

---

**TFM**  
Universidad de Granada

---



## **Trabajo Fin de Máster**

Fotometría de objetos transneptunianos para  
la obtención de curvas de fase y magnitudes  
absolutas

José David Balseca Cisneros

DNI: 58454320-G

Tutor: Jose Luis Ortiz

Máster Universitario en Física y Matemáticas (FisyMat)

Septiembre 2022

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DEL  
TRABAJO FIN DE MÁSTER**

Considerando que la presentación de un trabajo hecho por otra persona o la copia de textos, fotos y gráficas sin citar su procedencia se considera plagio, el abajo firmante D./Dña. ....Jose David Balseca Cisneros... con DNI .....58454320G....., que presenta el Trabajo Fin de Máster con el título:....Fotometría de objetos transneptunianos.... para la obtención de curvas de fase y magnitudes absolutas....., declara la autoría y asume la originalidad de este trabajo, donde se han utilizado distintas fuentes que han sido todas citadas debidamente en la memoria.

Y para que así conste firmo el presente documento en Granada a.....24/08/2022....

El autor: .....



## Resumen

El presente Trabajo Fin de Máster muestra el estudio de los resultados fotométricos de 12 objetos transneptunianos. Para ello, se parte de las imágenes tomadas por el Telescopio Liverpool del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma, Islas Canarias, España). Dichas observaciones se realizan dentro de un proyecto para caracterizar la variabilidad rotacional y la determinación de las curvas de fase y magnitudes absolutas de una serie de objetos débiles. Por ello, analizamos fotométricamente las imágenes con el programa e-photom y Tycho-Tracker, de forma que podamos abordar la primera fase del proyecto, que es la determinación de las curvas de fase y magnitudes absolutas de una parte de la muestra inicial.

Una vez obtenidos los distintos parámetros fotométricos para cada TNO, se tratan los resultados con Matlab, de manera que se derivan las magnitudes reducidas y, con ello, los coeficientes de fase, la magnitud absoluta y el diámetro estimado de dichos objetos transneptunianos. Todo esto tiene lugar con medidas en un filtro de la banda fotométrica R de Johnson, de forma que, tanto en los programas e-photom y Tycho-Tracker como en las referencias usadas, se tiene que garantizar la presencia de las mediciones fotométricas en este filtro.

El proceso fotométrico se realiza para los siguientes TNOs: 1998 SN165, 2001 UR163, 2002 WC19, 2005 RO43, 2005 RR43, 2010 RF64, 2011 KT19, 2014 JJ80, 2014 NW65, 2014 UM33, 2015 FG345 y 2017 OG69.

También se considera, según el grupo al que pertenecen cada TNO, un valor de albedo geométrico de forma que, junto a la magnitud absoluta derivada, se pueda obtener sus dimensiones en kilómetros. Finalmente, se puede mostrar la tendencia general del coeficiente de fase para todos los objetos considerados en este estudio.

Palabras clave: Coeficiente de fase, magnitud absoluta, ángulo de fase, magnitud reducida.

## Abstract

We present in this thesis the study of the photometric results of 12 transneptunian objects. To do this, we start with images taken by the Liverpool telescope of the Observatory of Roque de los Muchachos (La Palma, Canary Islands, Spain). Observations of these are carried out within a project to characterize the rotational variability and the determination of the phase curves and absolute magnitudes of a series of weak objects. Therefore, we analyze photometrically the images with the e-photom and Tycho-Tracker program, so that we can address the first phase of the project, which is the determination of the phase curves and absolute magnitudes of a part of the initial sample.

Once the different photometric parameters have been obtained for each TNO, the results are treated with Matlab, so that the reduced magnitudes are derived and, with them, parameters of interest such as the phase coefficients, the absolute magnitude and the estimated size of the transneptunians objects. All of this takes place with measurements with Johnson R photometric band filter in e-photom, Tycho-Tracker programs and in the references used, so the presence of photometric measurements in this filter must be guaranteed.

The photometric process is carried out for the following TNOs: 1998 SN165, 2001 UR163, 2002 WC19, 2005 RO43, 2005 RR43, 2010 RF64, 2011 KT19, 2014 JJ80, 2014 NW65, 2014 UM33, 2015 FG345 and 2017 OG69. Depending on the group to which each TNO belongs, a geometric albedo value is also considered so that, together with the derived absolute magnitude, its dimensions in kilometers can be obtained. Finally, the general trend of the phase coefficient for all the objects considered in this study can be shown.

Word key: phase coefficient, absolute magnitude, phase angle, reduced magnitude.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetos transneptunianos: historia</b>	<b>2</b>
<b>3. Sistemas de poblaciones de cuerpos pequeños lejanos</b>	<b>3</b>
3.1. Cinturón de Kuiper . . . . .	3
3.2. Disco disperso . . . . .	7
3.3. Más allá del disco disperso . . . . .	8
3.4. Nube de Oort . . . . .	8
3.5. Otras poblaciones . . . . .	9
3.5.1. Centauros . . . . .	9
3.5.2. Troyanos neptunianos . . . . .	10
3.5.3. Cometas de periodo corto y cometas de la familia de Júpiter . . . . .	10
<b>4. Técnicas de observación</b>	<b>10</b>
4.1. Instrumentos y técnicas usadas . . . . .	11
4.1.1. CCDs . . . . .	11
4.1.2. Observatorio y telescopios implicados . . . . .	11
4.2. Calibraciones y fotometría de imágenes. . . . .	12
4.2.1. Tratamiento de imágenes . . . . .	13
4.2.2. Conceptos de fotometría . . . . .	15
4.2.3. Sistemas fotométricos . . . . .	17
<b>5. Fotometría de los TNOs y resultados</b>	<b>18</b>
5.1. Teoría y propiedades básicas . . . . .	18
5.1.1. Magnitudes visuales . . . . .	18
5.1.2. Magnitud absoluta, ángulo y coeficiente de fase . . . . .	19
5.1.3. Diámetro del TNO . . . . .	20
<b>6. Resultados del estudio de los Objetos Transneptunianos</b>	<b>21</b>
<b>7. Discusión y conclusiones</b>	<b>37</b>

## 1. Introducción

Se entiende como cuerpos pequeños del sistema solar a aquellos objetos, generalmente compuestos de roca y hielo, cuyo tamaño puede variar desde un pocos metros hasta varios kilómetros. Para mayor exactitud, la Unión Astronómica Internacional (UIA) lo define como todo cuerpo celeste que no haya logrado suficiente tamaño y masa para alcanzar el equilibrio hidrostático y que no sea un satélite [1, 2, 3].

Dentro de este grupo podemos encontrar diferentes tipos de cuerpos pequeños: asteroides, cometas, troyanos, centauros y objetos transneptunianos. Esta gran variedad puede ayudar a entender mejor la historia y evolución del sistema solar así como la desarrollo de sistemas planetarios en otras estrellas [4].

En nuestro sistema solar, también podemos diferenciar varias regiones principales para dichos cuerpos pequeños: el cinturón de asteroides, el cinturón transneptuniano o cinturón de Kuiper, la nube de Oort y las nubes de troyanos [4].

### ■ Cinturón de asteroides

Se trata de una concentración de cuerpos relativamente pequeños y sólidos cuya órbita se encuentra a una distancia de 225 millones de kilómetros del Sol, entre las órbitas de los planetas Marte y Júpiter. Se pueden encontrar cuerpos rocosos diversos en variedad, permitiendo clasificarlos según su composición, emisiones espectrales, albedo y color. Aunque se ha estimado un número enorme de asteroides (alrededor de unos 2 millones), en cuanto a masa sólo supondría un 4 % de la masa de la Luna [3, 4, 5].

### ■ Cinturón transneptuniano

Se trata de otro sistema de cuerpos pequeños orbitando más allá de la Neptuno (aproximadamente 30.1 UA) hasta aproximadamente unas 50 UA del Sol en el plano de la eclíptica. Se puede definir como una gran estructura compuesta por millones de cuerpos helados, remanentes de la formación de nuestro sistema solar, entre los que se encuentran planetas enanos como Plutón y Eris, así como cientos de "objetos transneptunianos" (TNO por sus siglas en inglés)<sup>1</sup>, objetos que están compuestos principalmente por agua helada y diversos elementos volátiles [4, 6].

---

<sup>1</sup>Un objeto transneptuniano es cualquier objeto del sistema solar con una órbita ubicada más allá de la órbita del planeta Neptuno.

### ■ Nube de Oort

A continuación, tenemos al sistema con la concentración más grande de cuerpos pequeños, la nube de Oort. Se trata de una región esférica, cuya extensión rodea al sistema solar a distancias de cientos de miles de UA. Entre los objetos de esta zona también se incluyen objetos transneptunianos y la reserva de cometas de periodo largo, así como otros cuerpos helados de tamaño superior a 1 km.

La importancia de estos cuerpos pequeños reside en una mejora del entendimiento de la historia del sistema solar así como poder predecir si suponen un riesgo, tanto para la Tierra como para las misiones espaciales. Es por ello que nos centraremos principalmente en el estudio de los objetos transneptunianos en este trabajo [4, 6, 9].

### ■ Nubes de troyanos

Por último, se puede mencionar a las nubes de troyanos, que son un reservorio de los asteroides troyanos, es decir, pequeños objetos rocosos que experimentan una resonancia orbital<sup>2</sup> de 1:1 con su planeta anfitrión. A día de hoy sólo se conoce que los planetas Júpiter y Neptuno poseen dichas regiones, que se encuentran alrededor de los puntos de Lagrange L4 y L5, es decir, posiciones de un sistema orbital donde un objeto pequeño puede estar teóricamente de forma estacionaria respecto a dos objetos más grandes [7, 8].

## 2. Objetos transneptunianos: historia

Si queremos introducir el contexto histórico del primer objeto transneptuniano, nos tenemos que remontar al descubrimiento del primero de ellos, Plutón, que tuvo lugar en 1930 por Clyde Tombaugh. Dicho descubrimiento sirvió de base para empezar a postular la existencia de un remanente de objetos más allá de la órbita de Neptuno y, de esta manera, poder explicar las perturbaciones gravitacionales de Urano y Neptuno.

El astrónomo estadounidense Frederick C. Leonard fue quién planteó Plutón como el primero de una gran serie de cuerpos transneptunianos que todavía quedan por descubrir [10, 11, 12].

En 1943, el astrónomo Kenneth Edgeworth postuló la teoría del disco, cuerpos helados más allá de la órbita de Neptuno y de los cuales, algunos de ellos podrían penetrar a regiones interiores del sistema solar, dando explicación al fenómeno de los cometas.

---

<sup>2</sup>Hace referencia al fenómeno gravitacional donde dos objetos celestes orbitan alrededor de otro central, con períodos de traslación según una proporción.

Más adelante, en 1949, el astrónomo holandés Jan Hendrick Oort estipuló la existencia una nube esférica de pequeños objetos helados que envolvía a nuestro sistema solar, los cuales se podrían considerar como restos de su formación [10, 11, 12].

En 1951, el astrónomo Gerard Kuiper también postuló su teoría sobre la existencia de una estructura de cuerpos pequeños más allá de la órbita de Neptuno.

Ya en 1964, surgieron más teorías, como la de Fred Whipple, que postuló que un gran cinturón de cometas podría existir más allá de Neptuno, causando perturbaciones en su órbita.

Aunque el trabajo de Kuiper no predijo las poblaciones de objetos que son observadas en la región que lleva su nombre, sus ideas eran tan conocidas entre los astrónomos que se le atribuyó la idea general del cinturón. También Kenneth Edgeworth mencionó brevemente objetos más allá de Plutón en varios artículos y, por lo tanto, a veces se hace referencia a esta región como el Cinturón de Edgeworth-Kuiper.

Y no fue hasta 1992, cuando los astrónomos David Jewitt y Jane Luu descubrieron el segundo TNO, denominado Albion o 1992 QB1, con el telescopio de 2.2 m Mauna Kea en Hawái.

El descubrimiento de un gran número de objetos con características similares a Plutón en la misma región del sistema solar hizo replantear potencialmente la definición de planeta, que se formalizó definitivamente en 2005 con el descubrimiento de un TNO con un tamaño similar, Eris, de tal forma que Plutón pasó a ser considerado en la categoría de planeta enano por la Unión Astronómica Internacional (UAI) en 2006 [4, 13].

### **3. Sistemas de poblaciones de cuerpos pequeños lejanos**

Primeramente, a la hora de hablar en más detalle de los TNOs y sus lugares de ubicación, tenemos que hacer referencia a tres zonas importantes: el cinturón de Kuiper, el disco disperso y la nube de Oort.

#### **3.1. Cinturón de Kuiper**

El cinturón de Kuiper se define como una región de cuerpos pequeños del Sistema Solar más allá de Neptuno, cuya órbita se extiende desde las 30 UA hasta 50 UA.

En cuanto a las diferencias con el cinturón de asteroides, el cinturón de Kuiper es mucho más grande y masivo, con una composición de los cuerpos pequeños basada principalmente en elementos volátiles congelados, mientras que en el cinturón de asteroides los objetos son

principalmente de tipo rocoso y metálico. En cuanto a lo común, ambos sistemas compartirían el origen de remanentes de la formación del Sistema Solar

También sabemos que los cometas son pequeños cuerpos compuestos por roca y hielo con órbitas muy excéntricas e incluso a veces retrógradas alrededor del Sol y que, conforme se acercan, debido a la radiación solar, parte del material helado del cometa se vaporiza, dando lugar a una larga cola, como consecuencia del proceso de sublimación, cuya extensión va desde la cabeza del cometa y apunta en dirección opuesta al Sol. Esta es la razón por la que se teoriza el cinturón de Kuiper como albergue de los cometas de período corto<sup>3</sup> [3, 6, 14].

## Formación y origen

El origen del cinturón de Kuiper todavía no está claro a día de hoy. De todas las teorías, la preferida por los astrónomos es que defiende su probable composición de planetesimales, es decir, fragmentos que quedaron del disco protoplanetario alrededor del Sol durante la formación del sistema solar [12, 15].

En esta teoría, los planetesimales estaban distribuidos de manera tan dispersa que la probabilidad de encuentros entre ellos era muy baja. Además, la influencia de los gigantes gaseosos también hubiera impedido la formación de un planeta [12].

Tras la disipación del gas y polvo del disco protoplanetario en la etapa final de la formación del sistema solar, los cuatro gigantes gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) estaban en un principio mucho más juntos que ahora, entre las 5,5 y 17 AU aproximadamente desde el Sol. Más allá de los gigantes gaseosos, también se hallaba un gran disco de planetesimales de roca y hielo cuyo borde interior se extendía entre las 15 y los 20 UA hasta unas 35 UA [12, 15].

Los objetos del borde más interno del disco fueron influenciados gravitacionalmente por Urano, provocando perturbaciones en sus órbitas y, con ello, una dispersión hacia el interior del sistema solar, mientras que unos pocos de ellos fueron enviados al exterior. Este proceso continuo conlleva un intercambio de momento angular, en el que el cuerpo pequeño se mueve hacia el interior mientras que el planeta se mueve ligeramente más hacia fuera, de forma que los cuerpos pequeños se mueven hacia adentro mientras que los planetas gigantes gaseosos le alejan cada vez más. Esto se conoce como "migración planetaria".

Dicho etapa llega a su fin cuando los planetesimales se encuentran con la influencia de Júpiter, el planeta más masivo del sistema solar, por el que los cuerpos pequeños se ven obligados a

---

<sup>3</sup>Cometas con períodos de menos de 200 años

orbitar muy excéntricamente o incluso a ser expulsados del sistema solar. Esta dispersión también implicó un acercamiento de Júpiter hacia el interior como consecuencia de la conservación del momento angular [12].

Esta migración lenta pero constante llevó millones de años, en los que Júpiter y Saturno alcanzaron su resonancia de 1:2, dando lugar a desestabilizaciones de todo el sistema solar, que incluyen el movimiento de Saturno a su posición actual, ejercido por Júpiter, así como el intercambio de las órbitas de Urano y Neptuno.

Este caos temporal hizo que muchos de los planetesimales fueran lanzados hacia el interior, más cerca del Sol. Luego, sus destinos fueron decididos en su encuentro con Júpiter, que los empujó hacia el exterior, por lo que se puede decir que algunos de ellos formaron lo que hoy se conoce como el cinturón de Kuiper. Los cuerpos que tuvieron órbitas más inclinadas, excéntricas y potencialmente inestables, establecieron el llamado disco disperso. Es por ello que se cree que de los miembros actuales del cinturón de Kuiper, una parte pudo haberse originado en las cercanías de Júpiter, antes de haber sido expulsada por él a regiones lejanas del sistema solar, mientras que la otra serían los cuerpos expulsados en la migración de Neptuno y Urano [12, 13, 15].

## Estructura y clasificación

El cinturón de Kuiper se puede definir como un toroide en el sistema solar exterior, con una gran variedad de objetos pequeños en color, forma, tamaño y composición. A su vez, los objetos de esta zona no están distribuidos uniformemente, sino que pueden agruparse en base a su forma y tamaño de órbitas, lo que puede evidenciar que ha sido construido por las influencias gravitatorias de los planetas gigantes. Debido a las influencias gravitatorias de Neptuno, su estructura cambia continuamente, por lo que algunas partes del cinturón de Kuiper son más estables, mientras que, en otras, se van perdiendo objetos con el tiempo. Como resultado, se pueden distinguir dos partes: el cinturón de Kuiper clásico y las áreas resonantes [6].

### ■ Cinturón de Kuiper clásico

El cinturón clásico (o cuerpo principal del cinturón) tiene una extensión de semiejes mayores de 42 a 48 AU, con una excentricidad de aproximadamente 0.1.

Las simulaciones en esta zona muestran que las órbitas de sus miembros suelen ser relativamente estables debido a la influencia poco significativa de Neptuno y al hecho de que dos tercios del total de KBO (Kuiper Belt Objects) pertenecen a este cinturón clásico.

A los objetos de esta zona del cinturón se les conoce como "cubewanos", cuyas órbitas son excéntricamente bajas (casi circulares), de baja resonancia orbital con Neptuno y ángulo de inclinación bajo respecto al plano de la eclíptica. La población del cinturón clásico de Kuiper se puede clasificar en dos grupos: población dinámica fría y población dinámica caliente [6, 12, 14].

Mientras los KBOs clásicos fríos tienen órbitas relativamente circulares y poco inclinadas respecto del plano de la eclíptica (excentricidades menores a 0.1 e inclinaciones bajas de hasta unos 10 grados), los KBOs clásicos calientes destacan por órbitas más excéntricas e inclinadas, de hasta 30 grados. Esto se refleja en que la población dinámica fría mantiene la mayoría del tiempo la misma distancia al Sol, a diferencia de los de población dinámica caliente, los cuales en algunas partes están más lejos o más cerca del Sol. En cuanto a su influencia con Neptuno, las órbitas relativamente circulares de los KBO clásicos fríos se deberían a la poca influencia gravitatoria con el gigante gaseoso, mientras que los KBO clásicos calientes sí que experimentaron interacciones con Neptuno en el pasado, dando lugar a órbitas más elípticas e inclinadas [13, 14, 15].

Por último, aquellos objetos que se encuentran en resonancia 1:2 en el borde exterior del cinturón clásico con Neptuno se denominan "twotinos", objetos con órbitas moderadamente inclinadas y excéntricas ( $i < 15^\circ$ ;  $0.1 < e < 0.3$ ). La escasa población de twotinos podría deberse a la baja estabilidad en resonancia, por lo que tenderían a dispersarse más fácilmente [12, 17].

## ■ Objetos resonantes

Los objetos resonantes (ROs) hacen referencia a aquellos cuerpos pequeños del cinturón de Kuiper en órbitas controladas por Neptuno, cuyo período orbital es exactamente proporcional al período de Neptuno. Un caso conocido es el de Plutón, con una resonancia de 2:3 con Neptuno. Debido al gran número de objetos en órbitas de resonancia 2:3, a este tipo de objetos se les ha clasificado como "plutinos". Los plutinos destacan por sus órbitas extremadamente inclinadas y excéntricas ( $10^\circ < i < 25^\circ$ ;  $0.2 < e < 0.25$ ), por lo que se teoriza que son el producto de la captura gravitatoria de Neptuno tras la dispersión en la migración planetaria [12].

### 3.2. Disco disperso

El disco disperso se puede entender como una estructura, superpuesta con el cinturón de Kuiper, aunque se extiende mucho más allá de la parte principal del cinturón de Kuiper. Los cuerpos del disco disperso (SDOs) se caracterizan por no estar encerrados en resonancia orbital con el gigante de hielo, pero tampoco se sitúan lo suficientemente lejos como para que estén fuera de su alcance e influencia.

Lo que los diferencia de los KBOs es que, en el caso de los SDOs, a menudo tienen órbitas muy inclinadas, llegando incluso hasta  $40^\circ$  respecto al plano de la eclíptica. Además, en comparación con las de los KBOs, las órbitas de los SDOs también son mucho más excéntricas. Sin embargo, existe un debate por la comunidad científica sobre si se debe considerar el disco disperso como parte del cinturón de Kuiper o no [12, 17].

En esta región se encuentra uno de los planetas enanos más famosos, Eris, cuyo descubrimiento condujo al replanteamiento de la definición de planeta por la IAU, clasificando a Plutón como planeta enano [12].

### Formación y origen

Se cree que su origen es parecido al del cinturón de Kuiper, como producto de la migración planetaria. Mientras que algunos de los objetos dispersos dieron lugar al cinturón de Kuiper, otros fueron expulsados hacia órbitas más caóticas, en lo que se conoce hoy como el disco disperso. El disco disperso sigue evolucionando, ya que aquellos KBOs en resonancias orbitales débiles con Neptuno desarrollan inestabilidades orbitales débiles que pueden conducir a un desplazamiento hacia el disco disperso. Esto llevó a un agrandamiento gradual del disco disperso [12, 14].

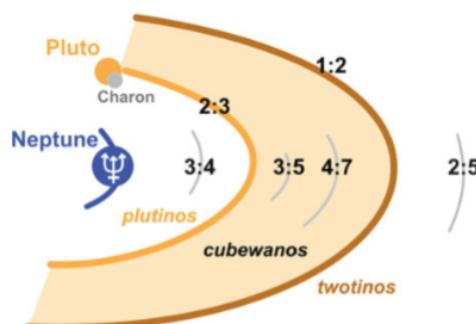


Figura 1: Estructura del cinturón de Kuiper y áreas resonantes [12].

### 3.3. Más allá del disco disperso

En un principio se había pensado que entre el disco disperso y la zona interior de la nube de Oort no habría nada. Sin embargo, esta hipótesis fue refutada tras el descubrimiento de Sedna (2003 VB12) en el año 2003, llamando la atención de muchos científicos por sus particulares características, como una órbita muy excéntrica y un perihelio mucho más grande que otras poblaciones de TNOs. Sedna tiene un perihelio a unas 75 UA del Sol, por lo que los objetos transneptunianos cuyo perihelio es mayor a 50 AU y semieje mayor que 150 AU se les define como "sedniones", formando parte de los llamados objetos separados o *Detached Objects* (DOs). Hasta ahora, hay al menos nueve objetos separados descubiertos, entre los cuales, Sedna figura como el más grande y distante [6, 12].

### 3.4. Nube de Oort

Finalmente, tenemos a la nube de Oort, una gigante nube esférica de miles de millones de pequeños objetos helados que envuelven al sistema solar entre aproximadamente 1000 AU y 100000 AU del Sol. A su vez, la nube de Oort se puede dividir en dos regiones, la nube de Oort interior, extendida aproximadamente entre unas 2000 y 20000 UA y de morfología parecida a una rosquilla, y la nube de Oort exterior, con una extensión aproximada desde unas 20000 UA hasta unas 100000 UA, cuya forma es esférica [12, 14].

#### Formación y origen

A la hora de hablar del origen de la nube de Oort, hay que situarse en el contexto de las primeras etapas del sistema solar. En la comunidad científica, la hipótesis más aceptada es la de que los planetesimales helados se fundieron mucho más cerca del Sol y después fueron dispersados hacia el exterior con órbitas elípticas y parabólicas. Estos cuerpos pequeños podrían haber formado la nube de Oort exterior o incluso haberse alejado mucho más allá, lejos de la influencia del Sol.

Recientes investigaciones sugieren que una considerable cantidad de objetos de la nube de Oort proviene del intercambio de material entre el Sol y sus estrellas hermanas en sus procesos de formación. También hay estudios de que la masa de la nube de Oort alcanzó su punto máximo sobre unos 800 millones de años después de la formación, con un posterior decaimiento en su cantidad.

Existen modelos que también plantean el reabastecimiento de la nube de Oort por parte del disco disperso, principal fuente de cometas periódicos del sistema solar. De hecho, el disco disperso podría seguir siendo el suministrador de material a la nube de Oort, por lo que se teoriza que un tercio de la población del disco disperso acabe formando parte de la nube de Oort en aproximadamente unos 2500 millones de años [12, 18].

### 3.5. Otras poblaciones

Existe otro grupo de poblaciones que, a diferencia de encontrarse en la parte principal del cinturón de Kuiper o en el disco disperso, han sido extraídos de dichas regiones principales, ya sea por la influencia gravitatoria de Neptuno u otro planeta masivo [15].

Por tanto, para aquellos cuerpos rocosos que orbitan alrededor del Sol dentro de la distancia de órbita de Neptuno pero a la vez más allá de la de Júpiter podemos encontrarnos a los "centauros" y a los "troyanos neptunianos" [26].

#### 3.5.1. Centauros

Los centauros se asocian a aquellos cuerpos pequeños cuyo semieje mayor o perihelio se ubica entre las órbitas de Júpiter y Neptuno, con una gran inestabilidad de sus órbitas, sin resonancia con los planetas exteriores. Sin embargo, debido a las fuertes interacciones gravitatorias con los gaseosos, una gran parte de ellos está destinada hacia regiones exteriores o incluso a ser expulsada del sistema solar interior [4, 12].

Estos cuerpos comparten la naturaleza característica, tanto las de asteroide como la de los cometas. Un ejemplo de ellos es Chirón (o Quirón), catalogado como el primer centauro descubierto. Al principio se comportó como cualquier asteroide, pero más tarde sorprendió a los astrónomos con su actividad cometaria al mostrar coma, una atmósfera visible alrededor del núcleo de gas y polvo, característica típica de los cometas. Sin embargo, el tamaño de Chirón era demasiado grande para ser un cometa.

Debido a la difícil distinción, muchos centauros tienen asignaciones, tanto de asteroide como de cometa. Por ejemplo, Quirón tiene dos asignaciones: 95 P/Quirón o (2060) Quirón [12].

En cuanto a su origen, se baraja la posibilidad de que sean cuerpos procedentes, tanto del cinturón de Kuiper como del disco disperso. Como las órbitas de los SDOs suelen ser inestables debido a las perturbaciones por la influencia gravitatoria de Neptuno, pueden ser candidatos del origen de los centauros. También como candidatos podrían entrar los KBOs ya que, a pesar de

tener órbitas relativamente estables, hay estudios en los que figura que la influencia gravitatoria de Plutón sobre los otros plutinos puede verse afectada considerablemente [12].

### 3.5.2. Troyanos neptunianos

Como se mencionó anteriormente, en física del sistema solar, los troyanos se entienden como aquellos cuerpos pequeños que comparten órbita conjuntamente con un cuerpo más grande. Al principio se descubrieron sólo para el caso de Júpiter, pero poco después se empezó a descubrir este fenómeno en más planetas, por lo que el término se asoció de forma generalizada a un asteroide o un cuerpo rocoso que orbita un planeta cerca de sus puntos de Lagrange L4 y L5. Los troyanos neptunianos destacan por tener órbitas muy estables, así como una población mucho más rica que la de otros planetas. Hay estudios que teorizan este gran número de troyanos como consecuencia de la migración planetaria en las edades tempranas del sistema solar [12].

### 3.5.3. Cometas de periodo corto y cometas de la familia de Júpiter

Los cometas se pueden clasificar en dos categorías: cometas de periodo corto o periódicos, con periodo orbital inferior a 200 años y los cometas de periodo largo, con periodo orbital mayor a 200 años. Los cometas de periodo corto destacan por órbitas en el plano de la eclíptica, menos excéntricas si se las compara con las de los cometas de periodo largo, cuyo afelio se encuentra más allá de la órbita de Júpiter.

A su vez, dentro de la categoría de cometas de corto periodo se encuentran dos tipos de familias de cometas: los cometas de la familia de Júpiter<sup>4</sup> y los cometas de la familia de Halley<sup>5</sup> [4, 10, 12, 16].

## 4. Técnicas de observación

Dentro de la rama de la astrofísica, se encuentra la astrofísica observacional, encargada del estudio de los cuerpos celestes mediante el uso de telescopios u otros instrumentos astronómicos.

Al estudiar los fenómenos astrofísicos, tanto el equipo como las técnicas suelen ser muy diversas. Por tanto, esto dependerá del tipo del espectro electromagnético en que se hagan las

---

<sup>4</sup>Cometas con períodos orbitales inferiores a 20 años.

<sup>5</sup>Cometas de periodo corto entre 20 y 200 años.

observaciones, de forma que tenemos: radioastronomía, astronomía infrarroja, astronomía óptica y astronomía con rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma. En nuestro caso, este trabajo se centra en la astronomía óptica, ya que los TNOs que vamos a estudiar han sido detectados en el óptico, así como algunos parámetros exclusivos de este tipo de rango electromagnético.

En primer lugar, hablamos de los instrumentos usados así como sus técnicas. Después, se introducen los conceptos básicos de tratamiento de imágenes en astrofísica y los conceptos de fotometría en las observaciones.

## 4.1. Instrumentos y técnicas usadas

### 4.1.1. CCDs

De acuerdo a la parte instrumental, tenemos que hablar sobre el detector que está involucrado en las observaciones astronómicas, los llamados chips "CCD", circuitos integrados grabados en una superficie semiconductor cuya función es convertir los fotones de luz procedentes de una fuente en señales eléctricos.

Su funcionamiento se basa esencialmente en el efecto fotoeléctrico, donde el fotón de la fuente incide sobre un píxel, excitando un electrón del sustrato semiconductor y generando una carga que se va acumulando lentamente. Cuando el software que controla la cámara indica que se deje de almacenar carga, empieza el proceso de lectura de los valores individuales [19, 20, 21, 22, 23, 24].

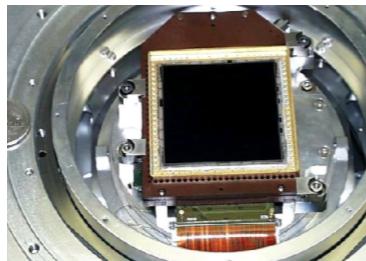


Figura 2: Chip CCD [21].

### 4.1.2. Observatorio y telescopios implicados

En este trabajo presentamos los resultados de las observaciones realizadas obtenidas por el Observatorio Roque de los Muchachos con el "Telescopio Liverpool". Este observatorio se ubica cerca del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, en el municipio de Garafía (La

Palma), a una altitud de 2396 m, con 12 telescopios y con instrumentos astronómicos para distintos tipos de estudio.

En el año 2003 se instaló el mayor telescopio robótico del mundo, el Telescopio Liverpool. Este telescopio se caracteriza por ser un reflector Cassegrain de 2 metros sobre una montura de tipo altacimutal. Cubre un rango de altitudes desde  $25^\circ$  hasta  $88^\circ$  y dispone de una cámara CCD de  $2048 \times 2064$  píxeles, con un campo de visión de  $10 \times 10$  minutos de arco [25, 26].



(a) Observatorio del Roque de los Muchachos.

(b) Telescopio Liverpool.

Figura 3: Instalaciones e instrumentos implicados en este trabajo.

## 4.2. Calibraciones y fotometría de imágenes.

En astrofísica observacional, si estamos interesados en poder determinar el período de rotación y la amplitud de la curva de luz, es necesario planificar un programa de observación para el cuerpo celeste a estudiar. Para ello, es necesario planificar de manera eficiente el tiempo disponible del uso del telescopio. Sin embargo, hay que tener en cuenta varios factores a la hora de la observación, ya sea el tiempo meteorológico, los problemas técnicos u otro tipo de incidencias.

También hay que considerar que las campañas de observación normalmente se llevan a cabo con un solo telescopio, pero si el objetivo tiene un periodo de rotación muy largo, resulta más conveniente una colaboración entre observatorios de todo el mundo.

Además, también es importante conocer si la luz de nuestro objetivo fuente puede verse alterada por la influencia de otras estrellas, satélites artificiales o aviones dentro del campo de visión nocturno. Por ello, es necesario planificar muy bien las observaciones, así como un plan de reserva en caso de alguna circunstancia que impida una buena ejecución final [10, 11, 20, 27].

#### 4.2.1. Tratamiento de imágenes

El primer paso en las observaciones astronómicas es la correcta calibración las imágenes y, por ello, aquellas fuentes de señales que no son de origen astrofísico deben ser corregidas o eliminadas para evitar una contaminación de los datos de nuestro objeto de interés.

Estos efectos surgen como consecuencia de los píxeles de un chip CCD, ya que un píxel puede diferir de los demás en cuanto a sensibilidad en luz blanca, encontrándose valores distintos a la hora de la interpretación de señal. También hay que tener en cuenta el ruido aleatorio generado por cada píxel, que depende de la temperatura del detector [20, 24].

Para poder corregir este problema, se emplean unas imágenes especiales que nos ayudarán a captar y corregir los defectos de las cámaras CCD y otros efectos diferentes de las señales instrumentales.

##### ■ Bias

Por lo general, los detectores CCD están configurados de tal forma que aplican un valor fijo de ruido a todos los píxeles, evitando así resultados negativos. Es por ello que, en primer lugar, se deben realizar las imágenes llamadas *bias*, imágenes tomadas con el diafragma de la cámara cerrado y tiempo de exposición igual a cero. Estas imágenes corresponderían a ese nivel electrónico que se suma a la señal durante la lectura del CCD.

El bias se suele tomar al principio y al final de cada noche de observación. Después, se obtiene la mediana o la media de todas ellas, a la que se denomina *máster bias*, por lo que a cada imagen tomada se le debe sustraer el *máster bias* [10, 11, 20].

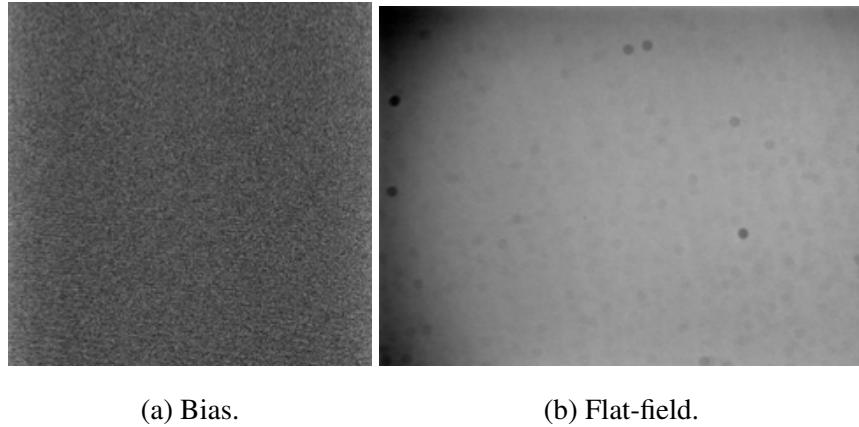
##### ■ Flat

El problema con los detectores CCD es que, a la hora de la observación, pueden estar iluminados de manera no uniforme y, por tanto, retener variaciones en cada pixel.

Por ello, el objetivo es crear una imagen que compense estos problemas de variación en la respuesta de píxeles a la hora de aplicar a las imágenes de ciencia. A esta imagen de calibración es lo que se conoce como *flat* o *flat-field*. Los flat también son útiles para corregir problemas como el polvo del filtro o el polvo en la ventana de la cámara, además de la disminución de luz lejos de la zona central.

Normalmente se utilizan campos de cielo “sin objetos” (blank fields) o se toman exposiciones de lámparas apropiadas con la cúpula cerrada. Sin embargo, la mejor fuente de

iluminación uniforme se puede obtener del amanecer o del atardecer, durante el crepúsculo. Estas imágenes se deben tomar para cada filtro que se vaya a utilizar cada noche. Por ello, se suelen tomar varias y se utiliza el *flat-field promedio*. A cada flat-field, se le resta el máster bias, y luego se le divide por la mediana de los mismos flat-field, dando lugar al *flat-field normalizado*. Entonces, en cada imagen de ciencia, una vez sustraído el máster bias, se dividida por este nuevo flat-field normalizado [10, 11, 20].



(a) Bias. (b) Flat-field.

Figura 4: Ejemplos de imágenes de calibración.

#### ■ Rayos cósmicos

Los rayos cósmicos son partículas de alta energía que viajan por el espacio y llegan hasta la Tierra. Estas partículas tienen consecuencias en las observaciones, donde si un rayo cósmico impacta sobre el detector, este puede activar el píxel de manera similar a como lo hacen las fuentes luminosas, dando lugar a un aumento en la intensidad que se manifiesta en algunos píxeles.

Suele ser un proceso que ocurre al azar, aunque no es un problema a la hora de trabajar con las imágenes. No obstante, si se activa los píxeles cerca de nuestro objetivo astronómico, puede alterar la medida de su intensidad, por lo que existen algoritmos de eliminación de rayos cósmicos [10, 11, 19, 20].

#### ■ Píxeles malos

A veces, las CCD pueden presentar defectos de fabricación o daños sufridos, dando lugar a píxeles que muestran valores no coincidentes con la intensidad de luz que recibieron. Es por ello que también existen algoritmos para procesar las imágenes y eliminar los píxeles malos o sustituirlos por valores de la interpolación de los píxeles vecinos [10, 11, 19, 20].

#### 4.2.2. Conceptos de fotometría

Una vez nuestras imágenes han sido calibradas, se procede a continuación a hacer fotometría, es decir, la técnica de medir el brillo de objetos astronómicos. Hacer fotometría es lo mismo que calcular la cantidad del flujo emitido o reflejado de una fuente, aunque hay dos caminos a la hora de hacer el análisis fotométrico.

##### ■ Fotometría diferencial

Se denomina fotometría diferencial al estudio fotométrico de una estrella o fuente variable, cuya magnitud se compara con la de otras estrellas en la misma imagen (con magnitud conocida o asumida y constante). Con esta técnica no es necesaria la magnitud exacta de la estrella compañera si nuestro objetivo de interés es la amplitud de la variación de brillo y el periodo temporal de variación de la estrella variable [10, 11, 20].

##### ■ Fotometría absoluta

La fotometría absoluta o también llamada *all-sky*, es aquella técnica fotométrica en la que se usan las denominadas estrellas de calibración, es decir, estrellas de magnitudes bien conocidas medidas con mucha precisión [10, 11, 19].

En el caso de los TNOs, esta técnica es empleada para la estimación de sus propiedades físicas, como el tamaño, y que en nuestro trabajo ha sido empleado el catálogo fotométrico *ATLAS* [28].

A la hora de seleccionar nuestro objeto astronómico de interés, se utiliza la denominada fotometría de apertura, que consiste en medir el brillo aparente del objeto a través de una región circular en torno a él, llamada *apertura*, y de la que se mide la cantidad de luz en dicha región. Al flujo de dicha apertura se le resta el flujo de un anillo alrededor de ella, denominado *sky annulus* [10, 11, 19, 24].

En el programa Tycho-Tracker, los valores de dichos círculos se crean automáticamente a la hora del tratamiento de las imágenes. Aún así, según las características del telescopio usado para tomar las imágenes y su resolución, estos valores habrá que modificarlos a nuestra conveniencia, de forma que lo adaptamos a nuestra imagen y así evitamos problemas.

La elección de dicho radio de apertura se hace siguiendo el criterio de obtención de una relación S/N más alta, a la vez que se minimiza la contribución del cielo, pero también se busca

que sea lo suficientemente grande para poder incluir la mayor parte del flujo del objeto fuente [10, 24].

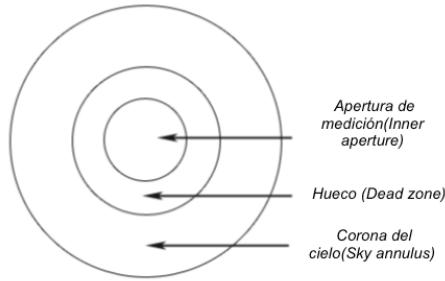


Figura 5: Anillo de fotometría de apertura [24].

Para cada filtro hay que tomar imágenes de las estrellas con diferente ángulo de inclinación del telescopio, para muestrear bien la masa de aire. Para un objeto en el zenit, la masa de aire es igual a 1. Si la noche ha sido fotométrica (sin nubes), se puede obtener una recta que nos permite relacionar el flujo instrumental (medido en cuentas sobre la imagen reducida) con el flujo físico a diferentes masas de aire y las estrellas de calibración tomadas a cada filtro.

Entonces, a partir de esa relación, podemos calcular el flujo de nuestros objetos de interés para cualquier filtro durante cualquier momento de la noche de observación [20].

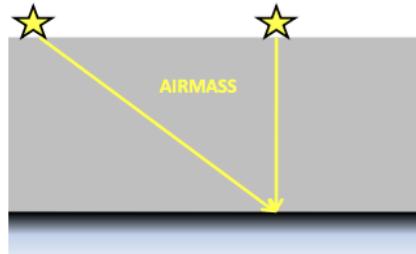


Figura 6: Esquema de la masa de aire.

La atmósfera terrestre actúa como si fuese un filtro, absorbiendo parte de la radiación que nos llega desde el objeto astrofísico. Esta extinción viene cuantificada por el coeficiente de extinción  $k$ . Como esta absorción depende también de la longitud de onda (filtro usado), del estado de la atmósfera en la noche de observación y del recorrido del haz luminoso a través de la atmósfera, será necesario determinar la recta de *Bouger*, si queremos conocer la magnitud aparente de nuestro objeto [29].

El valor de la magnitud corregida por la influencia atmosférica ( $m_0$ ) se expresa de la siguiente manera:

$$m_0 = m - kX, \quad (1)$$

donde  $m$  es la magnitud instrumental<sup>6</sup> en nuestro filtro  $f$  y  $X$  la masa de aire en el tiempo de observación.

A su vez, también sabemos que la magnitud estándar o calibrada ( $M$ ), viene dada por la expresión:

$$M = m_0 + ZP, \quad (2)$$

donde  $ZP$  es conocido como el punto cero asociado al filtro  $f$ .

Introduciendo la ecuación (1) en (2), obtenemos la siguiente expresión [29]:

$$M = m - kX + ZP. \quad (3)$$

La expresión (3) es una simplificación de las ecuaciones necesarias para obtener la magnitud en una banda fotométrica ancha, en la que se desprecian los "términos de color", ya que los filtros y el detector usados raramente son un réplica exacta del sistema del que se trate.

Por tanto, el procedimiento de esta fotometría absoluta reside en tomar imágenes de una serie de estrellas estándar o de calibración, cuya magnitud extra-atmosférica y distancia cenital son conocidas. Para ello, se miden sus flujos en cuentas/s y se representa el valor de  $(m_0 - m)$  frente a  $X$ . Después se hace un ajuste lineal a una recta, cuya pendiente será  $k$  y cuya ordenada en el origen será  $ZP$ . Una vez determinados dichos parámetros, ya se puede medir el flujo del objeto astrofísico problema y usar de nuevo la recta de Bouger, pero ahora con  $m_0$  como incógnita [29].

#### 4.2.3. Sistemas fotométricos

Para los sistemas fotométricos, se puede hacer una clasificación de los filtros según su anchura:

- Banda ancha = FWHM > 500 Å (Johnson-Cousins, SLOAN...)
- Banda intermedia = FWHM ~ 100-300 Å (Strømgren y Sistema DDO)

---

<sup>6</sup>Se obtiene como  $-2.5 \cdot \log_{10}(\text{flujo})$ , donde el flujo es el número de cuentas medidas por el detector por unidad de tiempo, procedentes de la fuente que queremos estudiar.

- Banda estrecha = FWHM  $\sim$  10-100 Å (Sistemas del NIR, Infrarrojo JHKLMNQ...)

En este trabajo, las imágenes con el telescopio Liverpool fueron tomadas en la banda r del sistema SLOAN. Y utilizando el mismo programa Tycho y e-photom, se realiza la conversión para obtener las magnitudes en la banda R de Johnson [30].

## 5. Fotometría de los TNOs y resultados

En esta última sección es donde se llevará a cabo el estudio de los TNOs observados por el Telescopio Liverpool para nuestro trabajo, a partir de las imágenes una vez limpias y listas para obtener de ellas datos e información.

Primero, llevamos a cabo una introducción teórica de las propiedades de los TNOs que se pueden derivar de sus imágenes. Despues, se calcularán los coeficientes de fase y las magnitudes absolutas, con las cuales se puede estimar su diámetro posteriormente. Finalmente, se muestra la tendencia general de los coeficientes de fase, donde se comentan dichas propiedades mediante un histograma con los valores de  $\beta$  obtenidos.

### 5.1. Teoría y propiedades básicas

Para el cálculo de la luminosidad de las estrellas y de los objetos que emiten luz en el cielo, medimos una intensidad u otra. A esta luminosidad la llamamos "magnitud visual", la cual está dentro de una escala logarítmica inversa, es decir, cuanto más luminoso es un objeto, menor es el valor numérico de la magnitud.

#### 5.1.1. Magnitudes visuales

Dentro de las categorías de las magnitudes visuales, está la llamada magnitud absoluta, que hace referencia al brillo que tendría el objeto si nos situamos a una distancia concreta de él. Para el caso de las estrellas, esta distancia es de 10 pc (32 años luz), o lo que es lo mismo, la luminosidad que mediríamos si nos encontráramos a una distancia de 32 años luz de la fuente.

Para cuerpos del sistema solar, en vez de 10 pc, se toma 1 UA<sup>7</sup>, tanto del observador en la Tierra al objeto como del objeto al Sol.

---

<sup>7</sup>1 Unidad Astronómica: Distancia media entre el Sol y la Tierra cuyo valor es de 150 millones de kilómetros.

Por otro lado, también tenemos la llamada magnitud aparente, que hace referencia a la luminosidad o brillo que percibiríamos de un objeto en el cielo sin tener en cuenta su distancia a la Tierra, su temperatura o tamaño. Por convenio, cuanto más brillante sea el objeto, menor será el valor de la magnitud aparente. Además, dependiendo del rango de longitud de onda, las magnitudes pueden especificarse para un tipo de banda de filtro, que vendrá indicado por un subíndice según la banda usada [20].

### 5.1.2. Magnitud absoluta, ángulo y coeficiente de fase

La relación entre la magnitud absoluta y aparente de los TNOs viene dada por la siguiente ecuación [31]:

$$m(R, \Delta, \alpha) = \underbrace{m(1, 1, 0)}_H + 5\log_{10}(R\Delta) - 2.5\log_{10}[\phi(\alpha)], \quad (4)$$

donde  $H$  se refiere a la magnitud absoluta, es decir, la magnitud aparente media en un ciclo de rotación del objeto a un ángulo de fase cero y a 1 UA tanto del Sol como de la Tierra;  $m(R, \Delta, \alpha)$  como la magnitud aparente a una distancia heliocéntrica  $R$ , a una distancia geocéntrica  $\Delta$  y a un ángulo de fase  $\alpha$  (en grados), con un término de función de fase  $\phi$  que puede cambiar según el modelo aplicado. El modelo más usado viene dado por una función del tipo:

$$\phi(\alpha) = 10^{-0.4\beta\alpha}, \quad (5)$$

donde  $\beta$  es el coeficiente de fase lineal (en magnitudes por grado) [10, 11, 32].

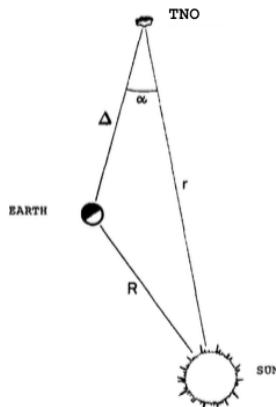


Figura 7: Esquema de las distancias heliocéntrica, geocéntrica y ángulo de fase del TNO [33].

Nuestra intención es obtener  $H$  y  $\beta$  a partir de las magnitudes aparentes medidas de los

TNOs. Si a continuación definimos la magnitud reducida como la magnitud aparente que tendría el TNO a 1 UA tanto del Sol como de la Tierra para un ángulo de fase  $\alpha$ , tenemos que:

$$m_r = m(1, 1, \alpha) = m(1, 1, 0) + \beta\alpha, \quad (6)$$

y que, por tanto, la ecuación (4) se puede reescribir como:

$$m(R, \Delta, \alpha) = m(1, 1, \alpha) + 5\log_{10}(R\Delta). \quad (7)$$

Con esta expresión, a partir de las magnitudes aparentes  $R$  y  $\Delta$  conocidos, obtener la magnitud reducida de nuestro TNO y, a su vez, si representamos  $m_r$  vs  $\alpha$ , obtendremos una recta de pendiente  $\beta$  y ordenada en el origen  $H$ , según la ecuación (6) [10, 32, 34].

Los datos usados para estos cálculos son las magnitudes aparentes en la banda R obtenidos de la fotometría con e-photom y Tycho-Tracker [35], así como las medidas disponibles de algunos telescopios u observatorios en *Minor Planet Center* [36, 37] y otras publicaciones científicas.

### 5.1.3. Diámetro del TNO

El diámetro del TNO se puede obtener si conocemos la magnitud absoluta y su albedo geométrico  $p$  en la misma banda fotométrica, donde la ecuación para el diámetro viene dada por:

$$D[km] = \frac{1.324 \cdot 10^{(3-H_V)/5}}{\sqrt{p_V}} \quad (8)$$

donde  $H_V$  y  $p_V$  son la magnitud absoluta y el albedo geométrico del TNO en la banda V [34]. Para los valores del albedo geométrico se pueden utilizar los valores de aquellos TNOs dentro de la "Lista de objetos exteriores del Sistema Solar" de Wm. Robert Johnston(2022) [38], en "Lista de objetos Trans-Neptunianos" [39] de Wm. Robert Johnston (2018) o de los artículos mencionados en las referencias para cada TNO. Como las magnitudes absolutas calculadas en este trabajo están en la banda R, simplemente hay que sumarle un término de color V-R (según la población del TNO) y así obtener  $H_V$ .

## 6. Resultados del estudio de los Objetos Transneptunianos

En algunos trabajos tiene lugar el estudio de la variabilidad a corto plazo, es decir, cómo varía la curva de luz de TNO como consecuencia de la rotación. En otros, en el estudio de la variabilidad a largo plazo, cuando en la curva de luz se tiene en cuenta el ángulo que forma el vector de velocidad angular con la línea de visión del observador. En nuestro caso, el objetivo de este trabajo es centrarnos en la obtención de los parámetros de coeficiente de fase, es decir, el cambio de magnitud por grado según el ángulo de fase, en unidades de mag/grados, lo que conlleva también la obtención de la magnitud absoluta, así como los residuos de la curva de fase. Esta magnitud absoluta obtenida representaría en realidad un promedio de la magnitud aparente sobre un ciclo de rotación.

Con la magnitud absoluta conocida, también es posible obtener el diámetro de los TNOs si además se conocen sus albedos geométricos en la misma banda fotométrica a considerar.

Por ello, a continuación, vamos a presentar 12 TNOs, para los cuales, con los programas de e-photom y Tycho Tracker se han podido obtener sus magnitudes aparentes respectivas, así como complementado con medidas disponibles de otros artículos y de la base de datos del *Minor Planet Center*.

Los datos de observaciones que se utilizan han sido tomados en el filtro R del sistema fotométrico de Johnson. Para el caso de los parámetros de las imágenes del Telescopio Liverpool, en las tablas del Apéndice aparecen datos como: la fecha juliana correspondiente a la imagen (JD), el tiempo de exposición ( $t_e$ ), la distancia heliocéntrica ( $r$ ), la distancia geocéntrica ( $\Delta$ ), el ángulo de fase ( $\alpha$ ), la masa de aire y el valor de la magnitud aparente en la banda R ( $m_R$ ).

### 1998 SN165

Este TNO pertenece al cinturón clásico de Kuiper, y fue descubierto el 23 de septiembre de 1998 en el Observatorio Nacional Kitt Peak, Arizona (EEUU). Pertenece a la población dinámica fría, con una órbita de excentricidad de aproximadamente 0.04, así como un afelio y perihelio de 39.865 UA y 36.464 UA [36, 37].

Con los datos de la tabla presente en el Apéndice y usando las ecuaciones (6) y (7), podemos representar  $m_r$  vs  $\alpha$  (Figura 8), de modo que con un ajuste lineal obtenemos la magnitud absoluta  $H_R$  y su coeficiente de fase,  $\beta$ .

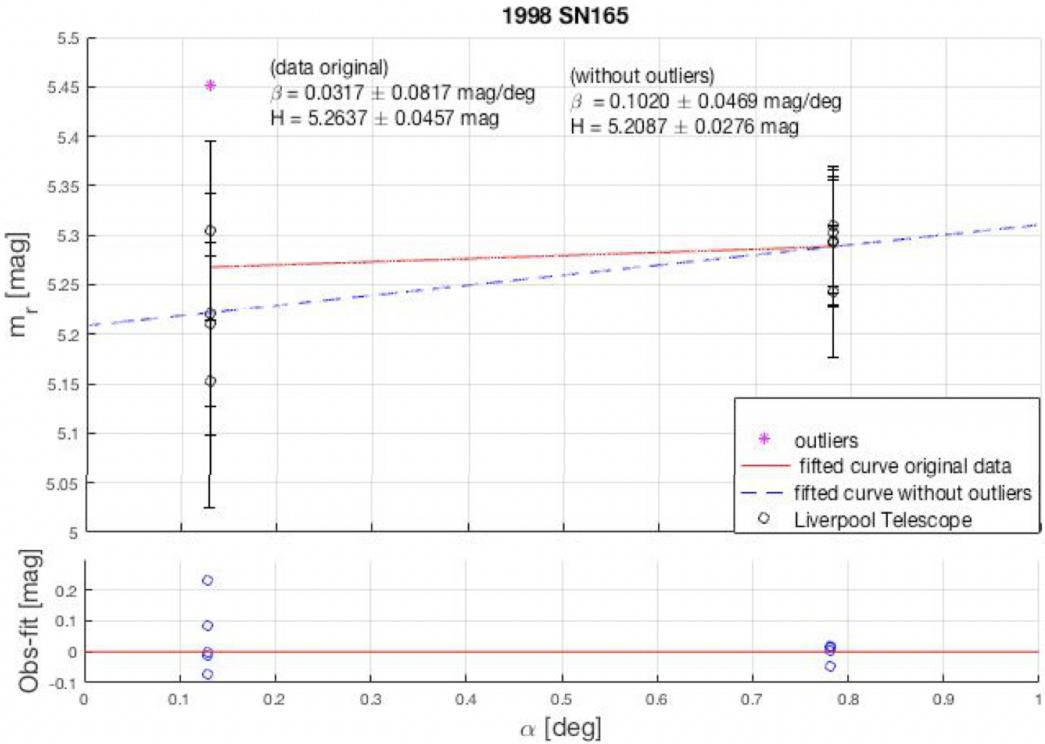


Figura 8: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 1998 SN165.

Podemos observar claramente que, para los datos originales de la fotometría con el programa e-photom y de los demás observatorios, obtenemos un valor de  $\beta$  de  $0.0317 \pm 0.0817$  mag/deg y una magnitud absoluta de  $H_R = 5.2637 \pm 0.0457$  mag. En cambio, si eliminamos los valores atípicos, el ajuste se nos queda en unos valores de  $\beta$  de  $0.1020 \pm 0.0469$  mag/deg y una magnitud absoluta de  $H_R = 5.2087 \pm 0.0276$  mag.

A la hora de calcular su diámetro, aplicando la ecuación (8) y utilizando la magnitud absoluta del análisis sin outliers, un albedo geométrico de  $p_V = 0.06$  [40] y un color de V-R  $\approx 0.42$  [40], obtenemos un diámetro aproximado de  $D \approx 404$  km, un valor cercano a los resultados mencionados en dicho artículo (400 km). Si utilizamos un albedo geométrico de  $p_V = 0.04$  [41], en este caso obtenemos un diámetro aproximado de  $D \approx 490$  km, un valor algo más lejano al resultado estimado en dicho artículo.

Por otro lado, para un albedo  $p_V$  de 0.09 según Wm. Robert Johnston (2018) [38], se presenta un diámetro de aproximadamente 390 km, mientras que con nuestros resultados y usando el mismo albedo y el mismo color, el diámetro obtenido es de  $D \approx 330$  km, una diferencia de 60 km entre resultados.

## 2001 UR163

Este objeto es catalogado como un objeto transneptuniano resonante en la región más externa del sistema solar. Fue descubierto el 21 de octubre de 2001 en el Observatorio Nacional Kitt Peak.

Su órbita es de una excentricidad de 0.29 e inclinación de  $0.7^\circ$ , con un afelio y perihelio de 66.703 UA y 37.090 UA [36, 37].

Los datos de las observaciones tomadas por el Telescopio Liverpool están recogidos en la tabla del Apéndice y que, junto a los artículos D. Perna et al. (2009) [42], nos permite obtener la gráfica que se muestra en la Figura 9:

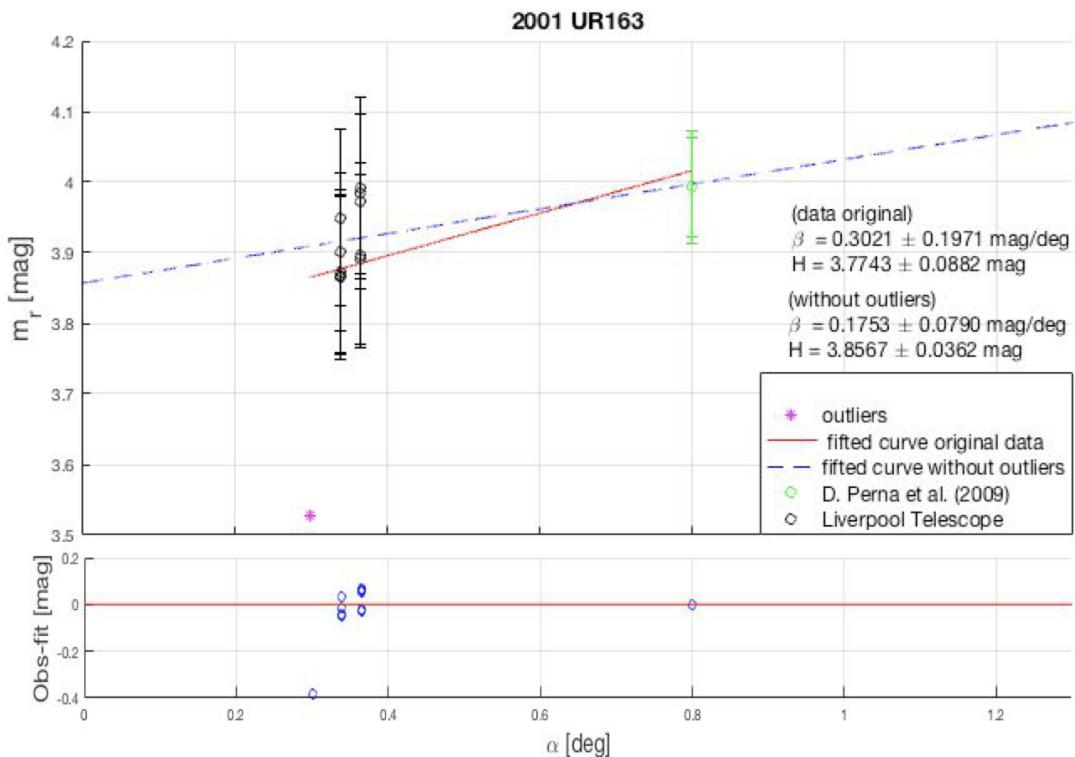


Figura 9: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2001 UR163.

En un principio, con todos los datos recopilados de las fuentes antes mencionadas, obtenemos un coeficiente de fase y una magnitud absoluta de  $\beta = 0.3021 \pm 0.1971 \text{ mag/deg}$  y  $H_R = 3.7743 \pm 0.0882 \text{ mag}$ . Eliminando los valores atípicos, la curva ajustada reduce su inclinación, con lo que dichos parámetros se nos quedan en  $\beta = 0.1753 \pm 0.0790 \text{ mag/deg}$  y  $H_R = 3.8567 \pm 0.0362 \text{ mag}$ .

De la misma manera que en el anterior TNO, aunque los valores de  $\beta$  entran dentro de los rangos permitidos para ambas configuraciones, la más adecuada en este caso es el ajuste con

outliers eliminados.

En cuanto a su diámetro, si consideramos un albedo geométrico de  $p_V = 0.22$  [43], un color  $V-R \approx 0.84$  [44] y la magnitud absoluta sin outliers, el diámetro estimado sería de un  $D \approx 332$  km, una diferencia de más de 100 km respecto valor del mismo artículo, con un tamaño de 261 km [44].

## 2002 WC19

El objeto transneptuniano 2002 WC19 es catalogado dentro del grupo de los twotinos, es decir, cuerpos pequeños con órbitas moderadamente inclinadas y excéntricas ( $i < 15^\circ$ ;  $0.1 < e < 0.3$ ), y caracterizados por su baja estabilidad en las resonancias. Fue descubierto el 16 de noviembre del año 2002 en el Observatorio Palomar, California (EEUU). Su órbita dibuja un eje semi-mayor de 47.703 UA, con un período de aproximadamente 330 años, así como un afelio y perihelio de 60.034 UA y 35.372 UA [36, 37].

Los datos observacionales del telescopio Liverpool se muestran en la tabla del Apéndice. Como dichos datos están muy cercanos entre sí en cuanto al ángulo de fase, incorporamos datos adicionales del *Minor Planet Center* [36, 37], como los obtenidos del Observatorio de Palomar Mountain y del Telescopio Espacial Hubble, por lo que a la hora de hacer el ajuste lineal de la magnitud reducida frente a  $\alpha$ , obtenemos el resultado mostrado en la Figura 10:

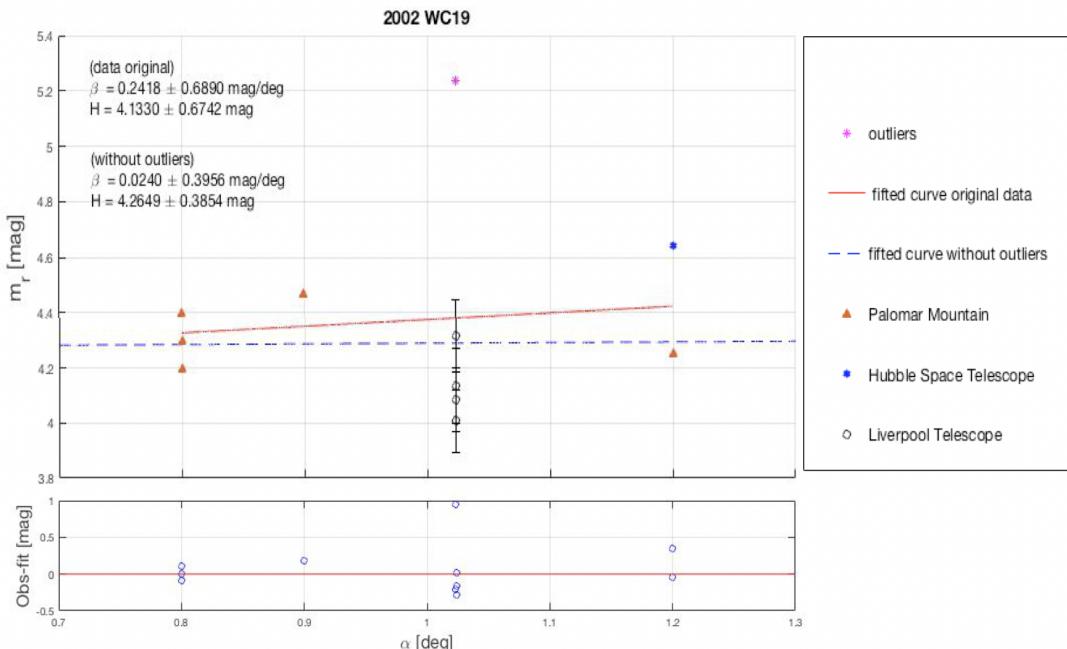


Figura 10: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2002 WC19.

En este caso, se puede observar que si consideramos todos los datos, obtenemos una linea de ajuste con un coeficiente de fase  $\beta = 0.2418 \pm 0.6890$  mag/deg y magnitud absoluta de  $H_R = 4.1330 \pm 0.6742$  mag.

Nótese que, además, en  $\alpha \approx 1.023^\circ$  se encuentra un valor de  $m_r$  que está a más de una unidad de magnitud que la de sus vecinas, por lo que se considera como un valor atípico, ya que es imposible que un TNO se abrillante o se debilite cerca de 1.5 magnitudes con respecto al valor medio debido a que no existe un mecanismo físico capaz de explicarlo, a menos que sea debido a malas medidas por el contagio con una estrella de fondo o por la influencia de otro objeto astronómico.

Por ello, tratando de nuevo el ajuste pero eliminando este valor atípico, se obtiene un nuevo coeficiente de fase de  $\beta = 0.0240 \pm 0.3956$  mag/deg y un valor de magnitud absoluta  $H_R$  de  $4.2649 \pm 0.3854$  mag.

En cuanto a su diámetro, usamos la magnitud absoluta sin outliers, por lo que para un valor de  $p_V = 0.167$  [40] y color V-R  $\approx 0.65$  [40], el valor obtenido es de aproximadamente 336 km, bastante cercano al obtenido por E.Lellouch et al. (2013) [45], de un tamaño de 348 km.

Para el mismo color V-R y un albedo geométrico  $p_V = 0.09$  [38], el valor aproximado de nuestro diámetro es de 458 km, con una diferencia significante al valor de la lista de Wm. Robert Johnston (2018) ( $D \approx 530$  km). Sin embargo, aunque hayamos podido obtener los coeficientes de fase y la magnitud absoluta, para este TNO es necesario más medidas para ángulos de fase por encima y por debajo de  $1^\circ$ , pudiendo así obtener un mejor ajuste de la curva de fase.

Aunque los datos del Minor Planet Center son en general de muy mala calidad fotométrica, ya que el *Minor Planet Center* está centrado en recoger medidas astrométricas, no fotométricas, para determinar órbitas de objetos del sistema solar, en algunas ocasiones hay datos de cierta utilidad en cuanto a la fotometría, si procede de instrumentos potentes en observatorios adecuados.

## 2005 RO43

El objeto 2005 RO43, catalogado como centauro, fue descubierto el 3 de septiembre de 2005 por A. C. Becker, A. W. Puckett y J. Kubica. Su órbita se caracteriza por una excentricidad de 0.517, así como un semieje mayor de 28.744 UA. En cuanto a su perihelio y afelio, vienen dados por una distancia al Sol de 13.861 UA y 43.628 UA [36, 38].

Los datos observacionales obtenidos con e-photom para este objeto vienen dados tanto por

la Tabla del Anexo como por la de los disponibles de los artículos de H. Boehnhardt et al. (2014) y S. C. Tegler et al. (2016) [46, 47].

En cuanto a la representación de la magnitud reducida frente al ángulo de fase, obtenemos el resultado mostrado en la Figura 11:

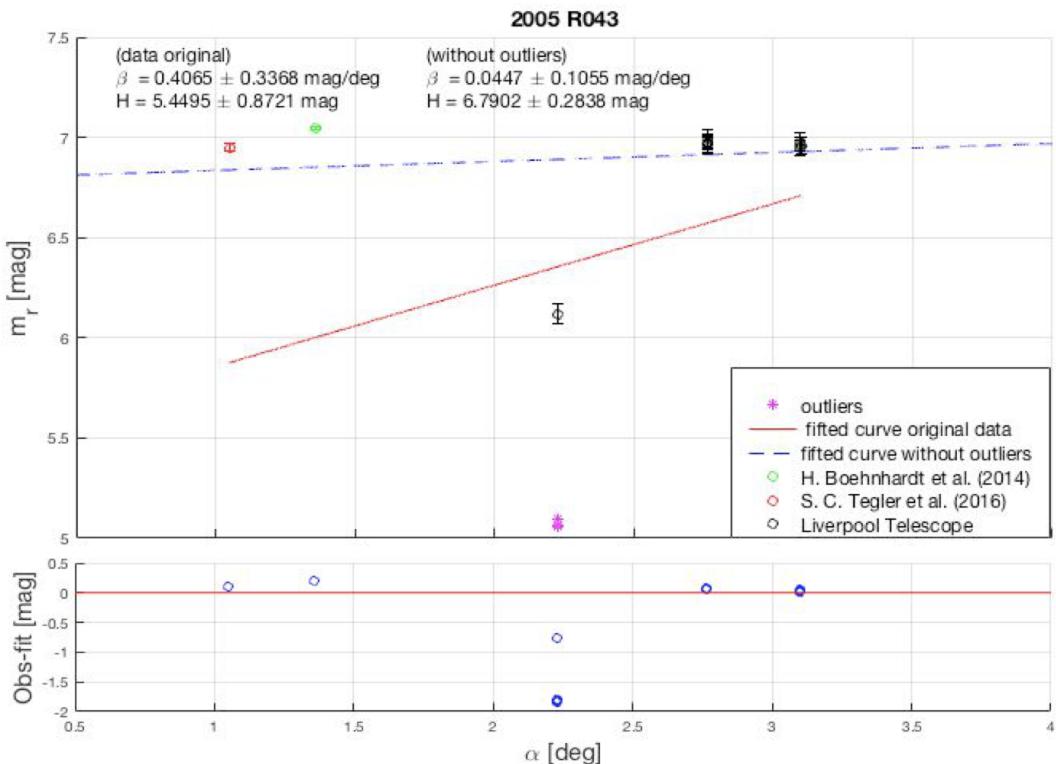


Figura 11: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2005 RO43.

En este caso, en un principio obtenemos un valor de  $\beta$  y  $H_R$  de  $0.4065 \pm 0.3368 \text{ mag/deg}$  y  $5.4495 \pm 0.08721 \text{ mag}$ .

Con este ajuste inicial se puede observar que el coeficiente de fase es muy alto, por lo que volviendo a hacer el ajuste eliminando los valores atípicos, conseguimos un valor de  $\beta$  de unos  $0.0447 \pm 0.1055 \text{ mag/deg}$  y una magnitud absoluta  $H_R$  de  $6.7902 \pm 0.2838 \text{ mag}$ .

Considerando un albedo geométrico para este TNO de  $p_V = 0.056$  según R.Duffard et al. (2014) [48], un color  $V-R \approx 0.47$  [47] y la magnitud absoluta sin outliers, el diámetro estimado con nuestros datos es de aproximadamente  $D \approx 197 \text{ km}$ , un valor bastante cercano al del artículo de R.Duffard et al. (2014), con un diámetro de  $D \approx 194 \text{ km}$  [48]. A pesar de tener unos valores bastante concordantes en las dimensiones, sigue siendo necesarias más medidas para  $\alpha > 1^\circ$ , permitiendo asegurar una mejor curva de fase.

A partir de aquí, para los siguientes TNOs la fotometría ha sido realizada por nosotros

mismos con ayuda del programa Tycho-Tracker, donde se ha trabajado con los archivos fits de cada objeto.

## 2005 RR43

El objeto transneptuniano 2005 RR43 es catalogado como cubewano, el cual fue descubierto por A. C. Becker, A. W. Puckett y J. Kubica el 9 de septiembre de 2005, en el Observatorio Apache Point, Nuevo México (EEUU).

En cuanto a sus características orbitales, presenta una excentricidad de 0.143, con un semieje mayor de 43.408 UA, y con un perihelio y afelio de 37.194 UA y 49.622 UA [36, 37].

Los datos observacionales son obtenidos mediante Tycho-Tracker permitiéndonos hacer el ajuste mostrado en la Figura 12:

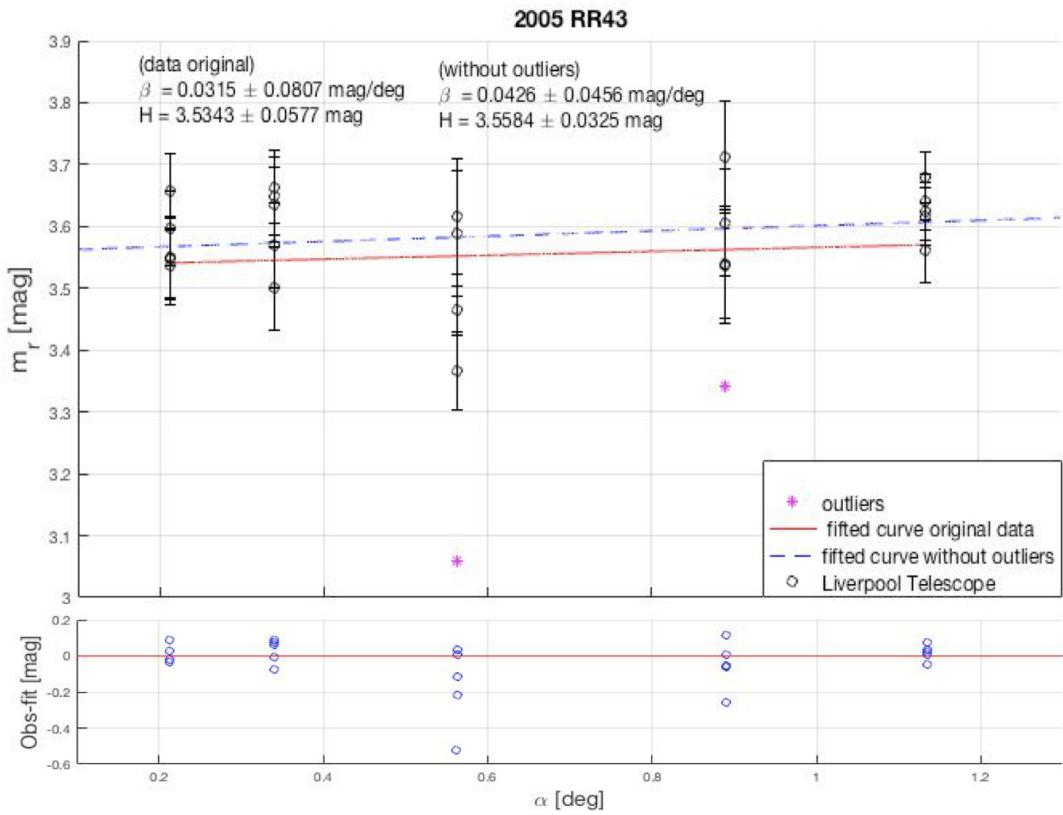


Figura 12: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2005 RR43.

Con los datos originales de las observaciones del Telescopio Liverpool se obtiene un coeficiente de fase de  $\beta = 0.0315 \pm 0.0807 \text{ mag/deg}$  y una magnitud absoluta de  $H_R = 3.5343 \pm 0.0577 \text{ mag}$ . En cambio, al eliminar los outliers, la curva de ajuste gana ligeramente un poco de pendiente, obteniéndose valores de  $\beta = 0.0426 \pm 0.0456 \text{ mag/deg}$  y  $H_R = 3.5584 \pm 0.0325$

mag.

En cuanto a su tamaño, usando la magnitud absoluta sin outliers y considerando un albedo geométrico de  $p_V = 0.44$  [38] y un color de  $V-R \approx 0.39$  [40], se presenta un diámetro aproximado de 323 km, cercano al valor de la lista de W.R. Johnston (2018) [38], con un valor de  $D \approx 300$  km, reflejando un acercamiento entre ambos resultados.

Además, este TNO es de los que mejores resultados da en el cálculo de los parámetros de interés mencionados debido a la gran cantidad de datos obtenidos, así como a la linealidad en la distribución respecto a su ángulo de fase.

## 2010 RF64

El TNO 2010 RF64 es un cubewano descubierto el 9 de septiembre de 2010 en el Observatorio La Silla (Chile). Su órbita alrededor del Sol es de aproximadamente 286 años, con una ligera elipticidad y una excentricidad orbital de 0.180, inclinada sobre unos  $28.66^\circ$  sobre el plano de la eclíptica. En cuanto a su perihelio y afelio, tienen una distancia al Sol de 35.567 UA y 51.247 UA [36, 37].

Con Tycho-Tracker hacemos nuestra propia fotometría, por lo que la curva de fase resultante es la que se muestra en la Figura 13:

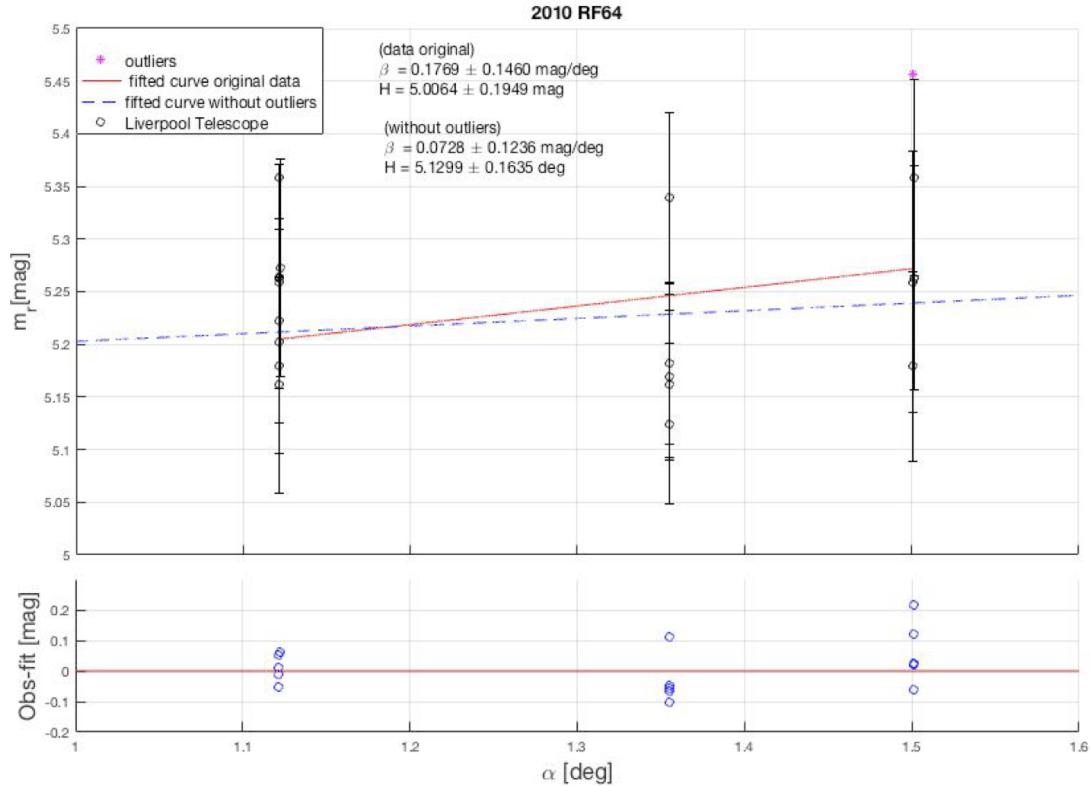


Figura 13: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2010 RF64.

A la hora del ajuste de la magnitud reducida en función del ángulo de fase, se obtiene que, usando todos los datos, el coeficiente de fase es de  $\beta = 0.1769 \pm 0.1460$  mag/deg y la magnitud absoluta  $H_R$  es de  $5.0064 \pm 0.1949$  mag. Eliminando los outliers, la recta de ajuste pierde pendiente, adquiriendo un valor de  $\beta = 0.0728 \pm 0.1236$  mag/deg y la magnitud absoluta  $H_R$  de  $5.1299 \pm 0.1635$  mag.

En cuanto a su diámetro, en la lista de Wm. Robert Johnston (2018) [38] presentan, para un albedo de  $p_V = 0.09$ , un diámetro de  $D \approx 440$  km. Al pertenecer a la misma población que el TNO 1998 SN165, asumimos el mismo color  $V-R \approx 0.47$ , y con el mismo valor de albedo y con  $H_R$  del ajuste sin outliers, obtenemos unas dimensiones de  $D \approx 334$  km, una diferencia de más de 100 km entre los resultados. Para este TNO también sería necesarias más medidas, sobre todo entre ángulos de fase  $\alpha = 1^\circ$  y  $\alpha = 1.5^\circ$ .

## 2011 KT19

El siguiente objeto transneptuniano, conocido como 2011 KT19, es un centauro descubierto en 2011 por Mount Lemmon Survey. Se caracteriza por tener una órbita bastante inclinada, de aproximadamente  $110^\circ$  sobre el plano de la eclíptica, es decir, la órbita alrededor del Sol es

retrógrada. Además, su excentricidad orbital es de 0.330 y su afelio y perihelio son de 47.547 UA y 23.907 UA [36, 38].

En este caso, también concatenamos los datos del Telescopio Liverpool con los de los observatorios disponibles en *Minor Planet Center* y los nuevos datos recogidos por el Observatorio de Sierra Nevada.

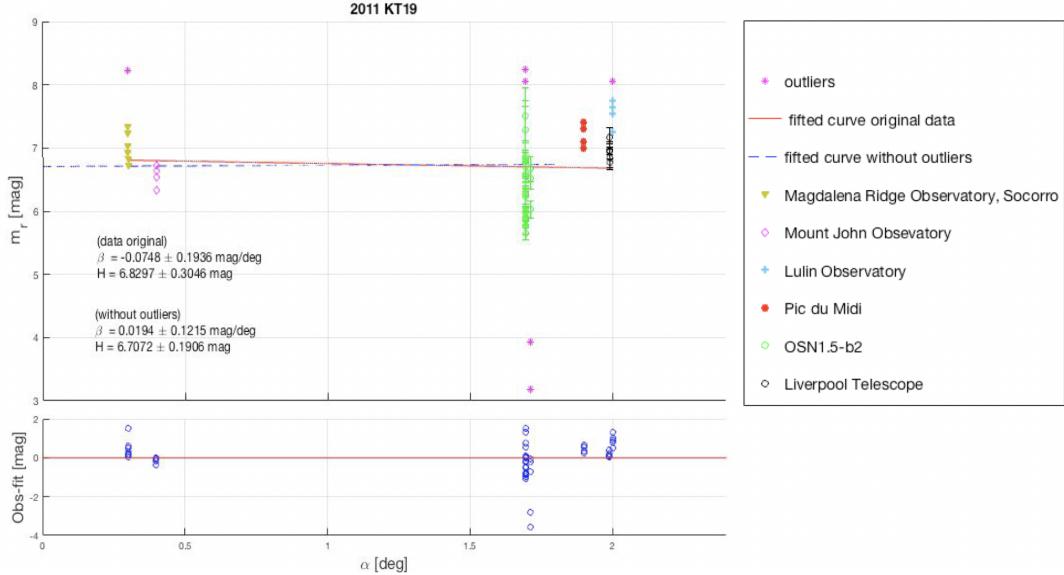


Figura 14: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2011 KT19.

Como podemos observar, al hacer el ajuste lineal con todo el conjunto de datos, el coeficiente de fase es negativo, con  $\beta = -0.07481 \pm 0.1936 \text{ mag/deg}$  y magnitud absoluta de  $H_R = 6.8297 \pm 0.3046 \text{ mag}$ . Si eliminamos los valores atípicos, conseguimos un coeficiente de fase positivo  $\beta$  de  $0.0194 \pm 0.1215 \text{ mag/deg}$  y una magnitud absoluta de  $6.7072 \pm 0.1906 \text{ mag}$ .

Si queremos obtener el diámetro de este TNO, quedándonos con la magnitud absoluta del ajuste sin outliers para un  $p_V$  de 0.09 [39] y asumiendo un color  $V-R \approx 0.47$ , obtenemos un diámetro de aproximadamente 161 km, un valor también cercano al disponible en la lista de Wm. Robert Johnston (2022), de aproximadamente 180 km [39].

Sin embargo, también serían necesario más medidas para  $\alpha < 1.7$ , ya que los datos cerca de  $\alpha = 2^\circ$  son mucho menores en comparación con las medidas cerca de  $\alpha = 1.7^\circ$ , de forma que podamos obtener un mejor ajuste.

## 2014 JJ80

El objeto 2014 JJ80 es un centauro de la zona más externa del Sistema Solar. Fue descubierto por un grupo de astrónomos en el Observatorio Haleakala, Hawái (EEUU), el 9 de julio de 2013.

En cuanto a su órbita alrededor del Sol, su excentricidad es de 0.28 y su inclinación de aproximadamente  $19^\circ$  con respecto al plano de la eclíptica, así como su afelio y perihelio son de 55.663 UA y 31.262 UA [36, 37]. Los datos del Telescopio Liverpool también se usarán en conjunto con los tomados por el telescopio de Sierra Nevada.

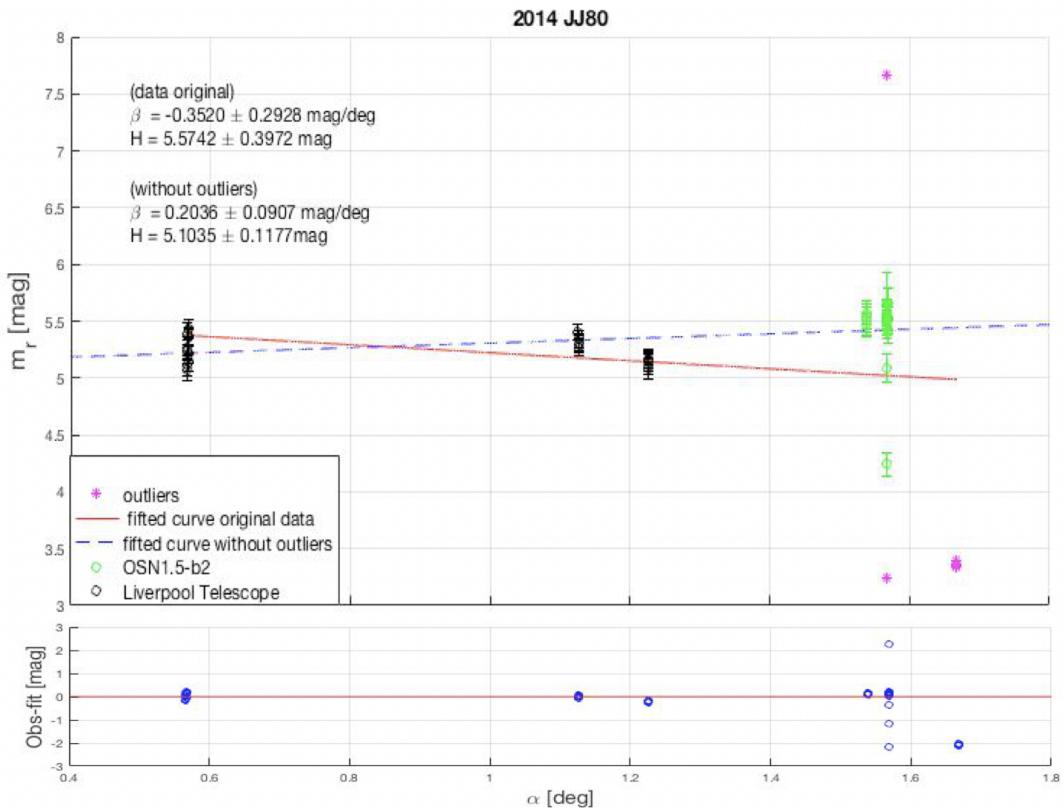


Figura 15: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2014 JJ80.

En este caso, el ajuste experimenta el mismo problema que en el anterior TNO ya que, con todos los datos, la pendiente obtenida es negativa, con un valor de  $\beta = -0.3520 \pm 0.2928$  mag/deg y  $H_R = 5.5742 \pm 0.3972$  mag. Por ello, como esto no es posible, si eliminamos los valores atípicos, logramos obtener una pendiente positiva, en este caso, de  $\beta = 0.2036 \pm 0.0907$  mag/deg y magnitud absoluta  $H_R = 5.1035 \pm 0.1177$  mag.

Para un valor de albedo geométrico de 0.09, el diámetro de la lista de Wm. Robert Johnston (2018) [38] es de 350 km, por lo que usando este mismo valor de  $p_V$  con el valor positivo de  $H_R$  obtenido anteriormente y un color asumido de  $V-R \approx 0.47$  (al igual que el centauro 2005

RO43), el resultado del diámetro estimado es de aproximadamente 338 km, dando un valor cercano entre ambas estimaciones.

## 2014 NW65

El TNO 2014 NW65, catalogado también como un centauro, fue descubierto el 14 de julio de 2010 por un equipo de astrónomos en el Observatorio Haleakala. Tiene un semieje mayor de 23.28 UA, una excentricidad de 0.52 y una inclinación de aproximadamente 20° con respecto a la eclíptica. En cuanto a su perihelio y afelio, son de aproximadamente 11.197 UA y 35.371 UA [36, 37].

Para este TNO también hemos recurrido a hacer nuestra propia fotometría con Tycho-Tracker, cuyos datos se encuentran también en el Apéndice:

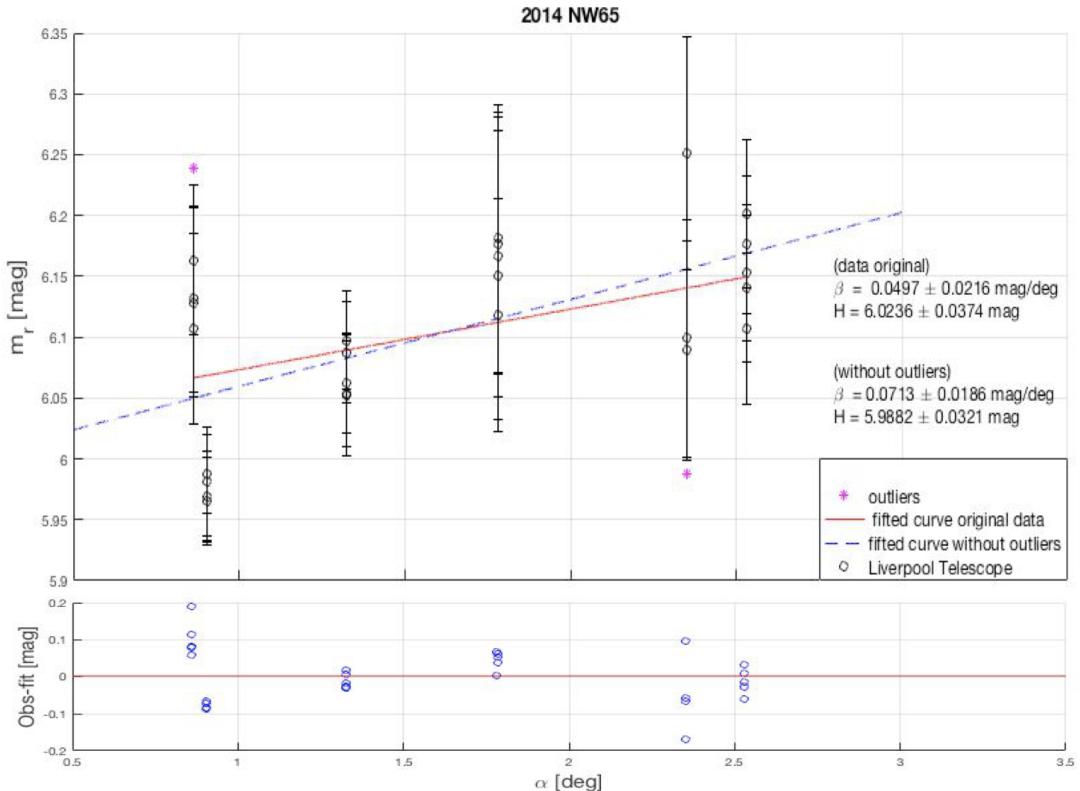


Figura 16: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2014 NW65.

En este TNO, también se han podido obtener más datos para ángulos de fase espaciados entre sí, permitiendo encontrar un valor de  $\beta = 0.0497 \pm 0.0216$  mag/deg y  $H_R = 6.0236 \pm 0.0374$  mag. Si quitamos los valores atípicos, los valores de estos coeficientes son  $\beta = 0.0713 \pm 0.0186$  mag/deg y  $H_R = 5.9882 \pm 0.0321$  mag.

En cuanto a su diámetro, a un albedo geométrico de 0.057, le corresponde un diámetro aproximado de 280 km [39]. Por otro lado, para ese mismo valor de  $p_V$  y un color de V-R  $\approx 0.47$  (al igual que en los anteriores centauros) y la magnitud absoluta obtenida del ajuste sin outliers, con nuestros datos se obtiene un diámetro de  $D \approx 283$  km, acercándose bastante ambos resultados.

## 2014 UM33

El siguiente TNO es conocido como 2014 UM33, también clasificado como cubewano y descubierto el 22 de octubre de 2014 por Mount Lemmon Survey. Debido a sus dimensiones, de aproximadamente 500 km, se califica como posible candidato a planeta enano.

Tiene un periodo orbital aproximado de 284 años, con órbita de semieje mayor 43.24 UA, excentricidad de 0.151 e inclinación de  $17.344^\circ$  con respecto a la eclíptica. Su perihelio y afelio son de aproximadamente 36.669 UA y 49.813 UA [36, 37].

También hemos tratado las imágenes de este TNO con Tycho-Tracker y complementado las medidas con las de algunos observatorios del *Minor Planet Center* dado que las medidas con el telescopio 2m Liverpool en dos ángulos de fase tienen una dispersión algo elevada, obteniendo la curva de fase dada por la Figura 17:

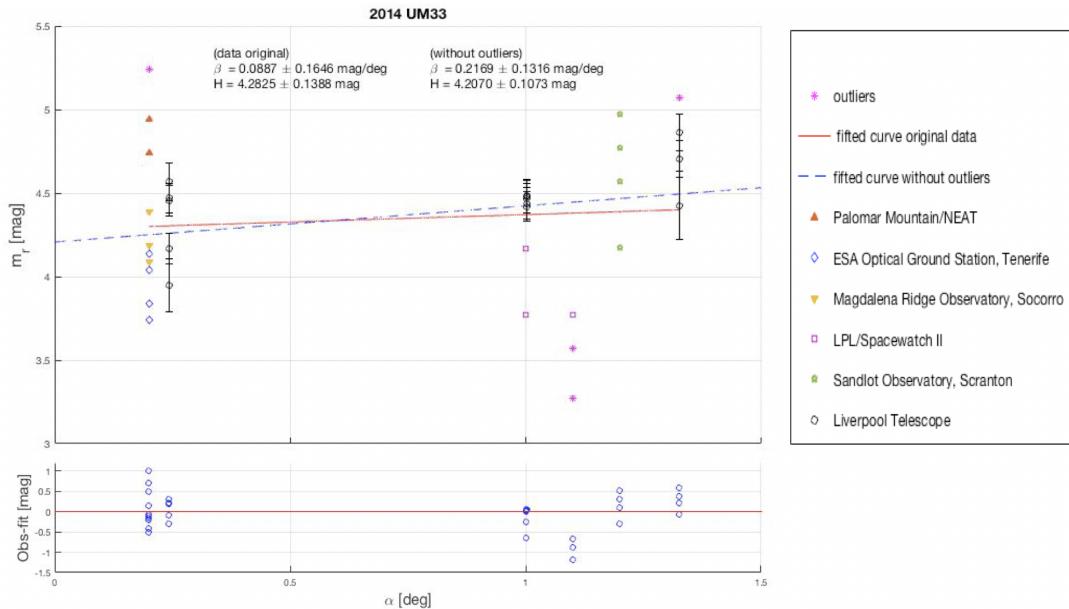


Figura 17: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2014 UM33.

Se puede observar que, a la hora de hacer el ajuste, los valores obtenidos de  $\beta$  y  $H_R$  son  $0.0887 \pm 0.1646$  mag/deg y  $4.2825 \pm 0.1388$  mag. Eliminando valores atípicos con nuestro

algoritmo, el ajuste de la curva de fase nos da un valor de  $\beta = 0.2169 \pm 0.1316$  mag/deg y  $H_R = 4.2070 \pm 0.1073$  mag.

Con la ecuación (8), el diámetro estimado para un albedo geométrico de  $p_V = 0.09$  [38], con la magnitud del ajuste sin outliers y también un color asumido de  $V-R \approx 0.5$  (como cubewano), es de  $D \approx 505$  km, un valor relativamente cercano al obtenido en las listas de Wm. Robert Johnston (2018) [38], con un diámetro de  $D \approx 510$  km .

## 2015 FG345

Este objeto es un transneptuniano del cinturón de Kuiper, clasificado como cubewano y descubierto el 25 de marzo de 2015 en el Observatorio Haleakala.

Tiene un periodo orbital de 272 años con una excentricidad de 0.130, una inclinación de  $36.07^\circ$  con respecto a la eclíptica, y un perihelio y afelio de 36.628 UA y 47.412 UA [36, 37].

Además de los datos de fotometría con Tycho-Tracker, también disponemos de datos recientes tomados con el telescopio del Observatorio de Calar Alto.

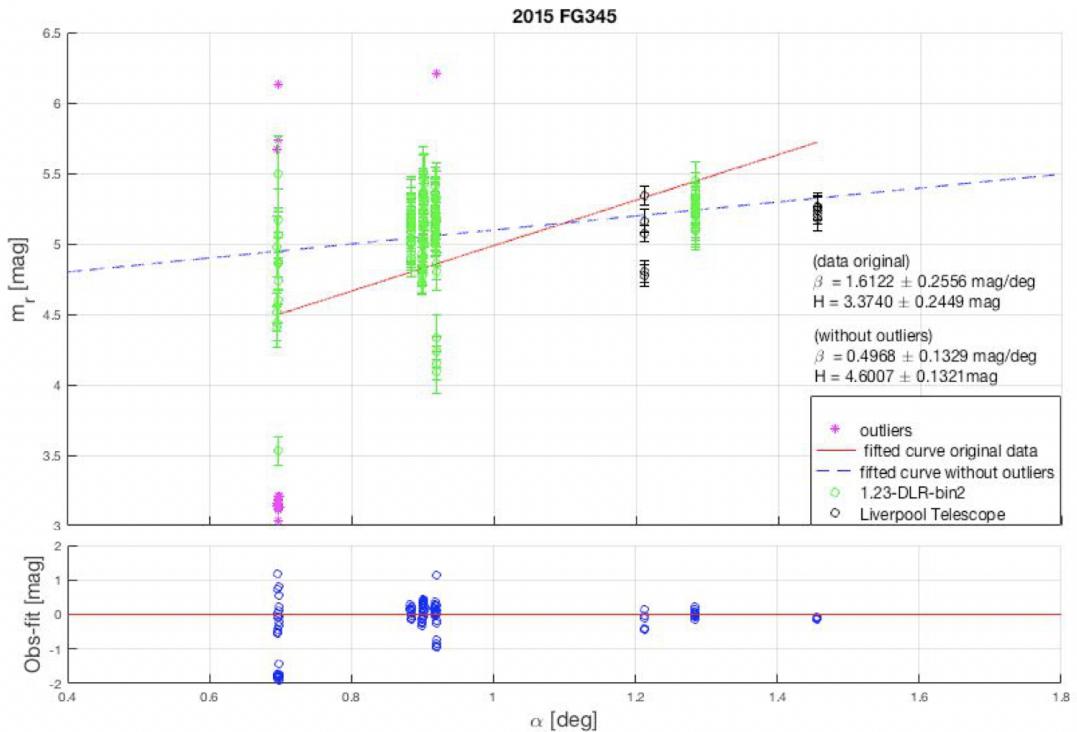


Figura 18: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2015 FG345.

Con este TNO, los valores obtenidos de  $\beta$  y  $H_R$ , considerando el análisis con todos los datos, son  $\beta = 1.6122 \pm 0.2556$  deg/mag y  $H_R = 3.3740 \pm 0.2449$  mag mientras que, eliminando outliers, se nos quedan valores de  $\beta = 0.4968 \pm 0.1329$  mag/deg y  $H_R = 4.6007 \pm 0.1321$

mag. Se puede observar que, eliminando los outliers, el valor de este coeficiente de fase se reduce significativamente, ya que para este TNO, los datos representados muestran bastante dispersión. Sin embargo, este coeficiente de fase del ajuste del ajuste sin outliers se considera relativamente más alto que la del resto de TNOs de estudio. Esto podría solucionarse con más medidas para ángulos de fase mayores que  $1^\circ$ , obteniendo un posible mejor ajuste de la curva.

En cuanto a sus dimensiones, mientras que en la lista de Wm. Robert Johnston (2018) [38] a un albedo geométrico de 0.09 le corresponde a un diámetro de 400 km , con nuestros datos de magnitud absoluta sin outliers y un color de  $V-R \approx 0.42$  (al igual que en los anteriores cubewanos), dicho diámetro adquiere un valor de  $D \approx 430$  km, un resultado algo cercano al disponible en la anterior referencia.

## 2017 OF69

Por último, tenemos al TNO 2017 OF69, el cual fue descubierto el 26 de julio de 2017 por el equipo de astrónomos en los observatorios de Mauna Kea, Hawái (EEUU). Este objeto transneptuniano es catalogado como un plutino, dentro de los grupos resonantes en la región más externa del sistema solar.

Tiene un periodo orbital de aproximadamente 250 años, con un semieje mayor de 39.688 UA. Además, tiene una excentricidad de 0.21, inclinación de  $13.65^\circ$  respecto al plano de la eclíptica y un perihelio y afelio de 31.324 UA y 48.053 UA, respectivamente [36, 38].

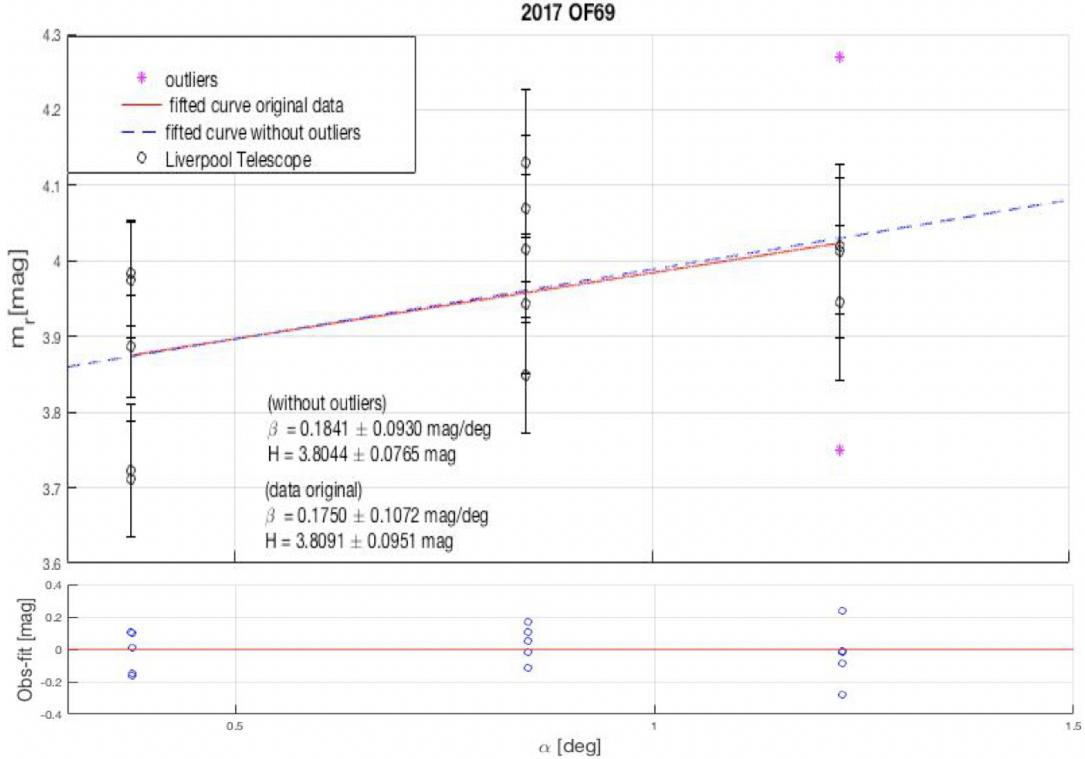


Figura 19: Determinación de  $\beta$  y  $H_R$  de 2017 OF69.

Para este último TNO, los valores de coeficiente de fase y magnitud absoluta, si al principio tenemos en cuenta todos los datos, son  $\beta = 0.1750 \pm 0.1072$  mag/deg y  $H_R = 3.8091 \pm 0.0951$  mag. Si eliminamos los outliers, el ajuste se nos queda en un coeficiente de fase de  $\beta = 0.1841 \pm 0.0930$  mag/deg y magnitud absoluta  $H_R = 3.8044 \pm 0.0765$  mag, es decir, un valor ligeramente superior para el coeficiente de fase con respecto al primer caso.

A la hora de calcular el diámetro de este TNO, el valor estimado para un albedo de 0.079 es de unos 623 km [39], valor muy cercano al nuestro usando el valor de la magnitud absoluta del ajuste sin outliers, el mismo  $p_V$  y color V-R ≈ 0.6, cuyo resultado es de  $D \approx 620$  km.

Si hacemos un histograma de los valores de  $\beta$  obtenidos, se puede apreciar que valor medio de  $\beta$  de nuestros objetos de interés es de 0.13 mag/deg, con una mediana de 0.08 mag/deg (Figura 20). Si comparamos resultados con los obtenidos de otras publicaciones, nuestro valor medio resultante es bastante próximo al obtenido en Alvarez-Candal et al (2016) [34], donde el valor medio obtenido de los coeficientes de fase para más de 100 objetos transneptunianos es de 0.10 mag/deg. También se puede mencionar a los resultados de Rabinowitz et al.(2006) [49], donde los coeficiente de fase para 25 objetos transneptunianos muestra un rango de valores

entre 0.0 y 0.4 mag/deg, un rango similar al de los valores de este trabajo, a excepción de 2015 FG345, cuyo coeficiente de fase excede a los 0.4, con un valor inusual de casi 0.5 mag/deg.

Sin embargo, hay que remarcar que no hay un valor representativo de  $\beta$  para toda la población, por lo que el uso de los valores promedios de  $\beta$  para calcular la magnitud absoluta debe de considerarse con precaución. Además, para obtener una mejor representación de los valores medios de  $\beta$ , es necesario trabajar con muchos más objetos, de manera que el histograma tenga una forma más suave.

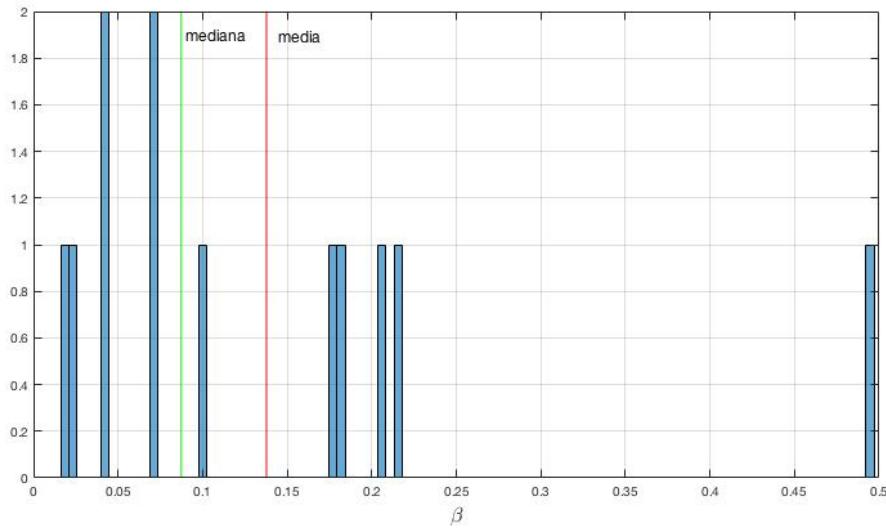


Figura 20: Histograma de coeficientes de fase.

## 7. Discusión y conclusiones

Para este trabajo, se ha tratado con 12 objetos observados con el Telescopio Liverpool pero complementando las magnitudes medidas en la banda R con una extensa revisión bibliográfica, para calcular sus coeficientes de fase y magnitudes absolutas.

Con algunos de estos TNOs ya se podía haber realizado las curvas de fase con los datos fotométricos del programa e-photom. Sin embargo, es importante incluir nuevos datos, especialmente para aquellos ángulos de fase que no están los suficientemente separados entre sí.

En cuanto a la distribución de  $\beta$ , los valores obtenidos muestran unos resultados de beta que se aproximan considerablemente a los obtenidos de otros estudios, como los de Alvarez-Candal et al.(2016) [34] y Rabinowitz et al.(2006) [49]. No obstante, aunque hayamos trabajado con 12 TNOs, para conseguir una buena resolución de la forma de distribución en los valores de  $\beta$ , sería necesario un mayor número de objetos, lo cual va más allá del objetivo de este trabajo.

También cabe indicar que, aunque al hacer el ajuste lineal eliminando valores atípicos en algunos TNOs se logre obtener un valor positivo de  $\beta$ , es posible que en algunos casos dicho coeficiente de fase siga dando negativo, cuyo significado físico podría residir en fenómenos no detectados, como sistemas de anillos, actividad cometaria o contaminación por la influencia de alguna estrella a la hora de la observación. En este tipo de casos se requieren más observaciones.

Como en algunos casos los coeficientes de fase y magnitudes absolutas han sido obtenidas de fuentes heterogéneas, es decir, de una distribución de telescopios, instrumentos y filtros, aunque las técnicas utilizadas son de carácter homogéneo a la hora del análisis de datos, probablemente la precisión no sea tan buena como se deseé. Además, los valores tratados en este trabajo son valores medios, ya que se utilizan observaciones que cubren intervalos de tiempo amplios, lo que implica cambios en la forma en la que refleja la luz.

No obstante, en primera aproximación, se puede considerar que nuestra base de datos es sólida, pudiendo mejorarse con la inclusión de nuevas mediciones en futuras observaciones, ya sea por otras fuentes bibliográficas, incluso realizadas por nosotros mismos.

## Referencias

- [1] Orús Navarro, J. J., Catalá Poch, M. A., y Núñez de Murga, J. *Astronomía esférica y mecánica celeste*. Universidad de Barcelona.
- [2] Trigo Rodríguez, J. M. y Madiedo, J. M. (2013). *Asteroides y cometas como cuerpos progenitores de meteoritos: su peligro de impacto con la Tierra*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 21(3):293-301.
- [3] García Migani, E. (2019). *Actividad cometaria en objetos de la región externa del cinturón de asteroides*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
- [4] Deeg, H. J. y Belmonte, J. A. (2018). *Handbook of Exoplanets*. Capítulo 19. Springer International Publishing.
- [5] Mujica Cueva, J. U. (2021). *OBSERVACIÓN Y ESTUDIO DE (2104) TORONTO*. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [6] Baixauli Romero, M. A. *OBJETOS CLÁSICOS DEL CINTURÓN DE KUIPER*. Tesis de Máster, UNED.
- [7] Lykawka, P. S. y Horner, J. (2010). *The capture of Trojan asteroids by the giant planets during planetary migration*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 405:1375–1383.
- [8] Marzari, F., Scholl, H., Murray, C. y Lagerkvist, C. *Origin and Evolution of Trojan Asteroids*.
- [9] NASA Science. Solar System Exploration Skip Navigation. Oort Cloud.  
<https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/oort-cloud/overview>.
- [10] Thirouin, A. (2013). *Study of Trans-Neptunian Objects using photometric techniques and numerical simulations*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada.
- [11] Fernandez, E. (2017). *Propiedades físicas de objetos transneptunianos y centauros*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada.
- [12] Moltenbrey, M. (2016). *Dawn of small worlds. Dwarf Planets, Asteroids, Comets*. Springer International Publishing.
- [13] NASA Science. Solar System Exploration Skip Navigation. Kuiper Belt.  
<https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/kuiper-belt/exploration/>.
- [14] Wilkinson, J. (2016). *The Solar System in Close-Up*. Capítulo 13. Springer International Publishing.
- [15] NASA Science. Solar System Exploration Skip Navigation. Kuiper Belt.  
<https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/kuiper-belt/in-depth/>.
- [16] Luu, J. X. y Jewitt, D. C. (2002). *KUIPER BELT OBJECTS: Relics from the Accretion Disk of the Sun*. Annual Review of Astronomy and Astrophysics; 40:63-101.

- [17] Chiang, E. I. y Jordan, A. B. (2002). *ON THE PLUTINOS AND TWOTINOS OF THE KUIPER BELT*. The Astronomical Journal; 124:3430–3444.
- [18] Morbidelli, A. (2005). *ORIGIN AND DYNAMICAL EVOLUTION OF COMETS AND THEIR RESERVOIRS*.  
<http://arXiv.org/abs/astro-ph/0512256v1>.
- [19] Detectores astronómicos.  
<https://www.uv.es/fabregaj/apuntes/DetectoresAstronomicos.pdf>
- [20] Warner, B. D. (2016). *A practical Light Curve Photometry and Analysis*. Springer International Publishing, 2º edición.
- [21] FORS 1 - CCD System (2007). CCD Test Report.  
<http://www.eso.org/sci/php/optdet/instruments/fors1/index.html>.
- [22] Doreste Caballero, J. L. (2002). *Tratamiento de Imágenes CCD Astronómicas*. Agrupación Astronómica de Gran Canaria (A.A.G.C.).
- [23] Roca Molina, F. (2014). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y USO DE UNA CÁMARA CCD PARA OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS*. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú.
- [24] AAVSO (2015). *Guía de Fotometría CCD de la AAVSO*. Cambridge, UK.
- [25] The Liverpool Telescope. Observing robotically since 2004.  
<https://telescope.livjm.ac.uk/About/>.
- [26] Instituto de Astrofísica de Canarias. Observatorio del Roque de los Muchachos.  
<https://www.iac.es/es/observatorios-de-canarias/observatorio-del-roque-de-los-muchachos>.
- [27] CSIC (2020). Cómo organizar una campaña de observación astronómica II: Al telescopio.  
<https://cab.inta-csic.es/academiamdm/como-organizar-una-campana-de-observacion-astronomica-ii-al-telescopio>.
- [28] Tonry, J. L., Denneau, L., Flewelling, H., Heinze, A. N., Onken, C. A., Smartt, S.J., Stalder, B., Weiland, H. J. y C. Wolf. (2018). *The ATLAS All-Sky Stellar Reference Catalog*.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1809.09157>
- [29] PHY241 Observational Astronomy. Absolute Photometry using APT and Aladin.  
<http://slittlefair.staff.shef.ac.uk/teaching/phy241/practicals/P07/index.html>.
- [30] Sistemas fotométricos.  
<http://www.astrosen.unam.mx/richer/docencia/tecnicas/sistmafot.pdf>.

- [31] Waszczak, A., Chan-Kao, C., Ofek, E.O., Laher, R., Masci, F., Levitan, D., Surace, J., Yu-Chi, C., Wing-Huen, I., Kinoshita, D., Helou, G., Prince, T.A. y Kulkarni, S. (2015). *ASTEROID LIGHT CURVES FROM THE PALOMAR TRANSIENT FACTORY SURVEY: ROTATION PERIODS AND PHASE FUNCTIONS FROM SPARSE PHOTOMETRY*. The Astronomical Journal; 150(75):1-35.
- [32] Kokotanekova, R., Snodgrass, C., Lacerda, P., Green, S.F., Lowry, S.C., Fernández, Y.R., Tubiana, C., Fitzsimmons, A. y Hsieh, H.H. (2018). *Rotation of Cometary Nuclei: New Lightcurves and an Update of the Ensemble Properties of Jupiter-Family Comets*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society; 471(3):1-38.
- [33] Lagerkvist, C. (1989). *LIGHTCURVE STUDIES OF ASTEROIDS*. Vistas in Astronomy; 32:303-319.
- [34] Alvarez-Candal, A., Pinilla-Alonso, N., Ortiz, J. L., Duffard, R., Morales, N., Santos-Sanz, P., Thirouin, A. y Silva, J. S. (2016). *Absolute magnitudes and phase coefficients of trans-Neptunian objects*. Astronomy & Astrophysics; 155:1-33.
- [35] Tycho.  
<https://www.tycho-tracker.com>
- [36] The International Astronomical Union. Minor Planet Center.  
<https://minorplanetcenter.net/dbsearch>.
- [37] MinorPlanet.info. One Asteroid Info.  
<https://www.minorplanet.info/PHP/oneasteroidinfo.php>.
- [38] Johnston, W.R. (2018). The largest asteroids and outer solar system objects.  
<http://www.johnstonsarchive.net/astro/largestasteroids.htm>.
- [39] Johnston, W.R. (2022). List of Known Trans-Neptunian Objects.  
<http://www.johnstonsarchive.net/astro/tnoslist.html>.
- [40] Belskaya, I. N., Barucci, M. A., Fulchignoni, M. y Dovgopol, A. N. (2014). *Updated taxonomy of trans-neptunian objects and centaurs: Influence of albedo*. Icarus; 250(2015):482–491.
- [41] Lacerda, P. y Luu, J. (2006). *ANALYSIS OF THE ROTATIONAL PROPERTIES OF KUIPER BELT OBJECTS*. The Astronomical Journal; 131:2314-2326.
- [42] Perna, D., Barucci, M. A., Fornasier, S., DeMeo, F.E. Alvarez-Candal, A., Merlin, F., Dotto, E., Doressoundiram, A. y de Bergh, C. (2009). *Colors and taxonomy of Centaurs and trans-Neptunian objects*. Astronomy & Astrophysics; 13654:1-43.

- [43] Fernandez-Valenzuela, E., Pinilla-Alonso, N., Stansberry, J., Emery, J.P., Perkins,W., Van Laerhoven,C., Gladman, B. J. Fraser,W., Cruikshank, D., Lellouch, E., Muller, T. G., Grundy, W. M. Trilling, D., Fernandez, Y. y Dalle-Ore, C. (2020). *Compositional study of trans-Neptunian objects at  $\lambda > 2.2 \mu m$ .*  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.07121>
- [44] Farkas-Takács. A., Kiss, C., Vilenius, E., Marton, G., Müller, T. G., Mommert, M., Stansberry, J., Lellouch, E., Lacerda, P. y Pál, A. (2020). “*TNOs are Cool*”: A survey of the trans-Neptunian region. XV. Physical characteristics of 23 resonant trans-Neptunian and scattered disk objects. *Astronomy & Astrophysics*; 638:1-12.
- [45] Lellouch1, E., Santos-Sanz, P., Lacerda, P., Mommert, M., Duffard, R., Ortiz, J. L., Müller, T. G., Fornasier, S., Stansberry, J., Kiss, C., Vilenius, E., Mueller, M., Peixinho, N., Moreno, R., Groussin, O., Delsanti, A. y Harris, A. W. (2013). “*TNOs are Cool*”: A survey of the trans-Neptunian region. IX. Thermal properties of Kuiper belt objects and Centaurs from combined *Herschel* and *Spitzer* observations. *Astronomy & Astrophysics*; 60:1-19.
- [46] Boehnhardt, H., Schulz, D., Protopapa, S. y Götz, C. (2014). *Photometry of Transneptunian Objects for the Herschel Key Program ‘TNOs are Cool’*. *Earth Moon and Planets*; 114(1-2):35-57.
- [47] Tegler, S. C., Romanishin, W. y Consolmagno, G. J. (2016). *TWO COLOR POPULATIONS OF KUIPER BELT AND CENTAUR OBJECTS AND THE SMALLER ORBITAL INCLINATIONS OF RED CENTAUR OBJECTS*. *The Astronomical Journal*; 152(210):1-13.
- [48] Duffard, R., Pinilla-Alonso, N., Santos-Sanz, P., Vilenius, E., Ortiz, J.L., Mueller, T., Fornasier, S., Lellouch, E., Mommert, M., Pal, A., Kiss, C., Muellers, M., Stansberry, J., Delsanti, A., Peixinho, N. y Trilling, D. (2014). “*TNOs are Cool*”: A survey of the trans-Neptunian region. XI. A *Herschel-PACS* view of 16 Centaurs. *Astronomy & Astrophysics*; 564:1-19.
- [49] Rabinowitz, D. L., Schaefer, B. E. y Tourtellotte, S. W. (2006). *THE DIVERSE SOLAR PHASE CURVES OF DISTANT ICY BODIES. I. PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF 18 TRANS-NEPTUNIAN OBJECTS, 7 CENTAURS, AND NEREID*. *The Astronomical Journal*; 133:26-43.

## Datos fotométricos obtenidos del Telescopio Liverpool

1998 SN165								2005 RR43							
JD	$m_R$	$\Delta$	$\alpha$	R	$t_c$	Air mass		JD	$m_R$	$\Delta$	$\alpha$	R	$t_c$	Air mass	
2459137.5472991	21.1088	36.2978	0.1295	37.2919	400	1.061		2459135.6139741	19.5900	39.2674	1.1344	39.8889	300.0	1.136	
2459137.5521433	20.8678	36.2978	0.1293	37.2919	400	1.061		2459135.6176579	19.6140	39.2673	1.1343	39.8889	300.0	1.125	
2459137.5666782	20.9621	36.2978	0.1292	37.2919	400	1.061		2459135.6213420	19.6530	39.2673	1.1343	39.8889	300.0	1.115	
2459137.5569882	20.8779	36.2978	0.1291	37.2919	400	1.062		2459135.6250262	19.5990	39.2672	1.1342	39.8889	300.0	1.106	
2459172.4046547	20.9693	36.4393	0.7806	37.2883	400	1.114		2459135.6287112	19.5350	39.2672	1.1342	39.8889	300.0	1.097	
2459172.4094994	20.9748	36.4393	0.7807	37.2883	400	1.104		2459149.4942237	19.5030	39.1093	0.8908	39.8935	300.0	1.666	
2459172.4143440	20.9575	36.4394	0.7808	37.2883	400	1.096		2459149.4979078	19.3080	39.1092	0.8907	39.8935	300.0	1.623	
2459172.4191888	20.9599	36.4394	0.7810	37.2883	400	1.088		2459149.5015929	19.5720	39.1092	0.8906	39.8935	300.0	1.582	
2459172.4240334	20.9090	36.4395	0.7811	37.2883	400	1.082		2459149.5027773	19.5050	39.1092	0.8905	39.8935	300.0	1.544	
2459137.5666782	20.9621	36.2978	0.1292	37.2919	400	1.061		2459149.5089610	19.6770	39.1091	0.8905	39.8935	300.0	1.509	
2459137.5569882	20.8779	36.2978	0.1291	37.2919	400	1.062		2459175.5593863	19.4570	38.9419	0.3404	39.9022	300.0	1.039	
2459172.4046547	20.9693	36.4393	0.7806	37.2883	400	1.114		2459175.5630713	19.6070	38.9419	0.3403	39.9022	300.0	1.037	
2459172.4094994	20.9748	36.4393	0.7807	37.2883	400	1.104		2459175.5667558	19.5920	38.9419	0.3402	39.9022	300.0	1.036	
2459172.4143440	20.9575	36.4394	0.7808	37.2883	400	1.096		2459175.5704400	19.6210	38.9418	0.3401	39.9022	300.0	1.035	
2459172.4191888	20.9599	36.4394	0.7810	37.2883	400	1.088		2459175.5741237	19.5260	38.9418	0.3401	39.9022	300.0	1.035	
2459172.4240334	20.9090	36.4395	0.7811	37.2883	400	1.082		2459188.6217981	19.5050	38.9324	0.2131	39.9066	300.0	1.172	
2001 UR163								2459188.6254826	19.4920	38.9324	0.2131	39.9066	300.0	1.186	
2459136.4898762	21.1440	52.5237	0.3385	53.4727	400.0	1.220		2459188.6291677	19.5540	38.9324	0.2131	39.9066	300.0	1.201	
2459136.4947211	21.1109	52.5237	0.3384	53.4727	400.0	1.199		2459188.6328528	19.5060	38.9324	0.2131	39.9066	300.0	1.217	
2459136.4995670	21.1923	52.5237	0.3383	53.4727	400.0	1.180		2459188.6365376	19.6130	38.9324	0.2132	39.9066	300.0	1.234	
2459136.5044123	21.1078	52.5237	0.3382	53.4728	400.0	1.162		2459207.5591906	19.0210	39.0106	0.5625	39.9129	300.0	1.140	
2459136.5092576	21.1154	52.5237	0.3382	53.4728	400.0	1.145		2459207.5628760	19.5500	39.0107	0.5626	39.9129	300.0	1.152	
2459174.4455366	21.2171	52.5713	0.3646	53.4977	400.0	1.052		2459207.5665611	19.4260	39.0107	0.5627	39.9130	300.0	1.164	
2459174.4503814	21.1360	52.5714	0.3647	53.4977	400.0	1.046		2459207.5702840	19.5780	39.0107	0.5628	39.9130	300.0	1.178	
2459174.4552267	21.2360	52.5714	0.3648	53.4977	400.0	1.041		2459207.5739687	19.3280	39.0107	0.5628	39.9130	300.0	1.192	
2459174.4600708	21.1414	52.5714	0.3648	53.4977	400.0	1.037		2010 RF64							
2459174.4649158	21.2293	52.5715	0.3649	53.4977	400.0	1.034		2459077.6813771	20.9560	36.1780	1.3553	36.7130	300.0	1.510	
2002 WC19								2459077.6850694	20.7860	36.1780	1.3553	36.7130	300.0	1.499	
2459617.4518679	20.0285	38.9590	1.0235	39.6482	400.0	1.022		2459077.6887546	20.7410	36.1780a	1.3553	36.7130	300.0	1.489	
2459617.4567134	21.1794	38.9591	1.0236	39.6481	400.0	1.027		2459077.6924384	20.7780	36.1779	1.3552	36.7130	300.0	1.481	
2459617.4615584	20.2582	38.9592	1.0237	39.6481	400.0	1.032		2459077.6961228	20.7980	36.1779	1.3552	36.7130	300.0	1.474	
2459617.4664040	19.9506	38.9592	1.0237	39.6481	400.0	1.039		2459110.6105085	20.3830	35.8894	0.8898	36.7228	300.0	1.477	
2459617.4712489	20.0786	38.9593	1.0238	39.6481	400.0	1.046		2459110.6141928	19.8740	35.8894	0.8898	36.7228	300.0	1.472	
2005 RO43								2459110.6178775	19.8230	35.8893	0.8897	36.7228	300.0	1.468	
2459111.7200523	19.6578	18.5957	3.0978	18.5779	300.0	1.500		2459110.6215626	19.8520	35.8893	0.8897	36.7228	300.0	1.465	
2459111.7237375	19.6380	18.5957	3.0978	18.5779	300.0	1.478		2459171.4419286	20.7720	36.0582	1.1217	36.7408	300.0	1.488	
2459111.7274218	19.6699	18.5956	3.0978	18.5779	300.0	1.458		2459171.4456135	20.8750	36.0582	1.1217	36.7408	300.0	1.483	
2459111.7311057	19.6583	18.5955	3.0978	18.5779	300.0	1.439		2459171.4492983	20.8330	36.0582	1.1218	36.7408	300.0	1.479	
2459111.7347906	19.6504	18.5955	3.0979	18.5779	300.0	1.422		2459171.4529827	20.8130	36.0583	1.1218	36.7408	300.0	1.477	
2459147.6675935	19.6125	18.0492	2.7650	18.5104	300.0	1.340		2459171.4566674	20.8830	36.0583	1.1219	36.7408	300.0	1.475	
2459147.6712778	19.5871	18.0491	2.7650	18.5104	300.0	1.332		2459429.6841384	20.9040	36.4856	1.5011	36.8187	300.0	1.681	
2459147.6749619	19.5981	18.0491	2.7649	18.5104	300.0	1.326		2459429.6938270	20.9000	36.4855	1.5010	36.8187	300.0	1.619	
2459147.6786464	19.5795	18.0490	2.7648	18.5104	300.0	1.319		2459429.6986722	20.8200	36.4854	1.5010	36.8187	300.0	1.592	
2459147.6823313	19.5806	18.0490	2.7648	18.5104	300.0	1.314		2011 KT19							
2459171.6593786	17.6350	17.7710	2.2287	18.4655	300.0	1.326		2459422.3903624	21.3030	28.2556	1.9887	28.5021	400.0	1.065	
2459171.6630635	17.6436	17.7719	2.2286	18.4655	300.0	1.331		2459422.3952068	21.4770	28.2557	1.9887	28.5021	400.0	1.072	
2459171.6674748	17.6444	17.7719	2.2285	18.4655	300.0	1.337		2459422.4000514	21.4950	28.2557	1.9887	28.5021	400.0	1.080	
2459171.6704325	18.7007	17.7719	2.2284	18.4655	300.0	1.344		2459422.4048960	21.6960	28.2558	1.9888	28.5021	400.0	1.089	
Datos obtenidos con Tycho-Tracker (V-R ≈ 0.6)								2459422.4097410	21.3690	28.2559	1.9888	28.5021	400.0	1.099	

# Fotometría de objetos transneptunianos

---

2014 JJ80						
JD	$m_R$	$\Delta$	$\alpha$	R	$t_e$	Air mass
2459124.3594947	20.1900	31.4063	1.2262	32.1385	300.0	1.176
2459124.3631801	20.1720	31.4064	1.2263	32.1385	300.0	1.166
2459124.3668653	20.1610	31.4064	1.2264	32.1385	300.0	1.156
2459124.3705516	20.1380	31.4065	1.2265	32.1385	300.0	1.148
2459124.3742360	20.1060	31.4065	1.2265	32.1385	300.0	1.140
2459153.3515724	18.4420	31.7843	1.6671	32.1280	300.0	1.099
2459153.3552570	18.4410	31.7843	1.6672	32.1280	300.0	1.100
2459153.3589414	18.4130	31.7844	1.6672	32.1280	300.0	1.103
2459153.3626261	18.4020	31.7844	1.6673	32.1280	300.0	1.106
2459153.3663096	18.3880	31.7845	1.6673	32.1280	300.0	1.110
2459416.6902983	20.2690	31.2296	1.1262	32.0354	400.0	1.156
2459416.6951423	20.3140	31.2296	1.1261	32.0354	400.0	1.170
2459416.6999870	20.3430	31.2295	1.1260	32.0354	400.0	1.185
2459416.7048326	20.3000	31.2295	1.1259	32.0354	400.0	1.201
2459416.7096771	20.4030	31.2294	1.1258	32.0354	400.0	1.219
2459452.4646164	20.2200	31.0617	0.5656	32.0231	400.0	1.175
2459452.4694609	20.3790	31.0617	0.5656	32.0231	400.0	1.161
2459452.4743055	20.2570	31.0617	0.5656	32.0231	400.0	1.148
2459452.4791502	20.0550	31.0617	0.5656	32.0231	400.0	1.137
2459452.4839942	20.1010	31.0617	0.5656	32.0231	400.0	1.126
2459453.4988752	20.3500	31.0620	0.5677	32.0228	400.0	1.099
2459453.5037197	20.1990	31.0620	0.5677	32.0228	400.0	1.093
2459453.5085650	20.3510	31.0620	0.5677	32.0228	400.0	1.089
2459453.5134097	20.1260	31.0620	0.5677	32.0228	400.0	1.086
2459453.5182550	20.4160	31.0620	0.5677	32.0228	400.0	1.084
2014 NW65						
2459079.5998723	19.4040	21.5825	0.9043	22.5333	300.0	1.120
2459079.6035560	19.4160	21.5825	0.9043	22.5333	300.0	1.128
2459079.6072400	19.4000	21.5825	0.9042	22.5333	300.0	1.136
2459079.6109251	19.4220	21.5825	0.9042	22.5333	300.0	1.145
2459079.6146096	19.4040	21.5824	0.9041	22.5333	300.0	1.155
2459111.4516394	19.5190	21.6080	1.3250	22.4728	300.0	1.078
2459111.4553234	19.4850	21.6080	1.3251	22.4727	300.0	1.077
2459111.4590086	19.4840	21.6081	1.3252	22.4727	300.0	1.076
2459111.4626927	19.5290	21.6081	1.3253	22.4727	300.0	1.076
2459111.4626927	19.4940	21.6081	1.3255	22.4727	300.0	1.076
2459152.3560592	19.4500	22.0010	2.3504	22.3947	300.0	1.083
2459152.3597440	19.5520	22.0011	2.3505	22.3947	300.0	1.085
2459152.3634285	19.4770	22.0011	2.3505	22.3947	300.0	1.087
2459152.3671140	19.5620	22.0012	2.3506	22.3947	300.0	1.090
2459152.3707984	19.7140	22.0012	2.3506	22.3947	300.0	1.093
2459173.3606327	19.6410	22.2942	2.5303	22.3546	300.0	1.192
2459173.3643172	19.6280	22.2942	2.5303	22.3546	300.0	1.205
2459173.3680017	19.6640	22.2943	2.5303	22.3545	300.0	1.218
2459173.3716865	19.5950	22.2943	2.5303	22.3545	300.0	1.233
2459173.3753717	19.6890	22.2943	2.5303	22.3545	300.0	1.248
2459416.6398478	19.4750	21.1182	1.7832	21.8844	300.0	1.066
2459416.6446919	19.4900	21.1181	1.7830	21.8844	300.0	1.066
2459416.6495370	19.5010	21.1181	1.7829	21.8844	300.0	1.068
2459416.6543817	19.5050	21.1180	1.7827	21.8844	300.0	1.070
2459416.6592263	19.4420	21.1180	1.7826	21.8844	300.0	1.073
2459453.5242485	19.4210	20.8542	0.8616	21.8124	300.0	1.071
2459453.5290936	19.3960	20.8542	0.8616	21.8124	300.0	1.069
2459453.5339383	19.4180	20.8542	0.8616	21.8124	300.0	1.068
2459453.5387831	19.4530	20.8541	0.8616	21.8124	300.0	1.068
Datos obtenidos con Tycho-Tracker (V-R ≈ 0.6)						
2014 UM33						
JD	$m_R$	$\Delta$	$\alpha$	R	$t_e$	Air mass
2459110.6397181	20.8240	42.7602	1.0020	43.4289	300.0	1.025
2459110.6434028	20.8270	42.7602	1.0020	43.4289	300.0	1.022
2459110.6470871	20.8120	42.7601	1.0019	43.4288	300.0	1.019
2459110.6507715	20.7640	42.7601	1.0019	43.4288	300.0	1.017
2459110.6544562	20.7830	42.7600	1.0018	43.4288	300.0	1.014
2459149.6383799	20.2740	42.4357	0.2428	43.4135	300.0	1.121
2459149.6420636	20.8950	42.4357	0.2427	43.4135	300.0	1.132
2459149.6457476	20.4950	42.4356	0.2426	43.4135	300.0	1.145
2459149.6494312	20.7790	42.4356	0.2425	43.4135	300.0	1.158
2459149.6531162	20.7970	42.4356	0.2425	43.4135	300.0	1.172
2459424.6975195	21.2350	43.4588	1.3255	43.3051	400.0	1.281
2459424.7023633	21.4420	43.4587	1.3256	43.3051	400.0	1.254
2459424.7072104	21.5220	43.4587	1.3256	43.3051	400.0	1.230
2459424.7120546	20.7990	43.4586	1.3256	43.3051	400.0	1.207
2459424.7168995	21.0780	43.4585	1.3256	43.3051	400.0	1.186
2015 FG345						
2459272.6884086	20.7630	39.4715	1.2131	39.9979	400.0	1.136
2459272.6932531	20.7960	39.4714	1.2131	39.9979	400.0	1.129
2459272.6980985	21.0670	39.4714	1.2130	39.9979	400.0	1.124
2459272.7029429	21.3330	39.4713	1.2130	39.9979	400.0	1.120
2459272.7077870	21.1540	39.4712	1.2129	39.9979	400.0	1.116
2459423.3831608	21.2270	39.9620	1.4554	39.9478	400.0	1.266
2459423.3880046	21.2540	39.9621	1.4554	39.9478	400.0	1.287
2459423.3928493	21.2710	39.9621	1.4554	39.9478	400.0	1.311
2459423.3976928	21.2800	39.9622	1.4554	39.9478	400.0	1.337
2459423.4025375	21.1910	39.9623	1.4554	39.9478	400.0	1.365
2017 OF69						
2459128.3381438	20.6260	43.0353	1.2242	43.4130	400.0	1.216
2459128.3429884	20.370	43.0353	1.2243	43.4130	400.0	1.213
2459128.3478331	20.1080	43.0354	1.2243	43.4130	400.0	1.211
2459128.3526780	20.3020	43.0355	1.2244	43.4130	400.0	1.210
2459128.3575227	20.3770	43.0356	1.2244	43.4130	400.0	1.210
2459417.6708854	20.0360	42.3006	0.3766	43.2775	400.0	1.523
2459417.6757300	20.2040	42.3006	0.3766	43.2775	400.0	1.562
2459417.6805748	20.2880	42.3006	0.3765	43.2775	400.0	1.604
2459417.6854187	20.2000	42.3005	0.3765	43.2775	400.0	1.651
2459417.6902624	20.2970	42.3005	0.3764	43.2775	400.0	1.702
2459464.3998022	20.1700	42.4761	0.8495	43.2554	400.0	1.239
2459464.4046477	20.2640	42.4762	0.8496	43.2554	400.0	1.230
2459464.4094930	20.4500	42.4762	0.8497	43.2554	400.0	1.222
2459464.413373	20.3900	42.4763	0.8498	43.2554	400.0	1.216
2459464.4191821	20.3370	42.4763	0.8498	43.2554	400.0	1.211
Datos obtenidos con Tycho-Tracker (V-R ≈ 0.6)						