A mi hermana Fernanda, por darme el tiempo, consejos y cariño que necesitaba. A mi pareja Odi, por su amor y cariño estos tres años, por su apoyo, paciencia y muchas horas de ayuda en la maestría, pero sobre todo por darme el mejor regalo del mundo, nuestra pequeña Lia.

Gracias a mis asesores Dr. José R. Valdés y Dr. José S. Guichard, promotores de esta tesis, por su paciencia, consejos y supervisión, y por enseñarme con sus clases divertidas y motivadoras todo lo que se refiere a este trabajo. A los miembros del comité, Dra. Raquel Díaz, Dr. Raúl Mújica y Dr. Sergio Camacho, por tomarse el tiempo de revisar y evaluar mi trabajo. Estoy muy agradecida con todos por sus críticas constructivas y sugerencias.

A mis compañeros de maestría, porque desde que nos conocemos, no ha habido ni un solo día sin que me hicieran reír. Por el apoyo, compañerismo y motivación constante para salir adelante.

Resumen

En adición a los ocho planetas, existen incontables cuerpos más pequeños orbitando el Sol. Estos objetos tienen un intervalo desde granos de polvo, hasta planetas menores que tienen suficiente gravedad para ser bastante esféricos. Un gran número de objetos se encuentran en zonas inestables. La mayoría de ellos cruzan o se acercan a las órbitas de uno o más de los ocho planetas, los cuales controlan su dinámica. Aquellos que se acercan a nuestro planeta se les conoce como objetos cercanos a la Tierra (NEOs por sus siglas en inglés). Los objetos cercanos a la Tierra se componen de cometas cercanos a la Tierra (NEAs por sus siglas en inglés) y asteroides cercanos a la Tierra (NECs por sus siglas en inglés), los cuales son de suma importancia, ya que tienen parámetros orbitales que los llevan a intersectar con la órbita de la Tierra.

Es imprescindible estudiar los asteroides y en particular los NEAs por dos motivos. El primero es encontrar y monitorear los asteroides que podrían impactar en la Tierra, para tomar medidas de precaución (mitigar y prevenir daños). El segundo es, debido a la reciente área de la exploración espacial, la explotación de materias primas a través de la minería de asteroides.

En este trabajo, se catalogó, utilizando el espectrógrafo Boller y Chivens del Observatorio Astrofísico Guillermo Haro, una cantidad de 49 asteroides con base en sus propiedades espectrales. Se utilizó como patrón espectral los espectros individuales de 1,341 asteroides de la base de datos del Estudio Espectroscópico de Asteroides del Cinturón Principal (SMASSII - Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey) y los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas propuestas por [DeMeo et al. \(2009\)](#), para determinar los primeros diez resultados de la mínima distancia espectral de cada asteroide a catalogar. Se utilizó un método multivariable para seleccionar su posible clase taxonómica, que consiste en tomar en cuenta los valores de la distancia espectral y del albedo, así como sus propiedades orbitales para el caso de asteroides del cinturón principal.

Glosario

Albedo geométrico	p_v ; cantidad de radiación reflejada por un cuerpo en relación con la de una superficie plana difusa, que es un reflector isotrópico de todas las longitudes de onda (llamada superficie de Lambert).
Afelio	Q ; el punto más lejano de la órbita de un cuerpo al Sol.
Asteroide	Planeta menor cuya órbita se encuentra entre la órbita de Marte y Júpiter.
Asteroide cercano a la Tierra	Asteroide con perihelio menor a 1.3 UA.
Asteroide potencialmente peligroso	Asteroide cercano a la Tierra cuya distancia de intersección mínima de órbita con la Tierra es 0.05 UA o menos, y cuya magnitud absoluta es 22 o mayor.
Condritas/Cóndrulos	Meteoritos no metálicos que no han sufrido procesos de fusión o diferenciación. Presentan cóndrulos (entre 20-80 % del volumen); esferas submilimétricas formadas por distintos minerales.
Enstatita	Pertenece a la clase silicatos (grupo de piroxenos) compuestos por átomos de silicio y oxígeno, unidos por enlace covalente. Su fórmula general es $MgSiO_3$.
Espectrógrafo	Instrumento óptico que se usa para medir la interacción de la luz con la materia, sobre una porción específica del espectro electromagnético.
Espectroscopía	Conjunto de métodos empleados para estudiar la interacción entre la materia y la radiación electromagnética.
Excentricidad	e ; razón entre el centro de una elipse a uno de sus focos, y la mitad del eje mayor.
Magnitud absoluta	H ; mide la luminosidad. Es la magnitud de un cuerpo celeste si se observa a una distancia estándar de 10 parsecs.
Meteorito	Asteroide que entra a la atmósfera de la Tierra, colisionando en su superficie.
Minería de asteroides	Explotación de materias primas de asteroides y planetas menores.
Objeto cercano a la Tierra	Asteroides y cometas con perihelio menor a 1.3 UA.
Perihelio	q ; el punto más cercano de la órbita de un cuerpo al Sol.
Planeta menor	Objeto astronómico cuya órbita no está despejada, y se mueve alrededor del Sol. No es un planeta, ni satélite.
Unidad astronómica	UA; equivalente al semieje mayor de la órbita de la Tierra (aproximadamente 150,000,000 km).

Abreviaturas

INAOE	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
OAGH	Observatorio Astronómico Guillermo Haro.
UA	Unidad astronómica.

Acrónimos en Inglés

CCD	Dispositivo de carga acoplado.
CNEOS	Centro de Estudios de Objetos Cercanos a la Tierra.
ECAS	Estudio de asteroides de ocho colores.
ESA	Agencia Espacial Europea.
IAU	Unión Astronómica Internacional.
IAWN	Red Internacional de Alerta de Asteroides.
IMB	Parte interior del cinturón principal de asteroides.
IRAF	Image Reduction and Analysis Facility.
JPL	Jet Propulsion Laboratory.
MMB	Parte media del cinturón principal de asteroides.
MOID	Distancia mínima de intersección orbital.
MPC	Minor Planet Center.
NEA, NEO	Asteroide cercano a la Tierra, objeto cercano a la Tierra.
NEODyS	Near Earth Objects Dynamic Site.
PHA	Asteroide potencialmente peligroso.
SMASS	Estudio espectroscópico de asteroides del cinturón principal.
SMASSII	Fase dos del estudio espectroscópico de asteroides del cinturón principal.
SMPAG	Space Mission Planning Advisory Group.

Símbolos Matemáticos

a	semieje mayor
D	diámetro
Dx	distancia espectral
e	excentricidad
G	parámetro de la pendiente
H	magnitud absoluta
i	inclinación de la eclíptica
m_v	magnitud aparente
p_v	albedo geométrico
q	perihelio
Q	afelio
r	distancia asteroide-Sol
V	magnitud de la banda V
X_n	espectro no clasificado
Y_n	patrón espectral
α	ángulo de fase
Δ	distancia de la Tierra u observador al asteroide u objeto
$\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$	metalicidad del análogo solar respecto al Sol
$\Delta(g)$	gravedad del análogo solar respecto al Sol
ΔT_{eff}	temperatura del análogo solar respecto al Sol
Φ	integral de fase (integral de la luz reflejada; número entre 0 y 1)

Índice general

Índice general	XV
1. Introducción	1
1.1. Asteroides	1
1.1.1. La formación de asteroides	1
1.1.2. Distribución de los asteroides	2
1.1.3. Objetos cercanos a la Tierra	2
1.1.4. Asteroides cercanos a la Tierra	4
1.1.5. Asteroides potencialmente peligrosos	5
1.2. Propiedades de los asteroides	5
1.2.1. ¿Por qué utilizar la espectroscopía?	5
1.2.2. Relación entre características espectrales y meteoritos	6
1.2.3. Contenido mineralógico	7
1.2.4. Definición de albedo, magnitud absoluta y diámetro	9
1.3. Estado del arte de la clasificación taxonómica de asteroides	10
1.3.1. Descripción de la clasificación de Tholen	11
1.3.2. Descripción de la base de datos del SMASS	11
1.3.3. Descripción de la base de datos del SMASSII	11
1.3.4. Descripción de la clasificación de Bus-DeMeo	13
1.4. Asteroides cercanos a la Tierra como recursos de minería	14
2. Justificación, planteamiento del problema y objetivos	17
2.1. Justificación e Importancia	17
2.2. Planteamiento del problema	19
2.3. Objetivos	19
2.4. Limitaciones	20
3. Observación, metodología y reducción	21
3.1. Observaciones espectroscópicas	21
3.2. Selección de la muestra de objetos	22
3.3. Técnica de reducción de datos	27
3.4. Reducción de las imágenes utilizando IRAF	28
3.5. Metodología para la determinación de las clase taxonómica	29

4. Análisis de resultados y discusión	33
4.1. Tabla con los resultados	33
4.2. Análisis individual de los resultados	37
4.2.1. Asteroides cercanos a la Tierra	37
4.2.2. Asteroides del cinturón principal	45
5. Conclusión	51
6. Trabajo a futuro	57
A. Espectros ópticos normalizados	59
B. Programación	67
B.1. Convertidor de unidades	67
B.2. Interpolador lineal	68
B.3. Resultados	70
Índice de figuras	77
Índice de tablas	81
Bibliografía	83

Capítulo 1

Introducción

1.1. Asteroides

1.1.1. La formación de asteroides

Los asteroides son muestras bien preservadas de la formación del Sistema Solar. Según el modelo de disco nebuloso solar ([de Laplace 1796](#)), el Sistema Solar emergió de largas partículas de gas y nubes de polvo que acumularon suficiente masa y densidad para que ocurriera el colapso gravitacional. Cuando esto ocurrió, el gas y el polvo se condensaron hasta formar una masa central y un disco protoplanetario alrededor.

Como consecuencia de la conservación del momento angular, la velocidad de rotación del disco y la masa central aumentaron. La masa central continuó creciendo hasta formar un protosol. Cuando se acumuló la suficiente masa para que ocurriera la fusión, éste se convirtió en el Sol ([Woolfson 1993](#)). La parte interna del disco fue demasiado caliente para la condensación de volátiles, por lo que estaba dominada por material rocoso, mientras que la parte exterior del disco tenía una mezcla de hielo y volátiles. Muchos de estos cuerpos grandes colisionaron y se fusionaron o expulsaron otros cuerpos, y eventualmente crecieron al tamaño de un planeta ([DeMeo 2010](#)). Después de este periodo, fuertes vientos solares empezaron a limpiar el polvo del Sistema Solar, dejando los cuerpos menores y planetas con escasez de material para acumular.

Los asteroides son remanentes de la población planetesimal que una vez formó los planetas. Aunque algunos asteroides fueron afectados por evolución térmica y dinámica, y por colisiones, la mayor parte de ellos no sufrieron una evolución geológica significativa, preservando las evidencias físicas relacionadas a los primeros 200 millones de años de la historia del Sistema Solar ([Popescu 2012](#)).

Actualmente, hay una gran diversidad de cuerpos en el Sistema Solar. La definición de planeta y planeta menor, se asignó en la Asamblea General 2006 de la IAU.

Un **planeta** es un cuerpo celeste que: a) orbita alrededor del Sol, b) tiene suficiente masa para que su auto-gravedad supere las fuerzas corporales rígidas, por lo que asume un equilibrio hidroestático, casi de forma redonda, c) ha despejado el vecindario en torno a su órbita.

Un **planeta menor** es un cuerpo celeste que: a) orbita alrededor del sol, b) tiene suficiente masa para que su auto-gravedad supere las fuerzas corporales rígidas, por lo que asume un equilibrio hidroestático, casi de forma redonda, c) no ha despejado el vecindario en torno a su órbita, y d) no es un satélite de un planeta.

La categoría de planetas menores del Sistema Solar incluye los asteroides, cometas y otros. El tamaño de estos objetos pueden variar desde granos de polvo y pequeñas rocas coherentes, hasta rocas de cientos de kilómetros.

Un **asteroide** se refiere a un planeta menor con radio menor a 500 km, cuya órbita se encuentra entre la órbita de Marte y Júpiter. (de Pater and Lissauer 2013).

Todos los planetas menores con órbita bien determinada están designados por un número, en orden cronológico, seguido por un nombre (ejemplo: 1 Ceres, 324 Bamberga). Después de que un objeto es descubierto, pero mientras no se ha determinado bien su órbita, obtiene un nombre provisional relacionado con la fecha de su descubrimiento (ejemplo: 1989 VA) (de Pater and Lissauer 2013).

1.1.2. Distribución de los asteroides

Los asteroides se pueden agrupar de acuerdo a sus parámetros orbitales. La figura 1.1a muestra la distribución de los asteroides en función de su distancia heliocéntrica. La mayoría de los asteroides conocidos orbitan en el cinturón principal de asteroides, entre 2 y 3.2 UA del Sol. Se puede distinguir varias concentraciones y vacíos trazando la distribución en función del semieje mayor (Fig. 1.1b). Estos vacíos se llaman Kirkwood Gaps (Huecos de Kirkwood) y corresponden a las ubicaciones de resonancias con Júpiter.

1.1.3. Objetos cercanos a la Tierra

Objetos que se acercan a la Tierra atraen mucho la atención por la posibilidad de colisión con nuestro planeta. Esos posibles impactores pertenecen a la población de **objetos cercanos a la Tierra**, un nombre que se le da a todos los asteroides y cometas (con periodo corto menor a 200 años) que tienen un perihelio (q) menor a 1.3 UA.

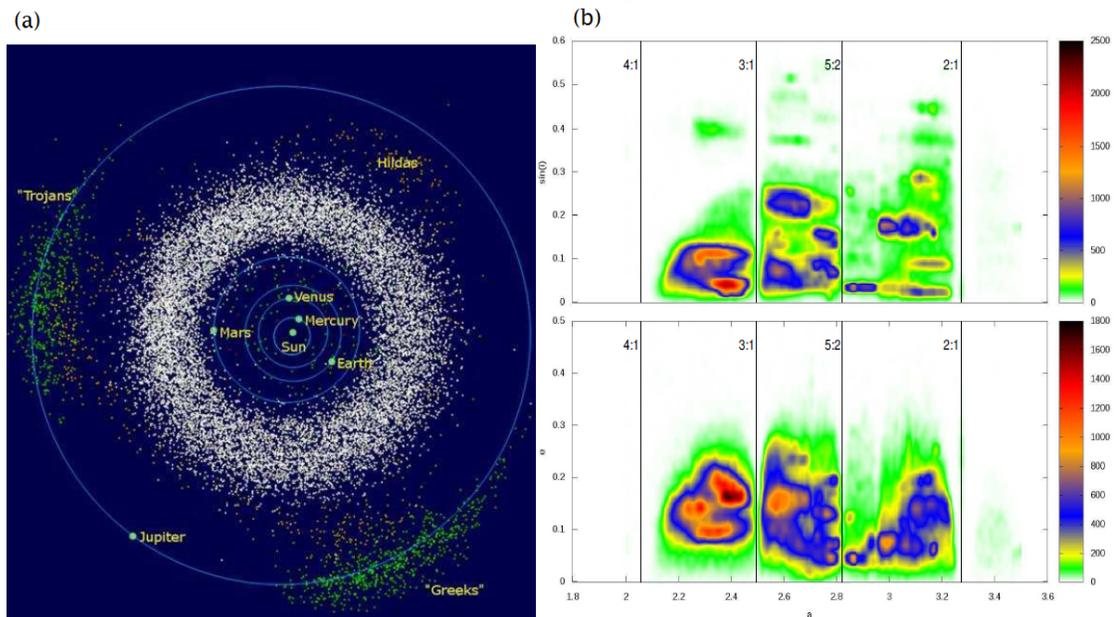


Figura 1.1: a) Posición de los asteroides en el Sistema Solar, b) Distribución de los asteroides en representación de (a, e) - panel inferior y $(a, sen(i))$ - panel superior, a es el semieje mayor e i es la inclinación. (Nedelcu 2010)

El tiempo de vida dinámico de los objetos cercanos a la Tierra es relativamente corto, aproximadamente menos de 10^7 años, y por ello la población de estos objetos necesita que se esté re-aprovisionando desde órbitas más estables. Modelos numéricos muestran que las regiones de fuente principal son zonas caóticas cerca de localizaciones de resonancia en el cinturón principal de asteroides. 61 % fueron originados de la región interior de cinturón principal, 24 % de la región central y 8 % de la región externa del cinturón principal (Popescu 2012).

Otra fuente potencial son cometas extintos que han desprendido su corteza no volátil y cesado su actividad. Pocos cuerpos que cruzan la órbita de la Tierra, que han sido clasificados como asteroides, están asociados con corrientes de meteoros, sugiriendo un origen cometario (de Pater and Lissauer 2013). Quizá 6 % de los objetos cercanos a la Tierra pueden ser cometas inertes.

El destino final de estos objetos es una de las siguientes opciones; ya sea expulsión al espacio interestelar, colisiones o destrucción por mareas del Sol, colisiones o destrucción térmica por el Sol, y una pequeña, pero significativa fracción, colisiona con planetas y satélites (de Pater and Lissauer 2013).

Grupo	Descripción	Definición
Amor	NEAs cuya órbita es externa a la de la Tierra e interna al de Marte.	$a > 1$ UA $1.017 < q < 1.3$ UA
Apolo	NEAs con semieje mayor al de la Tierra. Cruzan la órbita de la Tierra.	$a > 1$ UA $q < 1.017$ UA
Atenas	NEAs con semieje menor al de la Tierra. Cruzan la órbita de la Tierra.	$a < 1$ UA $Q > 0.983$ UA
Atiras	NEAs cuya órbita está completamente dentro de la órbita de la Tierra.	$a < 1$ UA $Q < 0.983$ UA

Tabla 1.1: Tipos de órbitas de los NEAs. (Meunier 2015)

1.1.4. Asteroides cercanos a la Tierra

Debido a varios mecanismos, algunos de los asteroides del cinturón principal han migrado a la parte interna del Sistema Solar (Morbidelli et al. 2002). Estos son los **asteroides cercanos a la Tierra**, pequeños cuerpos del Sistema Solar con distancias perihélicas de $q < 1.3$ UA y distancias de afelio $Q > 0.983$ UA, y cuyas órbitas se aproximan o se cruzan con la órbita de la Tierra. A partir de este momento nos referiremos a los asteroides cercanos a la Tierra como NEAs, y objetos cercanos a la Tierra como NEOs.

La población de los NEAs, está subdividida en cuatro categorías (Tabla 1.1) basadas en los valores del semieje mayor (a), perihelio (q) y afelio (Q) de sus órbitas. Según de Pater and Lissauer (2013), cerca del 40 % de la población de NEOs tienen perihelio $1.017 < q < 1.3$ UA, y se llaman asteroides Amor (Fig. 1.2a), llamado así por uno de los miembros predominantes de este grupo, 1221 Amor. Cerca del 50 % de los NEOs tienen $q < 1.017$ UA y semieje mayor $a > 1$ UA, estos asteroides se llaman Apolo (Fig. 1.2b), por el arquetipo de este grupo, 1862 Apolo. Los Atenas (Fig. 1.2c), aproximadamente el 10 % de los NEOs, tienen $a < 1$ UA y afelio mayor al perihelio de la tierra 0.983 UA. Los Atiras (Fig. 1.2d) tienen su órbita totalmente contenida en la órbita terrestre.



Figura 1.2: Tipos de órbita de los NEAs: a) Órbita Amor, b) Órbita Apolo, c) Órbita Atenas, d) Órbita Atiras. (https://cneos.jpl.nasa.gov/about/neo_groups.html)

1.1.5. Asteroides potencialmente peligrosos

Un **asteroide potencialmente peligroso** es un NEA cuya distancia mínima de intersección orbital (*MOID*) con la Tierra es 0.05 UA (7.5 millones de kilómetros; unas 20 veces la distancia media de la Tierra a la Luna) o menos, y cuya magnitud absoluta (*H*) es 22 o mayor (Meunier 2015). Estos objetos representan riesgo de colisionar con la Tierra, causando daños que pueden ser entre pequeñas destrucciones locales y grandes devastaciones globales.

Según las estadísticas de descubrimientos de asteroides del Center for Near Earth Object Studies (CNEOS) actualmente se han descubierto 20,555 NEAs, de los cuales 2,008 son asteroides potencialmente peligrosos (consultado el 12/08/2019, <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>). Según Meunier (2015), con más del 90 % de NEOs mayores a un kilómetro ya descubiertos, el programa del CNEOS de Jet Propulsion Laboratory del Instituto de Tecnología de California, se está enfocando en encontrar el 90 % de la población con tamaños mayores a 140 metros.

1.2. Propiedades de los asteroides

Según Popescu (2012), en los últimos cincuenta años, diferentes programas de observación dedicados a los asteroides han demostrado una gran diversidad en sus propiedades. Varias propiedades físicas como el diámetro, el periodo de rotación, la amplitud y la forma, se pueden deducir del análisis de la curva de la luz. La composición del asteroide podría inferirse a través de observaciones espectroscópicas. Estos son los métodos utilizados para estudiar los parámetros de los asteroides:

- **Astrometría:** determina los elementos orbitales y familias.
- **Fotometría:** determina el periodo de rotación, amplitud, magnitud absoluta y parámetro de la pendiente de fase.
- **Espectroscopía:** determina la clase taxonómica, albedo y diámetro.
- **Modelos computacionales:** determinan la elongación ecuatorial, eje de rotación y forma.

1.2.1. ¿Por qué utilizar la espectroscopía?

La mayor parte del conocimiento que tenemos sobre el universo ha sido posible estudiando la radiación electromagnética recibida de cuerpos cósmicos. El método más importante para estudiar la radiación electromagnética, es por medio de la espectroscopía. Analizando cuidadosamente el espectro es posible obtener información sobre la composición (mineralogía superficial), temperatura, presión interna o densidad, su movimiento relativo a la Tierra y presencia de campo

magnético.

El flujo incidente que llega de la superficie del asteroide se divide en dos contribuciones: la radiación solar reflejada pasivamente por el material de la superficie y la radiación solar que ha sido absorbida, convertida en calor y emitida como radiación térmica (McCord and Adams 1977). Las observaciones de un cuerpo celeste utilizando telescopios en tierra, son posibles en las regiones del espectro visible a infrarrojo cercano (0.40 - 2.50 micras), debido a que la baja absorción de la atmósfera lo hace posible. Las longitudes de onda ultravioleta y rayos X son atrapadas por la absorción del ozono y oxígeno, mientras que las de infrarrojo lejano son mayormente absorbidas por agua y dióxido de carbono. Por lo tanto, en esta región espectral, se estudian los espectros de reflexión (Popescu 2012).

1.2.2. Relación entre características espectrales y meteoritos

Debido a que los minerales se caracterizan por composiciones únicas en estructuras cristalográficas específicas, cada mineral tiene un espectro de reflectancia característico con diferentes bandas de absorción. Estas características provienen de transiciones electrónicas y vibratorias dentro de cristales y moléculas (Popescu 2012). Las longitudes de onda en las que se encuentran las características en el espectro dependen de las especies iónicas o moleculares implicadas y de la estructura mineral (Gaffey et al. 1993). Como regla general, la teoría del campo cristalino se usa para explicar las bandas de absorción en los espectros de los asteroides.

Tomando los espectros minerales de meteoritos recuperados en la Tierra como punto de partida para analizar los espectros de asteroides, se puede encontrar que varias características son detectables en el rango de 0.35 a 2.50 micras. Las especies minerales más abundantes que se encuentran en los meteoritos son: olivino (Fig. 1.3a), aleaciones de hierro y níquel (Fig. 1.3b), piroxeno (Fig. 1.3c), espinela y feldespato (Popescu 2012). La mayoría de los asteroides están compuestos por una mezcla de estos minerales.

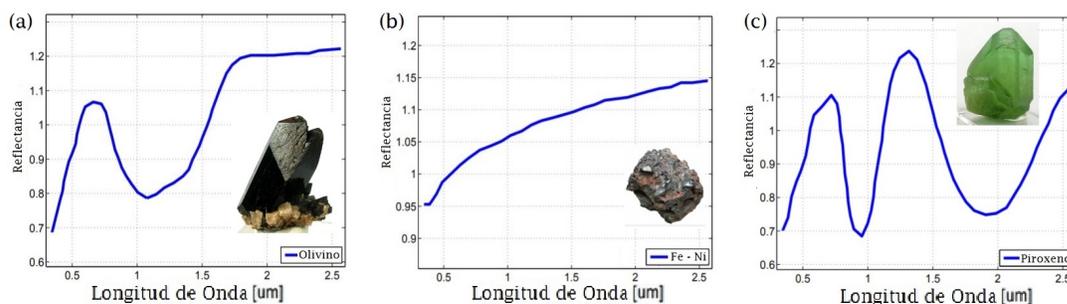


Figura 1.3: Reflectancia de minerales en los meteoritos: a) Olivino, b) Aleación de Hierro-Nickel, c) Piroxeno. (Popescu 2012)

Dado que los parámetros espectrales de diferentes bandas de absorción están relacionadas con la composición específica del mineral individual, el análisis espectral de la superficie del asteroide puede detectar en la mayoría de los casos las características de la firma mineralógica de una especie en particular. Por lo tanto, es posible establecer la presencia de minerales específicos como las mencionadas anteriormente.

Sin embargo, cabe resaltar que aunque no exista una relación directa entre contenido mineralógico y taxonomía, según [de Pater and Lissauer \(2013\)](#) la forma principal para extraer esta información de composición es por vía espectroscópica. Cualquier inferencia entre taxonomía y mineralogía debe ser cuidadosamente ponderada ([Xu et al. 1995](#)).

1.2.3. Contenido mineralógico

Los meteoritos pueden proporcionar los resultados más fructíferos para comprender la composición de los asteroides. Por lo tanto, la comparación espectral representa un enlace directo para la comprensión de las relaciones meteorito-asteroide. La clasificación tradicional se basa en su apariencia ([de Pater and Lissauer 2010](#)):

- Los meteoritos metálicos se conocen como meteoritos de hierro. Están formados fundamentalmente de hierro y níquel, y cantidades más pequeñas de elementos que se combinan fácilmente con hierro fundido.
- Los meteoritos que contienen cantidades comparables de componentes metálicos y rocosos se llaman piedras ferrosas.
- Meteoritos que no contienen grandes concentraciones de metal se conocen como pétreos.

Una segunda clasificación de meteoritos tiene en cuenta sus cambios mineralógicos (Fig. 1.4): las acondritas son cuerpos ígneos, producto de la fusión, cambios en la composición y recristalización, mientras que las condritas son los meteoritos primitivos, compuestos de material que forma la nebulosa solar y los granos interestelares supervivientes, poco modificados en algunos casos por procesos acuosos y/o térmicos. Las condritas tienen una característica de apariencia producida por numerosas inclusiones pequeñas y redondeadas llamadas cóndrulos. Estos cóndrulos son pequeñas gotas de olivino y piroxeno condensadas y cristalizadas.

Los meteoritos condriticos se dividen en: condritas ordinarias, llamadas así porque son el tipo más abundante y se dividen con base en su contenido de Fe/Si (H - alto contenido férrico, L - bajo contenido férrico y LL - bajo contenido férrico y metálico); las condritas carbonáceas, tiene un porcentaje mayor de carbono y se divide en ocho

clases que difieren en composición (CI, CM, CO, CV, CR, CH, CB y CK), y; las condritas enstatitas nombradas por sus altas abundancias de enstatita, un mineral de silicato de magnesio, con criterio igual al de condritas ordinarias (EH y EL) (de Pater and Lissauer 2010).

Desde el punto de vista de su evolución geológica, los meteoritos podrían describirse por tres categorías amplias: primitivas, parcialmente fundida y diferenciada (Fig. 1.4). Los objetos primitivos están hechos parcialmente de silicatos, carbono y materia orgánica, y algunos similares a los meteoritos CI y CM. Olivino, piroxeno y metal son los principales constituyentes de los asteroides parcialmente fundidos, o al menos térmicamente alterados. Los restos de cuerpos diferenciados alterados incluyen tipos basálticos, olivino casi puro y cuerpos metálicos, que representan pedazos de la corteza, el manto y el núcleo. (DeMeo 2010)

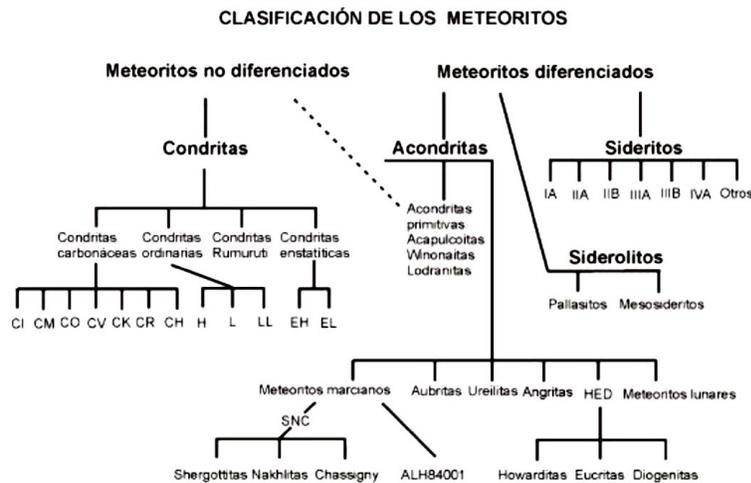


Figura 1.4: Clasificación de los meteoritos según Bischoff (2001) con dos divisiones principales: meteoritos diferenciados y no diferenciados. Todas las condritas pertenecen al grupo de meteoritos no diferenciados, pues no han experimentado fusión tras su formación (contienen esférulas llamadas cóndrulos). Los meteoritos no diferenciados incluyen el resto de grupos de meteoritos (rocas ígneas formadas a partir de condritas por fusión y diferenciación del asteroide origen).

1.2.4. Definición de albedo, magnitud absoluta y diámetro

Albedo monocromático

Cuando un objeto es iluminado por el Sol, refleja parte de la energía al espacio (lo que hace que sea visible para nosotros), mientras que la energía remanente es absorbida. En principio, uno puede determinar cuánta radiación incidente es reflejada hacia el espacio a cada frecuencia; la razón entre la incidencia y la energía dispersada se llama **albedo monocromático**. Entre más oscuro es el cuerpo, más luz es absorbida a una distancia particular del Sol, y por ende, si se vuelve más cálido, más energía térmica emite (DeMeo 2010).

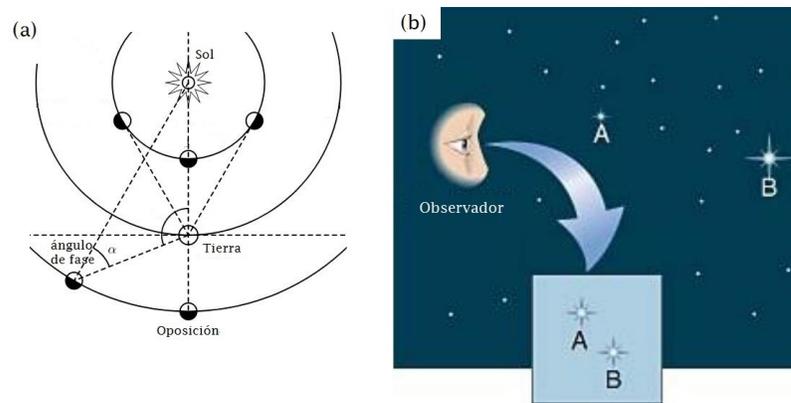


Figura 1.5: a) Ángulo de fase: es el ángulo formado entre el Sol, el asteroide y la Tierra, b) Comparación del brillo de dos cuerpos a diferente distancia del observador.

El **albedo geométrico** (p_v), según de Pater and Lissauer (2010), se puede expresar como la cantidad de radiación reflejada por un cuerpo en relación con la de una superficie plana difusa, que es un reflector perfecto de todas las longitudes de onda (llamada superficie de Lambert).

Magnitud absoluta

La **magnitud aparente** (m_v) de los asteroides depende de los parámetros geométricos (distancia Tierra-objeto, distancia Sol-objeto y el ángulo de fase) y de las propiedades físicas y ópticas del cuerpo (tamaño y albedo). La magnitud absoluta tiene en cuenta solo las propiedades intrínsecas del cuerpo. Para los asteroides se define como la **magnitud absoluta** (H) de un cuerpo en nuestro Sistema Solar, se define como la magnitud aparente si el cuerpo se encuentra a 1 UA tanto del observador como del Sol, en ángulo de fase $\alpha=0$ (Fig. 1.5a). Esta es una definición analítica porque ningún punto geométrico puede satisfacer las tres condiciones al mismo tiempo. En otras palabras la magnitud absoluta se calcula de la magnitud aparente observada para diferentes valores de ángulo de fase, cuando la distancia del asteroide-Sol y

asteroide-Tierra se conoce (de Pater and Lissauer 2013). Se puede calcular a partir de observaciones astrométricas y fotométricas con la fórmula (Magrin 2006):

$$H = m_v + 2,5 * \log \frac{\Phi}{r * \Delta} \quad (1.1)$$

donde H es la magnitud absoluta, m_v es la magnitud aparente, Φ es la integral de fase (integral de la luz reflejada; número entre 0 y 1), r es la distancia heliocéntrica en UA, y Δ es la distancia Tierra-objeto en UA.

Diámetro

Según Pravec et al. (2012) la relación entre diámetro (D) y magnitud absoluta (H), depende del albedo. Con base en los datos de albedo disponibles en la última década (disponibles en Minor Planet Center), se infiere un albedo promedio de aproximadamente 14 % (Harris 2014). Ya se sabía que la distribución no tiene forma de campana, sino que es más bien bimodal, con picos en torno al 6 % y 25 %, pero el promedio parecía ser de aproximadamente 14 %. Para ese albedo, la magnitud absoluta (H) correspondiente a un diámetro de 1 kilómetro, es 17.75. Por lo tanto, la relación entre el **diámetro** (D) y el albedo (p_v) es (Harris 2014):

$$D = (1km) * 10^{\frac{17,75-H}{5}} \quad (1.2)$$

donde D es el diámetro del cuerpo expresado en kilómetros. Cuando se conoce el albedo geométrico (p_v) de un asteroide, el diámetro en kilómetros en función de la magnitud absoluta (H) está dado por la siguiente ecuación (Magrin 2006):

$$D = \sqrt{10^{6,259 - \log_{10} p_v - 0,4 * H}} \quad (1.3)$$

1.3. Estado del arte de la clasificación taxonómica de asteroides

Cada vez que varios miembros de una población grande se estudian a detalle, hay un deseo natural de arreglarlos en grupos, basados en las similitudes de sus características observadas (Bus and Binzel 2002a). El tipo espectral de un asteroide es asignado basado en el espectro de emisión, sus colores y a veces el albedo. Se cree que estos tipos corresponden a la composición de superficie de un asteroide.

La clasificación taxonómica de los asteroides fue iniciada por Clark R. Chapman, David Morrison y Ben Zellner en 1975 con tres categorías: C para objetos oscuros carbonáceos, S para objetos pétreos (silicatos) y U para aquellos que no entraban en las categorías C o S. Esta clasificación se ha expandido y clarificado (Meunier 2015). Una de las clasificaciones más utilizadas es la propuesta por Tholen (1984). La taxonomía de Tholen es una extensión de los sistemas anteriores (Chapman et al.

1975; [Bowell et al. 1978](#)). Se desarrolló principalmente utilizando colores espectrofotométricos de banda ancha obtenidos durante el Estudio de Asteroides de Ocho Colores (ECAS, [Zellner et al. 1985](#)), aunque las mediciones de albedo se incluyeron en la definición de algunos de los límites de las clases. Utilizando la clasificación de Tholen, en 1991 se hizo un conjunto más grande de espectros de asteroides (actualmente disponibles) llamado SMASS ([Binzel and Xu 1993](#); [Xu et al. 1995](#)). La clasificación taxonómica posterior elaborada por [Bus and Binzel \(2002a,b\)](#), fue basada en los datos proporcionados por la segunda fase del estudio SMASS, denominada SMASSII. Los espectros obtenidos tenían más resolución que los del ECAS y permitió resolver una variedad de características espectrales. Recientemente, [DeMeo et al. \(2009\)](#), ha extendido la clasificación propuesta por Bus & Binzel a longitudes de onda del infrarrojo cercano. A continuación se describe los detalles de la clasificación de Tholen, la base de datos de SMASS y SMASSII y la clasificación de Bus-DeMeo.

1.3.1. Descripción de la clasificación de Tholen

En este estudio se presentaron los resultados durante el ECAS, a partir de la espectrofotometría de reflexión de 589 planetas menores en un sistema fotométrico, utilizando ocho filtros pasa-bandas que varían de 0.34 a 1.04 micras de longitud de onda ([Tedesco et al. 1982](#)). El esquema de Tholen incluye 14 clases taxonómicas (Fig. 1.6a), con la mayoría entrando en tres grupos principales: Grupo C (B, F, G y C), Grupo S, Grupo X (M, E y P) y las clases menores (A, D, T, Q, R y V).

1.3.2. Descripción de la base de datos del SMASS

El SMASS fue iniciado en 1991 con el objetivo de tener espectros en la región de longitudes de onda del visible, para una cantidad determinada de asteroides del cinturón principal, de diámetro menor a 20 kilómetros. Los asteroides observados tenían una magnitud aparente $V < 19$, con tiempos de exposición en el rango de 15 a 30 minutos. Exposiciones más largas no se usaron para minimizar el efecto de detección de rayos cósmicos. Se observaron al menos dos veces para obtener consistencia. La reducción de datos se hizo utilizando Image Reduction and Analysis Facility (IRAF). Se utilizaron espectros de 0.4 a 1 micra para 316 asteroides ([Xu et al. 1995](#)). La base de datos contenía espectros de 12 clases espectrales: A, C, D, J, O, Q, R, S, T, V, X y Z.

1.3.3. Descripción de la base de datos del SMASSII

En la segunda fase del estudio de espectroscopia del cinturón principal de asteroides (SMASSII), se utilizaron longitudes de onda del visible de 1,447 asteroides. Con esto se construye un sistema de clasificación sobre el marco de trabajo existente de taxonomía de asteroides. En particular se definen tres grupos mayores (complejos S, C

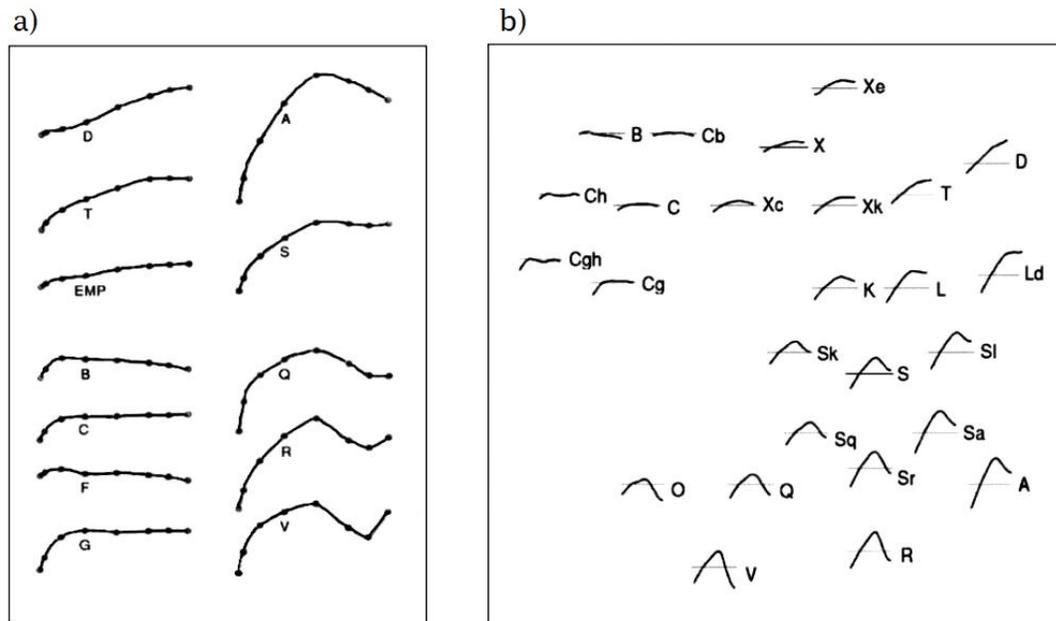


Figura 1.6: a) Clases taxonómicas definidas por [Tholen \(1984\)](#) a partir de colores espectroscópicos (ECAS, [Zellner et al. 1985](#)). Las clases taxonómicas E, M y P sólo pueden diferenciarse con información del albedo. b) Extensión de las clases taxonómicas de Tholen realizada por [Bus and Binzel \(2002a,b\)](#). Dio como resultado 26 clases taxonómicas producidas por el SMASSII (las líneas horizontales de la cual está referenciada cada espectro, representa una reflectancia normalizada a 1.00).

y X) que se adhieren a la definición clásica de asteroides tipo S, C y X.

Un total de 26 clases taxonómicas son definidas (Fig. 1.6b), basadas en la presencia o ausencia de características específicas espectrales. Definiciones y delimitaciones de parámetros se mencionan para cada clase. De estas 26 clases, 12 llevan una sola letra designada: A, B, C, D, K, O, Q, R, S, T, V y X. Una nueva clase L es introducida. Asteroides con características intermedias se designan con varias letras: Cb, Cg, Cgh, Ch, Ld, Sa, Sk, Sl, Sq, Sr, Xc, Xe y Xk. Varios miembros nuevos se identifican para clases previamente únicas o escasamente pobladas: 12 tipo A, 3 tipo O y 3 tipo R. Las clases tipo Q son muy comunes en la población de NEAs y sin observarse en el cinturón principal. Más de 30 nuevos tipo V se encontraron en la vecindad de Vesta. ([Bus and Binzel 2002a](#))

Criterios para la clasificación de Bus-Binzel

Es importante mencionar una serie de principios fundamentales que definen como la clasificación se llevó a cabo y como la taxonomía fue estructurada. Este es el siguiente criterio ([Bus and Binzel 2002a](#)):

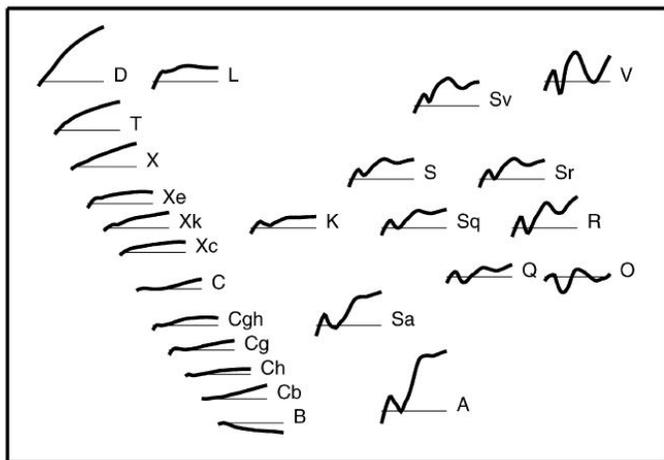
1. Se debe utilizar el marco de referencia establecido en la taxonomía de Tholen.
2. La clasificación debe estar basada sólo en las características del espectro (absorción). La taxonomía debe proveer indicios de la composición del asteroide, pero enfatizamos que la taxonomía no es necesariamente equivalente a la mineralogía.
3. Debe contar con el continuo aparente entre clases espectrales que se encuentran en la base de datos del SMASSII.
4. La clasificación debe estar basada en el uso inteligente de técnicas de análisis multivariantes. Por ello, la inspección visual de información, y la habilidad de crear un criterio humano sobre la clasificación de objetos, basado en reglas específicas, está permitido.
5. El tamaño (longitudes de escala) y delimitaciones de las clases taxonómicas deben corresponder a los de los grupos encontrados entre los asteroides, siempre que sea posible.
6. Una vez definido, este nuevo esquema de clasificación, debe ser de fácil utilización y aplicable a nuevos espectros observados.

Definiciones y delimitaciones de las clases taxonómicas

En la tabla II de la fase dos del estudio espectroscópico de asteroides del cinturón principal ([Bus and Binzel 2002a](#)), se proporciona un resumen completo de las clases taxonómicas de Bus-Binzel, destacando las principales características de cada clase espectral que se consideran diagnósticas.

1.3.4. Descripción de la clasificación de Bus-DeMeo

[DeMeo et al. \(2009\)](#) presenta un sistema de clasificación taxonómica de asteroides basado en las características de los espectros de 371 asteroides, medidos en el rango de longitud de onda de 0.45 a 2.45 micras. Con esta extensión al infrarrojo cercano se incluyen datos más amplios, como importantes características espectrales y presencia de minerales. Este sistema de 24 clases se construye siguiendo estrechamente la taxonomía de [Bus \(1999\)](#). Casi todas las clases se conservan, añadiendo una clase nueva definida como Sv, y eliminando y reclasificando las clases Ld (en D o L), y las clases Sk y Sl (en S o Sw).



(a)

Bus		New
A	⇒	A
B	⇒	B
C	⇒	C
Cb	⇒	Cb
Cg	⇒	Cg
Cgh	⇒	Cgh
Ch	⇒	Ch
D	⇒	D
Ld	↘	
L	⇒	L
K	⇒	K
O	⇒	O
Q	⇒	Q
R	⇒	R
Sq	⇒	Sr, Srw
	⇒	Sq, Sqw
Sr	⇒	Sa
Sa	⇒	
Sl	↘	S, Sw
Sk	↘	
S	⇒	Sv, Svw
T	⇒	T
V	⇒	V, Vw
X	⇒	X
Xc	⇒	Xc
Xe	⇒	Xe
Xk	⇒	Xk
Total: 26		24
Eliminated:		Created:
Ld, Sk, Sl		Sv

(b)

Figura 1.7: a) 24 clases taxonómicas definidas por DeMeo et al. (2009) de 0.45 a 2.45 micras (las líneas horizontales de la cual está referenciada cada espectro, representa una reflectancia normalizada a 1.00), b) Aquí se muestran los ajustes de las clases taxonómicas de Bus (1999) a la de DeMeo et al. (2009).

Definiciones y delimitaciones de las clases taxonómicas

En la tabla 5 de la extensión de la taxonomía de Bus hacia el infrarrojo (DeMeo et al. 2009), se proporciona un resumen completo de las clases taxonómicas de Bus-DeMeo, destacando las principales características de cada clase espectral que se consideran diagnósticas.

1.4. Asteroides cercanos a la Tierra como recursos de minería

Los asteroides y cometas, que son potencialmente peligrosos por su aproximación a la Tierra, son también los objetos que podrían explotarse más fácilmente por sus materias primas. Actualmente, no es rentable explotar estos minerales y luego devolverlos a la Tierra. Sin embargo, estas materias primas podrían usarse para desarrollar las estructuras espaciales y generar el combustible para cohetes que se requerirán para explotar y colonizar nuestro Sistema Solar en el siglo XXI. Se ha estimado que la riqueza mineral residente en el cinturón de asteroides entre las órbitas de Marte y Júpiter sería equivalente a unos 100 mil millones de dólares por cada persona en la Tierra en la actualidad.

Mientras que los asteroides son ricos en las materias primas de minerales necesarios para construir estructuras en el espacio, los cometas son recursos ricos en agua y moléculas basadas en carbono, necesarias para mantener la vida. Además, un suministro abundante de hielo de agua cometario podría proporcionar cantidades abundantes de hidrógeno líquido y oxígeno, los dos ingrediente principales para el combustible de cohetes. Parece probable que para mediados y finales de este siglo, cuando comencemos a colonizar el Sistema Solar interior, los metales y minerales encontrados en los asteroides y cometas proporcionarán las materias primas para las estructuras espaciales y estaciones de servicio para las naves espaciales interplanetarias.

Capítulo 2

Justificación, planteamiento del problema y objetivos

2.1. Justificación e Importancia

Las estimaciones varían en cuanto al número de NEAs existentes, es decir, lo que se ha descubierto sólo representa una pequeña proporción de lo que realmente existe. En promedio, se descubren tres nuevos NEAs a diario. En la Figura 2.1a se muestra una estimación teórica de la población de NEOs en diferentes intervalos de tamaños (curva roja), en comparación con los que han sido descubiertos hasta el 2015, en barras verdes (Harris and D' Abramo 2015). En la Figura 2.1b se muestra un acumulativo del número de NEAs conocidos por CNEOS en función del tiempo (<https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>).

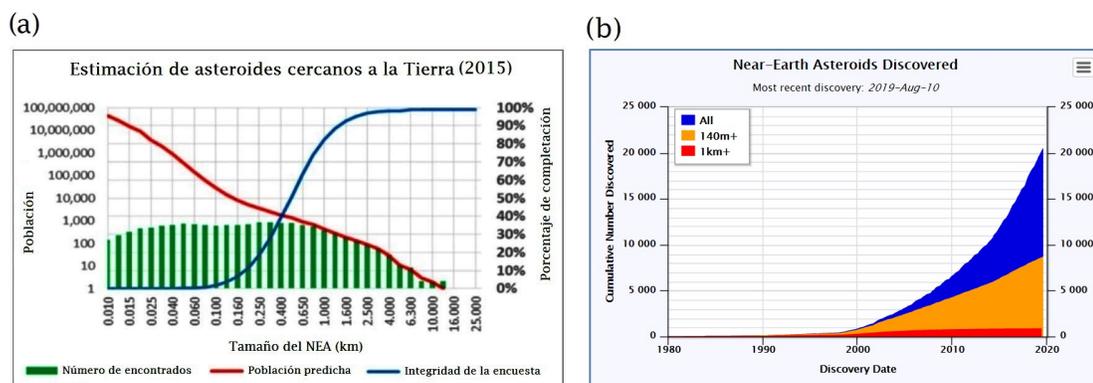


Figura 2.1: Estimación de población de NEOs: a) adaptado de Harris and D' Abramo (2015), b) consultado el 12/08/2019 (<https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>).

De acuerdo a la Figura 2.1a se puede concluir lo siguiente; Más del 90% de los asteroides con diámetro superior a 1,000 m ha sido descubierto por los sistemas de identificación de asteroides, aproximadamente el 40% de los asteroides entre 400 y

650 m de diámetro ha sido descubierto. Los asteroides descubiertos de 100 a 400 m de diámetro representan un aproximado del 20% de la población correspondiente estimada y, los asteroides con diámetro menor a 100 m siguen representando un problema por ser los más abundantes y tener identificado menos del 5% de esta población. Los NEAs pequeños, con tamaño menor de 25 metros, golpean la atmósfera y se desintegran rápidamente. Estos impactos suelen ser frecuentes y aleatorios. En un periodo de varios cientos de miles de millones de años, los asteroides de más de un kilómetro podrían causar desastres globales.

De acuerdo a la Figura 2.1b, se han descubierto 20,663 NEOs (hasta la fecha 12/08/2019), de los cuales 108 son NECs y 20,555 son NEAs. De estos últimos, se tiene registrado que 8,719 son mayores a 140 metros (color naranja) y 896 son mayores a 1 kilómetro (color rojo). 20 tienen órbita Atira y 7,688 tienen órbita Amor, y con respecto a los que cruzan la órbita de la Tierra, se tiene que 11,300 tienen órbita Apollo y 1,547 tienen órbita Atenas. Según CNEOS, de este acumulativo de NEAs, 2,008 son PHAs, de los cuales 155 son mayores a 1 kilómetro (<https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>).

Con las órbitas de muchos asteroides ya registradas por el Minor Planet Center, la clasificación taxonómica de estos objetos está aún en curso, con la posibilidad de que haya una reclasificación para algunos de ellos. Pareciera una tarea larga que quizá nunca se complete, sin embargo, existen varios organismos que están ayudando, incorporándose a los programas de detección y monitoreo de NEOs.

También existe la Red Internacional de Alerta de Asteroides (IAWN), red internacional de organizaciones involucradas en la detección, seguimiento y caracterización de NEAs (incluyendo al INAOE y otros, <http://iawn.net/>). IAWN tiene como una de sus tareas fundamentales desarrollar una estrategia de alerta de posible impacto a la Tierra por un asteroide. En caso de que la probabilidad de impacto supere un umbral (del orden del 10%), IAWN informaría a un grupo de agencias espaciales capaces de llevar a cabo misiones espaciales al asteroide para evitar el impacto. Este grupo es de naturaleza técnica y consultiva (Space Mission Planning Advisory Group; SMPAG) y necesitaría de la autorización de gobiernos para actuar en defensa del planeta.

Si la probabilidad de impacto de un NEA es alta, es necesario tomar en cuenta tres factores para determinar el daño que puede causar o si es posible mitigar: 1) las propiedades físicas del asteroide, incluyendo el diámetro, forma y composición, 2) la velocidad y el ángulo de entrada a la atmósfera, y 3) el lugar donde caerá.

Considerando todos estos argumentos y motivos, parece prudente dirigir esfuerzos para descubrir y estudiar estos objetos, para definir sus tamaños, composición y estructura, y para mantener vigiladas sus trayectorias futuras. Con observaciones

espectroscópicas se puede determinar una de las propiedades físicas de los asteroides (su contenido mineralógico), por lo que puede destacarse la importancia de este tipo de estudio.

2.2. Planteamiento del problema

Como se explicó previamente, la determinación de las propiedades físicas de los NEAs es de suma importancia (en particular la clasificación taxonómica), y eventualmente, cuando los espectros del infrarrojo cercano están disponibles, el análisis de su posible composición mineralógica.

Con este objetivo en mente, en el INAOE se ha comenzado, desde el año 2016, un programa extendido de observaciones espectroscópicas de NEAs y de asteroides del cinturón principal de diferentes familias, para determinar la clase taxonómica a la que pertenecen estos objetos.

Debido a que este programa es de reciente creación, inicialmente se había considerado utilizar para la determinación de la distancia espectral (ver Sección 3.5), y por ende, la estimación de la clasificación taxonómica, únicamente los espectros promedio de las clases taxonómicas de la clasificación de [DeMeo et al. \(2009\)](#). Sin embargo, ya se tenía consolidada la idea de utilizar también los 1,341 espectros individuales de la base de datos del SMASSII para una clasificación más robusta. Para lograrlo, se debe crear un algoritmo para facilitar la tarea de obtener las distancias espectrales de los asteroides observados con respecto a los 1,341 espectros conocidos del SMASSII, arrojando los valores más pequeños de esta variable. Además, y como se explicará más adelante, a esta base de datos se le debe añadir espectros de asteroides de clase Q y de clase O de otra base de datos, debido a su ausencia en la base de datos del SMASSII, para presentar incluir estas dos clases.

Otra adversidad se presenta a la hora de tomar la decisión de la clasificación taxonómica si los resultados del análisis de las distancias espectrales divergen considerablemente. Para contrarrestar este tipo de situaciones, se debe sumar a la toma de decisiones otro tipo de parámetros (si se encuentran disponibles) como lo son el albedo, y para el caso del cinturón principal de asteroides (MBA), las propiedades orbitales.

2.3. Objetivos

Objetivos generales

- Establecer la clasificación taxonómica de NEAs a partir de observaciones espectroscópicas en el Observatorio Astronómico Guillermo Haro.

- Utilizar los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas propuestas por [DeMeo et al. \(2009\)](#) y la base de datos de 1,341 espectros individuales de asteroides del SMASSII, para establecer nuestra clasificación, a través de la determinación de la distancia espectral, y utilizando el método multivariable que proponemos.

Objetivos específicos

- Tomar como complemento para la toma de decisión final de nuestra clasificación, otras características del asteroide cuando estén disponibles: albedo y propiedades orbitales (únicamente para MBAs).
- Añadir asteroides de clase Q y O de otra base de datos, y llamar a esta nueva lista, Base de datos extendida del SMASSII, contando con 1,355 asteroides. Posteriormente realizar un algoritmo que pueda simplificar la tarea de generar las distancias espectrales, y arrojar una lista con los resultados de los valores más pequeños a los valores más grandes.
- Clasificar un total de 49 asteroides; 34 NEAs y 15 MBAs.

2.4. Limitaciones

Existen diferentes y variados métodos para interpretar la mineralogía a partir del espectro de reflexión de un asteroide. El primero y más básico es, atender a características en el espectro, e intentar asociar a cada tipo taxonómico posibles composiciones mineralógicas. La clasificación taxonómica, en el caso de los asteroides, se basa en propiedades observacionales (pendiente espectral, color, albedo, etc.), pero en la mayoría de los casos estas propiedades no son realmente herramientas de diagnóstico de la mineralogía o la composición del objeto. Otra forma de obtener más información de las características espectrales y de la presencia de minerales, es estudiar hasta 2.45 micras el espectro. Teniendo en cuenta que nuestros espectros sólo cubren la parte del visible del espectro electromagnético, uno de los límites que nos hemos fijado, es no integrar en este trabajo un método de análisis mineralógico; es decir, no inferir mineralogías de asteroides utilizando las clases taxonómicas y espectros de asteroides.

Capítulo 3

Observación, metodología y reducción

Los datos astronómicos requieren de un proceso para poder ser utilizados, resumidos en los siguientes: 1) propuestas para observaciones, 2) selección de objetos, 3) observaciones, 4) reducciones y análisis de datos, y 5) publicación de datos. A continuación se describen las herramientas utilizadas y los procedimientos llevados a cabo.

3.1. Observaciones espectroscópicas

Las observaciones se hicieron utilizando el telescopio de 2.12 metros de diámetro del Observatorio Astrofísico Guillermo Haro (OAGH), en Cananea, Sonora. Se utilizó el espectrógrafo Boller & Chivens, con un CCD E2V42-40 de 2,048 x 2,048 pixeles, y con pixeles de 13.5 x 13.5 micras (Fig. 3.1). Este espectrógrafo es un instrumento para obtener espectros de rendija larga de resolución baja e intermedia a través de la utilización de diferentes rejillas de difracción como elementos dispersores, y está montado sobre el foco f/12 Cassegrain del telescopio. Está equipado con un colimador y una cámara con longitudes focales de 1,080 y 465 mm, respectivamente. El ancho de la rendija se puede cambiar manualmente hasta 1,000 micras con una precisión de 50 micras. La rendija, con un ancho de 250 micras, corresponde a 2 segundos de arco en el cielo, ya que la misma se ubica en el plano focal del telescopio con una escala de imagen de 8.185 segundos de arco/mm. El espectrógrafo usa una rejilla de difracción, cuyo ángulo de orientación con respecto al espejo colimador del espectrógrafo puede ser cambiado usando un micrómetro en intervalos de 5 minutos de arco. Se utilizó una rejilla de difracción de baja resolución de 50 l/mm, que proporciona una dispersión de 10 Å/pixel. La combinación de utilizar este CCD y la configuración del espectrógrafo produce una cobertura espectral entre 4,000 - 9,500 Å.

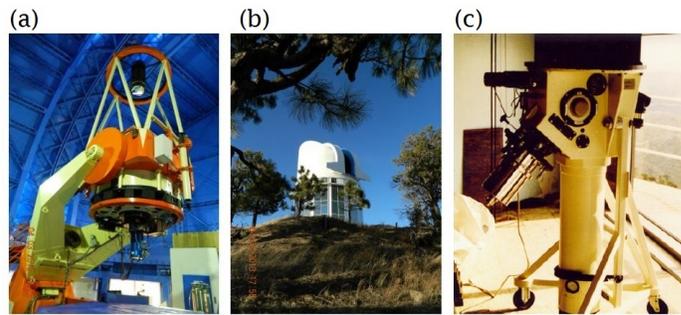


Figura 3.1: a) Telescopio de 2.1 metros del OAGH, b) Edificio del telescopio en Cananea, Sonora, c) Espectrógrafo Boller & Chivens.

3.2. Selección de la muestra de objetos

Para la selección de objetos, se utilizó la página de MPC (http://www.minorplanet.info/PHP/call_OppLCDBQuery.php). Se ingresaron los parámetros de búsqueda para NEAs que se encuentran en oposición en diferentes épocas del año. Se eligió un rango de magnitudes hasta 18.5 en la banda V del visible, ya que para el telescopio de 2.1 metros son flujos que nos dan una relación señal/ruido adecuada. Se buscó una declinación mayor a -10° (Fig. 3.2), debido a que el telescopio se encuentra a una latitud de 31° . De esta manera podemos tener el asteroide a una buena altura sobre el horizonte en el momento de la observación. Con ello, obtuvimos una lista de los asteroides a observar.

Las observaciones que presentamos en este trabajo de tesis se llevaron a cabo desde el año 2016 a Junio 2018. Una vez seleccionados los objetos, generamos sus efemérides en la página de Minor Planet & Comet Ephemeris Service of the MPC (<https://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>) para obtener las coordenadas de los asteroides en el momento exacto de las observaciones (Fig. 3.3).

Debido a que los NEAs que cumplen con las condiciones impuestas no son muchos, la lista de objetos a observar se complementa con MBAs de diferentes familias. En las Tablas 3.1 (NEAs) y 3.2 (MBAs), se muestran los objetos observados en el periodo 2016-2018. La segunda columna muestra el tipo de órbita, la familia o distribución del asteroide. La tercera columna muestra las coordenadas ecuatoriales; Ascensión Recta y Declinación (J2000.0). La cuarta columna muestra el tiempo total de exposición de los objetos, mientras que las columnas 5, 6, 7 y 8 proporcionan la magnitud en la banda V, la distancia desde el observador al objeto (Δ), la distancia desde el Sol hasta el objeto (r), y el ángulo de fase (α), respectivamente. Todos estos datos se refieren al momento de la observación. En las columnas 9 y 10, se proporcionan algunas características físicas de los objetos; la magnitud absoluta (H) en la columna 9, tomadas del JPL Horizons (Sistema que proporciona un acceso fácil a los datos de efemérides de alta precisión para los objetos del Sistema Solar) en el apartado del

Table Filtering Options		
Results are sorted by order of date of brightest		
Value	Range Low/Selection	Range High/Filter
Number	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="999999"/>
Name	<input type="text" value="Any"/>	<input type="text"/>
Year and Month	<input type="text" value="2018"/> <input type="text" value="February"/>	Please do not select "All" without using filters and narrowing default ranges.
Family/Group	<input type="text" value="NEA"/>	The family/group definitions are based on the orbital parameters. See Warner <i>et al.</i> (2009; <i>Icarus</i> 202 , 134-146).
Favorable Status	<input type="text" value="Ignore"/>	Favorable is one of five brightest apparitions in period 1995-2050
CALL Status	<input type="text" value="Ignore"/>	Filter by CALL notification and/or submission postings
LCDB Status	<input type="text" value="Ignore"/>	Filter by LCDB entries
Mag Range	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="18.5"/>
Dec Range	<input type="text" value="-10"/>	<input type="text" value="90"/>
Diameter	<input type="text" value="5000"/>	Maximum diameter (km)
<input type="button" value="Submit"/> <input type="button" value="Reset"/>		

Figura 3.2: Selección de objetos: Seleccionamos el año y mes para observar, el grupo de NEAs (y asteroides del cinturón principal), el intervalo de magnitud relativa de 0 a 18.5 y declinación mayor a -10° . (Minor Planet Center)

Return ephemerides Return summary Return HTML page

Objects may be identified by designation or by name. Enter a list of designations or names below (one entry per line, excess entries will be ignored):

2005 EC1
 1993 BW3
 2006 CG

Ephemeris Options (applicable only if selecting ephemeris return):

By default, ephemerides are geocentric, begin now and are for 20 days at 1 day intervals.

Ephemeris start date: Number of dates to output:

Ephemeris interval: Ephemeris units: days hours minutes For daily ephemerides, enter desired offset from 0h UT: hours

You may enter an observatory code or your observing site's coordinates:

Observatory code:

Longitude ° E, latitude °, altitude m.

Longitudes and latitudes should be entered in decimal degrees.

Figura 3.3: Efemérides para NEAs en el periodo de Septiembre 2017. Se agrega los nombres de asteroides a observar, la fecha, el intervalo (cada 15 minutos) y las coordenadas del telescopio. (Minor Planet & Comet Ephemeris Service of the MPC)

Sistema Solar en línea y del servicio de cómputo de efemérides (<http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>), mientras que en la columna 10 se indica el tamaño del asteroide (D), calculado a partir de las ecuaciones (1.2) o (1.3) de la Sección 1, dependiendo si el albedo es conocido o no. La columna 11 muestra la excentricidad, tomadas de NEODYs (Servicio web de base de datos de NEOs mantenida continuamente por MPC y patrocinada por ESA) en el apartado de Objetos

(<https://newton.dm.unipi.it/neodys/index.php?pc=0>). Para remover la contribución del Sol, y así obtener los espectros de reflectancia relativa de los asteroides, se observaron diferentes análogos solares (López-Valdivia et al. 2014) a masas de aire entre el telescopio y los análogos solares similares a las de los asteroides. La última columna de las Tablas muestran el análogo solar observado para cada NEA y MBA.

Asteroide	Tipo de Órbita	Coordenadas (J2000.0)	Tiempo de exp. (seg)	V^a (mag)	Δ^a (UA)	r^a (UA)	α^a (grados)	H^b (mag)	D^c (km)	e^d	Análogo solar
(433) Eros	Amor	22:27:54.6 -02:39:27	3x600	12.5	0.814	1.760	17.8	11.2	15.80	0.2226	NLTT53073
(1981) Midas	Apolo	13:33:06.1 +37:14:54	3x1800	16.5	0.651	1.442	35.4	15.2	3.24	0.6503	HD118914
(2368) Beltrovata	Amor	06:59:55.6 +26:19:38	3x1800	18.3	1.272	2.064	18.3	15.2	2.35	0.4131	HD64324
(3200) Phaethon	Apolo	07:05:50.4 +35:55:28	3x1200	15.5	0.575	1.427	32.1	14.6	4.96	0.8899	HD64324
(4953) 1990 MU	Apolo	07:55:36.8 -03:31:00	3x900	15.1	0.488	1.090	65.8	14.1	5.37	0.6574	NLTT18365
(5143) Heracles	Apolo	05:06:01.0 -43:13:54	3x900	15.3	0.665	1.481	33.4	14.0	5.37	0.7722	HD283469
(5693) 1993 EA	Apolo	08:45:38.8 +27:29:43	3x900	15.6	0.368	1.349	6.7	16.6	1.70	0.5851	HD98562
(6053) 1999 BW3	Apolo	08:06:31.2 +27:12:54	3x1200	15.9	0.703	1.656	13.5	14.8	3.95	0.5291	HD087680
(7341) 1991 VK	Apolo	23:35:10.2 +18:18:54	3x900	16.3	0.382	1.335	23.3	16.7	1.62	0.5066	NLTT56671
(8567) 1996 HW1	Amor	07:12:17.0 +10:34:46	3x1800	18.5	1.338	2.231	13.9	15.3	2.97	0.4494	HD068168
(12711) Tukmit	Apolo	04:20:33.7 +30:35:46	3x1800	17.6	0.773	1.440	40.3	15.8	2.45	0.2722	HD042618
(16834) 1997 WU22	Apolo	20:47:34.4 +10:19:51	3x900	17.9	0.925	1.539	38.3	15.6	2.18	0.4422	HIP102864
(17182) 1999 VU	Apolo	02:28:16.9 +45:43:17	3x1200	16.9	0.452	1.401	20.3	17.0	3.21	0.5533	HD10307
(17511) 1992 QN	Apolo	03:54:02.5 +46:23:22	3x1800	17.3	0.489	1.437	17.3	17.2	1.29	0.3589	HD10307
(40267) 1999 GJ4	Apolo	11:58:08.5 -08:47:34	3x900	15.9	0.472	1.303	39.3	15.5	2.31	0.8083	HD110276
(96590) 1998 XB	Atenas	15:01:36.2 +71:18:12	3x1200	15.4	0.238	1.078	61.5	16.2	1.11	0.3511	HD135694
(96631) 1999 FP59	Amor	00:20:32.8 -00:27:59	3x1800	16.4	0.310	1.313	4.5	18.0	0.89	0.2593	HD3628
(140158) 2001 SX169	Apolo	04:34:51.2 +12:09:56	3x1800	17.1	0.315	1.292	14.1	18.3	0.55	0.4607	HD020630
(154244) 2002 KL6	Amor	22:24:01.6 +47:34:10	3x900	14.3	0.075	1.043	66.7	17.5	1.12	0.5485	TYC3619-1530-1
(162269) 1999 VO6	Apolo	20:23:09.9 +18:05:55	3x900	16.4	0.252	1.079	64.2	17.0	1.02	0.7379	HD191898
(164121) 2003 YT1	Apolo	05:39:01.9 -20:38:02	3x900	14.2	0.142	1.062	58.6	16.2	1.11	0.2918	HD33280
(171819) 2001 FZ6	Amor	01:51:42.2 +20:33:20	3x900	17.6	0.411	1.402	6.2	18.3	0.78	0.1663	HD153
(185851) 2000 DP107	Apolo	02:10:08.6 +34:29:08	3x900	17.2	0.314	1.289	18.2	18.2	0.81	0.3765	HD2854
(248083) 2004 QU24	Amor	01:50:30.2 -07:21:10	3x900	17.4	0.762	1.733	10.9	16.0	2.40	0.6143	NLTT53073
(252793) 2002 FW5	Amor	23:47:24.8 +41:27:28	3x900	18.0	0.241	1.187	33.1	19.2	0.51	0.2177	HD153
(259802) 2004 BJ86	Amor	08:43:28.9 +43:45:24	3x1800	18.2	0.353	1.304	22.3	18.7	0.65	0.3297	HD090333
(370307) 2002 RH52	Apolo	05:03:25.8 +63:19:03	3x900	16.4	0.324	1.186	47.2	16.9	1.48	0.4918	HD35961A
(378610) 2008 FT6	Amor	01:44:57.2 -00:27:40	3x900	17.4	0.520	1.509	7.4	17.4	1.17	0.4260	HD13043
(413002) 1999 VG22	Amor	11:08:18.2 -08:17:29	3x900	16.7	0.163	1.104	40.2	18.6	0.68	0.3296	HD106640
(444584) 2006 UK	Apolo	23:37:48.9 +34:51:47	3x600	14.5	0.032	1.010	50.4	20.2	0.32	0.5388	HD1327
(452389) 2002 NW16	Amor	21:18:37.4 +64:31:26	3x900	17.6	0.293	1.129	56.1	18.1	0.82	0.0303	TYC3600-137-1
(462959) 2011 DU	Apolo	03:27:04.7 -02:48:57	3x900	16.9	0.083	1.069	26.7	21.0	0.22	0.3178	HD13043
(467963) 2012 JT17	Apolo	22:12:36.6 +46:37:33	3x900	15.8	0.110	1.059	52.1	18.6	0.68	0.6160	HD191898
2018 CB	Apolo	07:27:45.3 +51:18:35	4x900	14.9	0.003	0.989	43.9	25.9	0.02	0.3197	HD047309

Tabla 3.1: NEAs observados y sus características físicas.

a valores de Minor Planet & Comet Ephemeris Service of the MPC.

b valores del servicio en línea del Sistema Solar y efemérides de JPL Horizons.

c valores de las ecuaciones (1.2) o (1.3).

d valores de Near Earth Objects Dynamic Site.

Asteroide	Familia / Distribución	Coordenadas (J2000.0)	Tiempo de exp. (seg)	V^a (mag)	Δ^a (UA)	r^a (UA)	α^a (grados)	H^b (mag)	D^c (km)	e^d	Análogo solar
(56) Melete	IMB	06:05:36.6 +13:09:54	3x600	13.1	2.182	3.012	12.1	8.3	122.90	0.2377	HD56202
(151) Abundantia	IMB	04:00:29.2 +24:23:30	3x600	12.7	1.638	2.620	12.7	9.2	40.35	0.0334	HD15632
(161) Athor	IMB	06:39:03.8 +34:55:45	3x600	13.3	1.769	2.554	16.3	9.2	41.56	0.1375	HD1327
(336) Lacadiera	Flora	23:45:46.2 +03:42:28	3x900	13.6	1.609	2.316	20.7	9.8	71.74	0.0952	HD377
(341) California	Flora	10:18:12.3 +19:10:46	3x900	14.1	1.653	2.626	4.5	10.6	16.04	0.1945	HD093393
(432) Pythia	IMB	02:56:04.8 +03:07:17	3x600	12.5	1.661	2.625	6.2	8.8	47.54	0.1459	HD020630
(440) Theodora	Flora	10:44:44.0 +05:56:49	3x900	13.8	1.066	2.017	10.2	11.5	8.51	0.1069	HD106252
(449) Hamburga	IMB	23:06:01.7 -09:47:29	3x1200	14.5	2.299	2.783	19.6	9.5	86.76	0.1730	HD1461
(1290) Albertaine	Erigone	02:04:10.3 +25:28:55	3x1200	14.9	1.053	2.020	8.0	12.8	9.77	0.1545	HD19617
(1884) Skip	Phocaea	01:19:05.0 +43:52:47	3x600	14.7	1.096	1.983	17.1	12.1	8.54	0.2611	HD10307
(1982) Cline	IMB	00:07:38.8 -02:55:03	3x1200	15.7	1.184	1.944	24.1	12.8	8.43	0.2491	HD6718
(3733) Yoshitomo	Erigone	01:53:36.9 +21:07:36	3x1200	16.2	1.406	2.354	8.9	13.0	16.14	0.1927	HD15632
(4324) Bickel	IMB	22:38:06.8 +02:12:44	3x1200	15.8	1.576	2.091	26.9	12.0	10.77	0.1996	HD8291
(4547) Massachusetts	MMB	02:14:47.6 +26:49:09	3x1200	15.4	1.598	2.433	16.2	11.7	31.19	0.0699	HD217577
(38057) 1999 BO15	IMB	02:05:42.3 +27:28:26	3x1200	15.8	1.179	2.132	9.6	13.2	5.16	0.2001	HD15632

Tabla 3.2: MBAs observados y sus características físicas.

IMB, MMB, representan la parte interior y la parte media del cinturón principal de asteroides, respectivamente.

a valores de Minor Planet & Comet Ephemeris Service of the MPC.

b valores del servicio en línea del Sistema Solar y efemérides de JPL Horizons.

c valores de las ecuaciones (1.2) o (1.3).

d valores de Near Earth Objects Dynamic Site.

3.3. Técnica de reducción de datos

Los procedimientos de reducción de datos para las observaciones espectroscópicas consisten en obtener espectros calibrados en longitud de onda y en flujo, en unidades de $\text{erg seg}^{-1} \text{cm}^{-2}$. Para realizar este proceso necesitamos imágenes de calibración, que son las siguientes:

Bias: Cuando un dispositivo CCD lee una señal digital, éste genera un nivel de ruido que está presente en la imagen, y se le denomina "Bias". Este ruido estará presente en todas las imágenes. El proceso de lectura implica la transferencia de carga entre los píxeles vecinos. Esto puede hacer que los píxeles cercanos al que se está leyendo retengan la carga residual y aparezcan más calientes que sus vecinos. Se pueden promediar múltiples Bias para reducir el ruido de lectura, y éste Bias promedio se debe restar de cualquier imagen que el dispositivo tome.

Darks: Los niveles de corriente oscura, debido al ruido térmico, se pueden determinar por exposiciones prolongadas con el obturador al CCD cerrado. Para minimizar este efecto, los CCD generalmente se enfrían a bajas temperaturas. Para eliminar este ruido, se toma una imagen con un tiempo de exposición similar al de las imágenes de trabajo, con el domo y el obturador cerrados. A esta imagen se le llama imagen "dark". Estas imágenes "dark" también se pueden usar para encontrar píxeles muertos o calientes. De forma similar se pueden promediar múltiples exposiciones "dark" para reducir el ruido de lectura aleatoria promediándolas.

Flat: Las variaciones de sensibilidad de pixel a pixel surgen como resultado de los procesos de fabricación y también debido a los efectos de atenuación óptica, como las partículas microscópicas de polvo en la superficie del CCD. Por lo general, se obtiene una imagen de campo plano para corregir este efecto observando una pantalla blanca colocada en el interior del domo. La pantalla está iluminada con una lámpara de Halógeno. En este caso, el telescopio está completamente desenfocado, lo que garantiza que el campo esté uniformemente iluminado.

Arc lamp (lámpara de comparación): Las imágenes de comparación se utilizan para determinar la correspondencia entre el pixel y la longitud de onda, es decir, para realizar la calibración en longitud de onda. La lámpara utilizada contiene Helio, Neón y Argón. Las líneas de emisión del espectro de la lámpara de comparación se encuentran en longitudes de onda conocidas y pueden identificarse.

Estrella análogo solar: Se requiere un espectro estelar similar al Sol, tomado a una masa de aire similar a la que hay entre el telescopio y el objeto para corregir los efectos atmosféricos y eliminar la firma del espectro del Sol, a fin de tener sólo la firma espectroscópica de la superficie del asteroide. Las estrellas G2V o similares se utilizan con este fin. Para mejorar la eliminación de la contribución del Sol, hemos

utilizado una lista de análogos solares que cumplen con las siguientes condiciones cuando comparamos sus propiedades con los valores solares: $\Delta T_{\text{eff}} < 200\text{K}$, $\Delta(g) < 0.2$ y $\Delta[\text{Fe}/\text{H}] < 0.2$; es decir que son estrellas que por su temperatura, clase de luminosidad y metalicidad son muy similares al Sol.

3.4. Reducción de las imágenes utilizando IRAF

La reducción de las imágenes se realizó utilizando la paquetería de IRAF, y se utilizaron las rutinas estándar para la reducción de los espectros de rendija larga (Fig. 3.4a). La corrección de Bias se realizó al restar el nivel de Bias promedio de muchas imágenes Bias, tomadas durante la noche. La mediana normalizada de la imagen del campo plano se produjo a partir de varias imágenes de lámparas de halógeno tomadas en el domo del telescopio. Las variaciones de pixel a pixel se eliminaron al dividir las imágenes ya corregidas por Bias, por esta imagen de campo plano. Los rayos cósmicos se eliminaron combinando las tres imágenes para cada objeto y en el caso que fue necesario, se desplazaron las imágenes antes de combinarlas. Se eliminaron los rayos cósmicos restantes promediando los valores de los pixeles adyacentes manualmente. La calibración de longitud de onda se realizó usando una lámpara Helio, Neón y Argón. Después de eso, se hizo la resta del cielo. El siguiente paso en el proceso de reducción fue la extracción de espectros unidimensionales (Fig. 3.4b), que se corrigieron por extinción atmosférica, utilizando la ley de extinción promedio del OAGH (Carrasco et al. 1998; Buzzoni 1994).

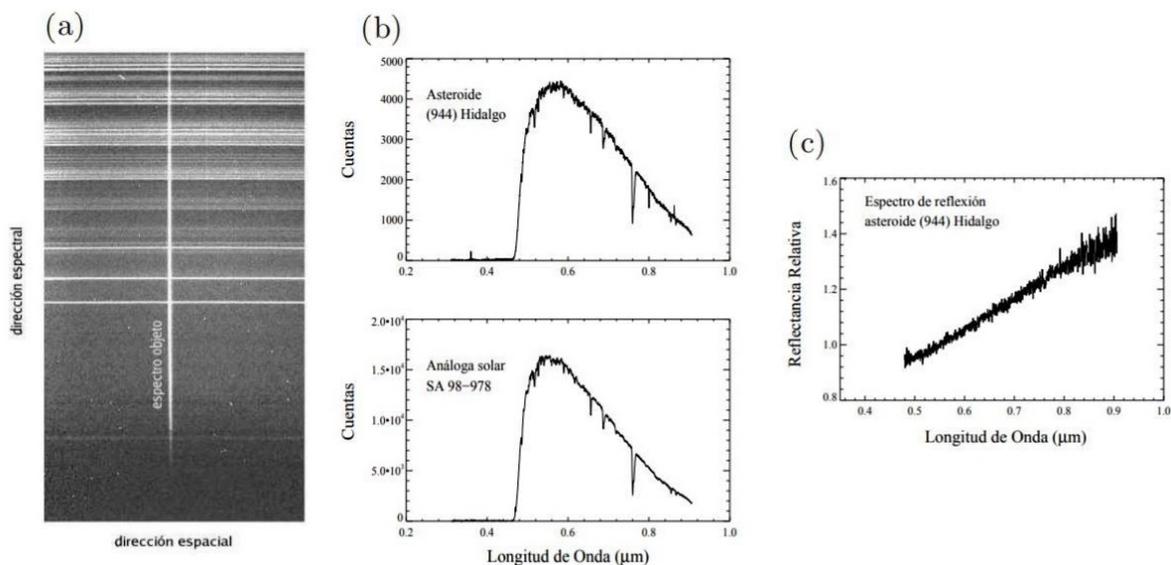


Figura 3.4: a) Ejemplo de un espectro de un asteroide, b) Espectro extraído y calibrado en longitud de onda del asteroide y de la estrella análogo solar, c) Al dividir los dos espectros anteriores obtenemos el espectro de reflexión del objeto, normalizado a 0.55 micras.

Los espectros corregidos por extinción de los NEAs y MBAs observados, y análogos solares correspondientes, se normalizaron a 5,500 Å (El centro de la banda V de Johnson), que corresponden a una región del espectro del asteroide que no muestra bandas de absorción. Los espectros de reflectancia de los NEAs y MBAs observados se obtuvieron dividiendo el espectro del objeto por el espectro análogo solar correspondiente (Fig. 3.4c). Para comprobar si existe una posible influencia de diferentes análogos solares en los espectros resultantes, obtuvimos los espectros de reflectancia de cada objeto dividiéndolos no sólo por el correspondiente análogo solar, sino también por los otros espectros estelares que se tomaron durante la noche. Se observaron diferencias insignificantes (menos del 5 % en la pendiente entre 0.5 y 0.7 micras), lo que indica la calidad de los datos. Los *espectros ópticos normalizados de los NEAs y MBAs observados*, obtenidos mediante este procedimiento, se muestran en el **Anexo A**.

3.5. Metodología para la determinación de las clase taxonómica

Distancia espectral

Una forma directa para determinar la clase taxonómica a la que pertenece un asteroide es calcular la "distancia espectral" (Yang et al. 2003a) entre los espectros de asteroides observados y algunos patrones espectrales. Está definido por:

$$D_X = \sqrt{\sum_{n=1}^k (X_n - Y_n)^2} \quad (3.1)$$

donde D_x es la distancia espectral entre el espectro no clasificado X y un patrón espectral Y . Estos patrones espectrales pueden ser los 1,341 espectros individuales de los asteroides del SMASSII o los 24 espectros promedio de las clases taxonómicas de Bus-DeMeo. n representa los canales individuales formados por el espectro, donde el número total de canales es k . Este método es descrito por Yang et al. (2003b). Los canales utilizados fueron desde 0.44 hasta 0.92 micras, con paso de 0.01 micras. Esto suma una cantidad de 48 canales.

Para determinar la clase taxonómica de los NEAs y MBAs observados, primero calculamos su distancia espectral obteniendo el mejor ajuste entre nuestros datos y los espectros de 1,341 asteroides del SMASSII (Binzel et al. 2001; Bus and Binzel 2002a), y los 24 espectros promedio de DeMeo et al. (2009), buscando a qué clase taxonómica pertenecen los asteroides que muestran los valores más pequeños de D_x .

Sin embargo, notamos que en la base de datos de los espectros del SMASSII no hay asteroides pertenecientes a la clase taxonómica Q y sólo hay uno de la clase O. La

Figura 3.5 muestra el histograma del número de asteroides del SMASSII que pertenecen a cada clase taxonómica, donde se puede observar el déficit mencionado. Para llenar estos vacíos, incluimos cinco espectros de asteroides de clase O y nueve de clase Q de Binzel et al. (2004), a la base de datos SMASSII. Nos referiremos a esta lista de 1,355 espectros de asteroides como la base de datos extendida del SMASSII.

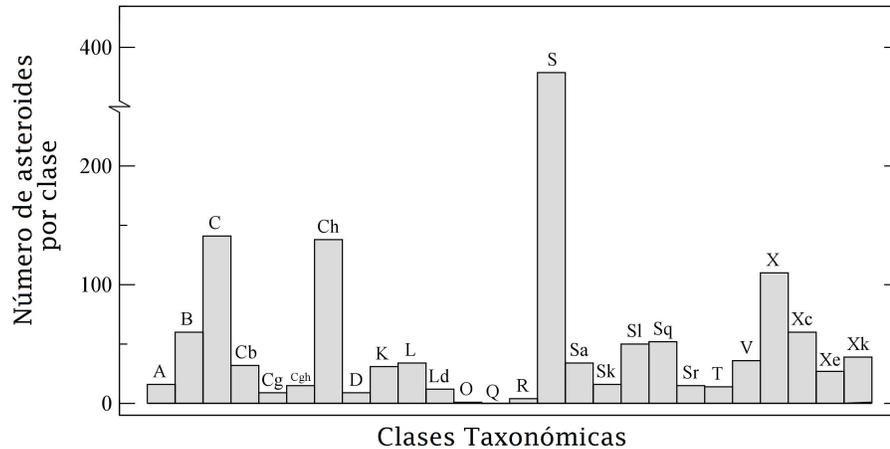


Figura 3.5: Histograma del número de espectros de asteroides del SMASSII por clase taxonómica.

Para lograr un mejor ajuste entre nuestros espectros y los espectros de asteroides de la base de datos del SMASSII, y antes de calcular las distancias espectrales, produjimos un espectro suavizado uniforme de los NEAs y MBAs observados, a una dispersión de 30 \AA (un factor de 3, teniendo en cuenta que nuestra dispersión es de aproximadamente 9.9 \AA/pix). Esto aumenta la relación señal/ruido y reduce la posibilidad de clasificación errónea debido al ruido o a los puntos de datos faltantes. Cabe resaltar que esta es la estructura que tienen los espectros de la base de datos del SMASSII, por lo tanto para homogeneizar los espectros obtenidos, con los del SMASSII, se utilizó este procedimiento.

Programas

Después de que los espectros fueron suavizados se realizaron tres programas con diferentes funciones en el lenguaje de programación C/C++ y utilizando paqueterías especiales en Microsoft Excel. Estos *programas* se encuentran en el **Anexo B** en el lenguaje de C/C++. El primer programa, llamado Convertidor de unidades, está hecho para preparar nuestros espectros, y al mismo tiempo, convertir las longitudes de onda de \AA a micras (Anexo B.1). El segundo programa, llamado Interpolador lineal es para

hacer la interpolación lineal de nuestros espectros (Anexo B.2); Los archivos de los asteroides de la base de datos del SMASSII contienen los flujos normalizados sólo a ciertas longitudes de onda (0.44, 0.45,... , 0.92 micras), mientras que nuestros espectros contienen flujos normalizados cada 0.1 micras, y dependiendo de la temporada de observación, la cobertura espectral no siempre es la misma. Este programa sirve para que podamos tener los flujos normalizados de nuestros espectros a las mismas longitudes de onda que los espectros del SMASSII. La misma situación se presenta cuando calculamos la distancia espectral con respecto a los espectros promedio de las clases taxonómicas de Bus-DeMeo. El tercer programa, llamado Resultados, básicamente calcula la distancia espectral de nuestros espectros con respecto a los 1,355 espectros de asteroides del SMASSII, guarda todos los valores de la distancia espectral y los acomoda en forma ascendente junto con su clasificación taxonómica y asteroide perteneciente. Aunque en la Figura 3.6 sólo se muestra los primeros diez resultados, en realidad este programa en Excel arroja los resultados de los 1,355 asteroides del SMASSII y su respectiva distancia espectral. Este programa se muestran en el Anexo B.3.

	SMASS		Distancia Espectral
1	7224 Vesnina	Sq	0.1761978
2	1483 Hakoila	Sq	0.1830212
3	6077 Messner	Sq	0.1946472
4	3363 Bowen	Sq	0.2038971
5	10563 Izhdubar	Q	0.2062079
6	1565 Lemaître	Sq	0.206393
7	7056 Kierkegaard	Sq	0.2088409
8	3654 AAS	Sq	0.2108934
9	3491 Fridolin	Sq	0.2115232
10	1374 Isora	Sq	0.2159128

Figura 3.6: Ejemplo de los diez valores más pequeños de D_x para el asteroide 1991VK.

Albedo

Recientemente se ha incrementado el número de asteroides para los cuales se ha podido establecer el valor de su albedo (Harris and Lagerros 2002; Masiero et al. 2017; Pravec et al. 2012; Mainzer et al. 2011b,a). Esto ha permitido establecer una correlación entre el valor de los albedos y las clases taxonómicas a las cuales pertenecen los asteroides. En este trabajo hemos utilizado los valores promedio de los albedos de asteroides de diferentes complejos taxonómicos proporcionados por Thomas et al. (2011) y Stuart and Binzel (2004), los cuales se muestran en las Tablas 3.3 y 3.4. A pesar de que en ambos casos, las muestras utilizadas para calcular los valores promedio de los albedos son diferentes, estos son similares para asteroides de un mismo complejo taxonómico.

Complejos	Clases incluidas	Albedos de NEAs	Albedos del cinturón principal
C	B, C, Cb, Cg, Ch, Cgh	0.13	0.066
D	D, T	0.02	0.067
Q	Q, Sq	0.29	-
S	S, Sa, Sk, Sl, Sr, K, L, Ld	0.26	0.155
V	V	0.42	0.348
X	X, Xc, Xk, Xe, E, M, P	0.31	0.113

Tabla 3.3: Valores promedio de los albedos para NEAs y asteroides del cinturón principal que pertenecen a diferentes complejos taxonómicos según [Thomas et al. \(2011\)](#).

Complejo	Clases incluidas	Albedos de NEAs	Albedos del cinturón principal
A	A	$0.200 \pm 0,020$	-
C	C, subgrupos de C, B, F, G	$0.101 \pm 0,027$	$0.06 \pm 0,04$
D	D, T	$0.042 \pm 0,013$	-
O	O	$0.520 \pm 0,156$	-
Q	Q, Sq	$0.247 \pm 0,060$	-
R	R	$0.340 \pm 0,034$	-
S	S, K, L, subgrupos de S	$0.239 \pm 0,044$	$0.20 \pm 0,06$
U	U	$0.300 \pm 0,030$	-
V	V	$0.417 \pm 0,147$	-
X	X, subgrupos de X, E, M, P	$0.072 \pm 0,025$	$0.10 \pm 0,09$

Tabla 3.4: Valores promedio de los albedos para NEAs y asteroides del cinturón principal que pertenecen a diferentes complejos taxonómicos según [Stuart and Binzel \(2004\)](#).

Método multivariable

El método que proponemos para la clasificación taxonómica de los asteroides observados, es multivariable, y además de utilizar los valores de la distancia espectral, se tiene en cuenta otras variables como son los valores de los albedos (cuando éstos estén disponibles), y para el caso del cinturón principal de asteroides, las propiedades orbitales (cuando éstos estén disponibles).

Capítulo 4

Análisis de resultados y discusión

Como el objetivo principal del presente trabajo es ubicar los NEAs observados dentro de la clasificación taxonómica definida por [Bus \(1999\)](#), a continuación se presenta la clase taxonómica propuesta para cada objeto observado. La clase taxonómica se seleccionó basándose, fundamentalmente, en los valores de Dx , calculados con respecto a los 1,355 espectros individuales de la base de datos extendida SMASSII, y los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas propuestas por [DeMeo et al. \(2009\)](#). Para una clasificación taxonómica más robusta, cuando estaban disponibles, también se tomaron en cuenta otras características de los asteroides, como el albedo, y para el caso de los MBAs, las propiedades orbitales. Los espectros ópticos normalizados de los NEAs y MBAs observados, se muestran en el [Anexo A](#).

4.1. Tabla con los resultados

Las Tablas [4.1](#) y [4.2](#) muestran las clases taxonómicas propuestas para los objetos observados (NEAs y MBAs, respectivamente). Las columnas 1 y 8 señalan el nombre de los objetos observados. Las columnas 2, 3, 4, 9, 10 y 11 se refieren a los resultados con respecto a la base de datos extendida del SMASSII, donde se menciona el nombre del asteroide, la distancia espectral Dx y la clase taxonómica correspondiente. Las columnas 5, 6, 12 y 13 se refieren a los resultados respecto a los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, donde se menciona la distancia espectral Dx y la clase taxonómica. Las columnas 7 y 14 muestran la clasificación taxonómica propuesta para cada objeto observado, utilizando el método multivariable que se describe en la Sección [3.5](#). Para algunos asteroides se propone más de una clase taxonómica.

En las siguientes Secciones, [4.2.1](#) para los NEAs y [4.2.2](#) para los MBAs, se describen mediante un análisis individual, cómo se llegó a las clases taxonómicas propuestas. Finalmente, en el Capítulo [5](#), se realiza una conclusión para el análisis de resultados.

Asteroides cercanos a la Tierra

Objeto	SMASII			Bus-DeMeo		Prop.	Objeto	SMASII			Bus-DeMeo		Prop.
	Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase			Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase	
(433) Eros	1252 Celestia	0.1319	S	0.0599	Sr	S	(7341) 1991 VK	7224 Vesnina	0.1762	Sq	0.0469	Q	Q, Sq
	6211 Tsubame	0.1327	Sr	0.0841	Sa			1483 Hakoila	0.1830	Sq	0.1737	R	
	4844 Matsuyama	0.1331	S	0.0871	Sq			6077 Messner	0.1946	Sq	0.1758	Sq	
	4909 Couteau	0.1386	S	0.1187	S			3363 Bowen	0.2039	Sq	0.1863	Sr	
	4039 Souseki	0.1425	S					10563 Izhdubar	0.2062	Q	0.2069	Cg	
	512 Taurinensis	0.1432	S					1565 Lemaître	0.2064	Sq			
	1830 Pogson	0.1443	S					7056 Kierkegaard	0.2088	Sq			
	5647 1990TZ	0.1470	S					3654 AAS	0.2109	Sq			
	1857 Parchomenko	0.1506	S					3491 Fridolin	0.2115	Sq			
	553 Kundry	0.1527	S					1374 Isora	0.2159	Sq			
(1981) Midas	2704 JulianLoewe	0.1995	V	0.1908	O	V	(8567) 1996 HW1	1483 Hakoila	0.3135	Sq	0.1267	Q	Q, Sq
	4796 Lewis	0.2013	V	0.1971	V			6077 Messner	0.3582	Sq	0.2050	Cg	
	4977 Rauthgundis	0.2449	V	0.2512	Q			3654 AAS	0.3640	Sq	0.2142	Sq	
	2468 Repin	0.3069	V	0.3289	R			720 Bohlinia	0.3682	Sq	0.2272	Sr	
	3900 Knezevic	0.3181	V	0.3904	B			1565 Lemaître	0.3685	Sq	0.2289	Xn	
	5240 Kwasan	0.3226	V					1374 Isora	0.3689	Sq			
	4434 Nikulin	0.3247	V					7224 Vesnina	0.3702	Sq			
	4188 Kitezih	0.3274	V					3491 Fridolin	0.3710	Sq			
	2566 Kirghizia	0.3337	V					1300 Marcelle	0.3745	Cg			
	3850 Peltier	0.3365	V					7728 Giblin	0.3769	Sq			
(2368) Beltravata	28 Bellona	0.4906	S	0.2284	D	S	(12711) Tukmit	3710 Bogoslovskij	1.2039	Cgh	0.5903	O	Ch
	1856 Ruzena	0.4916	S	0.2460	L			4156 1988BE	1.2060	Cgh	0.6430	B	
	152 Atala	0.4924	S	0.2522	T			3197 Weissman	1.2317	Cgh	0.6491	Ch	
	737 Arequipa	0.4931	S	0.3094	Xc			1986 PA	1.2428	O	0.6505	Cgh	
	2185 Guangdong	0.4936	S	0.3306	S			1613 Smiley	1.2501	Cgh	0.6599	Q	
	2451 Dollfus	0.4944	S					4591 Bryantsev	1.2586	Cgh			
	477 Italia	0.4952	S					555 Norma	1.2814	B			
	124 Alkeste	0.4953	S					706 Hirundo	1.2911	Cgh			
	1751 Herget	0.4954	S					3885 Bogorodskij	1.3038	Cg			
	456 Abnoba	0.4962	S					2925 Beatty	1.3252	Cgh			
(3200) Phaethon	142 Polana	0.0626	B	0.0972	B	B	(16834) 1997 WU22	3628 Boznemcova	0.5420	O	0.2259	O	O
	2809 Vernadskij	0.0654	B	0.1457	Ch			1986 PA	0.6909	O	0.3962	B	
	2382 Nonie	0.0680	B	0.1848	C			5143 Heracles	0.7059	O	0.4083	Q	
	1539 Borrelly	0.0775	B	0.1867	Cb			555 Norma	0.7143	B	0.4444	Ch	
	6500 Kodaira	0.0796	B	0.2128	Xn			4341 Poseiden	0.7326	O	0.4681	Cg	
	767 Bondia	0.0846	B					4 Vesta	0.7327	V			
	5330 Senrikyu	0.0859	B					1997 RT	0.7388	O			
	282 Clorinde	0.0860	B					4977 Rauthgundis	0.7922	V			
	383 Janina	0.0970	B					5690 1992EU	0.7946	B			
	4997 Ksana	0.0987	B					3710 Bogoslovskij	0.7984	Cgh			
(4953) 1990 MU	3628 Boznemcova	0.1949	O	0.0847	O	O	(17182) 1999 VU	4523 MIT	0.1801	Ch	0.1119	B	B, Ch
	5143 Heracles	0.3012	O	0.2177	B			2659 Millis	0.1881	B	0.1312	Ch	
	555 Norma	0.3317	B	0.2741	Q			168 Sibylla	0.1900	Ch	0.1683	C	
	2331 Parvulesco	0.3631	C	0.2798	Ch			5133 Phillipadams	0.1904	B	0.1769	Cb	
	1986 PA	0.3648	O	0.3043	C			6129 Demokritos	0.1910	Ch	0.1912	Cgh	
	4 Vesta	0.3676	V					3775 Ellenbeth	0.1911	Ch			
	1997 RT	0.3804	O					5234 Sechenov	0.1923	B			
	4341 Poseiden	0.3859	O					1705 Tapio	0.1940	B			
	5690 1992EU	0.3945	B					3971 Voronikhin	0.1953	Ch			
	4719 Burnaby	0.4118	C					7402 1987YH	0.1972	Ch			
(5143) Heracles	3628 Boznemcova	0.3608	O	0.1506	O	O	(17511) 1992 QN	150 Nuwa	0.3324	Cb	0.1514	B	C
	555 Norma	0.4306	B	0.2932	B			4276 Clifford	0.3379	Cb	0.1562	Cb	
	5143 Heracles	0.4920	O	0.3280	Q			59 Elpis	0.3406	B	0.1573	Ch	
	5690 1992EU	0.5128	B	0.3453	Ch			191 Kolga	0.3422	Cb	0.1602	C	
	3710 Bogoslovskij	0.5317	Cgh	0.3713	Cg			1041 Asta	0.3427	C	0.1764	Xn	
	4156 1988BE	0.5351	Cgh					2060 Chiron	0.3430	Cb			
	1997 RT	0.5402	O					94 Aurora	0.3430	C			
	1986 PA	0.5411	O					3627 Sayers	0.3442	B			
	2331 Parvulesco	0.5422	C					31 Euphrosyne	0.3445	Cb			
	3581 Alvarez	0.5463	B					2892 Filipenko	0.3449	C			
(5693) 1993 EA	7728 Giblin	0.1522	Sq	0.1032	Q	Q, Sq	(40267) 1999 GJ4	3498 Belton	0.1502	V	0.0715	Q	Q, Sq
	4051 Hatanaka	0.1743	Sq	0.1432	Cg			3265 Fletcher	0.1614	V	0.2043	R	
	1324 Knysna	0.1768	Sq	0.1541	Xn			1324 Knysna	0.1995	Sq	0.2113	V	
	6077 Messner	0.1913	Sq	0.1720	C			4311 Zguridi	0.1995	V	0.2164	Sq	
	1483 Hakoila	0.2061	Sq	0.1828	B			10563 Izhdubar	0.2006	Q	0.2209	Cg	
	3958 Komendantov	0.2089	Xc					2547 Hubei	0.2012	V			
	3214 Makarenko	0.2095	Xc					1862 Apollo	0.2019	Q			
	1996 UK	0.2119	Sq					6077 Messner	0.2025	Sq			
	4261 Gekko	0.2153	Sq					3536 Schleicher	0.2048	V			
	1653 Yakhontovia	0.2157	X					3753 Cruithne	0.2075	Q			
(6053) 1993 BW3	5610 Balster	0.0803	S	0.0498	Sq	S, Sq	(96590) 1998 XB	1483 Hakoila	0.1831	Sq	0.0640	Q	Q, Sq
	4001 Ptolemaeus	0.0813	S	0.0709	Sr			10563 Izhdubar	0.2264	Q	0.2121	Cg	
	4033 Yatsugatake	0.0836	S	0.1109	K			1324 Knysna	0.2288	Sq	0.2228	R	
	158 Koronis	0.0887	S	0.1503	S			1986 PA	0.2306	O	0.2294	Sq	
	3853 Haas	0.0905	S	0.1669	Q			6077 Messner	0.2325	Sq	0.2307	V	
	183 Istria	0.0907	S					8176 1991 WA	0.2430	Q			
	970 Primula	0.0922	S					4341 Poseiden	0.2450	O			
	6585 OKeefe	0.0931	Sk					3753 Cruithne	0.2574	Q			
	670 Ottegebe	0.0938	S					1999 FB	0.2599	Q			
	208 Lacrimosa	0.0961	Sk					7728 Giblin	0.2656	Sq			

Continuación en siguiente página

Objeto	SMASSII			Bus-DeMeo		Prop.	Objeto	SMASSII			Bus-DeMeo		Prop.
	Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase			Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase	
(96631) 1999 FP59	169 Zelia	0.1110	Sl	0.0367	Sv	S, Sl	(252793) 2002 FW5	1300 Marcelle	0.4529	Cg	0.1339	Cg	Sq
	2840 Kallavesi	0.1122	Sl	0.0950	S			1483 Hakoila	0.4546	Sq	0.1611	Cgh	
	5485 Kaula	0.1134	S	0.1228	L			5632 Ingelehmman	0.4677	Xc	0.1618	Xn	
	108 Hecuba	0.1184	Sl	0.1816	A			4342 Freud	0.4740	Xc	0.1729	Xk	
	3576 Galina	0.1186	Sl	0.1927	Sr			3090 Tjossem	0.4750	Cg	0.1801	C	
	4116 Elachi	0.1207	Sl					2065 Spicer	0.4751	Xc			
	3862 Agekian	0.1207	S					131 Vala	0.4767	Xc			
	119 Althaea	0.1207	Sl					720 Bohlinia	0.4777	Sq			
	1601 Patry	0.1215	Sl					604 Tekmessa	0.4795	Xc			
	3309 Brorfelde	0.1237	S					214 Aschera	0.4838	Xc			
(140158) 2001 SX169	555 Norma	0.2981	B	0.2131	B	B	(259802) 2004 BJ86	1104 Syringa	0.2806	Xk	0.1596	T	Xk
	5690 1992EU	0.3275	B	0.2344	O			547 Praxedis	0.2866	Xk	0.1757	Xe	
	3581 Alvarez	0.3324	B	0.2727	Ch			77 Frigga	0.3078	Xe	0.1847	X	
	6500 Kodaira	0.3774	B	0.3107	C			336 Lacadiera	0.3119	Xk	0.2020	Xc	
	767 Bondia	0.3811	B	0.3202	Cb			114 Kassandra	0.3212	Xk	0.2072	Xk	
	2809 Vernadskij	0.3895	B					3169 Ostro	0.3229	Xe			
	2331 Parvulesco	0.3903	C					1094 Siberia	0.3229	Xk			
	2382 Nonie	0.3924	B					136 Austria	0.3231	Xe			
	5330 Senrikyu	0.3968	B					233 Asterope	0.3261	K			
1724 Vladimir	0.3993	B			4369 Seifert	0.3294	Xk						
(154244) 2002 KL6	1336 Zeelandia	0.2419	S	0.0647	S	S	(370307) 2002 RH52	171 Ophelia	0.1557	C	0.0648	Ch	C
	6192 1990KB1	0.2453	S	0.1141	Sr			751 Faina	0.1568	Ch	0.0732	C	
	1252 Celestia	0.2454	S	0.1178	Sv			5364 1980RC1	0.1569	C	0.0886	Cgh	
	2493 Elmer	0.2467	S	0.1280	Sq			444 Gypis	0.1663	C	0.0971	Cb	
	985 Rosina	0.2520	S	0.1400	K			1427 Ruvuma	0.1674	C	0.0982	Xn	
	4909 Couteau	0.2520	S					74 Galatea	0.1678	C			
	5159 Burbine	0.2552	S					10 Hygiea	0.1690	C			
	4682 Bykov	0.2554	S					912 Maritima	0.1699	C			
	4536 1987DA6	0.2562	S					2892 Filipenko	0.1723	C			
	2056 Nancy	0.2569	S					185 Eunike	0.1751	C			
(162269) 1999 VO6	3340 Yinhai	0.2091	S	0.1143	Sr	S	(378610) 2008 FT6	2029 Binomi	0.3706	S	0.1489	Sq	S
	3635 1981WO1	0.2156	S	0.1179	Sq			11906 1992AE1	0.3745	Sq	0.1604	Sr	
	228 Agathe	0.2188	S	0.1355	S			3658 Feldman	0.3760	S	0.1733	R	
	716 Berkeley	0.2189	S	0.1420	K			6669 Obi	0.3797	S	0.1838	Sa	
	1706 Dieckvoss	0.2208	S	0.1442	R			5892 1981YS1	0.3840	V	0.1868	Q	
	571 Dulcinea	0.2231	S					3949 Mach	0.3842	Sq			
	4305 Clapton	0.2237	S					4037 Ikeya	0.3845	Sq			
	4774 Hobetsu	0.2251	S					1634 Ndola	0.3856	S			
	2268 Szymtowna	0.2255	S					2881 Meiden	0.3865	S			
	397 Vienna	0.2255	K					2746 Hissao	0.3866	Sr			
(164121) 2003 YT1	3307 Athabasca	0.3924	V	0.3162	V	V	(413002) 1999 VG22	5143 Heracles	0.2217	O	0.1522	B	C
	2851 Harbin	0.4766	V	0.4413	R			3885 Bogorodskij	0.2535	Cg	0.1852	Ch	
	2912 Lapalma	0.4972	V	0.5078	Q			4719 Burnaby	0.2642	C	0.1886	Cg	
	2579 Spartacus	0.5377	V	0.5102	Sa			7817 1988RH10	0.2771	C	0.1939	Cgh	
	2795 Lepage	0.5768	V	0.5436	O			4341 Poseiden	0.2777	O	0.1964	O	
	2653 Principia	0.5795	V					7604 1995QY2	0.2876	C			
	3850 Peltier	0.5985	V					2331 Parvulesco	0.2912	C			
	4977 Rauthgundis	0.6035	V					4969 Lawrence	0.2996	C			
	3155 Lee	0.6292	V					3827 Zdenekhorsky	0.3057	C			
	3900 Knezevic	0.6317	V					5091 Isakovskij	0.3085	C			
(171819) 2001 FZ6	4977 Rauthgundis	0.5385	V	0.3359	O	V	(444584) 2006 UK	3628 Boznemcova	0.1687	O	0.0726	O	O
	3307 Athabasca	0.6341	V	0.3950	V			5143 Heracles	0.1960	O	0.1942	Q	
	2912 Lapalma	0.6995	V	0.4654	Q			1986 PA	0.2157	O	0.2246	B	
	4796 Lewis	0.7128	V	0.5395	R			4341 Poseiden	0.2484	O	0.2772	Cg	
	2704 JulianLoewe	0.7233	V	0.5697	B			4 Vesta	0.2546	V	0.2834	Ch	
	3850 Peltier	0.7261	V					1997 RT	0.2752	O			
	3900 Knezevic	0.7650	V					4719 Burnaby	0.3912	C			
	2468 Repin	0.7970	V					2331 Parvulesco	0.3944	C			
	4434 Nikulin	0.8021	V					8176 1991 WA	0.4069	Q			
5379 Abehiroshi	0.8048	V			1324 Knysna	0.4261	Sq						
(185851) 2000 DP107	375 Ursula	0.2516	Xc	0.0762	Xk	X	(452389) 2002 NW16	1350 Rosselia	0.3165	Sa	0.1856	A	Sa
	393 Lampetia	0.2531	Xc	0.0834	Xc			289 Nenetta	0.3580	A	0.2784	L	
	3440 Stampfer	0.2594	X	0.1027	X			950 Ahrensa	0.4010	Sa	0.2790	S	
	712 Boliviana	0.2618	X	0.1092	Cg			1126 Otero	0.4047	A	0.2808	Sa	
	259 Aletheia	0.2663	X	0.1168	Xn			4512 Sinuhe	0.4056	Sa	0.2815	Sv	
	107 Camilla	0.2670	X					4570 Runcorn	0.4067	Sa			
	4750 Mukai	0.2676	X					2402 Satpaev	0.4081	Sl			
	2390 Nezarka	0.2732	X					3767 DiMaggio	0.4093	Sa			
	173 Ino	0.2733	Xk					2280 Kunikov	0.4117	Sa			
	4548 Wielen	0.2740	Xc					4407 Taihaku	0.4141	Sa			
(248083) 2004 QU24	3581 Alvarez	0.4106	B	0.3064	B	B, Ch	(462959) 2011 DU	3628 Boznemcova	0.4132	O	0.2161	O	O
	5690 1992EU	0.4204	B	0.3412	Ch			555 Norma	0.5140	B	0.3788	B	
	555 Norma	0.4247	B	0.3548	O			5143 Heracles	0.5912	O	0.4309	Q	
	3710 Bogoslovskij	0.4249	Cgh	0.3907	Cb			5690 1992EU	0.5976	B	0.4388	Ch	
	7110 1983XH1	0.4381	Ch	0.3928	C			1986 PA	0.6253	O	0.4690	C	
	2708 Burns	0.4439	B					3710 Bogoslovskij	0.6259	Cgh			
	2629 Rudra	0.4550	B					3581 Alvarez	0.6270	B			
	767 Bondia	0.4564	B					2331 Parvulesco	0.6356	C			
	6283 1980VX1	0.4590	Ch					4 Vesta	0.6397	V			
	2382 Nonie	0.4619	B					4156 1988BE	0.6472	Cgh			

Continuación en siguiente página

Objeto	SMASSII			Bus-DeMeo		Prop.	Objeto	SMASSII			Bus-DeMeo		Prop.
	Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase			Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase	
(467963) 2012 JT17	6669 Obi	0.1154	S	0.0444	Sr	S	2018 CB	559 Nanon	0.1062	Xk	0.0629	K	Xk
	5892 1981YS1	0.1201	V	0.0658	Sq			2606 Odessa	0.1130	Xk	0.0674	Xe	
	2744 Birgitta	0.1213	S	0.0929	Sa			71 Niobe	0.1168	Xe	0.1233	Xk	
	6078 Burt	0.1259	S	0.1195	S			186 Celuta	0.1169	K	0.1259	Xc	
	3658 Feldman	0.1276	S	0.1448	K			1545 Thernoe	0.1246	K	0.1374	Sq	
	1857 Parchomenko	0.1277	S					417 Suevia	0.1276	Xk			
	4678 Ninian	0.1293	S					135 Hertha	0.1348	Xk			
	4222 Nancita	0.1317	S					2957 Tatsuo	0.1352	K			
	8516 1991TW1	0.1326	S					1351 Uzbekistania	0.1356	Xk			
	5649 Donnashirley	0.1350	S					55 Pandora	0.1361	X			

Tabla 4.1: Valores de la distancia espectral de los NEAs observados con respecto a los asteroides de la base de datos extendida del SMASSII y con respecto a los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas de DeMeo et al. (2009). Se propone una clasificación taxonómica para los asteroides observados utilizando el método multivariable descrito anteriormente. Descripción de la Tabla en el texto.

Asteroides del cinturón principal

Objeto	SMASSII			Bus-DeMeo		Prop.	Objeto	SMASSII			Bus-DeMeo		Prop.
	Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase			Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase	
(56) Melete	22 Kalliope	0.0758	X	0.0648	Xc	X, Xk	(432) Pythia	79 Eurynome	0.0536	S	0.0380	K	S
	1373 Cincinnati	0.0809	Xk	0.0651	X			14 Irene	0.0591	S	0.0710	Sq	
	3730 Hurban	0.0831	Xk	0.0652	Xe			471 Papagena	0.0644	S	0.0964	Sr	
	757 Portlandia	0.0833	Xk	0.0743	Xk			3713 Pieters	0.0673	K			
	3985 Raybatson	0.0881	X	0.1019	K			5208 Royer	0.0689	S			
	627 Charis	0.0935	X					15 Eunomia	0.0695	S			
	598 Octavia	0.0971	X					1148 Rarahu	0.0741	K			
	5576 Albanese	0.0977	Xk					198 Ampella	0.0754	S			
	21 Lutetia	0.0981	Xk					674 Rachele	0.0805	S			
	1071 Brita	0.0998	Xk					462 Eriphyla	0.0806	S			
(151) Abundantia	18 Melpomene	0.0888	S	0.0664	S	S	(440) Theodora	1088 Mitaka	0.0716	S	0.0653	S	S
	4353 Onizaki	0.0988	Xe	0.1027	K			1052 Belgica	0.0757	S	0.0664	Sr	
	3287 Olmstead	0.1033	L	0.1077	Xe			2064 Thomsen	0.0791	S	0.0773	Sq	
	1882 Rauma	0.1057	K	0.1134	Sv			2737 Kotka	0.0799	S			
	673 Edda	0.1105	S	0.1280	L			3640 Gostin	0.0846	S			
	397 Vienna	0.1118	K					749 Malzovia	0.0863	S			
	606 Brangane	0.1130	K					5196 Bustelli	0.0889	S			
	1014 Semphyra	0.1198	Xe					1738 Oosterhoff	0.0900	S			
	42 Isis	0.1229	L					5038 1948KF	0.0909	S			
	89 Julia	0.1236	K					6364 1981ET	0.0912	S			
(161) Athor	81 Terpsichore	0.0615	Cb	0.0293	C	C	(449) Hamburga	2040 Chalonge	0.0830	Ch	0.0282	Cgh	C, Ch
	4265 Kani	0.0671	C	0.0509	Cb			2169 Taiwan	0.0850	C	0.0568	Cg	
	94 Aurora	0.0672	C					35 Leukothea	0.0856	C	0.0768	C	
	275 Sapientia	0.0672	C					1189 Terentia	0.0866	Ch			
	3389 Sinzot	0.0678	C					3096 Bezruc	0.0910	C			
	1017 Jacqueline	0.0682	C					4584 Akan	0.0940	C			
	713 Luscinia	0.0713	C					3744 Hornd Arturo	0.0957	Ch			
	93 Minerva	0.0719	C					6509 1983CQ3	0.0967	Ch			
	1264 Letaba	0.0727	C					1048 Feodosia	0.0982	Ch			
	388 Charybdis	0.0729	C					54 Alexandra	0.1014	C			
(336) Lacadera	199 Byblis	0.0942	X	0.0745	X	X, Xk	(1290) Albertine	1264 Letaba	0.0766	C	0.0406	Cb	C
	5467 1988AG	0.0969	X	0.0794	Xe			634 Ute	0.0773	X	0.0582	C	
	3730 Hurban	0.0990	Xk	0.0880	Xc			713 Luscinia	0.0786	C			
	136 Austria	0.1005	Xe	0.0996	Xk			771 Libera	0.0798	X			
	1187 Afra	0.1061	X					551 Ortrud	0.0807	C			
	4369 Seifert	0.1243	Xk					3389 Sinzot	0.0827	C			
	1094 Siberia	0.1271	Xk					191 Kolga	0.0867	Cb			
	77 Frigga	0.1318	Xe					81 Terpsichore	0.0881	Cb			
	16 Psyche	0.1380	X					4265 Kani	0.0900	C			
	75 Eurydike	0.1383	Xk					388 Charybdis	0.0909	C			
(341) California	2185 Guandong	0.1149	S	0.0802	S	S	(1884) Skip	11906 1992AE1	0.1606	Sq	0.1084	Q	Sq
	1856 Ruzena	0.1165	S	0.1260	Sv			1374 Isora	0.1634	Sq	0.1271	Sq	
	28 Bellona	0.1168	S					3491 Fridolin	0.1802	Sq	0.1446	Sr	
	2451 Dollfus	0.1201	S					3949 Mach	0.1803	Sq			
	819 Barnardiana	0.1202	S					4968 Suzamur	0.1886	Sq			
	7397 1986QS	0.1216	S					1997 RD1	0.1899	Sq			
	1751 Herget	0.1237	S					6146 Adamkrafft	0.1914	Sq			
	4287 Trisov	0.1267	S					3654 AAS	0.1920	Sq			
	477 Italia	0.1271	S					534 Nassovia	0.2011	Sq			
	37 Fides	0.1278	S					3903 KlimentOhridski	0.2011	Sq			

Continuación en siguiente página

Objeto	SMASSII			Bus-DeMeo		Prop.	Objeto	SMASSII			Bus-DeMeo		Prop.
	Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase			Nombre del asteroide	Dx	Clase	Dx	Clase	
(1982) Cline	179 Klytaemnestra	0.1416	Sk	0.1237	K	S	(4547) Massachusetts	4534 RimskijKorsakov	0.0836	Cb	0.0339	B	Ch o B
	4327 Ries	0.1489	Sk	0.1266	Sq			1277 Dolores	0.0875	Cb	0.0856	Ch	
	20 Massalia	0.1654	S					2251 Tikhov	0.0881	Cb	0.1137	C	
	485 Genua	0.1707	S					5678 DuBridge	0.0911	C			
	2748 PatrickGene	0.1736	S					253 Mathilde	0.0924	Cb			
	5318 1985HG1	0.1745	Sk					47 Aglaja	0.0939	B			
	312 Pierretta	0.1786	Sk					24 Themis	0.0939	B			
	196 Philomela	0.1811	S					88 Thisbe	0.0952	B			
	2427 Kobzar	0.1816	Sq					2106 Hugo	0.0962	C			
	2703 Rodari	0.1837	S					2952 Lilliputia	0.0967	Cb			
(3733) Yoshitomo	2455 Somville	0.1381	C	0.0771	Cb	X	(38057) 1999 BO15	6847 KunzHallstein	0.0908	Sk	0.0875	Sq	S o Sq
	521 Brixia	0.1397	Ch	0.0850	C			699 Hela	0.0963	Sq	0.1178	Sr	
	3224 Irkutsk	0.1402	X	0.0920	Xn			3674 Erbisbuhl	0.1020	Sk	0.1209	K	
	3451 Mentor	0.1435	X					5407 1992AX	0.1043	Sk			
	554 Peraga	0.1445	Ch					3 Juno	0.1053	Sk			
	12281 1990WA5	0.1447	X					43 Ariadne	0.1060	Sk			
	705 Erminia	0.1453	C					3700 Geowilliams	0.1062	Sk			
	1024 Hale	0.1464	Ch					2504 Gaviola	0.1085	Sq			
	190 Ismene	0.1468	X					534 Nassovia	0.1112	Sq			
	134 Sophrosyne	0.1477	Ch					2078 Nanking	0.1138	Sq			
(4324) Bickel	1862 Apollo	0.6519	Q	0.0400	S	S							
	3753 Cruithne	0.6736	Q	0.0902	Sv								
	1999 FB	0.6772	Q	0.1070	Sr								
	2308 Schilt	0.7685	S	0.1255	Sq								
	8176 1991 WA	0.7689	Q										
	2402 Satpaev	0.7691	Sl										
	4982 Bartini	0.7723	A										
	7225 Huntress	0.7775	S										
	3910 Liszt	0.7785	S										
	1458 Mineura	0.7797	S										

Tabla 4.2: Valores de la distancia espectral de los asteroides del cinturón principal observados con respecto a los asteroides de la base de datos extendida del SMASSII y con respecto a los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas de DeMeo et al. (2009). Se propone una clasificación taxonómica para los asteroides observados utilizando el método multivariable descrito anteriormente.

Descripción de la Tabla en el texto.

4.2. Análisis individual de los resultados

4.2.1. Asteroides cercanos a la Tierra

(433) Eros. Nueve de diez de los valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a asteroides clase S, con el remanente perteneciendo a la clase Sr. En comparación con los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas de DeMeo et al. (2009), se muestra que (433) Eros pertenece al complejo S. Los valores del albedo, $p_v = 0.22$ (Harris et al. 2011), y $p_v = 0.218$ (Mueller et al. 2011) corresponden a asteroides del complejo S (Thomas et al. 2011). Así confirmamos la clasificación taxonómica realizada por Tholen (1989), Bus and Binzel (2002a), y Binzel et al. (2004).

(1981) Midas. Los diez primeros resultados de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a asteroides clase V, incluso dentro de los primeros cuarenta resultados, 66 % son de clase V. De acuerdo con los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas de DeMeo et al. (2009), se muestra que los dos valores más bajos son para la clase O ($Dx = 0.1908$) y clase V ($Dx = 0.197$), con resultados comparables. No hay informes del valor del albedo para este asteroide. Proponemos que este

asteroide pertenece a la clase V.

(2368) Beltrovata. Los diez primeros resultados de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a asteroides clase S, incluso dentro de los primeros cincuenta resultados, el 96 % son de clase S. De acuerdo con los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas de DeMeo et al. (2009), se muestra que el valor para la clase S (dentro de los primeros cinco resultados) es de $Dx = 0.3306$. Un valor del albedo $p_v = 0.161 \pm 0,081$ (Mainzer et al. 2011b) es más consistente con el complejo S, que con el complejo D y X (Stuart and Binzel 2004; Thomas et al. 2011). Proponemos que este asteroide pertenece a la clase S.

(3200) Phaethon. Los diez primeros resultados de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a asteroides clase B, e incluso la clase B constituye el mayor porcentaje (46 %) de una estadística de los primeros cien resultados. El valor más bajo de los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas de DeMeo et al. (2009) es para la clase B ($Dx = 0.0971$). Un valor del albedo $p_v = 0.11$ (Harris 1998), y $p_v = 0.0984$ (Tedesco et al. 2004) muestra que este asteroide pertenece al complejo C (que incluye la clase B). Así confirmamos la clasificación realizada por Bus and Binzel (2002a), Thomas et al. (2014) y Harris (1998).

(4953) 1990 MU. Cinco objetos de clase O de la base de datos extendida del SMASSII, se encuentran entre los ocho valores más bajos de Dx . Además, cuando se compara con las clases de DeMeo, el valor más bajo de $Dx = 0.0846$ también corresponde a la clase O. Hicks et al. (1998) clasificaron este NEA como un objeto de clase Q, sin embargo, los valores más bajos para los asteroides de clase Q que tenemos son $Dx = 0.5197$ ((8176) 1991 WA), y $Dx = 0.5891$ ((3753) Cruithne), por lo que no se encuentran entre los diez valores más bajos. Por otro lado, el valor del albedo de este asteroide, $p_v = 0.52$ (Harris et al. 2011) corresponde a un objeto muy brillante y está de acuerdo con el albedo del único objeto de clase O que está en la lista de Stuart and Binzel (2004). En este último artículo, el albedo para el complejo taxonómico Q es $p_v = 0.247 \pm 0,060$, mientras que para el complejo taxonómico O es $p_v = 0.520 \pm 0,156$. Proponemos que (4953) 1990 MU es un NEA de clase O.

(5143) Heracles. Este objeto está en la base de datos del SMASSII. Está clasificado como clase O (Bus and Binzel 2002a), y como clase Q (DeMeo et al. 2009, 2014). Confirmamos su clasificación en clase O. Dentro de los diez valores más bajos de Dx , se encuentran cuatro asteroides de clase O. El valor más bajo de los espectros promedio en la clasificación de DeMeo es de $Dx = 0.1505$ correspondiente a clase O. Un albedo de $p_v = 0.412$ (Fumihiko et al. 2011), y $p_v = 0.42$ (Trilling et al. 2010) es compatible con un objeto del complejo O.

(5693) 1993 EA. Los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a la clase Sq (7 objetos), a la clase Xc (2 objetos) y a la clase

X (1 objeto). Esto confirma la clasificación taxonómica de [Thomas et al. \(2014\)](#) y [DeMeo et al. \(2014\)](#) en clase Sq. Los espectros promedio de los asteroides de la clase Q en la clasificación de DeMeo muestran un $Dx = 0.1032$. Teniendo en cuenta que el complejo taxonómico Q contiene objetos de clase Q y Sq, y que un albedo de $p_v = 0.26$, reportado por [Masiero et al. \(2011\)](#), corresponde a los valores del complejo taxonómico Q ([Thomas et al. 2011](#); [Stuart and Binzel 2004](#)), sugerimos que (5693) 1993 EA es un NEA de clase Sq o Q.

(6053) 1993 BW3. Este asteroide ha sido clasificado como clase Sq por [Bus and Binzel \(2002a\)](#). Ocho de los primeros diez resultados más bajos de la base de datos extendida del SMASSII, pertenecen a la clase S, con los otros dos a la clase Sk. Haciendo una estadística de los primeros cien resultados, vemos que el mayor porcentaje pertenece a la clase S, con un 68%. De acuerdo con los 24 espectros promedio de la clasificación de DeMeo, este objeto pertenece al complejo Q ($Dx = 0.0498$) o S ($Dx = 0.0708$). Un albedo de $p_v = 0.14$ ([Nugent et al. 2015](#)), no es una diferencia muy significativa para determinar entre ambos complejos. Proponemos que este asteroide pertenece a la clase S o Sq.

(7341) 1991 VK. Este asteroide fue clasificado como clase Sq ([Bus 1999](#); [Bus and Binzel 2002a,b](#)) y por [DeMeo et al. \(2009\)](#) como clase Q. Nueve de los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a objetos de clase Sq, con la única excepción de (10563) Izhdubar, un asteroide de clase Q. Además, otros cuatro asteroides de clase Q se encuentran entre los primeros quince valores de Dx . De los valores más bajos con respecto a los espectros promedio de DeMeo son para la clase Sq ($Dx = 0.1757$) y la clase Q ($Dx = 0.0469$). El albedo de este objeto es $p_v = 0.2355$ ([Masiero et al. 2017](#)). Por la misma razón que el objeto (5693) 1993 EA, proponemos que (7341) 1991 VK es un NEA de clase Sq o Q.

(8567) 1996 HW1. Este asteroide ha sido clasificado como clase Q o Sq por [Thomas et al. \(2014\)](#). Dentro de los primeros diez resultados de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos nueve objetos de clase Sq y el remanente de clase Cg. De una estadística de los primeros cien resultados, vemos que la clase Sq predomina con un 47%. En comparación con los 24 espectros promedio de la clasificación de DeMeo, de los valores más bajo son para la clase Q ($Dx = 0.1267$), y la clase Sq ($Dx = 0.2141$). Se reporta un albedo de $p_v = 0.16$ por [Nugent et al. \(2015\)](#) y $p_v = 0.1$ por [Trilling et al. \(2016\)](#). Proponemos que este asteroide es de clase Sq o Q.

(12711) Tukmit. Este asteroide ha sido clasificado como clase Sr por [Bus and Binzel \(2002a\)](#), y clase Q por [DeMeo et al. \(2009\)](#) y [Thomas et al. \(2014\)](#), sin embargo, nuestros resultados difieren. Aunque nuestros Dx son muy altos, de los primeros diez resultados más bajos de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos objetos de clase Cgh (7), clase Cg (1), clase B (1) y clase O (1). De los espectros promedio de la clasificación de DeMeo tenemos el valor más bajo para la clase O ($Dx = 0.5903$),

seguido por tres objetos del complejo C ($Dx = 0.6429$ para la clase B, $Dx = 0.6491$ para la clase Ch y $Dx = 0.6505$ para la clase Cgh). Se reporta un albedo de $p_v = 0.19$ por [Trilling et al. \(2010\)](#) y [Thomas et al. \(2011\)](#) que es consistente con el complejo S y Q. Proponemos que este asteroide pertenece al complejo C, debido a que constituye el 94 % de una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, probablemente a la clase Ch, ya que predomina en porcentaje (53 %).

(16834) 1997 WU22. Aunque los valores de Dx de los objetos de la base de datos extendida del SMASSII, son muy altos, los tres valores más bajos corresponden a los asteroides de clase O (5 objetos entre los diez primeros resultados). Al comparar con los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, los valores más bajos de la distancia espectral también se obtienen para la clase taxonómica O. Esto está en desacuerdo con [Bus and Binzel \(2002a\)](#), [Thomas et al. \(2014\)](#) y [DeMeo et al. \(2014\)](#), quienes clasificaron a este objeto perteneciente al complejo S. Sin embargo, los valores del albedo de $p_v = 0.43$ ([Thomas et al. 2011](#)), y $p_v = 0.40$ ([Harris et al. 2011](#); [Trilling et al. 2010](#)) son los más consistente con un objeto brillante, por lo que favorecemos la clase O taxonómica para este NEA.

(17182) 1999 VU. Entre los primeros diez resultados más bajos de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos objetos de clase Ch (6) y clase B (4), al igual que haciendo una estadística de los primeros cien resultados (53 % para la clase Ch y 35 % para la clase B). De los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, tenemos objetos del complejo C ($Dx = 0.1118$ para la clase B, $Dx = 0.1311$ para la clase Ch, $Dx = 0.1683$ para la clase C). Se reporta un albedo de $p_v = 0.028 \pm 0.008$ que es consistente con el complejo C. Proponemos que este asteroide pertenece al complejo C, probablemente a la clase B o Ch.

(17511) 1992 QN. Este asteroide ha sido clasificado como clase X por [Bus and Binzel \(2002a\)](#) y [Binzel et al. \(2004\)](#). De los primeros diez resultados de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos objetos de clase Cb (5), clase C (3) y clase B (2). De los espectros promedio de la clasificación de DeMeo tenemos objetos del complejo C ($Dx = 0.1513$ para la clase B, $Dx = 0.1561$ para la clase Cb, $Dx = 0.1572$ para la clase Ch). Aunque el albedo reportado por [Thomas et al. \(2011\)](#) es de $p_v = 0.72$, corresponde a un objeto muy brillante, proponemos que este objeto es del complejo C, y probablemente a la clase C, debido a que predomina en una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral con un 44 %.

(40267) 1999 GJ4. Este es un objeto muy complicado. Entre los dieciséis valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos objetos de clase V, Q y Sq. Aunque los dos valores más bajos de Dx pertenecen a los espectros de clase V, consideramos que (40267) 1999 GJ4 es un asteroide de clase Sq o Q por las siguientes dos razones; En primer lugar, su albedo $p_v = 0.214$ ([Nugent et al. 2015](#)) es más compatible con un asteroide del complejo Q que con un asteroide clase V (el

albedo para una muestra de NEAs del complejo taxonómico V es $p_v = 0.42 \pm 0.13$ (Thomas et al. 2011)). Si hacemos una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, respecto a la base de datos extendida del SMASSII, podemos observar que el 51 % es para la clase Sq, mientras que el 21 % para la clase V. Además, predomina el complejo taxonómico S (incluyendo las clases Q y Sq) con un 76 % de los resultados. Concluimos que (40267) 1999 GJ4 es un NEA de clase Sq o Q, que corresponde a la clasificación propuesta por Bus and Binzel (2002a) y Thomas et al. (2011).

(96590) 1998 XB. Dentro de los primeros diez valores más bajos de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos objetos de clase Sq (4), clase Q (4) y clase O (2), al igual que dentro de una estadística de los primeros cien resultados, la clase con mayor porcentaje es para Sq, con un 58 %. En comparación con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, tenemos el valor más bajo para la clase Q ($Dx = 0.064$). El albedo reportado por Thomas et al. (2011) de $p_v = 0.11$ es más compatible con un objeto del complejo Q, que del complejo O, por lo que confirmamos la clasificación de Thomas et al. (2014) como clase Q o Sq.

(96631) 1999 FP59. De los primeros diez valores más bajos de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos objetos del complejo S (7 de clase Sl y 3 de clase S). En comparación con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, también tenemos objetos del complejo S ($Dx = 0.0367$ para la clase Sv y $Dx = 0.095$ para la clase S). No hay reportes del albedo, pero al hacer una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, observamos que este objeto pertenece al complejo S, donde el 58 % corresponde a la clase S y 35 % a la clase Sl.

(140158) 2001 SX169. Nueve de los primeros diez valores más bajos de la base de datos extendida del SMASSII, son para la clase B, y el remanente para la clase C, y dentro de la estadística de los primeros cien resultados tenemos que el 43 % para la clase B y 32 % para la clase Ch. En comparación con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, también tenemos como el valor más bajo a la clase B ($Dx = 0.2131$). No hay reportes del albedo. Proponemos que este asteroide pertenece a la clase B.

(154244) 2002 KL6. Los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a objetos de clase S, coincidiendo con su pertenencia al complejo S al comparar el espectro de este asteroide con la clases taxonómicas promedio de DeMeo. Thomas et al. (2014) y DeMeo et al. (2014) clasificaron (154244) 2002 KL6 como un NEA de clase Sq o Q. No hay informes del valor del albedo para este asteroide, sin embargo, los valores del albedo para el complejo S y los objetos del complejo Q son muy similares, $p_v = 0.239 \pm 0.044$ para el primero y $p_v = 0.247 \pm 0.060$ para el segundo respectivamente (Stuart and Binzel 2004). Es decir, esta diferencia no es muy significativa, sin embargo, realizando una estadística de los

primeros cien resultados de la distancia espectral respecto a la base extendida del SMASSII, contamos con que el 99 % de los resultados son para la clase S. Por lo que proponemos que este asteroide pertenece a la clase S.

(162269) 1999 VO6. Nueve de los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a objetos de clase S, con el remanente perteneciendo a la clase K. Al comparar con los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, los valores más bajos de Dx provienen de las clases taxonómicas del complejo S. Además, un albedo de $p_v = 0.274$ (Mainzer et al. 2011a) es consistente con el albedo de los asteroides del complejo taxonómico S, y corroborando con una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral respecto a la base extendida del SMASSII, contamos con que el 97 % de los resultados son para la clase S.

(164121) 2003 YT1. Los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, y el mejor ajuste con los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, son objetos de clase V. El albedo de este asteroide $p_v = 0.48$ (Mainzer et al. 2011a) es típico de un objeto del complejo V. (164121) 2003 YT1 ha sido clasificado como un objeto de clase V o R por Sanchez et al. (2013) y Thomas et al. (2014), y como un objeto de clase V por Benner et al. (2008), por lo que coincidimos con ellos que este asteroide es de la clase taxonómica V.

(171819) 2001 FZ6. Al igual que el objeto anterior, el procedimiento de ajuste con los espectros de la base de datos extendida del SMASSII y con los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, apunta a un objeto de clase V. Corroborando con una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral respecto a la base extendida del SMASSII, vemos que la clase que tiene mayor porcentaje (35 %) de los resultados, es para la clase V.

(185851) 2000 DP107. Los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII corresponden a los objetos Xc (3), clase X (6) y clase Xk (1), por lo que este es un NEA que pertenece al complejo X. Según DeMeo et al. (2014), 2000 DP107 es un asteroide de clase Sq, sin embargo, los valores de su albedo $p_v = 0.111$ (Marchis et al. 2012) y $p_v = 0.1371$ (Masiero et al. 2017) corresponden a un objeto más oscuro. Debido a la degeneración E, M, P dentro del complejo X, otra posibilidad es que este sea un NEA de clase M (ver Figura 3 de Thomas et al. (2011)), sin embargo, haciendo una estadística de los primeros cincuenta resultado de la distancia espectral, tenemos que predomina la clase X con un 52 %.

(248083) 2004 QU24. De los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, hay objetos de clase B (7), clase Ch (2) y clase C (1). El mismo resultado se obtiene al comparar con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, donde se muestra su pertenencia al complejo C ($Dx = 0.3064$ para la clase

B y $Dx = 0.3412$ para la clase Ch). Su albedo de $p_v = 0.126$ (Mainzer et al. 2011a; Masiero et al. 2015) concuerda con los valores de albedo para los asteroides del complejo C (Thomas et al. 2011) y confirma nuestra propuesta de que (248083) 2004 QU24 es un NEA de clase B o Ch.

(252793) 2002 FW5. Entre los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos dos asteroides de clase Cg, dos de clase Sq, y seis de clase Xc, con valores comparables de Dx . Dentro de los primeros cincuenta resultados, tenemos de los mayores porcentajes, el 30 % para la clase Sq y un 26 % para la clase Xc, e incluso, de la estadística de los primeros cien resultados, tenemos que predomina el complejo S (40 %), seguido por el complejo X (32 %). Una situación similar surge cuando comparamos el espectro de este objeto con los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, con los valores más bajos de Dx para la clase Cg ($Dx = 0.1339$), la clase Cgh ($Dx = 0.161$), la clase Xn ($Dx = 0.1617$) y la clase Xk ($Dx = 0.1728$). Como no hay informes del albedo para este objeto, es difícil tomar una decisión entre estos tres complejos, pero es evidente que el complejo S y en específico la clase Sq sobresale del complejo C y X.

(259802) 2004 BJ86. Dentro de los diez primeros valores de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos seis objetos de clase Xk, tres de clase Xe y uno de clase K. Dentro de los primeros cien resultados de una estadística, tenemos que el 26 % pertenecen a la clase Xk, 19 % a la clase K y otro 19 % a la clase X. De los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, con excepción del primer valor ($Dx = 0.1596$) de clase T, este asteroide pertenece al complejo X ($Dx = 0.1756$ clase Xe, $Dx = 0.1846$ clase X, $Dx = 0.202$ clase Xc y $Dx = 0.2072$ clase Xk). No hay informes del albedo, por lo que sugerimos que este asteroide es del complejo X, con probabilidad de pertenecer a la clase Xk.

(370307) 2002 RH52. Encontramos nueve objetos de clase C entre los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, con el remanente perteneciendo a la clase Ch. Los valores de Dx para todos los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo del complejo C, son muy bajos ($Dx = 0.0647$ para la clase Ch, y $Dx = 0.0732$ para la clase C). Esto significa que este objeto es un asteroide del complejo C con una alta probabilidad de pertenecer a la clase C, dado que de una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral respecto a la base de datos extendida del SMASSII, tenemos que el 60 % es de clase C, mientras que el 26 % es de clase Ch. No hay informes del valor del albedo, sin embargo, este asteroide ha sido previamente catalogado como clase C por Carry et al. (2016). Así coincidimos con el previo autor en que este asteroide es de clase C.

(378610) 2008 FT6. Nueve de los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, pertenecen a objetos del complejo S, con cinco objetos de clase S, tres de la clase Sq y uno de la clase Sr. Cuando los comparamos con los

espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, los valores más bajos de Dx también corresponden a las clases Sq y Sr. No hay informes del valor del albedo para este asteroide, pero de una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral de la base de datos extendida del SMASSII, vemos que el 64 % corresponde a la clase S, por lo que concluimos que este asteroide pertenece a esa clase.

(413002) 1999 VG22. De los valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, se tiene que ocho pertenecen al complejo C (7 objetos de clase C, uno de clase Cg), y dos de clase O, al igual que los valores más bajos de Dx con respecto a los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, se obtienen los valores más bajos de Dx para el complejo C. No hay informes del valor del albedo, sin embargo, de la estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, observamos que el 85 % pertenecen al complejo C, con la clase C como la predominante con un 29 %, por lo que proponemos que este asteroide pertenece esta clase.

(444584) 2006 UK. Encontramos cinco objetos de clase O en los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII. Al comparar con los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, encontramos que el valor más bajo también es de clase O ($Dx = 0.0726$), mientras que los otros valores son considerablemente más altos. No hay informes del valor del albedo. El hecho de que los cinco valores más bajos de Dx corresponden a objetos de clase O, y teniendo en cuenta el pequeño número de objetos de dicha clase en la base de datos extendida del SMASSII, nos hace pensar que este asteroide pertenece a la clase taxonómica O.

(452389) 2002 NW16. Entre los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos siete objetos de clase Sa, dos de clase A y uno de clase Sl, y de una estadística de los primeros cien resultados, tenemos que predomina la clase Sa sobre las otras con un 31 %. Teniendo en cuenta que la comparación con los espectros promedio de las clases taxonómicas de DeMeo, muestra los valores más bajos para las clases taxonómicas A ($Dx = 0.1855$), y clases L ($Dx = 0.2783$) y S ($Dx = 0.2789$), todos del complejo S, por lo que proponemos que 2002 NW16 es un NEA de clase Sa. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el valor del albedo de $p_v = 0.156$ reportado por [Mainzer et al. \(2011b\)](#) corresponde a un objeto más oscuro.

(462959) 2011 DU. Tres de los seis valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, son de objetos de clase O, con los siete restantes entre los diez valores más bajos correspondientes a objetos del complejo C (tres objetos de clase B, un objeto de clase C y dos objetos de clase Cgh). Como no hay informes del albedo para este asteroide, es difícil distinguir entre el complejo O y C, pero el valor más bajo de Dx de los espectros promedio de DeMeo es para la clase O ($Dx = 0.216$), por lo que existe la posibilidad de que este NEA sea de clase O.

(467963) 2012 JT17. Nueve de los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, corresponden a objetos de clase S, con el remanente de clase V. La clase S también constituye el 92 % de los primeros cien resultados. De los valores de los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, tenemos que este objeto pertenece al complejo S, por lo que proponemos que se trata de un NEA del complejo S. No hay informes del valor del albedo para este asteroide, por lo que proponemos que este asteroide pertenece a la clase S.

2018 CB. Dentro de los valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos objetos de clase Xk (5), clase Xe (1), clase K (3) y clase X (1). De los valores de Dx más bajos de los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, encontramos, con excepción del primero, objetos del complejo X. Sin embargo, haciendo una estadística de los primeros cien resultados, encontramos que un 31 % pertenecen a la clase Xk, 26 % a la clase K, 18 % a la clase S, 12 % a la clase Xe, 9 % a la clase X y 4 % a la clase Sk, por lo que proponemos que este asteroide pertenece a clase Xk.

4.2.2. Asteroides del cinturón principal

(56) Melete. Este asteroide ha sido clasificado como clase P (Tholen 1984; Belskaya et al. 2017), como clase Xk (Bus 1999; Bus and Binzel 2002a,b; DeMeo et al. 2009) y como X (Lazzaro et al. 2004; Usui et al. 2011). De los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos seis objetos de clase Xk y cuatro de clase X, incluso de una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, tenemos un 35 % de clase Xk y un 33 % de clase X. De los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, tenemos que este asteroide pertenece al complejo X. Los valores del albedo reportados, $p_v = 0.06$ por Masiero et al. (2014), $p_v = 0.0653$ por Tedesco et al. (2004) y $p_v = 0.05$ por Mainzer et al. (2011b), y el albedo del complejo taxonómico X es de $p_v = 0.10 \pm 0.09$ (Stuart and Binzel 2004). Proponemos que este asteroide pertenece al complejo X, probablemente a las clases taxonómicas X o Xk.

(151) Abundantia. Este asteroide ha sido clasificado como clase S (Tholen 1984), como clase Sl (Bus 1999; Bus and Binzel 2002a) y clase Sw (DeMeo et al. 2009). De los diez resultados de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos ocho objetos del complejo S (2 de clase S, 4 de clase K y 2 de clase L) y dos objetos del complejo X (clase Xe). De una estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, tenemos la clase predominante S con el 64 %. En comparación con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, tenemos el valor más bajo para la clase S ($Dx = 0.0663$), seguido por otro objeto del complejo S. El valor del albedo reportado por Tedesco et al. (2004) de $p_v = 0.1728 \pm 0.007$ y por Masiero et al. (2014)

de $p_v = 0.23 \pm 0.05$, coinciden con los valores del albedo para el complejo S de [Thomas et al. \(2011\)](#) ($p_v = 0.155$) y [Stuart and Binzel \(2004\)](#) ($p_v = 0.20 \pm 0.06$), por lo que coincidimos que este objeto es del complejo S, probablemente de la clase S.

(161) Athor. Este asteroide ha sido clasificado como clase M ([Tholen 1989](#); [Belskaya et al. 2017](#)), y como clase Xc ([Bus and Binzel 2002a](#)), ambos para el complejo X. De los valores de Dx más bajos de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos que este objeto pertenece al complejo C (9 objetos clase C, y 1 de clase Cb), al igual que los dos valores más bajos respecto a los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, pertenecen a la clase C ($Dx = 0.0293$) y clase Cb ($Dx = 0.0508$). Los valores del albedo reportados para este asteroide, $p_v = 0.16 \pm 0.08$ por [Nugent et al. \(2015\)](#), $p_v = 0.198 \pm 0.033$ por [Tedesco et al. \(2004\)](#), y $p_v = 0.23 \pm 0.021$ por [Masiero et al. \(2012\)](#), sugieren que este objeto es más compatible con un complejo S o X, que con un complejo C (ver [Thomas et al. 2011](#) y [Stuart and Binzel 2004](#)). Nosotros proponemos que este asteroide es del complejo C, posiblemente a la clase C, ya que el 90 % de los primeros cincuenta resultados de la distancia espectral corresponden al complejo C (78 % a la clase C).

(336) Lacadiera. Este asteroide ha sido clasificado como clase D ([Tholen 1989](#)), y como clase Xk ([Bus and Binzel 2002a](#)). De los valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos objetos del complejo X (4 clase X, 4 clase Xk y 2 clase Xe), al igual que una estadística de los primeros cien resultados, tenemos un 33 % de clase Xk y un 29 % de clase X. Los valores de los espectros promedio de la clasificación de DeMeo también son similares. Los valores del albedo reportados fluctúan entre $p_v = 0.046$ y $p_v = 0.059$ ([Mainzer et al. 2011b](#); [Masiero et al. 2017](#); [Nugent et al. 2015](#); [Tedesco et al. 2004](#)), y esto nos dice que este asteroide puede pertenecer al complejo X, por lo que sugerimos la clasificación de X o Xk.

(341) California. Este asteroide ha sido clasificado como clase L por [Vereš et al. \(2015\)](#) y clase S por [Belskaya et al. \(2017\)](#). Los diez valores de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, y el valor más bajo de los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, son de la clase S. Sin embargo, el valor del albedo reportado por [Tedesco et al. \(2004\)](#) de $p_v = 0.495$ y $p_v = 0.425$ reportado por [Masiero et al. \(2012\)](#), sugieren que este asteroide es un objeto más brillante. Debido a que este asteroide pertenece a la familia de Flora, donde predominan asteroides de clase S ([Cellino et al. 2002](#)), sugerimos que este asteroide pertenece a la clase S. Corroboramos con la estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, con un 84 % perteneciendo a la clase S.

(432) Pythia. Este asteroide ha sido clasificado como clase S ([Tholen 1989](#); [Bus and Binzel 2002a](#)). Ocho de los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, son de clase S, mientras que los otros dos son de clase K (ambas clases dentro del complejo S). De los espectros promedio de la clasificación de DeMeo,

tenemos como valor más bajo la clase K ($Dx = 0.038$), seguido por las clases Sq y Sr, siendo los tres del complejo S. El valor del albedo de $p_v = 0.2338$ (Tedesco et al. 2004) y $p_v = 0.303$ (Masiero et al. 2012), es compatible con el complejo taxonómico S. Sugerimos que este asteroide pertenece al complejo S, posiblemente a la clase S, ya que de la estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, vemos que la clase S predomina constituyendo un 69 %.

(440) Theodora. Los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, e incluso los cien primeros valores, y el valor más bajo de los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, son de clase S. El valor del albedo de $p_v = 0.273$ reportado por Usui et al. (2011), sugiere que este asteroide es del complejo taxonómico S, al igual que a la familia que pertenece este asteroide, Flora, donde predominan asteroides de clase S (Cellino et al. 2002). Confirmamos la clasificación de Vereš et al. (2015) como clase S.

(449) Hamburga. Este asteroide ha sido clasificado como clase C (Vereš et al. 2015; Belskaya et al. 2017). De los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos objetos del complejo C (5 de clase Ch y 5 de clase C), e incluso las clases C y Ch constituyen un 46 %, cada una, de la estadística de los primeros cien valores. También tenemos al complejo C de los valores más bajo de los espectros promedio de la clasificación de DeMeo. El valor del albedo de $p_v = 0.0393$ reportado por Tedesco et al. (2004) y $p_v = 0.03$ reportado por Masiero et al. (2012) y Nugent et al. (2015), comparado con el valor de $p_v = 0.06 \pm 0.04$ de Stuart and Binzel (2004), sugiere que 0.03 y 0.04 son valores válidos del albedo para un asteroide del complejo C. Sugerimos que este asteroide pertenece al complejo C, posiblemente a la clase C o Ch.

(1290) Albertine. Entre los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, tenemos seis objetos de clase C, dos de clase Cb y dos de clase X, e incluso de una estadística de los primeros cien resultados, predomina la clase C con un 50 %. Respecto a los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, los valores más bajos corresponden al complejo taxonómico C ($Dx = 0.0406$ para la clase Cb y $Dx = 0.0581$ para la clase C). No hay informes del valor del albedo, sin embargo, este asteroide pertenece a la familia Erigone, donde predominan asteroides de clase C (Morate et al. 2016), por lo que sugerimos que este asteroide pertenece al complejo C, y probablemente a la clase C.

(1884) Skip. Los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, son para la clase Sq. De los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, tenemos los valores más bajos para el complejo Q ($Dx = 0.1084$ para la clase Q y $Dx = 0.1271$ para la clase Sq). Se tiene reportado el valor del albedo por Masiero et al. (2012); Nugent et al. (2016); Tedesco et al. (2004) de $p_v = 0.30$, sin embargo, debido a que objetos del complejo taxonómico Q se encuentran entre NEAs y no en

MBAs, no se tiene un estimado promedio del albedo para estos objetos dentro del cinturón principal de asteroides. Aún así, sugerimos que este asteroide pertenece al complejo Q, posiblemente a la clase taxonómica Sq, ya que de la estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral respecto al SMASSII, tenemos que la clase Sq predomina con un 47 %.

(1982) Cline. Entre los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos nueve objetos del complejo S (5 de clase S, 4 de clase Sk) y 1 de clase Sq. De los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, tenemos los valores más bajos para la clase K con $Dx = 0.1236$, seguido por la clase Sq con $Dx = 0.1266$, y aunque la clase Sq pertenece al complejo Q, el valor más bajo es de la clase K, que pertenece al complejo S. El valor del albedo de $p_v = 0.2364$ (Masiero et al. 2011) y $p_v = 0.19$ (Masiero et al. 2014), es consistente con el complejo taxonómico S. Vereš et al. (2015) clasificó este asteroide como clase S, por lo que corroboramos su clasificación en el complejo S, posiblemente a la clase S, debido a que predomina con el 59 % de las primeras cien distancias espectrales.

(3733) Yoshitomo. De los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos cuatro objetos de clase X, cuatro objetos de clase Ch y dos de clase C. En comparación con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, encontramos objetos del complejo C ($Dx = 0.077$ para la clase Cb y $Dx = 0.0849$ para la clase C). El valor del albedo de $p_v = 0.044 \pm 0.022$ (Masiero et al. 2012) y $p_v = 0.06$ (Nugent et al. 2016), es consistente con el complejo C, según Thomas et al. (2011) y Stuart and Binzel (2004), y en este último, también con el complejo X. Este asteroide pertenece a la familia Erigone, donde predomina, en un 42 %, la clase C, y en un 28 % la clase X (Morate et al. 2016), por lo que este asteroide puede pertenecer tanto al complejo C, como al complejo X, sin embargo, al hacer una estadística de los primeros cien valores de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, vemos que un 48 % pertenece a la clase X, 28 % a la clase C y 16 % a la clase Ch. Con un albedo tan bajo, otra posibilidad es que sea un asteroide de clase P.

(4324) Bickel. De los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos cuatro objetos de clase Q, cuatro objetos de clase S y dos objetos de clase Sl y A. En comparación con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, encontramos objetos del complejo S. El valor del albedo de $p_v = 0.248$ (Masiero et al. 2012), es consistente con el complejo S. Al hacer una estadística de los primeros cien valores de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, vemos que un 81 % pertenece a la clase S, por lo que proponemos que este asteroide pertenece a la clase S.

(4547) Massachusetts. Este asteroide ha sido clasificado como clase X por Bus and Binzel (2002a) y clase P por Masiero et al. (2011). De los diez valores más bajos de

Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos objetos del complejo taxonómico C (5 de clase Cb, 3 de clase B y 2 de clase C). Similarmente, en comparación con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, encontramos los valores más bajos para objetos del complejo C. El valor del albedo de $p_v = 0.068$ (Masiero et al. 2012) y $p_v = 0.04$ (Masiero et al. 2014; Nugent et al. 2015), es compatible con el complejo C. Haciendo una estadística de los primeros cien resultados, tenemos en un 38 % la clase Ch y un 34 % a la clase B. Proponemos que este asteroide pertenece al complejo taxonómico C, posiblemente a la clase Ch o B.

(38057) 1999 BO15. Este asteroide fue clasificado por Vereš et al. (2015) como clase S. De los diez valores más bajos de Dx de la base de datos extendida del SMASSII, encontramos seis objetos de clase Sk y cuatro de clase Sq, incluso en los primeros veinte resultados, tenemos diez de clase Sk y diez de clase Sq. En comparación con los espectros promedio de la clasificación de DeMeo, encontramos el valor más bajo para la clase Sq ($Dx = 0.0874$), seguido por el complejo S. El valor del albedo de $p_v = 0.358$ (Masiero et al. 2011), es por poco consistente con el complejo S (Stuart and Binzel 2004), con una diferencia no tan significativa. De una estadística de los primeros cien resultados, podemos observar que el 42 % pertenecen a la clase S, seguido por un 37 % perteneciente a la clase Sq, por lo que proponemos que este asteroide pertenece posiblemente a la clase S o Sq.

Capítulo 5

Conclusión

De los cuarenta y nueve objetos observados, treinta y cuatro son NEAs y quince son MBAs. Debido a que los asteroides pueden tener un origen en común de la fragmentación de un objeto más grande, estos comparten ciertas características de los elementos orbitales (excentricidad e inclinación) y espectros similares, así que es conveniente hacer una estadística basándonos en el tipo de órbita, distribución y/o familia para los asteroides del cinturón principal. Sin embargo, debido a que las órbitas de los NEAs fueron modificadas y perdieron la memoria orbital de la familia, no es posible utilizar las propiedades orbitales para poder distinguir entre posibles clases taxonómicas para estos asteroides.

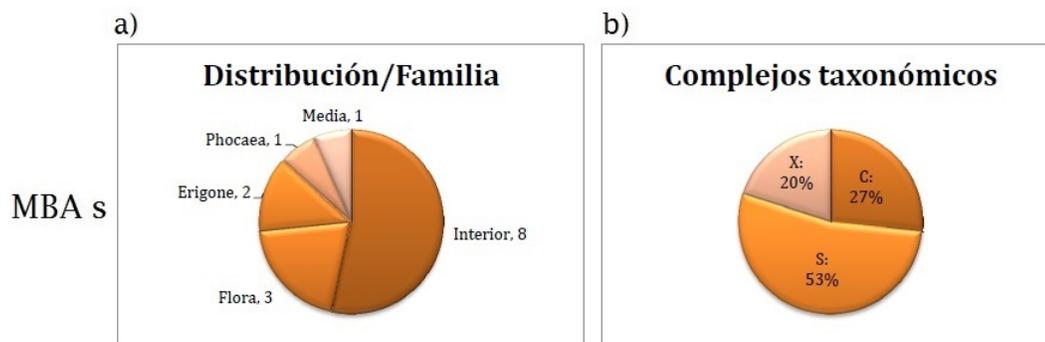


Figura 5.1: Resultados de la estadística: a) Distribución/Familia de los MBAs, b) complejos taxonómicos para los MBAs.

De los MBAs tenemos que ocho asteroides pertenecen a la parte interior y uno a la parte media del cinturón principal de asteroides, tres pertenecen a la familia Flora, dos a la familia Erigone y uno a la familia Phocaea (Fig. 5.1a), ubicándose estas tres familias en la parte interior del cinturón principal. En la Figura 5.1b podemos observar que un poco más de la mitad de estos MBAs son del complejo S (53%). Los asteroides de clase S se localizan principalmente en la parte interior del cinturón principal de asteroides, mientras que los asteroides de clase C dominan la parte media (Gradie et al.

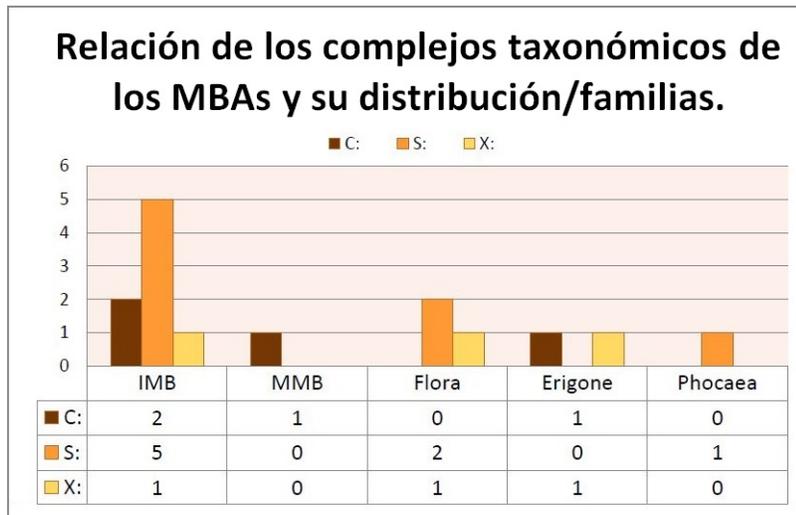


Figura 5.2: Relación entre los complejos taxonómicos que pertenecen los MBAs de acuerdo a su distribución y familias.

1989). Según la Figura 5.2, y por el motivo expresado anteriormente, podemos confiar en que el único asteroide de la parte media del cinturón principal de asteroides ((4547) Massachusetts) pertenece al complejo C, mientras que la mayoría de los asteroides del interior del cinturón principal de asteroides, pertenecen al complejo S. Los asteroides de la familia Flora tienen en su espectro un máximo a .75 micras y predomina la clase S (Cellino et al. 2002). En este estudio encontramos de la familia Flora dos asteroides de clase S ((341) California y (440) Theodora), y uno perteneciente al complejo X ((336) Lacadiera). La familia Erigone tienen un albedo $p_v < 0.1$, y predomina en un 42 % la clase C, 28 % la clase X y 11 % la clase B (Morate et al. 2016). Nosotros catalogamos un asteroide de la familia Erigone en complejo C ((1290) Albertine), y un asteroide en la clase X ((3733) Yoshitomo). De la familia Phocaea, sólo tenemos un asteroide ((1884) Skip), el cual pertenece al complejo S, y que es consistente con la clase predominante para esa familia (clase S) (Carruba 2009).

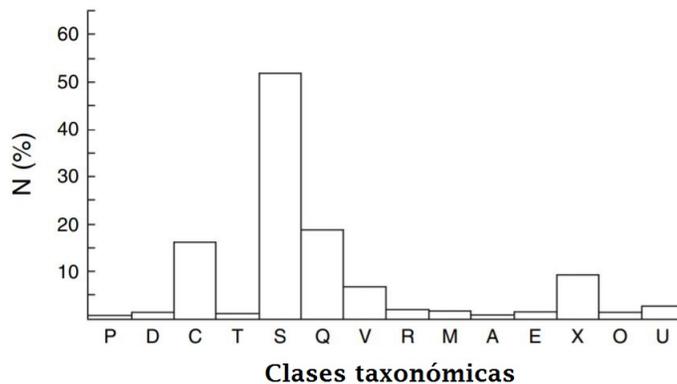


Figura 5.3: Histograma de una muestra de 300 NEOs, y su clasificación taxonómica. Casi todas las clases taxonómicas encontradas en el cinturón principal de asteroides, se han visto en la población de NEOs. La designación " C ", incluye tanto el complejo C, como los subgrupos (B, F y G). Aquellos que tienen características inusuales y que no caben en las clases presentes (como la clase L y K), se representan en la designación " U ". (Binzel et al. 2002)

A pesar de que los asteroides de clase C son los más abundantes en el cinturón principal de asteroides, los asteroides tipo S son los más abundantes entre los NEAs (Mothé-Diniz et al. 2003). Según Binzel et al. (2002) la Figura 5.3 muestra la abundancia de las clases taxonómicas analizadas de una muestra de trescientos NEOs, utilizando la clasificación de Tholen (1984) y Bus (1999). Podemos observar que el complejo S es el mayor grupo, seguido por los complejos Q, C, X y V. Debido a que el 59% de los NEAs clasificados en este trabajo son del complejo taxonómico S (Fig. 5.4b), se cree que esto se debe a la ubicación primaria de los asteroides de clase S en la parte interna del cinturón principal de asteroides (fuente principal de re-aprovisionamiento de NEAs). En la Figura 5.4a vemos que de los treinta y cuatro NEAs observados, hay veintiuno en la órbita Apolo, doce en la órbita Amor y uno en la órbita Atenas. El único asteroide catalogado con órbita Atenas ((96590) 1998 XB), pertenece al complejo S; clase Q o Sq (Fig. 5.5). El tipo de asteroide, clase Q y Sq (ambos en el complejo Q (Stuart and Binzel 2004; Thomas et al. 2011)), se encuentra primordialmente (pero no exclusivamente) entre los NEOs (Binzel et al. 1996), por lo que tenemos varios asteroides catalogados en esta clase, mientras que entre los asteroides MBAs, fueron muy escasos. En la órbita Amor, tenemos ocho de doce asteroides catalogados con el complejo S, seguido por el complejo C, mientras que de clase V, sólo tenemos un asteroide ((171819) 2001 FZ6) y del complejo X solo tenemos al asteroide (259802) 2004 BJ86. En la órbita Apolo, de igual forma tenemos más de la mitad de asteroides catalogados con el complejo S, pero también tenemos seis asteroides catalogados con el complejo C, mientras que del complejo X tenemos sólo dos asteroides ((185851) 2002 DP107 y 2018 CB), y del complejo V tenemos también dos asteroides ((1981) Midas y (164121) 2003 YT1).

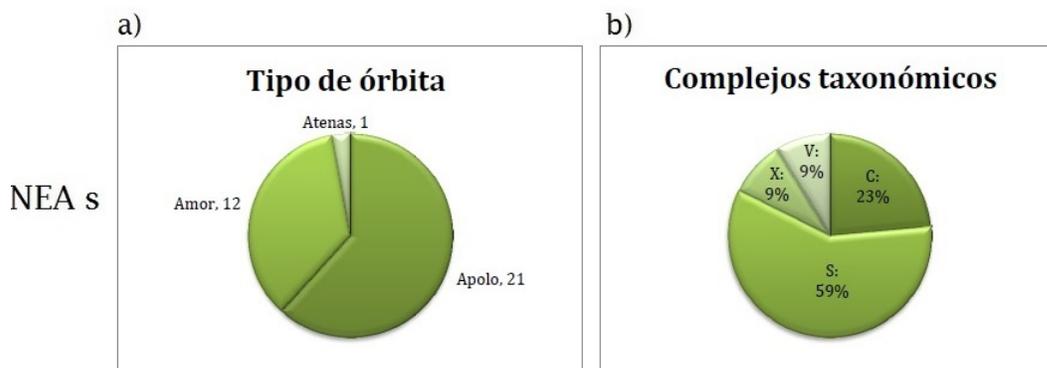


Figura 5.4: Resultados de la estadística: a) tipo de órbita para los NEAs, b) complejos taxonómicas para los NEAs.

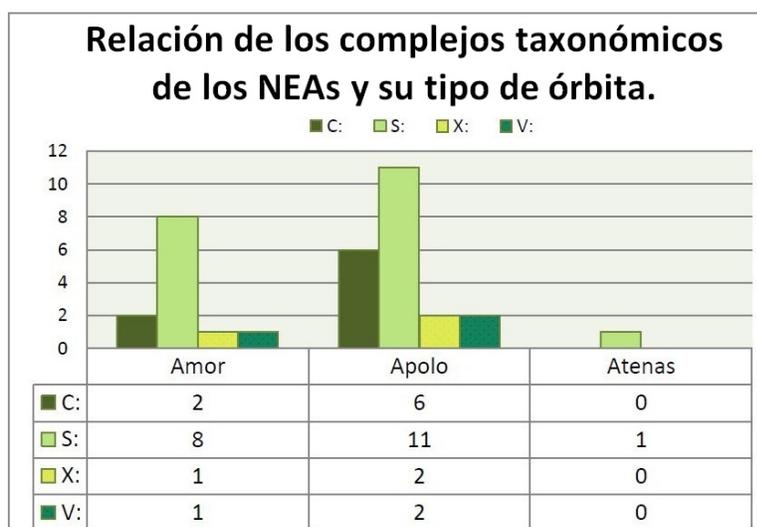


Figura 5.5: Relación entre los complejos taxonómicos a los que pertenecen los NEAs de acuerdo a su tipo de órbita.

Para diecisiete de los objetos observados NEAs ((1981) Midas, (2368) Beltrovata, (17182) 1999 VU, (96631) 1999 FP59, (140158) 2001 SX169, (162269) 1999 VO6, (171819) 2001 FZ6, (248083) 2004 QU24, (252793) 2002 FW5, (259802) 2004 BJ86, (378610) 2008 FT6, (413002) 1999 VG22, (444584) 2006 UK, (452389) 2002 NW16, (462959) 2011 DU, (467963) 2012 JT1 y 2018 CB), y cuatro objetos MBAs ((1290) Albertine, (1884) Skip, (3733) Yoshitomo y (4324) Bickel) proporcionamos, por primera vez, sus clasificaciones taxonómicas. Estamos confiados de que el método que utilizamos para determinar las clases taxonómicas, basado en los valores más bajos de las distancias espectrales, los típicos albedos de diferentes complejos taxonómicos, así como el valor de los parámetros orbitales, como su excentricidad (para los MBAs únicamente), proporciona resultados correctos.

Objetos	Asteroide	Clasificación de trabajos previos		Clasificación propuesta
		Clasificación	Autor	
NEAs	(4953) 1990 MU	Clase Q	Hicks et al 1998	Clase O
	(12711) Tukmit	Clase Sr Clase Q	Bus and Binzel 2002a DeMeo et al. 2009, Thomas et al. 2014	Complejo C
	(16834) 1997 WU22	Complejo S	Bus and Binzel 2002a, Thomas et al. 2014 y DeMeo et al. 2014	Clase O
	(17511) 1992 QN	Clase X	Bus and Binzel 2002a, Binzel et al. 2004	Clase C
	(185851) 2000 DP107	Clase Sq	DeMeo et al. 2014	Clase X
	(154244) 2002 KL6	Clase Q o Sq	Thomas et al. 2014 y DeMeo et al. 2014	Clase S
MBAs	(161) Athor	Clase Xc	Bus and Binzel (2002a)	Clase C
	(4547) Massachusetts	Clase X	Bus and Binzel (2002a)	Clase B o Ch

Tabla 5.1: Comparativa de clasificación taxonómica de nueve objetos de trabajos previos y los propuestos.

Se encontraron discrepancias entre la clasificación taxonómica propuesta por nosotros y las de trabajos previos, para nueve asteroides (Fig. 5.1). De los NEAs: (4953) 1990 MU, (12711) Tukmit, (16834) 1997 WU22, (17511) 1992 QN, (185851) 2000 DP107 y (154244) 2002 KL6. (4953) 1990 MU fue clasificado como un asteroide de clase Q por Hicks et al. (1998), mientras que nosotros lo clasificamos como uno de clase O. Dos hechos apuntan a apoyar nuestra clasificación; el valor de su albedo, $p_v = 0.52$ (Trilling et al. 2010), que corresponde a un objeto muy brillante, y la adición de espectros de asteroides de clase O a la base de datos del SMASSII. Para los asteroides (12711) Tukmit y (17511) 1992 QN, tenemos un análisis similar. El asteroide (12711) Tukmit, aunque ha sido catalogado como clase Sr (Bus and Binzel 2002a) y clase Q (DeMeo et al. 2009; Thomas et al. 2014), nuestras distancias espectrales nos indican que es NEA del complejo C (con 94% de los primeros cien resultados). Aunque el asteroide (17511) 1992 QN está clasificado como clase X (Bus and Binzel 2002a; Binzel et al. 2004), por los mismos motivos lo hemos clasificado como clase C (constituye un 44% de las primeras cien distancias espectrales). En los casos de (16834) 1997 WU22 y (185851) 2000 DP107, los valores de su albedo también confirman la clasificación propuesta por nosotros. De acuerdo con nuestro análisis, (16834) 1997 WU22 es un NEA de clase O, en desacuerdo con Bus and Binzel (2002a), Thomas et al. (2014) y DeMeo et al. (2014), que lo clasificaron como un asteroide del complejo S. Sin embargo, un albedo de $p_v = 0.43$ (Thomas et al. 2011) corresponde a un objeto más brillante. La misma situación se presenta para (185851) 2000 DP107, un objeto de clase Sq para DeMeo et al. (2014), pero nosotros lo clasificamos como un objeto de clase X. El albedo de este objeto, $p_v = 0.111$ (Marchis et al. 2012) es consistente con un objeto oscuro. Finalmente, para (154244) 2002 KL6 proponemos una clase S, mientras que Thomas et al. (2014) y DeMeo et al. (2014) clasificaron este objeto como clase Sq o Q. No hay informes del albedo para este objeto, sin embargo, los valores del albedo para el complejo S y los objetos del complejo Q son muy similares. La razón por la que lo tenemos en clase S es porque constituye un 99% de las primeras cien distancias espectrales. Como menciona Bus et al. (2002), estas discrepancias pueden surgir, debido a efectos instrumentales, cuando se comparan espectros de asteroides obtenidos por diferentes sistemas de telescopios. Como nuestros espectros siempre se tomaron bajo buenas condiciones

climáticas, descartamos que esto podría ser la causa de las discrepancias indicadas.

De los MBAs tenemos discrepancias con otros autores para los asteroides (161) Athor y (4547) Massachusetts. A (161) Athor lo tenemos clasificado como clase C y [Bus and Binzel \(2002a\)](#) como clase Xc, y la razón por la cual proponemos esto, a pesar de que el albedo registrado es favorable para la taxonomía propuesta de [Bus and Binzel \(2002a\)](#), es debido a la estadística de los primeros cien resultados de la distancia espectral, ya que es muy consistente con el complejo C (79 %) y en específico con la clase C (65 %). El asteroide (4547) Massachusetts nosotros lo tenemos clase Ch o B, y [Bus and Binzel \(2002a\)](#) lo tienen clasificado como X, pero tenemos razones para creer que este objeto es del complejo C; una de ellas es por su ubicación, puesto que la clase C domina la parte media del cinturón principal de asteroides, y la otra razón es por su albedo, que es más compatible para el complejo C que para el complejo X ([Stuart and Binzel 2004](#); [Thomas et al. 2014](#)).

Los cinco objetos de nuestra muestra, clasificados como pertenecientes al complejo O ((4953) 1990 MU, (5143) Heracles, (16834) 1997 WU22, (413002) 1999 VG22 y (462959) 2011 DU), son una indicación de la utilidad de haber incluido los espectros de asteroides de las clases O y Q en la base de datos SMASSII.

Se ha demostrado la utilidad de un telescopio de 2.1 m, junto con un espectrógrafo versátil como lo es el espectrógrafo Boller & Chivens, para determinar las clases taxonómicas de los objetos cercanos a la Tierra en particular y los asteroides en general.

Capítulo 6

Trabajo a futuro

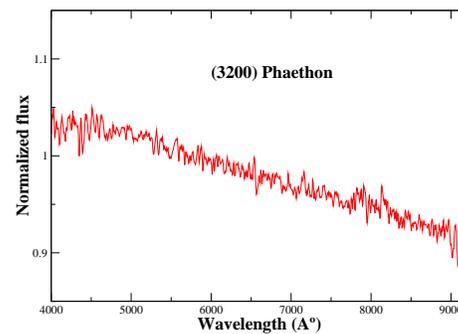
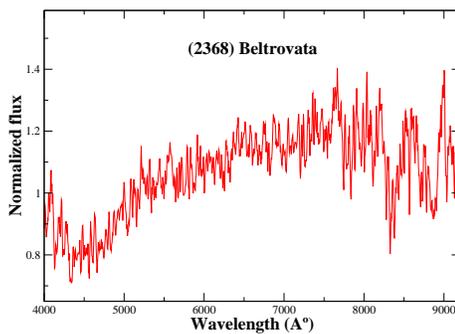
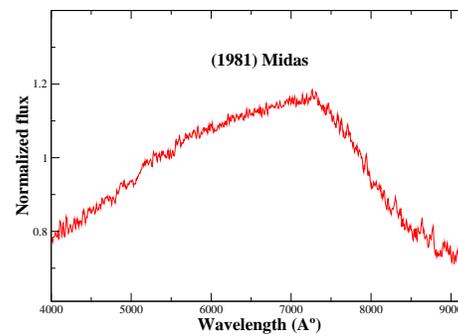
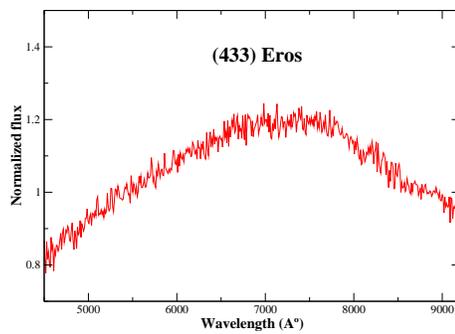
Se han observado más de 180 asteroides desde el año 2016 hasta 2018, de los cuales 54 son NEA's y 96 son asteroides del cinturón principal y pertenecen a diferentes familias. Para todos ellos, menos los catalogados en esta tesis, aún es necesario determinar su clasificación taxonómica con el mismo método que se ha utilizado. Aunque este trabajo requiere de muchos esfuerzos y tiempo, se pretende continuar, e incluso que INAOE pueda contribuir activamente con la base de datos de clasificación de asteroides en Minor Planet Center y la Red Internacional de Alerta de Asteroides (IAWN) en un futuro.

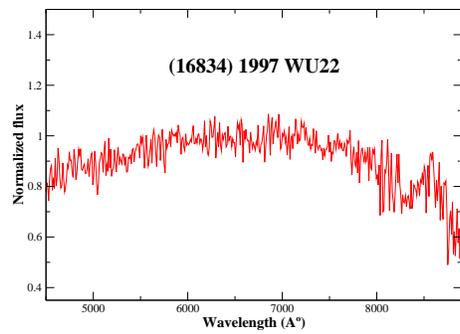
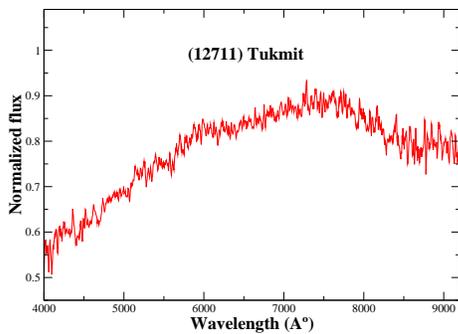
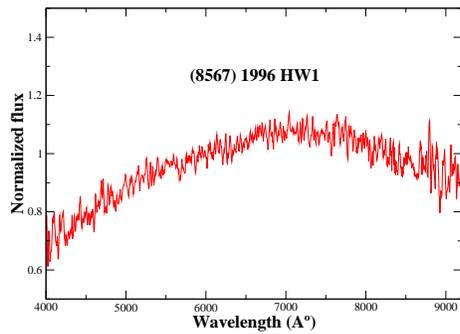
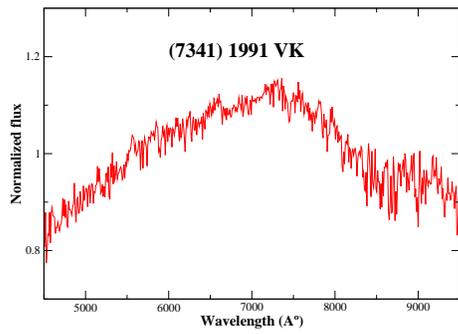
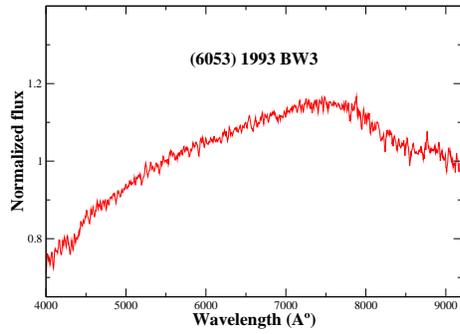
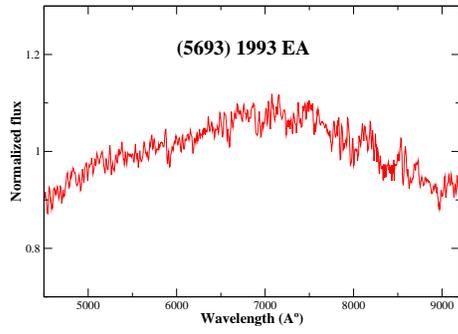
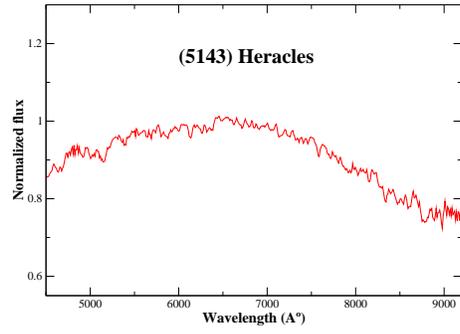
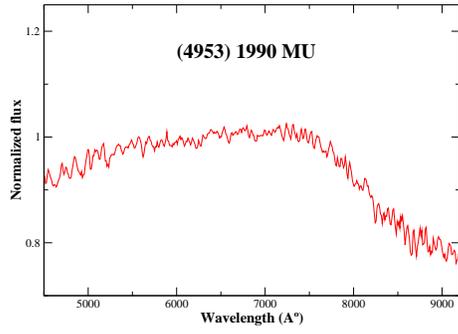
Por otra parte, se ha comprobado la utilidad y efectividad del programa realizado para la determinación de distancia espectral. Sin embargo, aún está pendiente poder añadirlo al portal del INAOE para tenerlo a disposición de cualquier usuario.

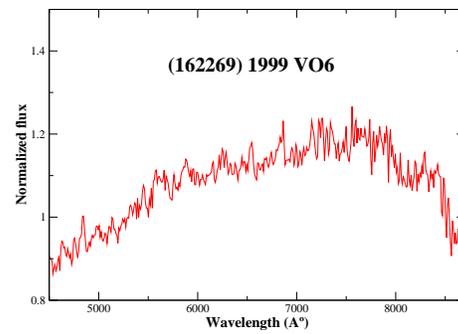
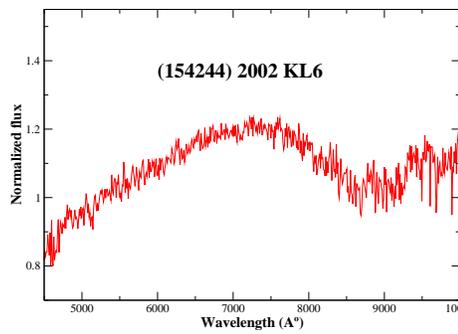
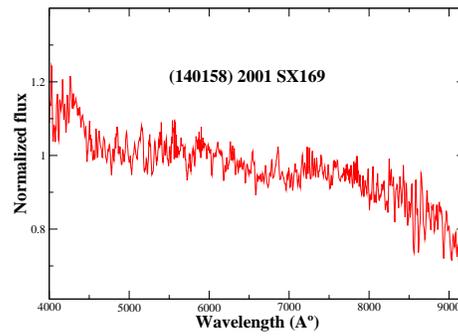
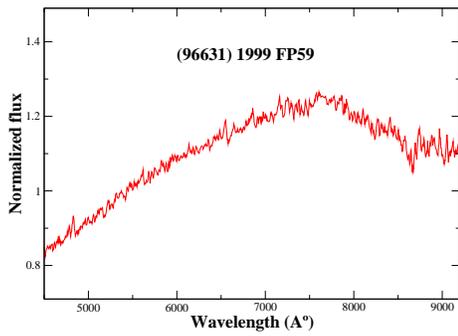
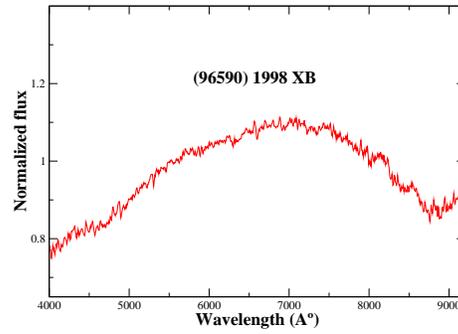
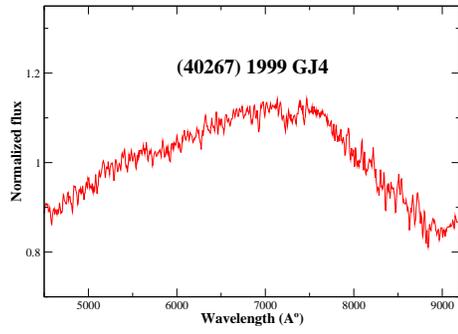
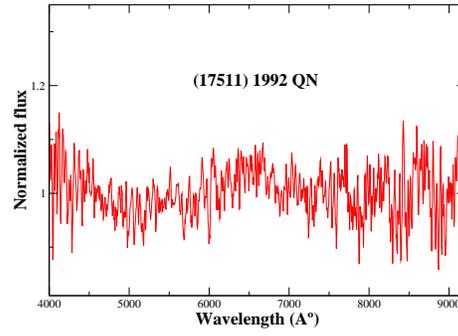
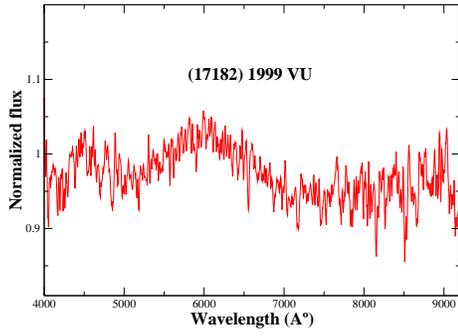
Apéndice A

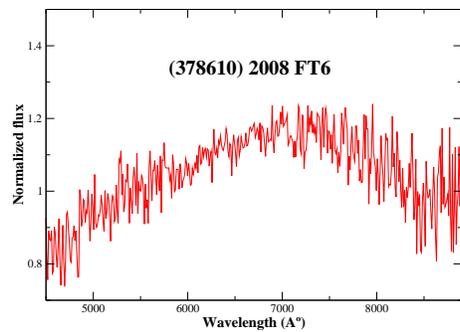
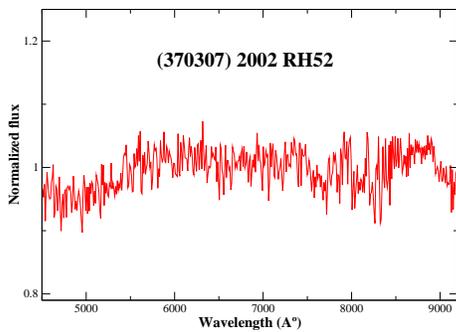
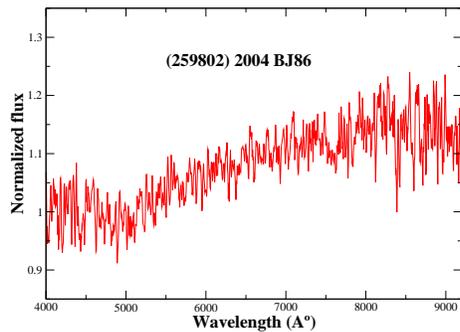
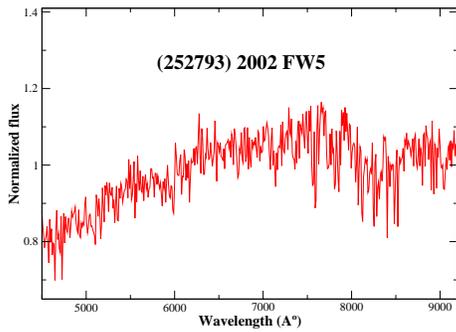
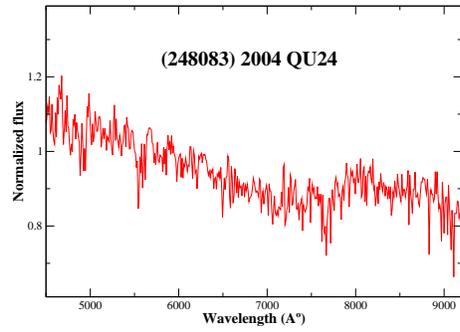
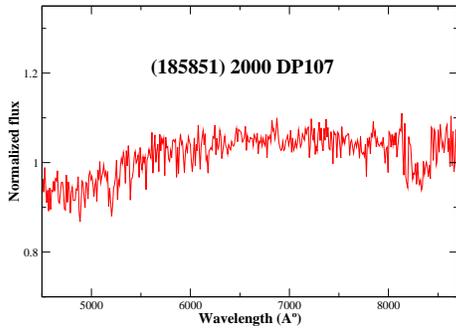
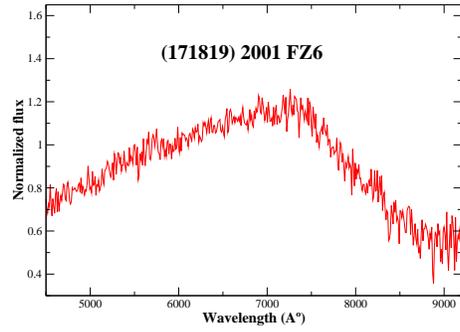
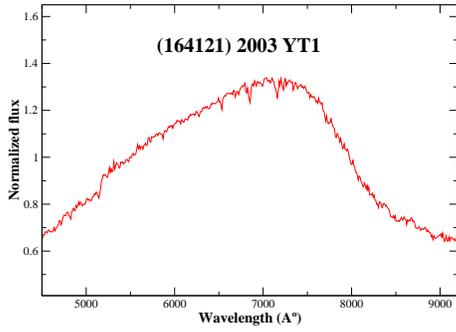
Espectros ópticos normalizados

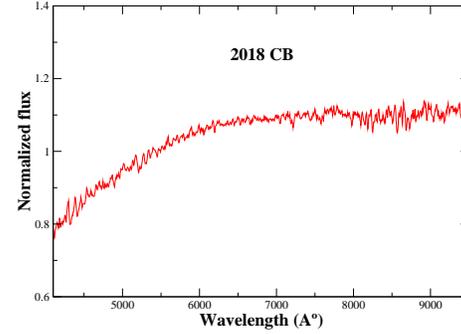
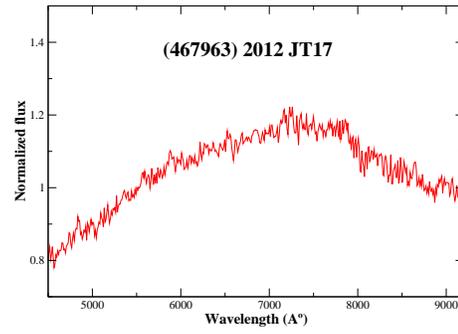
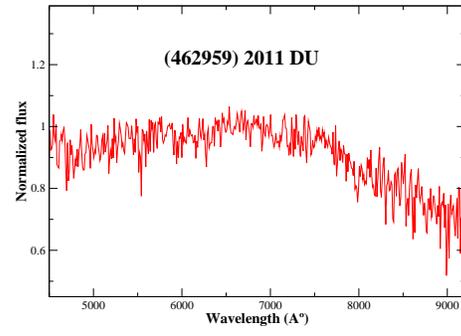
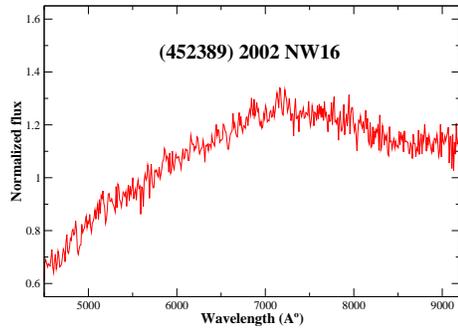
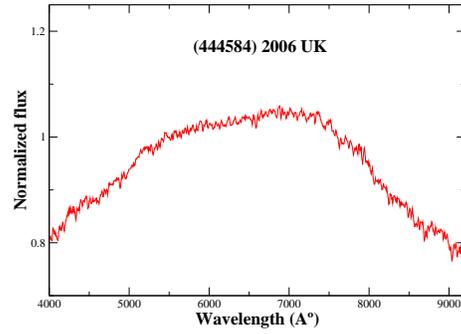
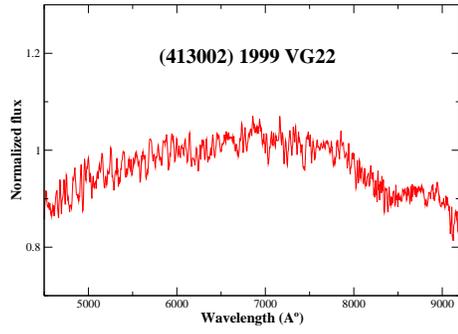
Asteroides cercanos a la Tierra



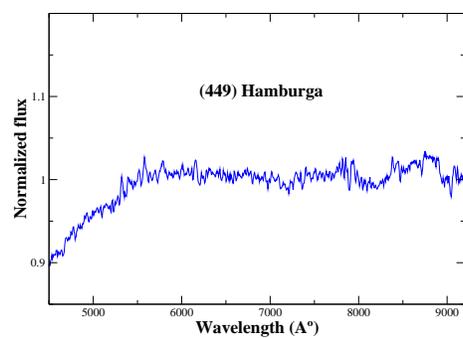
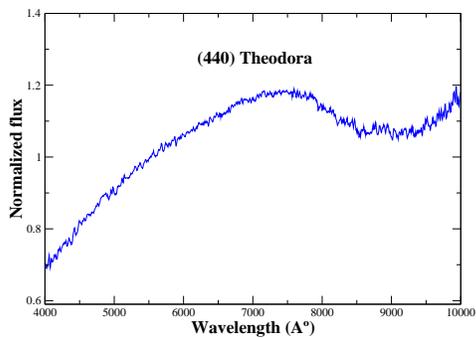
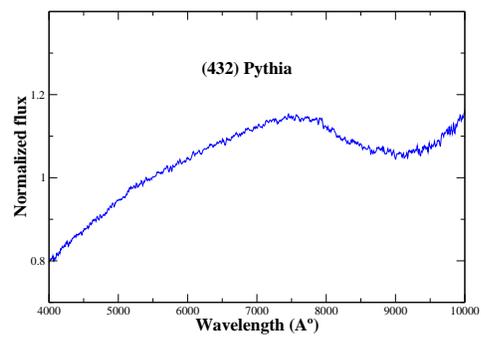
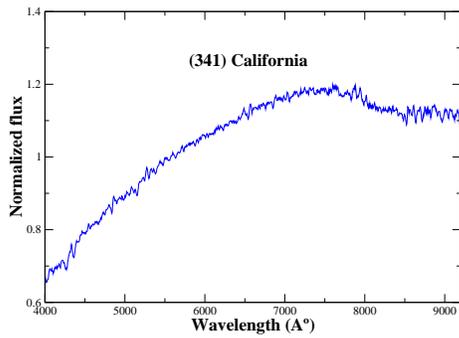
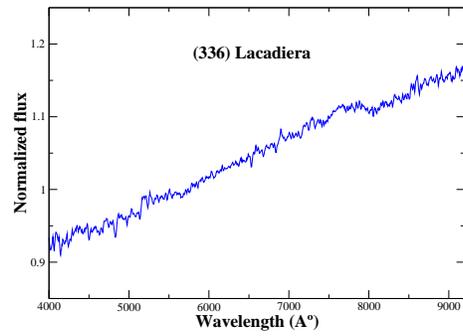
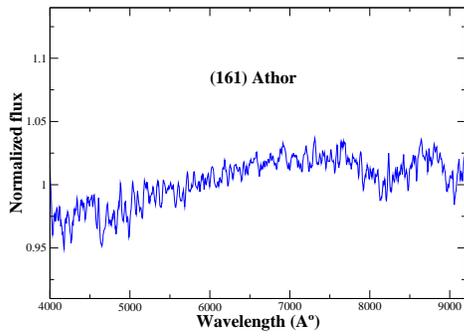
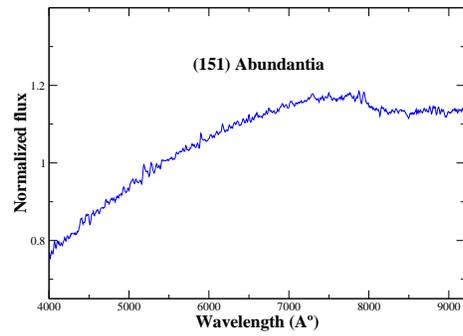
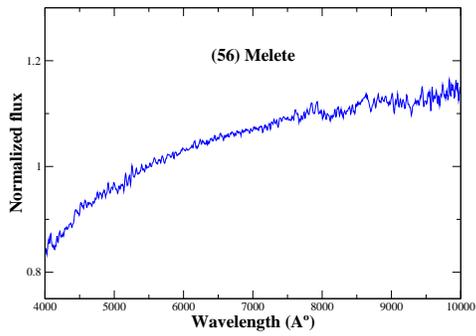


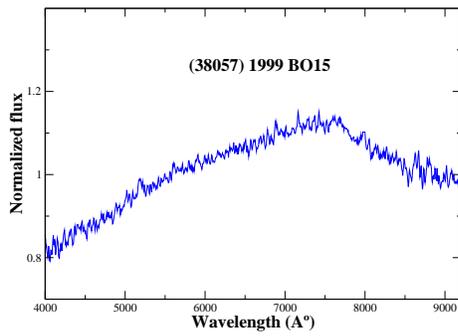
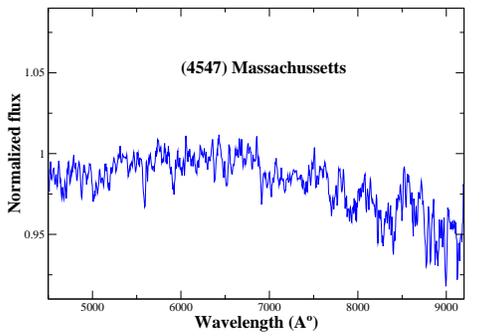
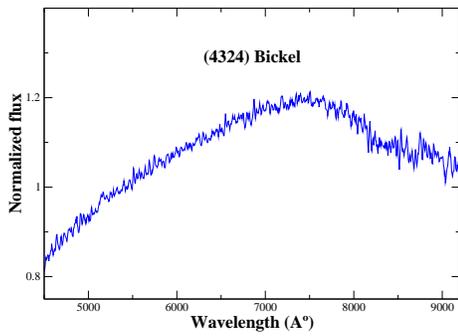
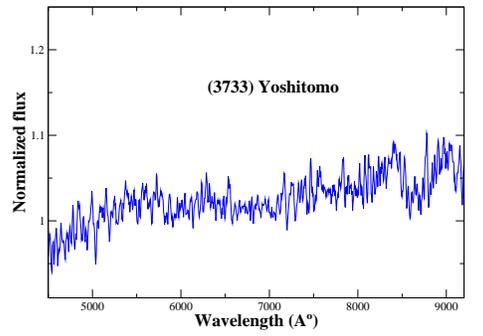
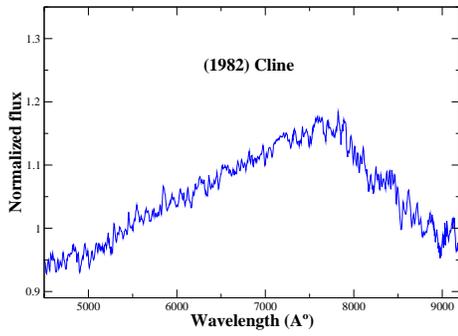
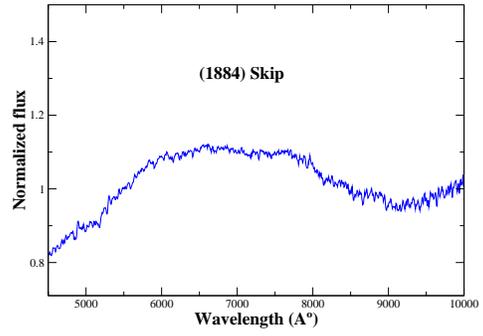
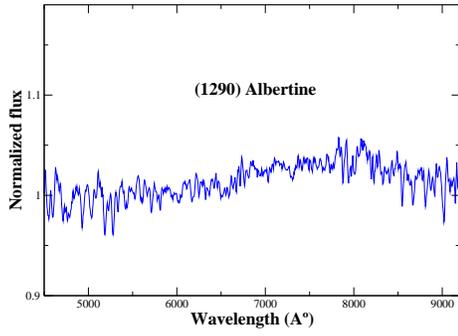






Asteroides del cinturón principal





Apéndice B

Programación

Los tres programas se han realizado en ambos lenguajes (C/C++ y Microsoft Excel) para corroborar resultados. A continuación se anexan los siguientes programas en el lenguaje de programación C/C++, y una breve descripción.

[B.1](#) Convertidor de unidades - ejemplo con asteroide 2011DU

[B.2](#) Interpolador lineal - ejemplo con asteroide 2018CB

[B.3](#) Resultados - ejemplo con asteroide 1991VK

B.1. Convertidor de unidades

```
1 #include <iostream>
2 #include <fstream>
3 #include <cstdlib>
4 #include <vector>
5 #include <math.h>
6 #include "spline.h"
7 #include <stdio.h>
8 #include <string.h>
9 #include <dirent.h>
10 #include <conio.h>
11
12
13 using namespace std;
14 double columnal[1600];
15 double column2[1600];
16
17 int main()
18 {
19     // AQUI SE LEE EL DOCUMENTO ORIGINAL
20     ifstream infile;
21     int num = 0;
22     infile.open("2011DUs5.txt");
23     if(infile.fail())
24     {
25         cout << "error" << endl;
26         return 1;
27     }
28     while(!infile.eof())
```

```

29 {
32 infile >> columnal[num];
33 infile >> columna2[num];
34 columna2[num] = columna2[num]/10000;
35 ++num;
36 }
37 infile.close();
38 // AQUI SE ESCRIBE EL NUEVO DOCUMENTO
39 ofstream file("2011DU.txt");
40 if (file.is_open())
41 {
42 for(int c=0; c<1600; c++)
43 {
44 file << columna2[c] << "\t" << columnal[c] << "\n";
45 }
46 file.close();
47 }
48 return 0;
49 }

```

Este programa pide el documento en archivo .txt del asteroide a catalogar. Dentro del código se hace la conversión de unidades y guarda los resultados en un nuevo archivo .txt.

B.2. Interpolador lineal

```

1 #include <windows.h>
2 #include <iostream>
3 #include <fstream>
4 #include <string>
5 #include <cstdlib>
6 #include <cstdio>
7 #include <vector>
8 #include <math.h>
9 #include <stdio.h>
10 #include <string.h>
11 #include <dirent.h>
12 #include <conio.h>
13
14 double columnal[1600];
15 double columna2[1600];
16 using namespace std;
17
18 int main()
19 {
20
21 ifstream infile;
22 int num = 0;
23
24 infile.open("2018cb.txt");
25 while(!infile.eof())
26 {
27 infile >> columnal[num];
28 infile >> columna2[num];

```

```

29 ++num;
30 }
31 infile.close();
34
35 double i;
36 int n=0;
37 double col1[49];
38 double col2[49];
39 int c=0;
40
41 for (i=0.44; i<.93; i=i+0.01)
42 {
43 while(i>columnal[n])
44 {
45 n=n+1;
46 }
47 double xb = columnal[n];
48 double yb = columna2[n];
49 n=n-1;
50 double xa = columnal[n];
51 double ya = columna2[n];
52 double y=0;
53 double x=i;
54 y = (ya + (yb - ya) * (x - xa) / (xb - xa));
55 col2[c]=y;
56 cout << "\t" << x << "\t" << y << "\n";
57 col1[c]=x;
58 c=c+1;
59 }
60
61 ofstream file("2018cbil.txt");
62 if (file.is_open())
63 {
64 for(c=0; c<49; c++)
65 {
66 file << col1[c] << "\t" << col2[c] << "\n";
67 }
68 file.close();
69 }
70
71 system("pause");
72 return 0;
73 }

```

Este programa pide el documento en archivo .txt del espectro del asteroide previamente convertido en unidades, para realizar la interpolación lineal en puntos específicos (canales) y posteriormente guardar en un nuevo archivo .txt dichos puntos.

B.3. Resultados

```
1 #include <windows.h>
2 #include <iostream>
3 #include <fstream>
4 #include <string>
5 #include <cstdlib>
6 #include <cstdio>
7 #include <vector>
8 #include <math.h>
9 #include <stdio.h>
10 #include <string.h>
11 #include <dirent.h>
12 #include <conio.h>
13
14 double col1[500];
15 double col2[500];
16 double columna1[500];
17 double columna2[500];
18 double Lista1[500];
19 double Lista2[500];
20 using namespace std;
21
22 int main()
23 {
24
25
26 //Se lee todo el documento
27 ifstream infile;
28 int num = 0;
29
30 infile.open("1991VKil.txt");
31 while(!infile.eof())
32 {
33 infile >> columna1[num];
34 infile >> columna2[num];
35 ++num;
36 }
37 infile.close();
38
39
40
41 //Codigo para buscar dentro del SMASS cada uno de los asteroides
42 string path = "c:\\Users\\Ana Ojeda\\Desktop\\Programa\\smass2\\";
43 string searchPattern = "*.txt";
44 string fullSearchPath = path + searchPattern;
45 WIN32_FIND_DATA FindData;
46 HANDLE hFind;
47 hFind = FindFirstFile( fullSearchPath.c_str(), &FindData );
48
49
50
51 //iteracion de hacer la operacion para cada asteroide
52 int i=0;
53 int f=1;
54 do
55 {
56 string filePath = path + FindData.cFileName;
57 ifstream in( filePath.c_str() );
58 if( in )
59 {
60 //se lee cada punto del asteroide del SMASS
61 int a=0;
62 do
```

```

63 {
64     in >> col1[a];
65     in >> col2[a];
66     a=a+1;
67 }
68 while(a<=48);
69
70
71
72
73 double d=0;
74 double dx=0;
75 double dy=0;
76 double Dx=0;
77
78 //se hace la operacion de distancia espectral
79 for (int l=0; l<49 ; l++)
80 {
81     d=columna2[l]-col2[l];
82     dy=pow(d,2);
83     dx=dx+dy;
84 }
85 Dx=sqrt(dx);
86
87
88 //menores de cierto numero entre 0 y 1.5
89 //si no funciona el programa, cambiar el rango
90 if (Dx<=.22)
91 {
92     Lista1[i] = f;
93     Lista2[i] = Dx;
94     i=i+1;
95 }
96 f=f+1;
97 }
98 }
99 while( FindNextFile(hFind, &FindData) > 0 );
100
101
102 //se realiza la ordenacion de los numeros
103 int k, j;
104 double aux1, aux2;
105 for (k = 0 ; k<=i-1 ; k++)
106 {
107     for (j = 0 ; j<=i-1 ; j++)
108     {
109         if (Lista2[j] > Lista2[j+1])
110         {
111             aux1 = Lista2[j];
112             aux2 = Lista1[j];
113             Lista2[j] = Lista2[j+1];
114             Lista1[j] = Lista1[j+1];
115             Lista2[j+1] = aux1;
116             Lista1[j+1] = aux2;
117         }
118     }
119 }
120
121
122
123 //se imprime en pantalla 4 columnas: el numero (1-10), el numero de asteroide en SMASS,
124 //el numero de regresion y la clasificacion a la q pertenece
125 cout << "\n\t\tLOS 10 MEJORES AJUSTES DEL ASTEROIDE: 1991VK \n\n";
126 cout << "\t#\tNumero y nombre\t\tDistancia\tClasificacion\n";
127 cout << "\t\tdel Asteroide\t\tEspectral\t\n\n";
128 for (k = 1; k <= 10; k++)
129 {

```

```

130 ifstream clasificacion("Smass_clasificacion.txt");
133 ifstream nombre("Smass_nombre.txt");
134 string lineaclass;
135 string lineanombre;
136 int contador = 0;
137 int max=0;
138 max = Lista1[k];
139 max=max-1;
140 while(getline(clasificacion, lineaclass) && getline(nombre, lineanombre))
141 {
142     if(max == contador)
143     {
144         cout << "\t" << k << ".\t" << lineanombre << "\t" << Lista2[k] << "\t" << lineaclass << "\n";
145     }
146     contador++;
147 }
148 }
149 cout << "\n\n";
150
151
152 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
153 double d=0, dx=0, dy=0, Dx=0;
154
155 //Codigo para los 6 espectros que no estan dentro del SMASS2 y que no tienen la misma
156 //cobertura espectral
157
158 double ast1a[500];
159 double ast1b[500];
160 ifstream ast1;
161 num = 0;
162 ast1.open("c:\\Users\\Ana Ojeda\\Desktop\\Programa\\smass6\\a001862.spfit.txt");
163 while(!ast1.eof())
164 { ast1 >> ast1a[num];
165   ast1 >> ast1b[num];
166   ++num;
167 }
168 ast1.close();
169 d=0, dx=0, dy=0, Dx=0;
170 for (int l=0; l<46 ; l++)
171 { d=columna2[l+3]-ast1b[l];
172   dy=pow(d,2);
173   dx=dx+dy;
174 }
175 Dx=sqrt(dx);
176 cout << "\t11.\t1862 Apollo\t\t" << Dx << "\tQ\n";
177
178
179
180 double ast2a[500];
181 double ast2b[500];
182 ifstream ast2;
183 num = 0;
184 ast2.open("c:\\Users\\Ana Ojeda\\Desktop\\Programa\\smass6\\a003753.spfit.txt");
185 while(!ast2.eof())
186 { ast2 >> ast2a[num];
187   ast2 >> ast2b[num];
188   ++num;
189 }
190 ast2.close();
191 d=0, dx=0, dy=0, Dx=0;
192 for (int l=0; l<47 ; l++)
193 { d=columna2[l+2]-ast2b[l];
194   dy=pow(d,2);
195   dx=dx+dy;

```

```

196 }
199 Dx=sqrt(dx);
200 cout << "\t12.\t3753 Cruithne\t\t" << Dx << " \tQ\n";
201
202
203
204 double ast3a[500];
205 double ast3b[500];
206 ifstream ast3;
207 num = 0;
208 ast3.open("c:\\Users\\Ana Ojeda\\Desktop\\Programa\\smass6\\a004034.spfit.txt");
209 while(!ast3.eof())
210 { ast3 >> ast3a[num];
211 ast3 >> ast3b[num];
212 ++num;
213 }
214 ast3.close();
215 d=0, dx=0, dy=0, Dx=0;
216 for (int l=0; l<44 ; l++)
217 { d=columna2[l+5]-ast3b[l];
218 dy=pow(d,2);
219 dx=dx+dy;
220 }
221 Dx=sqrt(dx);
222 cout << "\t13.\t1986 PA\t\t\t" << Dx << " \tO\n";
223
224
225
226 double ast4a[500];
227 double ast4b[500];
228 ifstream ast4;
229 num = 0;
230 ast4.open("c:\\Users\\Ana Ojeda\\Desktop\\Programa\\smass6\\a008176.spfit.txt");
231 while(!ast4.eof())
232 { ast4 >> ast4a[num];
233 ast4 >> ast4b[num];
234 ++num;
235 }
236 ast4.close();
237 d=0, dx=0, dy=0, Dx=0;
238 for (int l=0; l<48 ; l++)
239 { d=columna2[l+1]-ast4b[l];
240 dy=pow(d,2);
241 dx=dx+dy;
242 }
243 Dx=sqrt(dx);
244 cout << "\t14.\t8176 1991 WA\t\t" << Dx << " \tQ\n";
245
246
247
248 double ast5a[500];
249 double ast5b[500];
250 ifstream ast5;
251 num = 0;
252 ast5.open("c:\\Users\\Ana Ojeda\\Desktop\\Programa\\smass6\\au1997rt.spfit.txt");
253 while(!ast5.eof())
254 { ast5 >> ast5a[num];
255 ast5 >> ast5b[num];
256 ++num;
257 }
258 ast5.close();
259 d=0, dx=0, dy=0, Dx=0;
260 for (int l=0; l<48 ; l++)
261 { d=columna2[l+1]-ast5b[l];
262 dy=pow(d,2);

```

```

263 dx=dx+dy;
266 }
267 Dx=sqrt(dx);
268 cout << "\t15.\t1997 RT\t\t\t" << Dx << " \tO\n";
269
270
271
272 double ast6a[500];
273 double ast6b[500];
274 ifstream ast6;
275 num = 0;
276 ast6.open("c:\\Users\\Ana Ojeda\\Desktop\\Programa\\smass6\\au1999fb.spfit.txt");
277 while(!ast6.eof())
278 { ast6 >> ast6a[num];
279   ast6 >> ast6b[num];
280   ++num;
281 }
282 ast6.close();
283 d=0, dx=0, dy=0, Dx=0;
284 for (int l=0; l<47 ; l++)
285 { d=columna2[l+2]-ast6b[l];
286   dy=pow(d,2);
287   dx=dx+dy;
288 }
289 Dx=sqrt(dx);
290 cout << "\t16.\t1999 FB\t\t\t" << Dx << " \tQ\n";
291
292 // //////////////////////////////////////
293
294 cout << "\n\n\n";
295 system("pause");
296 return 0;
297 }

```

Este programa pide el documento en archivo .txt del asteroide previamente interpolado linealmente, y posteriormente hace las series de funciones para leer todos los archivos de la base de datos extendida del SMASSII, y guardar las distancias espectrales más pequeñas, para después ordenarlas y arrojar los primeros diez resultados. Debido a que existen seis asteroides agregados de clase O y Q que no cumplen con toda la cobertura espectral, esta operación de distancia espectral se hace aparte en el código principal, y se anexa a la pantalla de resultados.

LOS 10 MEJORES AJUSTES DEL ASTEROIDE: 1991UK

#	Numero y nombre del Asteroide	Distancia Espectral	Clasificacion
1.	7224 Uesnina	0.176198	Sq
2.	1483 Hakoila	0.183021	Sq
3.	6077 Messner	0.194647	Sq
4.	3363 Bowen	0.203897	Sq
5.	10563 Izhubar	0.206208	Q
6.	1565 Lemaitre	0.206393	Sq
7.	7056 Kierkegaard	0.208841	Sq
8.	3654 AAS	0.210893	Sq
9.	3491 Fridolin	0.211523	Sq
10.	1374 Isora	0.215913	Sq

Figura B.1: Plataforma de resultados en C++ para los diez valores más pequeños de Dx .



Importar Asteroide	Resultados
0.44	0.764631
0.45	0.822648
0.46	0.878706
0.47	0.852483
0.48	0.882701
0.49	0.8936
0.5	0.920507
0.51	0.915092
0.52	0.924001
0.53	0.941725
⋮	⋮

NOTA: Refrescar datos para nuevo Asteroide

(a) Entrada del archivo .txt

	SMASS		Distancia Espectral
1	7224 Vesnina	Sq	0.1761978
2	1483 Hakoila	Sq	0.1830212
3	6077 Messner	Sq	0.1946472
4	3363 Bowen	Sq	0.2038971
5	10563 Izhubar	Q	0.2062079
6	1565 Lemaître	Sq	0.206393
7	7056 Kierkegaard	Sq	0.2088409
8	3654 AAS	Sq	0.2108934
9	3491 Fridolin	Sq	0.2115232
10	1374 Isora	Sq	0.2159128
	4968 Suzamur	Sq	0.2232514
	1996 UK	Sq	0.2275618
	11906 1992AE1	Sq	0.2277464
	4733 ORO	Sq	0.2295509
	3949 Mach	Sq	0.2307694
	3903 KimentOhridski	Sq	0.2339113
	2042 Sitarski	Sq	0.2440089
	720 Bohlinia	Sq	0.2441451
	2902 Westerlund	Sq	0.244948
	⋮	⋮	⋮



NOTA: Reacomodar la Distancia de menor a mayor

(b) Resultados del archivo .txt

Figura B.2: Plataforma del programa en Microsoft Excel: a) Importación del archivo .txt, b) Aquí se muestran los resultados, no solo de las primeras diez menores distancias espectrales, sino con respecto a los 1,355 asteroides.

Índice de figuras

1.1.	a) Posición de los asteroides en el Sistema Solar, b) Distribución de los asteroides en representación de (a, e) - panel inferior y $(a, \text{sen}(i))$ - panel superior, a es el semieje mayor e i es la inclinación. (Nedelcu 2010)	3
1.2.	Tipos de órbita de los NEAs: a) Órbita Amor, b) Órbita Apolo, c) Órbita Atenas, d) Órbita Atiras. (https://cneos.jpl.nasa.gov/about/neo_groups.html)	4
1.3.	Reflectancia de minerales en los meteoritos: a) Olivino, b) Aleación de Hierro-Nickel, c) Piroxeno. (Popescu 2012)	6
1.4.	Clasificación de los meteoritos según Bischoff (2001) con dos divisiones principales: meteoritos diferenciados y no diferenciados. Todas las condritas pertenecen al grupo de meteoritos no diferenciados, pues no han experimentado fusión tras su formación (contienen esférulas llamadas cóndrulos). Los meteoritos no diferenciados incluyen el resto de grupos de meteoritos (rocas ígneas formadas a partir de condritas por fusión y diferenciación del asteroide origen).	8
1.5.	a) Ángulo de fase: es el ángulo formado entre el Sol, el asteroide y la Tierra, b) Comparación del brillo de dos cuerpos a diferente distancia del observador.	9
1.6.	a) Clases taxonómicas definidas por Tholen (1984) a partir de colores espectroscópicos (ECAS, Zellner et al. 1985). Las clases taxonómicas E, M y P sólo pueden diferenciarse con información del albedo. b) Extensión de las clases taxonómicas de Tholen realizada por Bus and Binzel (2002a,b). Dio como resultado 26 clases taxonómicas producidas por el SMASSII (las líneas horizontales de la cual está referenciada cada espectro, representa una reflectancia normalizada a 1.00).	12
1.7.	a) 24 clases taxonómicas definidas por DeMeo et al. (2009) de 0.45 a 2.45 micras (las líneas horizontales de la cual está referenciada cada espectro, representa una reflectancia normalizada a 1.00), b) Aquí se muestran los ajustes de las clases taxonómicas de Bus (1999) a la de DeMeo et al. (2009).	14

2.1. Estimación de población de NEOs: a) adaptado de Harris and D' Abramo (2015), b) consultado el 12/08/2019 (https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html).	17
3.1. a) Telescopio de 2.1 metros del OAGH, b) Edificio del telescopio en Cananea, Sonora, c) Espectrógrafo Boller & Chivens.	22
3.2. Selección de objetos: Seleccionamos el año y mes para observar, el grupo de NEAs (y asteroides del cinturón principal), el intervalo de magnitud relativa de 0 a 18.5 y declinación mayor a -10° . (Minor Planet Center)	23
3.3. Efemérides para NEAs en el periodo de Septiembre 2017. Se agrega los nombres de asteroides a observar, la fecha, el intervalo (cada 15 minutos) y las coordenadas del telescopio. (Minor Planet & Comet Ephemeris Service of the MPC)	23
3.4. a) Ejemplo de un espectro de un asteroide, b) Espectro extraído y calibrado en longitud de onda del asteroide y de la estrella análogo solar, c) Al dividir los dos espectros anteriores obtenemos el espectro de reflexión del objeto, normalizado a 0.55 micras.	28
3.5. Histograma del número de espectros de asteroides del SMASSII por clase taxonómica.	30
3.6. Ejemplo de los diez valores más pequeños de Dx para el asteroide 1991VK.	31
5.1. Resultados de la estadística: a) Distribución/Familia de los MBAs, b) complejos taxonómicos para los MBAs.	51
5.2. Relación entre los complejos taxonómicos que pertenecen los MBAs de acuerdo a su distribución y familias.	52
5.3. Histograma de una muestra de 300 NEOs, y su clasificación taxonómica. Casi todas las clases taxonómicas encontradas en el cinturón principal de asteroides, se han visto en la población de NEOs. La designación " C ", incluye tanto el complejo C, como los subgrupos (B, F y G). Aquellos que tienen características inusuales y que no caben en las clases presentes (como la clase L y K), se representan en la designación " U ". (Binzel et al. 2002)	53
5.4. Resultados de la estadística: a) tipo de órbita para los NEAs, b) complejos taxonómicas para los NEAs.	54
5.5. Relación entre los complejos taxonómicos a los que pertenecen los NEAs de acuerdo a su tipo de órbita.	54
B.1. Plataforma de resultados en C++ para los diez valores más pequeños de Dx	74

B.2. Plataforma del programa en Microsoft Excel: a) Importación del archivo .txt, b) Aquí se muestran los resultados, no solo de las primeras diez menores distancias espectrales, sino con respecto a los 1,355 asteroides. 75

Índice de tablas

1.1. Tipos de órbitas de los NEAs. (Meunier 2015)	4
3.1. NEAs observados y sus características físicas. <i>a</i> valores de Minor Planet & Comet Ephemeris Service of the MPC. <i>b</i> valores del servicio en línea del Sistema Solar y efemérides de JPL Horizons. <i>c</i> valores de las ecuaciones (1.2) o (1.3). <i>d</i> valores de Near Earth Objects Dynamic Site.	25
3.2. MBAs observados y sus características físicas. IMB, MMB, representan la parte interior y la parte media del cinturón principal de asteroides, respectivamente. <i>a</i> valores de Minor Planet & Comet Ephemeris Service of the MPC. <i>b</i> valores del servicio en línea del Sistema Solar y efemérides de JPL Horizons. <i>c</i> valores de las ecuaciones (1.2) o (1.3). <i>d</i> valores de Near Earth Objects Dynamic Site.	26
3.3. Valores promedio de los albedos para NEAs y asteroides del cinturón principal que pertenecen a diferentes complejos taxonómicos según Thomas et al. (2011).	32
3.4. Valores promedio de los albedos para NEAs y asteroides del cinturón principal que pertenecen a diferentes complejos taxonómicos según Stuart and Binzel (2004).	32
4.1. Valores de la distancia espectral de los NEAs observados con respecto a los asteroides de la base de datos extendida del SMASSII y con respecto a los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas de DeMeo et al. (2009). Se propone una clasificación taxonómica para los asteroides observados utilizando el método multivariable descrito anteriormente. Descripción de la Tabla en el texto.	36
4.2. Valores de la distancia espectral de los asteroides del cinturón principal observados con respecto a los asteroides de la base de datos extendida del SMASSII y con respecto a los espectros promedio de las 24 clases taxonómicas de DeMeo et al. (2009). Se propone una clasificación taxonómica para los asteroides observados utilizando el método multivariable descrito anteriormente. Descripción de la Tabla en el texto.	37
5.1. Comparativa de clasificación taxonómica de nueve objetos de trabajos previos y los propuestos.	55

Bibliografía

- Belskaya, I. N., Fornasier, S., Tozzi, G. P., Gil-Hutton, R., Cellino, A., Antonyuk, K., Krugly, Y. N., Dovgopol, A. N., and Faggi, S. (2017). Refining the asteroid taxonomy by polarimetric observations. *Icarus*, 284:30–42.
- Benner, L. A. M., Ostro, S. J., Magri, C., Nolan, M. C., Howell, E. S., Giorgini, J. D., Jurgens, R. F., Margot, J.-L., Taylor, P. A., Busch, M. W., and Shepard, M. K. (2008). Near-Earth asteroid surface roughness depends on compositional class. *Icarus*, 198:294–304.
- Binzel, R., Bus, S. J., Burbine, T. H., and Rivkin, A. S. (2001). 32nd Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 12-16, 2001, Houston, Texas. In *Lunar and Planetary Science Conference*, volume 32 of *32nd Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 12-16, 2001, Houston, Texas*.
- Binzel, R. P., Bus, S. J., Burbine, T. H., and Sunshine, J. M. (1996). Spectral Properties of Near-Earth Asteroids: Evidence for Sources of Ordinary Chondrite Meteorites. *Science*, 273:946–948.
- Binzel, R. P., Lupishko, D., di Martino, M., Whiteley, R. J., and Hahn, G. J. (2002). *Physical Properties of Near-Earth Objects*, pages 255–271.
- Binzel, R. P., Rivkin, A. S., Stuart, J. S., Harris, A. W., Bus, S. J., and Burbine, T. H. (2004). Observed spectral properties of near-Earth objects: results for population distribution, source regions, and space weathering processes. *Icarus*, 170:259–294.
- Binzel, R. P. and Xu, S. (1993). Chips off of asteroid 4 Vesta - Evidence for the parent body of basaltic achondrite meteorites. *Science*, 260:186–191.
- Bischoff, A. (2001). Meteorite classification and the definition of new chondrite classes as a result of successful meteorite search in hot and cold deserts. *planss*, 49:769–776.
- Bowell, E., Chapman, C. R., Gradie, J. C., Morrison, D., and Zellner, B. (1978). Taxonomy of asteroids. *Icarus*, 35:313–335.
- Bus, S. J. (1999). *Compositional structure in the asteroid belt: Results of a spectroscopic survey*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.

- Bus, S. J. and Binzel, R. P. (2002a). Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey. A Feature-Based Taxonomy. *Icarus*, 158:146–177.
- Bus, S. J. and Binzel, R. P. (2002b). Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey. The Observations. *Icarus*, 158:106–145.
- Bus, S. J., Vilas, F., and Barucci, M. A. (2002). *Visible-Wavelength Spectroscopy of Asteroids*, pages 169–182.
- Buzzoni, A. (1994). INAOE Technical Report 169. In *INAOE Technical Report 169*.
- Carrasco, B. E., Carraminana, A., Sanchez-Sesma, F. J., and Lermo, F. J. (1998). Protection of the Observatorio Astrofísico “Guillermo Haro”. In Isobe, S. and Hirayama, T., editors, *Preserving The Astronomical Windows*, volume 139 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 141.
- Carruba, V. (2009). An analysis of the region of the Phocaea dynamical family. *MNRAS*, 398:1512–1526.
- Carry, B., Solano, E., Eggl, S., and DeMeo, F. E. (2016). Spectral properties of near-Earth and Mars-crossing asteroids using Sloan photometry. *Icarus*, 268:340–354.
- Cellino, A., Bus, S. J., Doressoundiram, A., and Lazzaro, D. (2002). *Spectroscopic Properties of Asteroid Families*, pages 633–643.
- Chapman, C. R., Morrison, D., and Zellner, B. (1975). Surface properties of asteroids - A synthesis of polarimetry, radiometry, and spectrophotometry. *Icarus*, 25:104–130.
- de Laplace, P. S. (1796). *Exposition du système du monde*.
- de Pater, I. and Lissauer, J. (2010). *Planetary Sciences*. Cambridge University Press.
- de Pater, I. and Lissauer, J. (2013). *Fundamental Planetary Science: Physics, Chemistry and Habitability*. Cambridge University Press.
- DeMeo, F. E. (2010). *The compositional variation of small bodies across the Solar System*. PhD thesis, Observatoire de Paris.
- DeMeo, F. E., Binzel, R. P., and Lockhart, M. (2014). Mars encounters cause fresh surfaces on some near-Earth asteroids. *Icarus*, 227:112–122.
- 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*, 202:160–180.
- Fumihiko, U., Kuroda, D., Müller, T. G., Hasegawa, S., Ishiguro, M., Ootsubo, T., Ishihara, D., Katata, H., Takita, S., Oyabu, S., Ueno, M., Matsuhara, H., and Onaka, T. (2011). Asteroid Catalog Using Akari: AKARI/IRC Mid-Infrared Asteroid Survey. *PASJ*, 63:1117–1138.

- Gaffey, M. J., Burbine, T. H., and Binzel, R. P. (1993). Asteroid spectroscopy - Progress and perspectives. *Meteoritics*, 28:161–187.
- Gradie, J. C., Chapman, C. R., and Tedesco, E. F. (1989). Distribution of taxonomic classes and the compositional structure of the asteroid belt. In Binzel, R. P., Gehrels, T., and Matthews, M. S., editors, *Asteroids II*, pages 316–335.
- Harris, A. W. (1998). A Thermal Model for Near-Earth Asteroids. *Icarus*, 131:291–301.
- Harris, A. W. (2014). *Asteroid Grand Challenge*. Seminar series.
- Harris, A. W. and D’Abramo, G. (2015). The population of near-Earth asteroids. *Icarus*, 257:302–312.
- Harris, A. W. and Lagerros, J. S. V. (2002). *Asteroids in the Thermal Infrared*, pages 205–218.
- Harris, A. W., Mommert, M., Hora, J. L., Mueller, M., Trilling, D. E., Bhattacharya, B., Bottke, W. F., Chesley, S., Delbo, M., Emery, J. P., Fazio, G., Mainzer, A., Penprase, B., Smith, H. A., Spahr, T. B., Stansberry, J. A., and Thomas, C. A. (2011). ExploreNEOs. II. The Accuracy of the Warm Spitzer Near-Earth Object Survey. *AJ*, 141:75.
- Hicks, M. D., Fink, U., and Grundy, W. M. (1998). The Unusual Spectra of 15 Near-Earth Asteroids and Extinct Comet Candidates. *Icarus*, 133:69–78.
- Lazzaro, D., Angeli, C. A., Carvano, J. M., Mothé-Diniz, T., Duffard, R., and Florczak, M. (2004). S³OS²: the visible spectroscopic survey of 820 asteroids. *Icarus*, 172:179–220.
- López-Valdivia, R., Bertone, E., Chávez, M., Tapia-Schiavon, C., Hernández-Águila, J. B., Valdés, J. R., and Chavushyan, V. (2014). Supersolar metallicity in G0-G3 main-sequence stars with V < 15. *MNRAS*, 444:2251–2262.
- Magrin, S. (2006). *SINEO: Spectroscopic investigation of near Earth objects*. PhD thesis, Padova University, astronomy department.
- Mainzer, A., Grav, T., Bauer, J., Masiero, J., McMillan, R. S., Cutri, R. M., Walker, R., Wright, E., Eisenhardt, P., Tholen, D. J., Spahr, T., Jedicke, R., Denneau, L., DeBaun, E., Elsbury, D., Gautier, T., Gomillion, S., Hand, E., Mo, W., Watkins, J., Wilkins, A., Bryngelson, G. L., Del Pino Molina, A., Desai, S., Gómez Camus, M., Hidalgo, S. L., Konstantopoulos, I., Larsen, J. A., Maleszewski, C., Malkan, M. A., Mauduit, J.-C., Mullan, B. L., Olszewski, E. W., Pforr, J., Saro, A., Scotti, J. V., and Wasserman, L. H. (2011a). NEOWISE Observations of Near-Earth Objects: Preliminary Results. *ApJ*, 743:156.

- Mainzer, A., Grav, T., Masiero, J., Hand, E., Bauer, J., Tholen, D., McMillan, R. S., Spahr, T., Cutri, R. M., Wright, E., Watkins, J., Mo, W., and Maleszewski, C. (2011b). NEOWISE Studies of Spectrophotometrically Classified Asteroids: Preliminary Results. *ApJ*, 741:90.
- Marchis, F., Enriquez, J. E., Emery, J. P., Mueller, M., Baek, M., Pollock, J., Assafin, M., Vieira Martins, R., Berthier, J., Vachier, F., Cruikshank, D. P., Lim, L. F., Reichart, D. E., Ivarsen, K. M., Haislip, J. B., and LaCluyze, A. P. (2012). Multiple asteroid systems: Dimensions and thermal properties from Spitzer Space Telescope and ground-based observations. *Icarus*, 221:1130–1161.
- Masiero, J. R., Carruba, V., Mainzer, A., Bauer, J. M., and Nugent, C. (2015). The Euphrosyne Family’s Contribution to the Low Albedo Near-Earth Asteroids. *ApJ*, 809:179.
- Masiero, J. R., Grav, T., Mainzer, A. K., Nugent, C. R., Bauer, J. M., Stevenson, R., and Sonnett, S. (2014). Main-belt Asteroids with WISE/NEOWISE: Near-infrared Albedos. *ApJ*, 791:121.
- Masiero, J. R., Mainzer, A. K., Grav, T., Bauer, J. M., Cutri, R. M., Dailey, J., Eisenhardt, P. R. M., McMillan, R. S., Spahr, T. B., Skrutskie, M. F., Tholen, D., Walker, R. G., Wright, E. L., DeBaun, E., Elsbury, D., Gautier, IV, T., Gomillion, S., and Wilkins, A. (2011). Main Belt Asteroids with WISE/NEOWISE. I. Preliminary Albedos and Diameters. *ApJ*, 741:68.
- Masiero, J. R., Mainzer, A. K., Grav, T., Bauer, J. M., Cutri, R. M., Nugent, C., and Cabrera, M. S. (2012). Preliminary Analysis of WISE/NEOWISE 3-Band Cryogenic and Post-cryogenic Observations of Main Belt Asteroids. *ApJ*, 759:L8.
- Masiero, J. R., Nugent, C., Mainzer, A. K., Wright, E. L., Bauer, J. M., Cutri, R. M., Grav, T., Kramer, E., and Sonnett, S. (2017). NEOWISE Reactivation Mission Year Three: Asteroid Diameters and Albedos. *AJ*, 154:168.
- McCord, T. B. and Adams, J. B. (1977). Use of ground-based telescopes in determining the composition of the surfaces of solar system objects. *NASA Special Publication*, 370.
- Meunier, A. (2015). *Asteroids deflection using state of the art European technologies*. PhD thesis, KTH, EES, Space and Plasma Physics.
- Morate, D., de León, J., De Prá, M., Licandro, J., Cabrera-Lavers, A., Campins, H., Pinilla-Alonso, N., and Alí-Lagoa, V. (2016). Compositional study of asteroids in the Erigone collisional family using visible spectroscopy at the 10.4 m GTC. *A&A*, 586:A129.

- Morbidelli, A., Jedicke, R., Bottke, W. F., Michel, P., and Tedesco, E. F. (2002). From Magnitudes to Diameters: The Albedo Distribution of Near Earth Objects and the Earth Collision Hazard. *Icarus*, 158:329–342.
- Mothé-Diniz, T., Carvano, J., and Lazzaro, D. (2003). Distribution of taxonomic classes in the main belt of asteroids based on observations made with the 1.52m telescope at the european southern observatory (la silla, chile) under the agreement with the cnpq/observatório nacional (brazil). 162:10–21.
- Mueller, M., Delbo', M., Hora, J., Trilling, D., Bhattacharya, B., Bottke, W., Chesley, S., Emery, J., Fazio, G., Harris, A., Mainzer, A., Mommert, M., Penprase, B., Smith, H., Spahr, T., Stansberry, J., and Thomas, C. (2011). Explorenceos. iii. physical characterization of 65 potential spacecraft target asteroids. *Astronomical Journal*, 141(4).
- Nedelcu, D. A. (2010). *Dynamic modeling and spectroscopy of asteroids*. PhD thesis, Observatoire de Paris.
- Nugent, C. R., Mainzer, A., Bauer, J., Cutri, R. M., Kramer, E. A., Grav, T., Masiero, J., Sonnett, S., and Wright, E. L. (2016). NEOWISE Reactivation Mission Year Two: Asteroid Diameters and Albedos. *AJ*, 152:63.
- Nugent, C. R., Mainzer, A., Masiero, J., Bauer, J., Cutri, R. M., Grav, T., Kramer, E., Sonnett, S., Stevenson, R., and Wright, E. L. (2015). NEOWISE Reactivation Mission Year One: Preliminary Asteroid Diameters and Albedos. *ApJ*, 814:117.
- Popescu, M. (2012). *Techniques for asteroid spectroscopy*. PhD thesis, Observatoire de Paris.
- Pravec, P., Harris, A. W., Kušnirák, P., Galád, A., and Hornoch, K. (2012). Absolute magnitudes of asteroids and a revision of asteroid albedo estimates from WISE thermal observations. *Icarus*, 221:365–387.
- Sanchez, J. A., Michelsen, R., Reddy, V., and Nathues, A. (2013). Surface composition and taxonomic classification of a group of near-Earth and Mars-crossing asteroids. *Icarus*, 225:131–140.
- Stuart, J. S. and Binzel, R. P. (2004). Bias-corrected population, size distribution, and impact hazard for the near-Earth objects. *Icarus*, 170:295–311.
- Tedesco, E. F., Noah, P. V., Noah, M., and Price, S. D. (2004). IRAS Minor Planet Survey V6.0. *NASA Planetary Data System*, 12:IRAS-A-FPA-3-RDR-IMPS-V6.0.
- Tedesco, E. F., Tholen, D. J., and Zellner, B. (1982). The eight-color asteroid survey - Standard stars. *aj*, 87:1585–1592.

- Tholen, D. J. (1984). *Asteroid taxonomy from cluster analysis of photometry*. PhD thesis, University of Arizona, Tucson.
- Tholen, D. J. (1989). Asteroid taxonomic classifications. In Binzel, R. P., Gehrels, T., and Matthews, M. S., editors, *Asteroids II*, pages 1139–1150.
- Thomas, C. A., Emery, J. P., Trilling, D. E., Delbó, M., Hora, J. L., and Mueller, M. (2014). Physical characterization of Warm Spitzer-observed near-Earth objects. *Icarus*, 228:217–246.
- Thomas, C. A., Trilling, D. E., Emery, J. P., Mueller, M., Hora, J. L., Benner, L. A. M., Bhattacharya, B., Bottke, W. F., Chesley, S., Delbó, M., Fazio, G., Harris, A. W., Mainzer, A., Mommert, M., Morbidelli, A., Penprase, B., Smith, H. A., Spahr, T. B., and Stansberry, J. A. (2011). ExploreNEOs. V. Average Albedo by Taxonomic Complex in the Near-Earth Asteroid Population. *aj*, 142:85.
- Trilling, D. E., Mommert, M., Hora, J., Chesley, S., Emery, J., Fazio, G., Harris, A., Mueller, M., and Smith, H. (2016). NEOSurvey 1: Initial Results from the Warm Spitzer Exploration Science Survey of Near-Earth Object Properties. *AJ*, 152:172.
- Trilling, D. E., Mueller, M., Hora, J. L., Harris, A. W., Bhattacharya, B., Bottke, W. F., Chesley, S., Delbo, M., Emery, J. P., Fazio, G., Mainzer, A., Penprase, B., Smith, H. A., Spahr, T. B., Stansberry, J. A., and Thomas, C. A. (2010). ExploreNEOs. I. Description and First Results from the Warm Spitzer Near-Earth Object Survey. *AJ*, 140:770–784.
- Usui, F., Kuroda, D., Müller, T. G., Hasegawa, S., Ishiguro, M., Ootsubo, T., Ishihara, D., Kataza, H., Takita, S., Oyabu, S., Ueno, M., Matsuhara, H., and Onaka, T. (2011). Asteroid Catalog Using Akari: AKARI/IRC Mid-Infrared Asteroid Survey. *PASJ*, 63:1117–1138.
- Vereš, P., Jedicke, R., Fitzsimmons, A., Denneau, L., Granvik, M., Bolin, B., Chastel, S., Wainscoat, R. J., Burgett, W. S., Chambers, K. C., Flewelling, H., Kaiser, N., Magnier, E. A., Morgan, J. S., Price, P. A., Tonry, J. L., and Waters, C. (2015). Absolute magnitudes and slope parameters for 250,000 asteroids observed by Pan-STARRS PS1 - Preliminary results. *Icarus*, 261:34–47.
- Wolfson, M. M. (1993). The Solar - Origin and Evolution: a Personal View. *QJRAS*, 34.
- Xu, S., Binzel, R. P., Burbine, T. H., and Bus, S. J. (1995). Small main-belt asteroid spectroscopic survey: Initial results. *Icarus*, 115:1–35.
- Yang, B., Zhu, J., Gao, J., Ma, J., Zhou, X., Wu, H., and Guan, M. (2003a). Photometry and Spectroscopy of the Potentially Hazardous Asteroid 2001 YB₅ and Near-Earth Asteroid 2001 TX₁₆. *aj*, 126:1086–1089.

- Yang, B., Zhu, J., Gao, J., Zhang, H. T., and Zheng, X. Z. (2003b). Observations of 2000 DP₁₀₇ in NAOC: rotation period and reflectance spectrum. *planss*, 51:411–414.
- Zellner, B., Tholen, D. J., and Tedesco, E. F. (1985). The eight-color asteroid survey - Results for 589 minor planets. *Icarus*, 61:355–416.