
Propiedades de las Nebulosas Planetarias mediante el satélite Gaia

TESIS DOCTORAL

Autor:

Iker González Santamaría

Directores:

Dra. Minia Manteiga Outeiro

Dr. Arturo Manchado Torres

Tutor:

Dr. José Carlos Dafonte Vázquez

Doctorado en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Laboratorio Interdisciplinar de Aplicaciones de la Inteligencia Artificial (LIA2)
Departamento de Computación



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

16 de diciembre de 2022

Declaración de Autoría

Yo, Iker González Santamaría, declaro que la tesis titulada 'Propiedades de las Nebulosas Planetarias mediante el satélite Gaia' y el trabajo presentado en la misma es original.

La Dra. Minia Manteiga Outeiro, Catedrática de Universidad en el Área de Astronomía y Astrofísica de la Universidade da Coruña, el Dr. Arturo Manchado Torres, Investigador Científico del CSIC en el Instituto de Astrofísica de Canarias, y el Dr. José Carlos Dafonte Vázquez, Profesor Titular de Universidad en el Área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial de la Universidade da Coruña, hacen constar que la tesis titulada 'Propiedades de las Nebulosas Planetarias mediante el satélite Gaia' ha sido realizada por Iker González Santamaría, bajo nuestra dirección, en el Departamento de Computación de la Universidade da Coruña/ y constituye la Tesis que presenta para optar al grado de Doctor en Informática de la Universidade da Coruña.

Firmado: Iker González Santamaría

Firmado: Minia Manteiga Outeiro

Firmado: Arturo Manchado Torres

Firmado: José Carlos Dafonte Vázquez

A mi familia y amigos

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer especialmente a Minia Manteiga no solo por la oportunidad que me ha dado para realizar la tesis en este campo tan interesante, si no también por su gran apoyo y dedicación recibida a lo largo de todo mi periodo predoctoral, en el que he sido orientado y dirigido muy satisfactoriamente por ella. También me gustaría dar las gracias a mi tutor Carlos Dafonte por darme esta oportunidad igualmente y por haberme integrado en su grupo de investigación, lo cual ha sido una experiencia muy enriquecedora. También dar gracias a mi co-director de tesis Arturo Manchado, por haberme recibido en varias ocasiones en el Instituto de Astrofísica de Canarias, y por los conocimientos y ayuda que me ha aportado durante este periodo.

Por otra parte, quisiera agradecer a Christophe Morisset y Marco Gómez su gran dedicación durante mi estancia de 3 meses en el Instituto de Astronomía de Ensenada, que me ha servido para completar esta tesis. Y resaltar la ayuda, amabilidad y hospitalidad que recibí de ellos a lo largo de mi estancia en México.

Además, también quiero agradecer a mis compañeros del grupo de investigación LIA[2] con los que he trabajado durante mi periodo predoctoral en un ambiente muy agradable: Raúl, Marco, Dani, Sofía, Arturo, Guillermo, Lara, Ángel, Manu, María ...

Y por último, gracias a mis padres (Nieves y Ramón), mis hermanos (Jon y Javier), mis abuelas (Tina y Adela), y mis amigos de Bilbao (Ander, Zigor, Koldo, Alex, Gorka, Iñaki...) y del pueblo (Marcos, Alejandro, Héctor...) por vuestro apoyo durante todo este periodo predoctoral, que, aunque hayamos estado lejos, he sentido muy de cerca.

Esta Tesis Doctoral se ha desarrollado bajo una beca de Formación Profesional Investigador (FPI) del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) de España.

Referencia: BES-2017-083126.

Resumen

La alta precisión de los parámetros astrométricos y fotométricos proporcionados por el satélite Gaia de la ESA (European Space Agency), nos ha permitido estudiar y analizar en profundidad las propiedades físicas, químicas y evolutivas de las estrellas en fase de Nebulosa Planetaria (NP).

Primeramente, partiendo de las coordenadas de las NPs ya conocidas, hemos desarrollado un algoritmo que identifica la fuente estelar de Gaia más probable de ser la Estrella Central (EC) de cada una de las NPs. A continuación, mediante la paralaje de estas fuentes, hemos podido estimar sus distancias, y seleccionar una muestra (de NPs con las distancias más precisas) sobre la que trabajar.

El conocimiento de las distancias nos ha permitido calcular las propiedades intrínsecas de las NPs y de sus ECs a partir de sus propiedades observacionales. Para posteriormente poder estudiar su estado evolutivo, y analizar la binariedad de varias ECNPs. Además, también hemos llevado a cabo un estudio similar sobre las estrellas en fase de post-AGB, fase estelar previa a la NP.

Por último, hemos realizado un análisis sobre la composición química de alguna de estas nebulosas, partiendo de los espectros detectados en el Observatorio de La Palma, y obteniendo resultados tanto de sus abundancias iónicas como elementales.

Abstract

The high precision of the astrometric and photometric parameters provided by the ESA (European Space Agency) Gaia satellite, has allowed us to study and analyse in depth the physical, chemical and evolutionary properties of stars in the Planetary Nebula (PN) phase.

First, from the coordinates of the known PNe, we have developed an algorithm that identifies the most likely Gaia star source to be the Central Star (CS) of each of the PNe. Then, from the parallaxes of these sources, we have been able to estimate their distances, and to select a sample (composed by PNe with the most precise distances) on which to work.

The knowledge of the distances has allowed us to calculate the intrinsic properties of the PNe and their CSs from their observational properties. To then be able to study their evolutionary state, and to analyse the binarity of various CSPNe. We have also made a similar study over stars in the post-AGB phase, the stellar phase previous to PN.

Finally, we have carried out an analysis about the chemical composition of some of these nebulae, based on the spectra detected at the La Palma Observatory, and obtaining results of both their ionic and elemental abundances.

Resumo

A alta precisión dos parámetros astrométricos e fotométricos proporcionados polo satélite Gaia da ESA (European Space Agency), permitiunos estudar e analizar en profundidade as propiedades físicas, químicas e evolutivas das estrelas en fase de Nebulosa Planetaria (NP).

Primeiramente, partindo das coordenadas das NPs xa coñecidas, desenvolvimos un algoritmo que identifica a fonte estelar de Gaia máis probable de ser a Estréla Central (EC) de cada unha das NPs. A continuación, mediante a paralaxe destas fontes, puídemos estimar as súas distancias, e seleccionar unha mostra (de NPs coas distancias máis precisas) sobre a que traballar.

O coñecemento das distancias permitiunos calcular as propiedades intrínsecas das NPs e de suas ECs a partir das súas propiedades observacionais. Para posteriormente poder estudar o seu estado evolutivo, e analizar a binariedade de varias ECNPs. Ademais, tamén levamos a cabo un estudo similar sobre as estrelas en fase de post-AGB, fase estelar previa á NP.

Por último, realizamos unha análise sobre a composición química dalgunha destas nebulosas, partindo dos espectros detectados no Observatorio da Palma, e obtendo resultados tanto das súas abundancias iónicas como elementais.

Prólogo

La fase de Nebulosa Planetaria (NP) es una fase muy importante en la vida de las estrellas de masa baja e intermedia. No solo por ser la fase final de la estrella, si no porque su estudio y comprensión puede proporcionarnos información tanto de la estrella progenitora como de la aportación de elementos químicos que producirá la estrella al medio interestelar.

Gracias a la alta precisión de los datos del satélite Gaia, por primera vez, se ha podido estimar con suficiente exactitud la distancia a la que se encuentran estas estrellas. Lo que consecuentemente ha permitido derivar muchas de las propiedades de las NPs.

Por lo tanto, el objetivo principal de esta tesis es arrojar más luz sobre la fase de NP apoyándonos en los parámetros astrométricos y fotométricos de Gaia. Para ello, hemos analizado diferentes propiedades nebulares como la distribución galáctica, el tamaño, la velocidad de expansión, la edad cinemática o las abundancias químicas. Así como propiedades de su estrella central como la temperatura efectiva, la luminosidad, el tipo espectral, la masa, la edad evolutiva o la binariedad.

Tabla de contenidos

Resumen	IV
Abstract	V
Resumo	VI
Prólogo	VII
Tabla de contenidos	IX
Lista de Figuras	XIII
Lista de Tablas	XIX
Acrónimos	XXI
1 Introducción	1
1.1 Evolución estelar de estrellas poco masivas	1
1.2 Fase de post-AGB	2
1.3 Fase de Nebulosa Planetaria	3
1.4 La misión Gaia	5
1.5 Objetivos y Estructura	8
2 Nebulosas Planetarias en Gaia DR2	11
2.1 Identificación de Estrellas Centrales de Nebulosas Planetarias	11
2.2 Muestra General	13
2.2.1 Paralajes y Distancias	13
2.2.2 Densidad galáctica de NPs	18
2.2.3 Población galáctica de NPs	20
2.2.4 Completitud de la Muestra	22
2.3 Muestra GAPN-DR2	24
2.3.1 Distribución Galáctica	25
2.3.2 Paralajes y Distancias	26
2.3.3 Morfología, Radios y Velocidades Radiales	32
2.3.4 Velocidades de Expansión y Edades Cinemáticas	37
2.3.5 Ratio de Nacimiento	41
2.4 Estado Evolutivo de las Estrellas Centrales	42

2.4.1	Temperaturas y Luminosidades	43
2.4.2	Masas y Edades Evolutivas	50
2.5	Sistemas Binarios en Nebulosas Planetarias	55
2.5.1	Procedimiento de Búsqueda y Detección	55
2.5.2	Parámetros astrométricos, fotométricos y evolutivos	59
3	Nebulosas Planetarias en Gaia EDR3	73
3.1	Catálogo de Nebulosas Planetarias galácticas	74
3.1.1	Identificación de la Estrella Central	74
3.1.2	Distancias a Nebulosas Planetarias	79
3.2	Muestra GAPN-EDR3	80
3.2.1	Distribución Galáctica y Distancias	83
3.2.2	Tamaño nebuloso y Morfología	89
3.2.3	Velocidades de Expansión y Edades Cinemáticas	94
3.3	Estado Evolutivo de las Estrellas Centrales	98
3.3.1	Temperaturas y Luminosidades	98
3.3.2	Masas y Edades evolutivas	105
3.3.3	Tipos Espectrales	109
3.3.4	Análisis del Diagrama HR	110
3.4	Sistemas Binarios en Nebulosas Planetarias	113
3.4.1	Búsqueda de Binarias Ampliamente Separadas	114
3.4.2	Búsqueda de Binarias Próximas	121
4	Estrellas post-AGB en Gaia EDR3	127
4.1	Selección de la muestra general	127
4.2	Búsqueda de estrellas post-AGB	131
4.3	Muestra de post-AGB galácticas	139
4.3.1	Objetos dudosos	142
4.3.2	Objetos en la dirección de LMC	144
5	Espectros y Abundancias nebulares	147
5.1	Emisión nebuloso	147
5.2	Observaciones con INT	150
5.3	Extracción y Reducción de Espectros nebulares	151
5.3.1	Preprocesado de los CCDs	152
5.3.2	Extracción del <i>background</i> y de los rayos cósmicos	153
5.3.3	Calibración en longitud de onda	154
5.3.4	Calibración en flujo	156
5.3.5	Extracción de los espectros	157
5.3.6	Identificación de las líneas de emisión	158
5.4	Estimación de Abundancias nebulares	161
5.4.1	Cálculo de Temperaturas y Densidades electrónicas	162
5.4.2	Obtención de Abundancias Iónicas	165
5.4.3	Estimación de Abundancias Elementales	167
5.4.4	Propiedades nebulares derivadas de las Abundancias	172
	Conclusiones	175

Conclusions	179
Conclusionés	183
Trabajo futuro	187
A Tablas de Datos	189
A.1 Tabla Identificación de ECNPs y Datos Astrométricos - Gaia DR2	190
A.2 Tabla Datos Fotométricos y Evolutivos - Gaia DR2	195
A.3 Tabla Identificación de ECNPs - Gaia EDR3	197
A.4 Tabla Datos Astrométricos - Gaia EDR3	216
A.5 Tabla Datos Fotométricos y Evolutivos - Gaia EDR3	220
B Imágenes	223
B.1 Nebulosas Planetarias de la muestra GAPN	223
B.2 Sistemas Binarios en Nebulosas Planetarias	
Bibliografía	

Lista de Figuras

1.1	Estrella en fase de post-AGB. Imagen: Hubble.	2
1.2	Caption for LOF	4
1.3	Ilustración del satélite Gaia. Imagen: ESA/ATG medialab.	5
1.4	Posición del punto L2 de Lagrange. Imagen: François Mignard.	6
1.5	Plano focal de Gaia, donde llega y se analiza la luz recogida por los telescopios del satélite. Imagen: ESA/Gaia.	7
1.6	ARI's Gaia Services.	8
1.7	Gaia Archive.	8
2.1	Distribución galáctica de las 1571 NPs de la muestra, en función de la longitud y la latitud.	14
2.2	Histograma de la distribución de NPs en función de la longitud galáctica (izquierda) y de la latitud galáctica (derecha).	14
2.3	Distribución de los errores relativos del paralaje de las NPs, hasta el %200.	15
2.4	Distribución de distancias de las NPs, junto con su ajuste Gaussiano.	17
2.5	Distribución de los errores relativos de la distancia, para el límite inferior y superior de las distancias.	17
2.6	Distribución de los errores relativos de la distancia para diferentes submuestras en función del rango de distancia. A la izquierda se sitúa la distribución de errores inferiores y a la derecha la de errores superiores.	18
2.7	Distribución de las alturas galácticas (valor absoluto) de las NPs contenidas en una región cilíndrica de 2 kpc de radio.	19
2.8	Población de NPs (expresión logarítmica) en función de la altura galáctica, junto con la regresión lineal ajustada a los datos.	20
2.9	Distribución acumulativa de distancias (azul claro), junto con la función de población predicha (azul oscuro).	23
2.10	Distribución galáctica de las 217 NPs de la muestra GAPN-DR2, en función de la longitud y la latitud galáctica.	25
2.11	Histograma de la distribución de NPs en función de la longitud galáctica (izquierda) y de la latitud galáctica (derecha).	26
2.12	Distribución de los errores relativos del paralaje de las NPs de la muestra GAPN-DR2.	26
2.13	Error Relativo del Paralaje de los objetos del GAPN-DR2 en función de su brillo (magnitud G).	27
2.14	Distribución de distancias de las 217 NPs de la muestra GAPN-DR2.	28
2.15	Distribución de distancias de las NPs de la muestra GAPN-DR2 situadas en dirección al centro galáctico ($-90^\circ < lon < +90^\circ$)	28
2.16	Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Harris et al. (2007).	29

2.17 Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Stanghellini & Haywood (2010).	29
2.18 Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Napiwotzki (2001).	30
2.19 Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Frew et al. (2016).	31
2.20 Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Schönberner et al. [1].	32
2.21 Distribución de las NPs del GAPN-DR2 en función de su morfología.	32
2.22 Distribución galáctica de las NPs redondas, elípticas y bipolares	33
2.23 Distribución de radios físicos de las NPs del conjunto GAPN-DR2.	34
2.24 Distribución de radios físicos de las NPs situadas cerca del plano galáctico y de las situadas lejos de esta zona.	34
2.25 Distribución de las velocidades radiales de las NPs del conjunto GAPN-DR2.	35
2.26 Distribución de las velocidades radiales de un conjunto de NPs del GAPN-DR2 en función de la longitud galáctica, junto con las funciones de velocidades radiales (a diferentes distancias) esperadas por el movimiento rotacional galáctico.	36
2.27 Distribución de velocidades de expansión para un subconjunto de NPs de la muestra GAPN-DR2.	39
2.28 Distribución de edades cinemáticas para un subconjunto de NPs de la muestra GAPN-DR2.	40
2.29 Distribución de temperaturas para un subconjunto de NPs de la muestra GAPN-DR2.	44
2.30 Distribución de las magnitudes visual V (izquierda) y magnitudes G de Gaia (derecha) del conjunto de las 107 ECs.	46
2.31 Distribución de color ($G_{BP}-G_{RP}$) de las ECs del conjunto.	47
2.32 Distribución de las magnitudes absolutas en V (izquierda) y magnitudes bolométricas absolutas (derecha) del conjunto de las 107 ECs.	48
2.33 Distribución de luminosidades ($\log(\frac{L}{L_{\odot}})$) de las ECs del conjunto.	50
2.34 Ubicación en el diagrama HR (temperatura VS luminosidad) de las 107 ECs del conjunto, junto con las trazas evolutivas de Vassiliadis and Wood [2].	51
2.35 Distribución de masas (izquierda) y edades evolutivas (derecha) del conjunto de las 107 ECs.	52
2.36 Distribución de distancias físicas de separación entre las estrellas <i>comoving</i> y sus correspondientes ECs, hasta los 260 kAU.	57
2.37 Distribución de probabilidad del paralaje (izquierda), del PM_{RA} (centro) y del PM_{Dec} (derecha) en el campo alrededor de la nebulosa PN SB 36. La flecha negra indica el intervalo correspondiente al valor del parámetro de la EC.	58
2.38 Ubicación de 5 de las estrellas compañeras en un diagrama magnitud vs color, junto con las isócronas de Gaia DR2.	61
2.39 Ajustes de las SEDs de las estrellas Abell 33-B y NGC 6853-C a los modelos de NextGen (AGSS2009), realizados mediante la plataforma de VOSA.	62
2.40 Sistema binario de Abell 24. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	63

2.41	Sistema binario de Abell 33. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	64
2.42	Sistema binario de Abell 34. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	65
2.43	Diagrama HR de luminosidad vs temperatura con la ubicación de las 2 estrellas asociadas a Abell 34 (señaladas mediante rombos). La EC esta situada junto a la traza evolutiva de $1 M_{\odot}$ (las edades que aparecen son solo de la fase post-AGB, habría que sumarle las de las otras fases hasta alcanzar los 9244 Myr). Mientras que la estrella compañera B esta situada junto a la isócrona de 9200 Myr.	66
2.44	Sistema binario de NGC 246. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	67
2.45	Sistema binario de NGC 3699. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	68
2.46	Sistema triple de NGC 6853. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	69
2.47	Sistema binario de PHR J1129-6012. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	70
2.48	Sistema binario de PN SN 36. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	71
3.1	Distribución de extinciones interestelares para las fuentes candidatas a EC. Obtenidas de los mapas de Bayestar y SFD.	75
3.2	Color $(G_{BP} - G_{RP})_0$ frente a la distancia relativa al centro nebuloso, para aquellos objetos seleccionados como ECNP. Los objetos están divididos en tres grupos (A,B y C) en función de su grado de fiabilidad.	78
3.3	Distribución de distancias para la muestra de 1725 NPs.	80
3.4	Distribución galáctica de los objetos contenidos en la muestra GAPN-EDR3.	83
3.5	Distribución de los errores relativos de los paralajes de la muestra GAPN-EDR3.	84
3.6	Errores relativos del paralaje de la muestra GAPN-EDR3 en función de la magnitud G de Gaia.	84
3.7	Distancias a los objetos contenidos en la muestra GAPN-EDR3.	85
3.8	Comparativa entre las distancias obtenidas con Gaia DR2 y las obtenidas mediante Gaia EDR3.	86
3.9	Comparativa entre las distancias obtenidas por Harris et al. [3] y las obtenidas mediante Gaia EDR3.	86
3.10	Comparativa entre las distancias obtenidas por Stanghellini and Haywood [4] y las obtenidas mediante Gaia EDR3.	87
3.11	Comparativa entre las distancias obtenidas por Napiwotzki [5] y las obtenidas mediante Gaia EDR3. Los objetos están divididos en dos grupos en función de su temperatura.	87
3.12	Comparativa entre las distancias obtenidas por Frew [6] y las obtenidas mediante Gaia EDR3.	88
3.13	Comparativa entre las distancias obtenidas por Schönberner et al. [1] y las obtenidas mediante Gaia EDR3.	88
3.14	Distribución de radios físicos de las nebulosas de la muestra GAPN-EDR3.	90
3.15	Distribución morfológica de las nebulosas de la muestra GAPN-EDR3.	91
3.16	Distribución galáctica de las NPs elípticas, bipolares y redondas.	92

3.17	Distribución de nebulosas bipolares (izquierda) y no-bipolares (derecha) en función de su altura galáctica.	93
3.18	Distribución de velocidades de expansión de las 65 NPs seleccionadas de la muestra GAPN-EDR3.	95
3.19	Distribución de edades cinemáticas de las 65 NPs seleccionadas de la muestra GAPN-EDR3.	96
3.20	Distribución de temperaturas efectivas de 156 estrellas de la muestra GAPN-EDR3.	99
3.21	Distribución de colores $G_{BP}-G_{RP}$ (corregidos de extinción) de los objetos de la muestra GAPN-EDR3.	99
3.22	Comparativa entre magnitudes V obtenidas de la literatura (V_L) y magnitudes V calculadas a partir de las bandas de Gaia (V_G) para 329 estrellas de la muestra GAPN-EDR3. La línea negra central indica la relación 1:1, mientras que las líneas grises indican el umbral para los <i>mild outliers</i>	101
3.23	Distribución de magnitudes M_V de las 263 estrellas del conjunto.	103
3.24	Distribución de magnitudes M_{bol} para un subconjunto 132 estrellas.	104
3.25	Ubicación en el diagrama HR de las 78 ECNPs seleccionadas sobre la muestra GAPN-EDR3, junto con las trazas evolutivas de Miller Bertolami [7]. También se proporciona información sobre sus tipos espectrales.	106
3.26	Distribución de masas progenitoras de las 78 ECNPs del diagrama HR.	107
3.27	Distribución de edades evolutivas de las 78 ECNPs del diagrama HR.	108
3.28	Nebulosa planetaria que alberga un sistema estelar binario. Imagen tomada por el interferómetro astronómico ALMA.	114
3.29	Separación física proyectada (hasta los 200 kAU) entre las posibles estrellas compañeras detectadas y su correspondientes ECs.	116
3.30	Imagen del posible sistema binario en NGC 6720, mostrando tanto la ubicación de la EC (con una cruz) como de la compañera <i>comoving</i> . Imagen obtenida del atlas estelar de <i>Aladin</i>	117
3.31	Imagen del posible sistema binario en NGC 6781, mostrando tanto la ubicación de la EC (con una cruz) como de la compañera <i>comoving</i> . Imagen obtenida del atlas estelar de <i>Aladin</i>	118
3.32	Imagen del posible sistema binario en PN G030.8+03.4a, mostrando tanto la ubicación de la EC (con una cruz) como de la compañera <i>comoving</i> . Imagen obtenida del atlas estelar de <i>Aladin</i>	119
3.33	Imagen del posible sistema triple en Fr 2-42, mostrando tanto la ubicación de la EC (con una cruz) como de las compañeras <i>comoving</i> . Imagen obtenida del atlas estelar de <i>Aladin</i>	119
3.34	Sistema estelar binario, transfiriéndose masa entre ambas estrellas. Imagen: Mark A. Garlick.	121
3.35	Caption for LOF	125
4.1	Distribución galáctica (longitud vs latitud) de los 179 objetos de la muestra filtrada.	129
4.2	Distribución de distancias de los 159 candidatos a post-AGB galácticos de la muestra seleccionada.	130
4.3	Distribución de temperaturas efectivas para los 146 objetos de la muestra.	133
4.4	Distribución de luminosidades para los 146 objetos de la muestra.	133

4.5	Diagrama HR con los 146 objetos de la muestra, junto con las trazas evolutivas de Miller Bertolami [7] con $Z = 0.02$. Los objetos están clasificados en diferentes tipos estelares en función del criterio de Kamath.	135
4.6	Región del diagrama HR donde se ubican las 46 estrellas en fase post-AGB, junto con las trazas de Miller Bertolami [7].	139
4.7	Distribución de masas en la SP de las 46 estrellas post-AGB.	139
4.8	Distribución de edades evolutivas de las 46 estrellas post-AGB.	140
4.9	Altura galáctica frente a longitud galáctica de las estrellas post-AGB (46) y de las restantes estrellas de la muestra general (100).	141
4.10	Imagen de la estrella IRAS 18084-1737 (tomada del atlas de <i>Aladin</i>).	142
4.11	Imagen de la estrella CD-30 15464 (tomada del atlas de <i>Aladin</i>).	143
4.12	Imagen de la estrella HD 53300 (tomada del atlas de <i>Aladin</i>).	144
4.13	Altura galáctica vs longitud galáctica de los 20 objetos situados en dirección a la LMC.	145
5.1	Caption for LOF	148
5.2	Caption for LOF	149
5.3	Observatorio del Roque de los Muchachos, situado en la isla de La Palma, España. Imagen: www.ing.iac.es .	150
5.4	<i>Isaac Newton Telescope</i> (INT), situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Imagen: www.ing.iac.es .	150
5.5	CCD que ha recogido una imagen de una NP.	152
5.6	Fondo de cielo que suele apreciarse en la línea de visión de una nebulosa. Imagen: <i>Aladin</i> .	153
5.7	Caption for LOF	154
5.8	Identificación de las líneas de emisión del espectro proveniente de la lámpara de calibración de CuAr+CuNe. Imagen del IRAF.	155
5.9	Información sobre la estrella estándar HD 84937, utilizada durante nuestras observaciones con el telescopio INT.	156
5.10	Espectro de emisión de la nebulosa NGC 2022, calibrado tanto en flujo como en longitud de onda. Imagen del IRAF.	158
5.11	Proceso de medición del flujo de la líneas de emisión en un espectro, mediante el programa IRAF.	159
5.12	Diagrama de diagnóstico con los ratios de [OIII] 4363/5007, [SII] 6731/6716 y [ArIV] 4740/4711.	163
5.13	Distribución de densidad (izquierda) y temperatura (derecha) electrónica de la Abell 24, obtenidas utilizando del método de Monte Carlo alrededor de los correspondientes valores originales. En azul se indica el valor medio de la distribución, y en rojo el valor original.	164
5.14	Distribución de abundancias iónicas del He^+ (izquierda) y del O^{++} (derecha) de la nebulosa Abell 24, obtenidas utilizando del método de Monte Carlo alrededor de los correspondientes valores originales.	167
5.15	Distribución de abundancias del Argón (izquierda) y del Azufre (derecha) de la nebulosa Abell 24, obtenidas utilizando del método de Monte Carlo alrededor de los correspondientes valores originales.	168
5.16	Nebulosa Abell 24. Imagen del atlas de <i>Aladin</i> .	169
5.17	Nebulosa HDW 5. Imagen del atlas de <i>Aladin</i> .	170
5.18	Nebulosa IC 2149. Imagen del atlas de <i>Aladin</i> .	170

5.19	Nebulosa NGC 2022. Imagen del atlas de <i>Aladin</i>	171
B.1	Nebulosas de la muestra GAPN (Tabla A.1). Ordenadas alfabéticamente por su Nombre de Simbad.	232
B.2	Los recuadros indican las estrellas de los sistemas binarios, mientras que la flecha o la cruz magenta señala la estrella central.	

Lista de Tablas

2.1	Velocidades de expansión y Edades cinemáticas con Gaia DR2	40
2.2	Valores medios de diferentes parámetros en tres regiones diferentes del diagrama HR, junto con sus valores de dispersión, entre paréntesis.	53
2.3	Probabilidades de coincidencia con el paralaje, el PM_{RA} , el PM_{Dec} y con los tres parámetros conjuntamente, para cada campo alrededor de las 8 NPs seleccionadas como poseedoras de sistemas binarios.	59
2.4	Parámetros astrométricos de los sistemas binarios.	59
2.5	Parámetros fotométricos y evolutivos de los sistemas binarios.	62
3.1	Velocidades de expansión y Edades cinemáticas con Gaia EDR3.	97
3.2	Valores medios (con valor de incertidumbre) de diferentes parámetros evolutivos en cada una de las regiones del diagrama HR	111
3.3	Valores medios (con valor de incertidumbre) de los diferentes parámetros evolutivos para cada uno de los tres grupos morfológicos principales.	112
3.4	Parámetros de las estrellas de los nuevos sistemas binarios detectados en la muestra GAPN-EDR3.	117
3.5	Valores medios (con valor de incertidumbre) de los parámetros de calidad astrométricos y de ajuste de la imagen para los conjuntos de ECNPs azules y rojas.	123
3.6	Porcentaje de nebulosas de cada tipo morfológico dentro de las muestras de ECNPs azules y rojas.	126
4.1	Parámetros astrométricos y evolutivos de las 46 estrellas post-AGB.	136
4.2	Parámetros astrométricos y evolutivos de las 6 estrellas supergigantes.	136
4.3	Parámetros astrométricos y evolutivos de las 22 estrellas YSO.	137
4.4	Parámetros astrométricos y evolutivos de las 72 estrellas post-RGB.	137
4.5	Altura galáctica (valor absoluto) y movimientos propios de los 10 objetos ubicados fuera de la Galaxia.	145
5.1	Flujos (normalizados por el flujo de H_β y multiplicados por 100) de las diferentes líneas de emisión para las diferentes nebulosas.	160
5.2	Temperaturas y Densidades electrónicas.	163
5.3	Abundancias Iónicas.	166
5.4	Abundancias Abell 24	169
5.5	Abundancias HDW 5	170
5.6	Abundancias IC 2149	171
5.7	Abundancias NGC 2022	172
5.8	Otros parámetros nebulares.	173

Acrónimos

ADQL	A stronomical D ata Q uery L anguage
AGB	A symptotic G iant B ranch
AF	A strometric F ield
AU	A stronomical U nits
BAM	B asic A ngle M onitor
BP	B lue P hotometer
CB	C orrección B olométrica
CCD	C harge C oupled D evice
DPAC	D ata P rocessing and A nalysing C onsortium
DR2	D ata R elease 2
EC	E strella C entral
EDR3	E arly D ata R elease 3
ESA	E uropean S pace A gency
FITS	F lexible I mage T ransport S ystem
HASH	H ong Kong A AO S trasbourg H_{α}
HR	H ertzsprung- R ussel
HST	H ubble S pace T elescope
ICF	I onization C orrection F actor
IDS	I ntermediate D ispersion S pectrograph
INT	I saac N ewton T elescope
IRAF	I mage R eduction and A nalysis F acility
LMC	L arge M agellanic C loud
LSR	L ocal S tandard of R est
LTE	L ocal T hermodynamic E quilibrium
MI	M edio I nterestelar

NP	N ebulosa P lanetaria
RGB	R ed G iant B ranch
RP	R ed P hotometer
RVS	R adial V elocity S pectrometer
SED	S pectral E nergy D istribution
SP	S ecuencia P rincipal
USNO	U nited S tates N aval O bservatory
VOSA	V irtual O bservatory SED A nalyzer
WFS	W ave F ront S ensor
YSO	Y oung S tellar O bject

Capítulo 1

Introducción

1.1 Evolución estelar de estrellas poco masivas

Las estrellas pasan la mayor parte de su vida en la fase de Secuencia Principal (SP). En esta fase las estrellas se encuentran en equilibrio hidrostático: la fuerza gravitatoria que tiende a comprimir la estrella es compensada por las fuerzas generadas por las reacciones de fusión nuclear, que tienden a expandirla. Cuanto más masa tenga una estrella más rápido evolucionará y menos tiempo permanecerá en la fase de SP, por lo que tendrá una vida más corta. Las estrellas más masivas apenas viven unos pocos millones de años y terminan su vida en una explosión de supernova. Mientras que las estrellas de masa baja e intermedia suelen vivir varios miles de millones de años. A partir de ahora, nos centraremos en estos segundos casos, concretamente en las estrellas de masa entre 0.8 y $8 M_{\odot}$.

En estos casos, la estrella irá fusionando el hidrógeno y generando helio en su núcleo, pero no tendrá la temperatura suficiente para que se den las reacciones de fusión del helio. Poco a poco, el hidrógeno se irá consumiendo en el núcleo de la estrella, esto hará que la fuerza generada por la fusión nuclear vaya disminuyendo, llegando a un punto en el que esta sea superada por la fuerza gravitatoria. En este momento, el núcleo comenzará a comprimirse y a aumentar su temperatura, haciendo que el hidrógeno de capas exteriores se consuma más rápido. Consecuentemente, la estrella se expandirá y su densidad de energía disminuirá haciendo que la estrella se enfríe. Llegados a este punto, la estrella

entra en la fase de gigante roja, debido al aumento de su tamaño y al enrojecimiento al perder temperatura.

Mientras tanto, el núcleo de helio seguirá comprimiéndose y calentándose, hasta que se alcance la temperatura de fusión del helio. En este instante, se comenzará a generar carbono y oxígeno en el núcleo, quedando una capa de helio a su alrededor y otra de hidrógeno en el exterior, ambas en combustión. Entonces, se dice que la estrella ha entrado en la fase AGB (Asymptotic Giant Branch) o rama asintótica gigante. Durante esta fase, la combustión del helio en las capas intermedias comienza a realizarse de manera brusca. Esto generará un fuerte aumento de temperatura, dando lugar a rápidas expansiones de estas capas de la estrella y a sus consecuentes enfriamientos, y así cíclicamente. Este proceso de bruscas pulsaciones térmicas generará una pérdida de masa en la estrella y terminará expulsando las capas externas de la estrella al medio interestelar (MI), dejando un pequeño núcleo estelar, compuesto principalmente de carbono y oxígeno. Este remanente estelar es conocido como enana blanca.

1.2 Fase de post-AGB

Al final de la fase AGB, la estrella puede haber perdido hasta el 80% de su masa debido a los pulsos térmicos. Una vez cesa la pérdida de masa, la envoltura estelar expulsada compuesta por gas y polvo, comenzará a expandirse. Entonces, se dice que la estrella ha entrado en fase de post-AGB. No hay una definición exacta sobre cual es el comienzo de la fase de post-AGB, ya que este depende de la masa y de la metalicidad estelar. Según Miller Bertolami [7], esta fase comienza cuando, debido a los vientos estelares, la masa de la envoltura rica en H decae por debajo del 1% de la masa estelar.

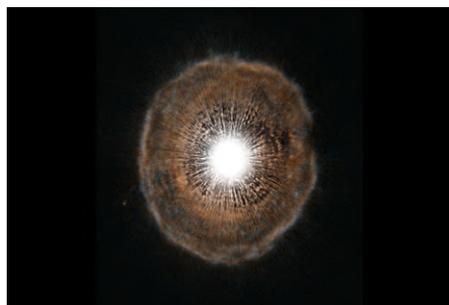


FIGURA 1.1: Estrella en fase de post-AGB. Imagen: Hubble.

En esta fase, la estrella seguirá aumentando su temperatura rápidamente a una luminosidad mas o menos constante, mientras que la envoltura se irá expandiendo hacia el medio interestelar. Se trata de una fase muy corta que dura aproximadamente entre 1000 y 10 000 años, dependiendo de la masa de la estrella. Finalmente, debido a las altas temperaturas de la Estrella Central (EC), la

envoltura comenzará a ionizarse. En este momento, se estará entrando en la fase de proto-nebulosa planetaria.

A lo largo de los últimos años, se han llevado a cabo varios estudios para detectar estrellas en fase post-AGB y poder entender mejor esta breve fase estelar. A principios de este siglo, en Suárez et al. [8], lograron identificar más de 100 estrellas post-AGB mediante espectroscopía óptica sobre las fuentes del catálogo IRAS. Al cabo de poco tiempo, se consiguió un catálogo más numeroso de post-AGBs presentado por Szczerba et al. [9], que fue posteriormente ampliado mediante Szczerba et al. [10]. Esta muestra es conocida como el catálogo de Torun de estrellas post-AGB. Posteriormente, se han llevado estudios para buscar estrellas post-AGB, post-RGB (Red Giant Branch) y *Young Stellar Objects* (YSO) en la Nube Grande de Magallanes (LMC, por su siglas en inglés de *Large Magellanic Cloud*), desarrollados por Kamath et al. [11]. Más recientemente, en el trabajo de Parthasarathy et al. [12], han analizado las propiedades de varias estrellas post-AGB utilizando astrometría y fotometría precisa del satélite Gaia. Y haciendo uso del último lanzamiento de datos de Gaia, en Oudmaijer et al. [13], han sido capaces de estimar el estado evolutivo de hasta 134 estrellas candidatas a post-AGB, descubriendo que varias de ellas serían realmente estrellas post-RGB.

1.3 Fase de Nebulosa Planetaria

Tras la fase estelar post-AGB y llegadas a su fase final de evolución, aquellas estrellas de masa baja e intermedia (entre 0.8 y $8 M_{\odot}$), han terminado expulsando su capa exterior debido a fuertes pulsaciones térmicas y vientos estelares. Entonces, cuando el núcleo estelar remanente supera aproximadamente los $15\,000$ K de temperatura, este comienza a emitir suficiente energía ultravioleta como para ionizar la envoltura eyectada compuesta por gas y polvo, haciéndola brillar y dando así lugar a las nebulosas planetarias (NP).

Estos objetos estelares tomaron su nombre debido a su apariencia similar a los planetas gigantes. La primera nebulosa planetaria fue descubierta por el astrónomo británico William Herschel en 1784.

En esta fase, la envoltura expulsada se expande a una velocidad de varios kilómetros por segundo. A su vez, la estrella central remanente, convertida ahora en enana blanca, sigue calentándose y manteniendo una luminosidad constante. Una vez que

alcanza aproximadamente los 100 000 K de temperatura, la estrella empieza a agotar su combustible. Entonces comenzará un proceso de enfriamiento y pérdida de luminosidad que le llevará finalmente a un estado estable. Así mismo, la radiación ultravioleta emitida por la estrella central irá disminuyendo, consecuentemente, con el tiempo, la nebulosa irá perdiendo brillo hasta hacerse invisible. La vida media de una nebulosa es bastante corta, teniendo una duración del orden de 10 000 años.

Las nebulosas planetarias son de un gran interés astronómico debido a varias razones. En primer lugar, contribuyen al enriquecimiento químico del MI a medida que se propagan por este en forma de gas y polvo. Por otra parte, analizando sus líneas espectrales, se pueden deducir sus abundancias químicas, que pueden proporcionar información sobre la composición química de la estrella progenitora y sobre su proceso de nucleosíntesis. Además, pueden servir como



FIGURA 1.2: Nebulosa de Dumbell¹. Primera nebulosa planetaria descubierta, en el año 1784.

indicadores de distancias extragalácticas, a partir su función de luminosidad. En general, el conocimiento de la vida media de las NPs, de la masa de las estrellas centrales y del número de NPs que hay en la Vía Láctea, tiene importantes consecuencias para el entendimiento de la evolución química de nuestra galaxia.

Uno de los aspectos más importantes para poder analizar mejor las nebulosas planetarias, es la determinación de la distancia a la que se encuentran desde el Sol. Ya que este conocimiento permite la posibilidad de estimar las propiedades intrínsecas de las nebulosas planetarias y de sus estrellas centrales a partir de los parámetros observacionales. Por ejemplo, se podría obtener el tamaño físico de una nebulosa a partir de su tamaño angular observado, o la luminosidad de la estrella central a partir de su brillo medido. Las distancias a las nebulosas planetarias se suelen estimar mediante diferentes métodos: a través del paralaje medido, de modelos de vientos hidrodinámicos, de modelos evolutivos utilizando atmósferas non-LTE (non-local thermodynamic equilibrium)...

Por último, cabe remarcar que existen casos en los que la nebulosa planetaria puede provenir de un sistema binario de estrellas en lugar de generarse a partir de una

¹<https://observatorio.info/2005/06/m27-the-dumbbell-nebula/>

única estrella. Analizar estos casos resulta de gran interés ya que puede proporcionar información sobre la formación y evolución de las nebulosas planetarias, según Boffin and Jones [14]. Además, en ese estudio también se propone que la mayoría de las NPs podrían proceder de sistemas estelares binarios, aunque estimar un porcentaje aproximado de ellas no es una tarea fácil. Por otra parte, también se cree que la presencia de sistemas binarios en las NPs puede tener una notable influencia en sus morfologías, alejándolas de una forma esférica. En el trabajo de Soker [15], se discute esta relación entre la presencia de sistemas binarios con la aparición de asimetrías y lóbulos bipolares o multipolares en las nebulosas.

En el caso de binarias próximas, con separaciones orbitales de unos pocos AU (*Astronomical Units*, unidad que equivale a la distancia Sol-Tierra), puede haber una fuerte interacción entre ambas estrellas. Incluso pueden transferirse masa entre ellas por medio de vientos estelares o del efecto *Roche lobe overflow*. Se cree que estos fenómenos podrían estar detrás de las morfologías bipolares de las nebulosas.

En el caso de binarias distantes, separadas hasta varios miles de AU, la influencia entre las estrellas no es tan fuerte. Aunque conociendo algunas propiedades del sistema, como la separación orbital o la edad evolutiva, se puede extraer información sobre la evolución de la estrella central o sobre su posible influencia sobre la morfología nebulosa. En este trabajo nos centraremos en buscar este tipo de sistemas binarios asociados a NPs, ya que pueden llegar a detectarse como fuentes estelares separadas.

1.4 La misión Gaia

Para llevar a cabo el análisis numérico de este trabajo, se hace uso de los datos proporcionados por el satélite espacial Gaia. Este satélite fue lanzado por la ESA (European Space Agency) a finales de 2013 con el objetivo de realizar lo que hasta la fecha sería el mapa estelar tridimensional más preciso de nuestra galaxia, la Vía Láctea.

Para ello, obtiene brillos, posiciones, paralajes y velocidades de un gran número de estrellas. Hasta

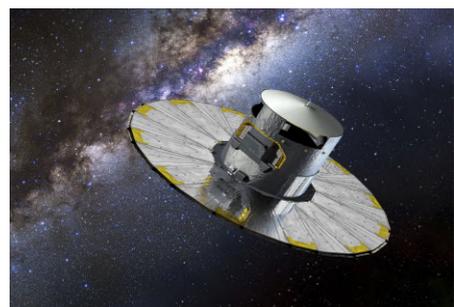


FIGURA 1.3: Ilustración del satélite Gaia. Imagen: ESA/ATG medialab.

el momento ha recogido datos de unos 1.700 millones de estrellas (con magnitudes de hasta 20.5), lo que supone más del 1% de toda la población galáctica. Esto permite hacer estudios sobre la formación y evolución de la galaxia. Se prevé que Gaia siga recogiendo datos hasta el año 2024, o incluso más allá.

El satélite Gaia está situado en el punto L_2 de Lagrange del sistema Sol-Tierra, a unos 1.5 millones de km de aquí. Está equipado con dos telescopios que forman un ángulo de 106.5° y comparten el mismo plano focal. La luz incidente recorre un total de 35 metros a través de varios espejos hasta llegar a este plano focal.

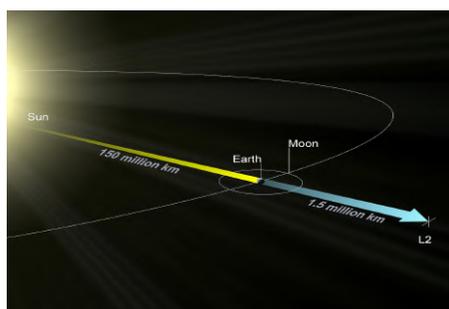


FIGURA 1.4: Posición del punto L_2 de Lagrange. Imagen: François Mignard.

Una vez aquí, es analizada por un total de 106 CCDs (Charge-Coupled Devices) con diferentes funcionalidades. En primer lugar, la luz recogida llega a la zona del *Sky Mapper*, donde se determina la posición del objeto emisor de esa luz y se decide si se almacena o no en función de su tamaño y brillo. A continuación, la luz de entre 330 y 1050 nm (banda G de Gaia) es detectada por los CCDs del *Astrometric Field* (AF), que determinarán las

posiciones angulares, paralajes y movimientos propios de los objetos correspondientes. Después, la luz atraviesa el instrumento fotométrico, que permite determinar otros parámetros astrofísicos como la temperatura, metalicidad, gravedad y el enrojecimiento debido a la extinción interestelar. Este instrumento se divide en dos conjuntos de CCDs: el *Blue Photometer* (BP) y el *Red Photometer* (RP). El primero detecta la luz de entre 330 y 680 nm (banda azul de Gaia), mientras que el segundo detecta la luz de entre 640 y 1050 nm (banda roja de Gaia).

Por último, la luz llega al *Radial Velocity Spectrometer* (RVS), que obtiene la espectroscopía de la luz entre 845 y 872 nm, permitiendo conocer la velocidad radial de algunos objetos estelares. Además de esta instrumentación principal, el plano focal también contiene un dispositivo de *Basic-Angle Monitor* (BAM), que mide las fluctuaciones del ángulo entre los dos telescopios, y un dispositivo de *Wave Front Sensor* (WFS), que mide las desviaciones del frente de onda entre ambos telescopios. La combinación de todos estos dispositivos permite al satélite Gaia tomar datos astrométricos, fotométricos y espectroscópicos simultáneamente. El satélite gira sobre

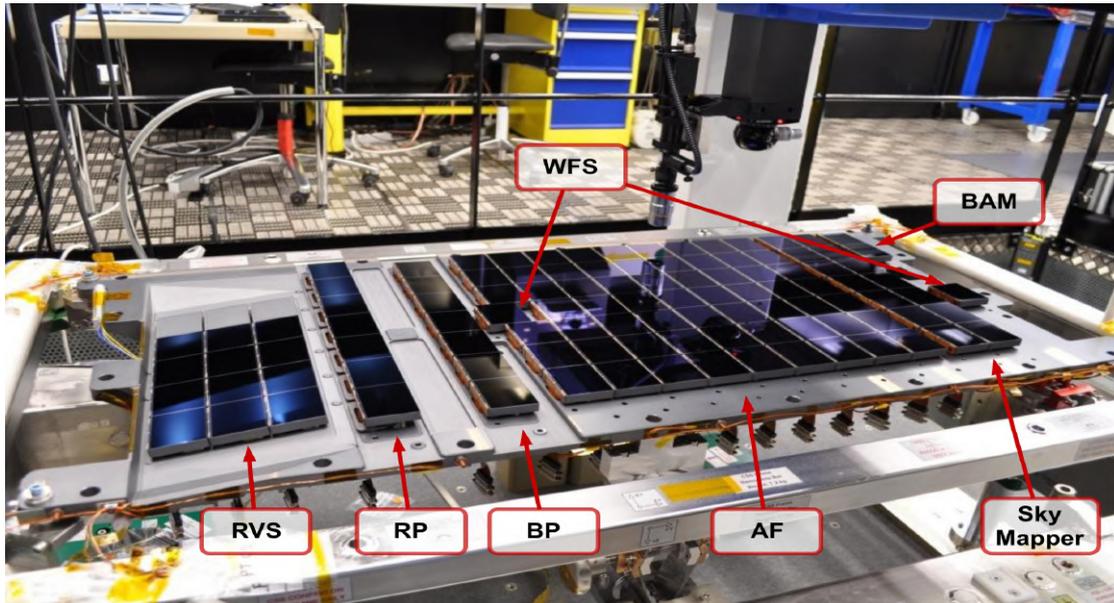


FIGURA 1.5: Plano focal de Gaia, donde llega y se analiza la luz recogida por los telescopios del satélite. Imagen: ESA/Gaia.

si mismo y completa 4 rotaciones diarias. Se estima que a lo largo de toda la misión observe cada objeto estelar una media de 72 veces, esto permitirá mejorar la calidad de las medidas y proporcionará información sobre la variabilidad estelar.

Diariamente, Gaia recoge entorno a 36 GB de datos, que se envían a la Tierra para ser procesados y puestos a disposición de la comunidad científica. Esta tarea se lleva a cabo por el *Data Processing and Analysing Consortium* (DPAC), que está compuesto por ingenieros y científicos de más de 20 países. Este consorcio está dividido en 9 unidades de coordinación, que a su vez están organizadas en diferentes paquetes de trabajo. Cada una de estas unidades de coordinación hace uso de un centro de cálculo para realizar sus tareas, que les ofrece recursos hardware y soporte software.

Para realizar este estudio, principalmente hemos utilizado la base de datos correspondiente al segundo lanzamiento de datos, la Gaia DR2 (Data Release 2), que se hizo pública en abril de 2018. Aunque también hemos complementado estos datos haciendo uso de la base de datos Gaia EDR3 (Early Data Release 3), publicada en diciembre de 2020.

Para la explotación de estas bases de datos, el usuario dispone de dos servicios o plataformas. La más básica de ellas es la *ARI's Gaia Services*, que permite realizar consultas a la base de datos de Gaia introduciendo el nombre del objeto, sus coordenadas

o su correspondiente ID de Gaia. Como respuesta, se obtienen los parámetros astrométricos y fotométricos del objeto consultado: posición, paralaje, movimientos propios, magnitud, color...

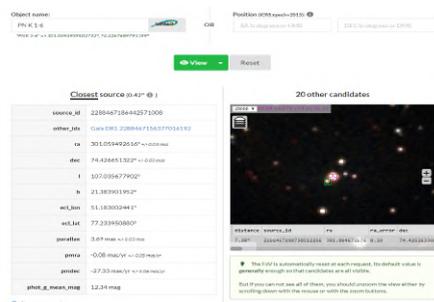


FIGURA 1.6: ARI's Gaia Services.

En el caso de haber introducido unas coordenadas, devolverá los parámetros correspondientes al objeto más cercano detectado a esas coordenadas. También se muestra al usuario una imagen espacial (proveniente del software de *Aladin*) indicando la posición de los 20 objetos más cercanos. Esta plataforma también permite realizar consultas masivas, introduciendo una lista de hasta 200 objetos o coordenadas en formato CSV.

La forma oficial de acceder a los datos del catálogo de Gaia y que sirve para realizar consultas más específicas, es mediante el servicio de *Gaia Archive*. En este entorno los datos son extraídos a través de consultas ADQL (Astronomical Data Query Language), lo que permite realizar una búsqueda de datos mas precisa. Por ejemplo, dadas unas coordenadas y un radio angular de búsqueda, permite obtener los parámetros especificados por el usuario para todos los objetos detectados dentro de la región cónica indicada. En este servicio el usuario debe indicar sobre que tabla/s quiere realizar la consulta.

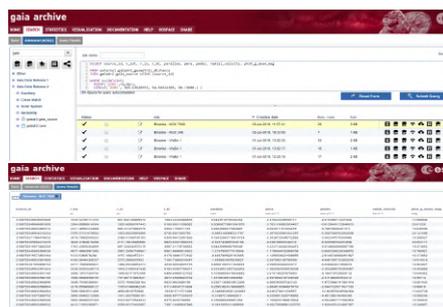


FIGURA 1.7: Gaia Archive.

1.5 Objetivos y Estructura

Esta Tesis se centra principalmente en el estudio y análisis de las estrellas en fase de Nebulosa Planetaria, complementado con un breve estudio sobre las estrellas en la fase previa, la fase de post-AGB. Para ello, se hace uso de los precisos datos astrométricos y fotométricos proporcionados por el satélite espacial Gaia, concretamente con los datos de Gaia DR2 y Gaia EDR3. El objetivo principal es analizar las diferentes propiedades de estas estrellas (la distribución espacial, la temperatura, la luminosidad, la masa, la edad

evolutiva o la binariedad), así como de sus envolturas nebulares (el tamaño, la velocidad de expansión o la edad cinemática). Otro objetivo es analizar las abundancias químicas de las nebulosas, lo que ayudaría a entender la composición del medio interestelar.

El siguiente capítulo de esta Tesis contiene el estudio llevado a cabo sobre las NPs mediante los datos de DR2, que está basado principalmente en los artículos de González-Santamaría et al. [16, 17], publicados por nuestro grupo de investigación durante la etapa predoctoral. Mientras que en el tercer capítulo se exponen las mejoras introducidas mediante los datos de EDR3 en el estudio de las NPs, que se basa en nuestro trabajo previo de González-Santamaría et al. [18]. A continuación, también con datos de EDR3, se presenta un estudio sobre las estrellas en fase de post-AGB, que arroja más luz sobre lo que se sabía hasta ahora sobre este tipo de estrellas. Finalmente, el último capítulo trata sobre el análisis espectral llevado a cabo para alguna de las nebulosas estudiadas anteriormente, y sobre la posterior estimación de abundancias iónicas y elementales de estas nebulosas a partir de sus líneas espectrales.

Capítulo 2

Nebulosas Planetarias en Gaia DR2

En este capítulo estudiaremos y analizaremos las propiedades de las nebulosas planetarias (NP) de nuestra galaxia y de sus correspondientes estrellas centrales (EC). Para ello, será necesario conocer las distancias a la que se encuentran, por lo que se deberá disponer de su paralaje (ángulo de variación en el cielo al ser observado un objeto desde Tierra entre dos tiempos opuestos del año). Por lo tanto, se comienza explicando el proceso de búsqueda y selección de estrellas centrales de nebulosas planetarias (ECNPs) con paralajes conocidos en Gaia DR2, partiendo de datos bibliográficos sobre estos objetos estelares y tratando de identificarlos con fuentes de la base de datos de Gaia DR2. A continuación, se analizan las propiedades generales de los objetos de la muestra seleccionada. Después, para un estudio más detallado, se selecciona una submuestra de ECNPs con los parámetros astrométricos más precisos y se analizan más en profundidad las propiedades de los objetos de este conjunto. Finalmente, se analizará el estado evolutivo de algunas de estas ECNPs mediante su ubicación en el diagrama de Hertzsprung-Russel (HR).

2.1 Identificación de Estrellas Centrales de Nebulosas Planetarias

Con el objetivo de crear un catálogo de nebulosas planetarias con distancias conocidas lo más amplio posible, se comienza reuniendo y unificando los catálogos de NPs que consideramos más completos hasta la fecha: Kerber et al. [19], Stanghellini and Haywood [4] y Weidmann and Gamen [20]. A continuación, se completa la lista de objetos

resultante con los objetos catalogados como *True PN* en la base de datos de HASH (Hong Kong/AAO/Strasbourg/ H_α) de Parker et al. [21], que incluye NPs detectadas en varios catálogos de H_α . Así, se consigue reunir un total de 2554 nebulosas planetarias con sus respectivas coordenadas provenientes del HASH, con las que se trabajará a partir de ahora.

Una vez realizada esta recopilación inicial de NPs, se trata de identificar las estrellas centrales de estos objetos con fuentes de la base de datos de Gaia DR2. Para ello, se hace uso de la plataforma *ARI's Gaia Services*, y se realizan consultas masivas a la tabla de datos *Gaiadr2.gaia_source* con la opción *by list* introduciendo las coordenadas de los 2554 objetos reunidos, mediante ficheros CSV (con un máximo de 200 objetos por fichero). Como resultado se obtienen los parámetros astrométricos y fotométricos del objeto de Gaia más cercano a cada coordenada introducida. De todos estos objetos, se seleccionan los 1948 que tienen paralaje conocido. Además, con el objetivo de evitar falsas identificaciones, únicamente se consideran los objetos de Gaia más cercanos a las coordenadas de las NPs, aquellos detectados a menos de 5 arcsec de estas. Por lo que quedarán seleccionados 1736 de estos objetos. Nótese que aquellas estrellas centrales de NPs que sean poco visibles o tengan brillo muy débil, no estarán almacenadas en la base de datos de Gaia DR2.

A continuación, para ampliar la información y obtener más parámetros de esta lista de NPs, se hace una consulta a la base de datos astronómica de Simbad utilizando las coordenadas de las fuentes de Gaia identificadas como estrellas centrales de las NPs. Así, se obtienen nuevos datos de estos objetos, como el nombre astronómico, el tipo de objeto estelar, la fotometría en la banda Johnson, el tamaño angular, la velocidad radial... Como filtrado adicional, se eliminan aquellos objetos que no estén catalogados con tipo de objeto *PN* (Planetary Nebula) por Simbad. Por lo tanto, se termina seleccionando una muestra con un total de 1571 NPs.

Hay que remarcar que el proceso de identificación de estrellas centrales de NPs no es una tarea sencilla, ya que en la bibliografía se suelen dar las coordenadas del centro geométrico de la NP, y como la extensión de esta puede ser bastante amplia, no tiene porque coincidir exactamente con las coordenadas de la EC, que es el objeto estelar que se trata de identificar entre las fuentes de Gaia. Por lo tanto, en ocasiones, la EC puede confundirse con alguna otra estrella de campo que se encuentre cerca del

centro geométrico de la NP. Consecuentemente, es posible que se haya realizado alguna falsa identificación. Con el objetivo de minimizar estos posibles casos, se verifica que las magnitudes G de Gaia y las magnitudes V de Johnson obtenidas de Simbad sean similares en cada estrella. Por otra parte, debido a que las ECs suelen estar a temperaturas muy altas, deberían presentar un color azulado. Por lo tanto, se comprueba que el valor BP-RP de Gaia de la estrella seleccionada sea negativo o lo más bajo posible (ya que una alta extinción interestelar puede haber enrojecido la estrella), esto verificaría si la estrella es azul o no, y por tanto si puede tratarse de la EC.

Algunos trabajos recientes sobre identificación de ECs en NPs, también nos han servido como comprobación de nuestras identificaciones. Principalmente el trabajo de Chornay and Walton [22], que presenta un método muy elaborado para esta detección, ha sido utilizado para realizar una comparativa con nuestros resultados, y nos ha llevado a realizar algún cambio en nuestras identificaciones de ECs.

2.2 Muestra General

En esta sección se analizará la muestra general seleccionada compuesta por 1571 NPs. En primer lugar se estudiará la distribución galáctica de estos objetos. Haciendo uso de las coordenadas galácticas (longitud, latitud) proporcionadas por Gaia DR2, se puede ubicar la posición de cada una de las NPs de la muestra en un diagrama de coordenadas para visualizar la distribución galáctica de estas. Como se puede observar en la Figura 2.1, la mayoría de las NPs están situadas alrededor del plano galáctico (latitudes de $\pm 15^\circ$) y en dirección del centro galáctico (longitudes de $\pm 30^\circ$), perdiendo densidad de objetos a medida que la localización se aleja de la dirección al centro galáctico y del plano galáctico. Además, en la Figura 2.2 se muestra más detalladamente esta distribución galáctica mediante un histograma en función de la longitud y otro en función de la latitud. Aquí se puede apreciar claramente también la tendencia de las NPs a aglomerarse en la zona del plano galáctico y en dirección al centro galáctico.

2.2.1 Paralajes y Distancias

Por otra parte, se procede a obtener las distancias desde Tierra de las NPs de la muestra a partir de sus paralajes medidos por Gaia. Este conocimiento nos proporcionará la

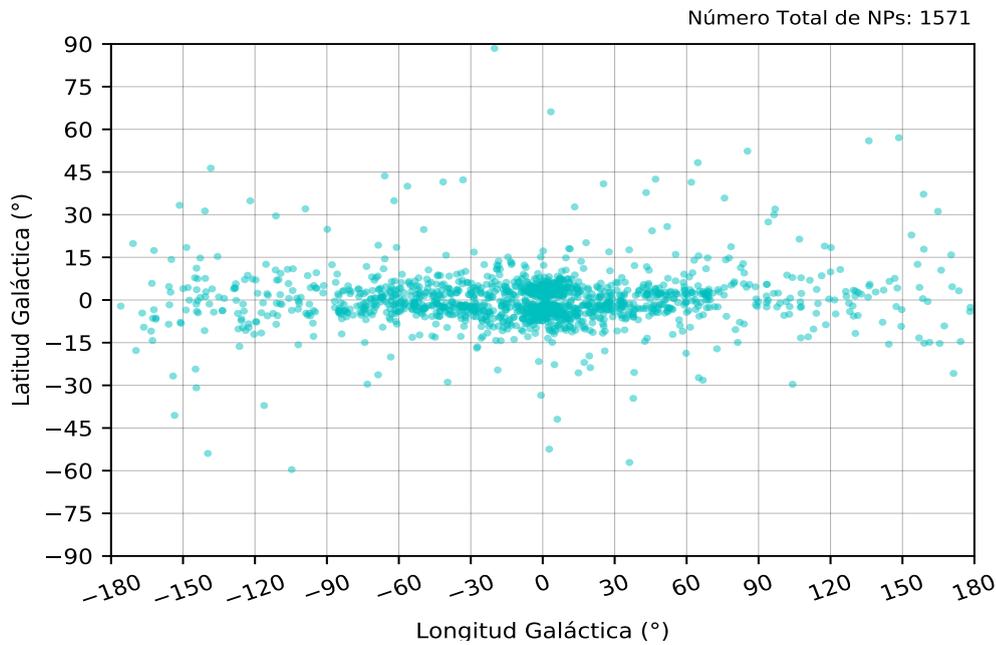


FIGURA 2.1: Distribución galáctica de las 1571 NPs de la muestra, en función de la longitud y la latitud.

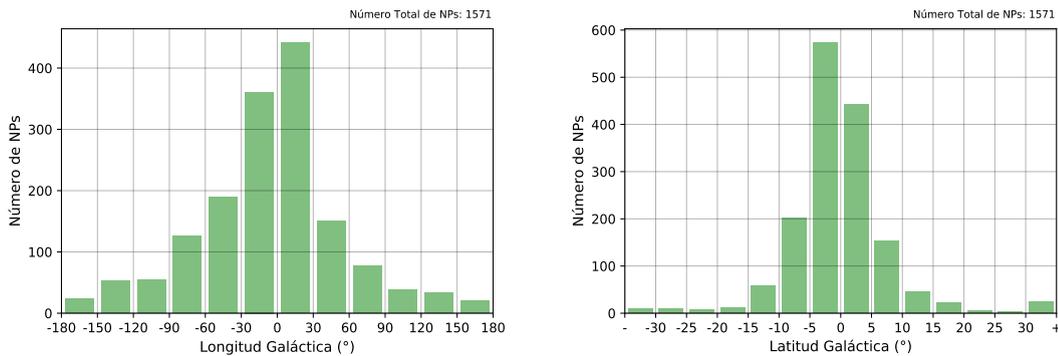


FIGURA 2.2: Histograma de la distribución de NPs en función de la longitud galáctica (izquierda) y de la latitud galáctica (derecha).

posibilidad de estimar las propiedades intrínsecas de las NPs y de sus respectivas estrellas centrales.

Hay que tener en cuenta, que los paralajes medidos por Gaia presentan una pequeña desviación respecto a su valor real. Esta desviación se puede estimar calculando el valor de los paralajes de fuentes que se consideran situadas en el infinito (normalmente quásares), y que idealmente deberían tener un paralaje nulo. El valor obtenido de esta forma, también conocido como *zero point* (z_0), deberá ser substraído del valor del paralaje medido por Gaia (π_{DR2}) para poder obtener el valor del paralaje real estimado (π_0). Este *zero point* depende de varios parámetros del objeto estelar observado, como la posición,

la magnitud o el color. Según las estimaciones de Lindegren et al. [23], el valor medio del *zero point* es de -0.03 miliarcsec (mas). Por lo tanto, los paralajes medidos por Gaia deberán ser corregidos de la siguiente manera:

$$\pi_0 = \pi_{DR2} + 0.03$$

Por otra parte, los errores de los paralajes medidos por Gaia representan únicamente el error aleatorio o interno de la medida (σ_i). Por lo que también es necesario tener en cuenta el error sistemático o externo (σ_s) para obtener el error total de la medida (σ_T). Siguiendo con el estudio de Lindegren et al. [23], el error total del paralaje podrá estimarse mediante la siguiente relación:

$$\sigma_T = \sqrt{k^2 \cdot \sigma_i^2 + \sigma_s^2},$$

donde el valor del error sistemático dependerá de la magnitud del objeto observado y el parámetro k se establece como 1.08, así, el error total del paralaje se puede expresar de la siguiente manera:

$$\sigma_T = \begin{cases} \sqrt{1.08^2 \cdot \sigma_i^2 + (0.043)^2}, & \text{if } G > 13 \\ \sqrt{1.08^2 \cdot \sigma_i^2 + (0.021)^2}, & \text{if } G \leq 13 \end{cases} . \quad (2.1)$$

Una vez corregidos los valores de los paralajes de Gaia DR2 y de sus respectivos errores, obtenemos el error relativo de los paralajes, para poder hacernos una idea de la precisión de estos, y por tanto, de la precisión de las distancias que se derivarán de estos paralajes. En la Figura 2.3 se puede observar la distribución de estos errores relativos (hasta el 200%). Se puede concluir que la mayoría de objetos tienen errores de entre el 10% y el 70%. Otro

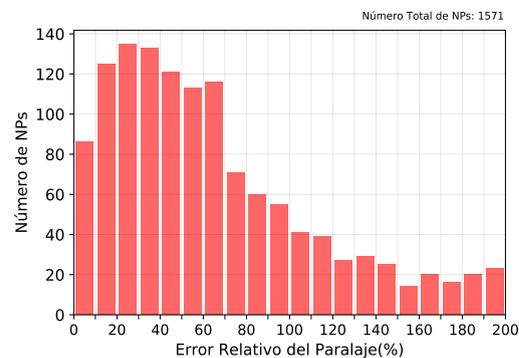


FIGURA 2.3: Distribución de los errores relativos del paralaje de las NPs, hasta el %200.

apunte importante es que en torno al 40% del total de las NPs tienen errores relativos del paralaje por encima del 100%.

Habitualmente, para paralajes por encima del arcsec (o lo que es lo mismo, distancias por debajo de 1 parsec) y errores relativos bajos, la distancia (D) de un objeto estelar se puede estimar por simple trigonometría, como la inversa del paralaje (π):

$$D = \frac{1}{\pi}$$

Sin embargo, cuando el paralaje toma valores más pequeños y su error relativo comienza a ser considerable, esta aproximación deja de ser válida y hay que recurrir a métodos más complejos de estimación. En nuestro caso, los paralajes obtenidos para las estrellas centrales de las NPs, son del orden del miliarcsec y con errores relativos del mismo orden, por eso hay objetos con errores relativos por encima incluso del 100%. Por lo tanto, no se podrá utilizar el método trigonométrico tradicional para la estimación de sus distancias.

Consecuentemente, en este trabajo, haremos uso del método de aproximación estadístico Bayesiano propuesto por Bailer-Jones et al. [24]. Este método consiste en asumir un espacio de densidad de probabilidad exponencialmente decreciente para las distancias de las estrellas de la galaxia, como se explica en los trabajos de Astraatmadja and Bailer-Jones [25] y Bailer-Jones [26]. Para ello, se utiliza una escala de distancia que varía en función de la latitud y longitud galáctica, de acuerdo con un modelo apropiado para las observaciones de Gaia.

Los valores de las distancias estimadas mediante este método se pueden extraer de la tabla *gaiadr2_complements.geometric_distance* en la base de datos de Gaia DR2. Esta tabla también contiene, entre otros parámetros, un valor de distancia mínima y máxima para cada distancia estimada.

Así pues, obtenemos estas distancias para la muestra de 1571 NPs, cuya distribución puede verse en la Figura 2.4. Como puede observarse, la mayoría de las NPs se encuentran a una distancia de entre 1.5 kpc y 5 kpc. Por otra parte, si se hace un ajuste Gaussiano de esta distribución (misma figura), se obtiene que el valor medio de la distancia es de 3.55 kpc, con una desviación típica de 1.94 kpc. Mientras que las NPs más lejanas se encuentran a más de 8 kpc.

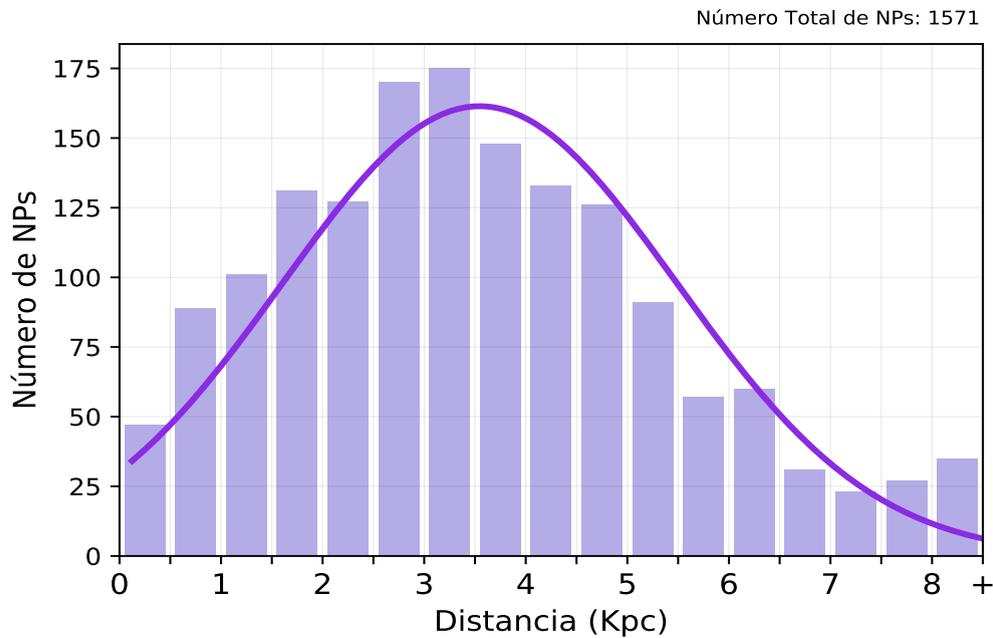


FIGURA 2.4: Distribución de distancias de las NPs, junto con su ajuste Gaussiano.

Por otra parte, a partir de los valores mínimos y máximos de las distancias estimadas, obtenemos el error relativo inferior y superior para cada distancia.

Analizando estos errores, se puede estimar la precisión de las distancias de las NPs. En la Figura 2.5 puede observarse la distribución de estos errores. Los errores relativos inferiores tienden a ser más bajos, la inmensa mayoría de las NPs presentan errores inferiores por debajo del 60%. Mientras que los errores relativos superiores toman valores más homogéneamente distribuidos, incluso presentando alguna NP un error superior por encima del 100%.

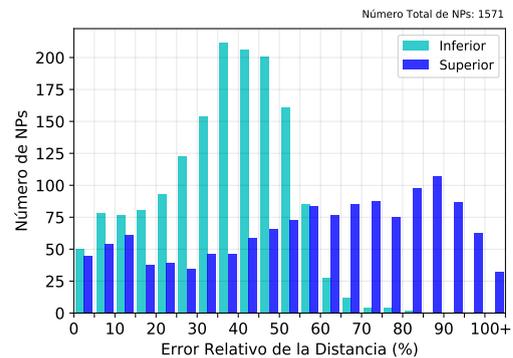


FIGURA 2.5: Distribución de los errores relativos de la distancia, para el límite inferior y superior de las distancias.

En principio cuanto mayor sea la distancia a la que está situada una NP mayor será el error de este parámetro, ya que menos precisa podrá ser la medición de su paralaje. Si se hace un estudio de la distribución de los errores relativos de las distancias para diferentes rangos de distancias, se puede analizar este comportamiento. Para ello, se selecciona una

muestra que contiene solo aquellas NPs con distancias hasta los 2 kpc. A continuación, se divide esta en cuatro submuestras: la primera con los objetos situados entre 0 y 500 pc, la segunda con los situados entre 500 y 1000 pc, la tercera con los situados entre 1000 y 1500 pc y la cuarta con los situados entre 1500 y 2000 pc. Finalmente se representa la distribución de errores relativos para cada una de las submuestras, Figura 2.6, para poder analizar la tendencia de cada una de estas. Este análisis se hace tanto para los errores relativos inferiores de la distancia (panel izquierdo) como para los superiores (panel derecho).

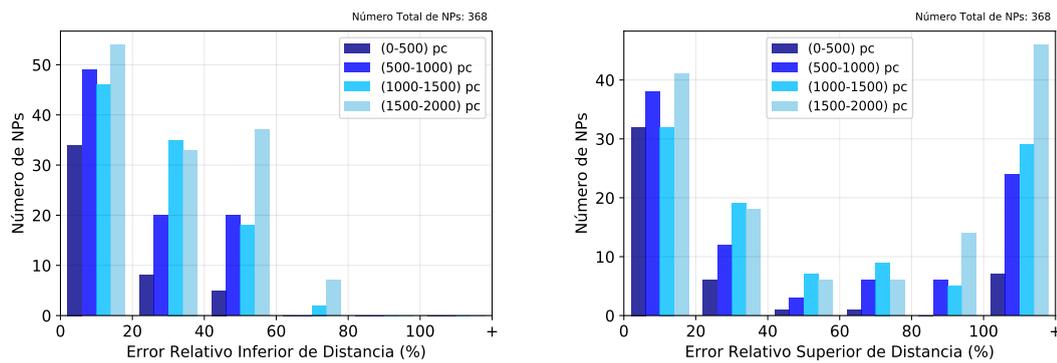


FIGURA 2.6: Distribución de los errores relativos de la distancia para diferentes submuestras en función del rango de distancia. A la izquierda se sitúa la distribución de errores inferiores y a la derecha la de errores superiores.

En el caso de los errores inferiores, cuanto más cercanas son las NPs, más claramente se puede apreciar esta tendencia. Es decir, se ve que presentan errores relativos inferiores más bajos. Por otra parte, en el caso de los errores superiores, esta relación no es tan clara. A pesar de que una gran cantidad de NPs poseen errores relativos superiores por debajo del 20% para todas las submuestras y luego esta cantidad va decayendo con el aumento del error, también se ve que hay muchas NPs con errores relativos superiores por encima del 100%. Aunque también es cierto que cuanto más cercanas son las submuestras menos objetos tienen por encima de este error.

2.2.2 Densidad galáctica de NPs

Un estudio interesante que se puede realizar a partir de los parámetros obtenidos para las NPs de esta muestra, es la estimación de la densidad de NPs en nuestra galaxia. Para llevar a cabo este análisis, en primer lugar, se calcula la densidad de NPs en la vecindad del Sol y como primera aproximación, se extrapola este valor para el resto

de la galaxia. Para ello, siguiendo el procedimiento de Frew [6], se obtiene el número de NPs dentro de un volumen cilíndrico alrededor del Sol. En este caso, se decide utilizar un volumen de radio $R=2$ kpc, ya que se considera un volumen suficientemente pequeño para poder suponer completitud de la muestra y suficientemente grande para tener un número considerable de objetos para poder hacer un análisis estadístico. Por lo tanto, se seleccionan aquellos objetos que cumplan $r = D \cdot \cos(\phi) < 2$ kpc, donde D es la distancia a la NP y ϕ es la latitud en radianes, y sin restricción en la altura. Así, se obtienen un total de 374 NPs en el interior de esta región. A continuación, para fijar la altura del volumen cilíndrico, se decide utilizar la altura de escala (H_z), es decir, la altura galáctica a la cual la densidad de población de las NPs disminuye en un factor e . Para calcular H_z se asume que el Sol está suficientemente cerca del plano galáctico y se calculan las alturas galácticas de las NPs como $z = D \cdot \sin(\phi)$ (ver valores obtenidos en Tabla A.1), cuya distribución en valor absoluto puede verse en la Figura 2.7 en espaciados de $z = 25$ pc.

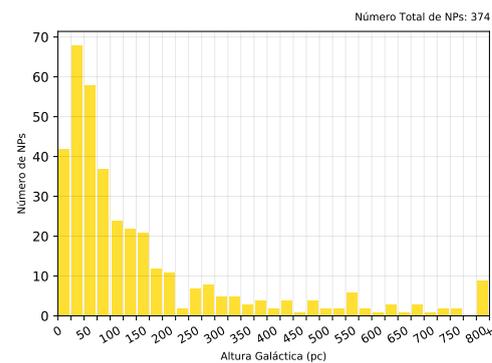


FIGURA 2.7: Distribución de las alturas galácticas (valor absoluto) de las NPs contenidas en una región cilíndrica de 2 kpc de radio.

Haciendo uso de estos datos, se obtiene el logaritmo de la población de NPs (N_z) en cada franja de la altura galáctica y se hace una regresión lineal para poder representar la variación de la población de NPs en función de la altura galáctica, como puede verse en la Figura 2.8. Nótese que para realizar el ajuste, no se ha considerado la población de NPs con altura galáctica por encima de los 600 pc, ya que a partir de esta altura tenemos muy pocos datos y la estadística es muy pobre. Así pues, se obtiene la siguiente expresión:

$$\ln(N_z) = -5.96 \cdot 10^{-3} \cdot |z| + 3.84434,$$

con un error cuadrático de $\sigma^2 = 0.34$. Por lo tanto, utilizando esta expresión, se puede obtener H_z calculando la altura a la que el logaritmo de la población haya disminuido en 1 (o la población en un factor e) desde la superficie ($z=0$).

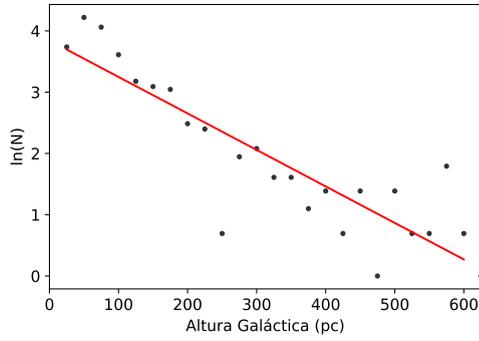


FIGURA 2.8: Población de NPs (expresión logarítmica) en función de la altura galáctica, junto con la regresión lineal ajustada a los datos.

Consecuentemente se obtiene el siguiente valor para la altura de escala:

$$H_z = 168 \text{ pc.}$$

Realizando el mismo cálculo pero utilizando los límites inferiores y superiores de las distancias en lugar del valor medio, se obtiene una cota inferior y superior para este parámetro:

$$H_z = 168_{-62}^{+27} \text{ pc.}$$

Este valor es similar al obtenido por Pottasch [27] de 180 ± 20 pc, aunque algo inferior al de 217 ± 20 pc estimado por Frew [6].

Una vez estimado el valor de la altura de escala, ya se tienen las dimensiones del volumen cilíndrico (V_c) con altura de 2 veces H_z (ya que se ha considerado el valor absoluto) sobre el cual calcular la densidad galáctica de NPs: $V_c = \pi R^2 \cdot 2H_z$. Y por otra parte, se obtiene el número de NPs contenidas en este volumen cilíndrico alrededor del Sol, $N_c = 269$. Por lo tanto, la densidad galáctica de NPs resulta ser:

$$\rho = \frac{N_c}{V_c} = 6.37 \cdot 10^{-8} \text{ NPs/pc}^3.$$

Del mismo modo que se hace con la altura de escala, se calcula una cota inferior y superior para este parámetro, obteniendo el siguiente resultado: $\rho = 6.4_{-1.8}^{+4.7} \cdot 10^{-8} \text{ NPs/pc}^3$. Este valor de la densidad es ligeramente inferior al estimado por Zijlstra and Pottasch [28] de $7 \cdot 10^{-8} \text{ NPs/pc}^3$, aunque entra dentro de los rangos de error.

2.2.3 Población galáctica de NPs

El número total de NPs que pueblan nuestra galaxia es un dato muy importante que puede utilizarse para el estudio de la población subyacente de la que derivan. Utilizando la información sobre las posiciones en 3D obtenidas de la base de datos de Gaia DR2 para la muestra de 1571 NPs, se puede estimar la población total de NPs en la Vía Láctea.

Para llevar a cabo este cálculo, se utiliza la relación entre el número de NPs en función de la altura galáctica, N_z , obtenida en la sección anterior a partir de la regresión lineal. En este caso, se expresa el número total en vez de su logaritmo:

$$N_z = e^{-5.96 \cdot 10^{-3} \cdot |z|} \cdot e^{3.84434} = 46.7278 \cdot e^{-5.96 \cdot 10^{-3} \cdot |z|}$$

A partir de esta expresión, se puede obtener una densidad en función de la altura galáctica (ρ_z), dividiendo entre el volumen de las celdas sobre la que se hacen los conteos, $V = \pi R^2 \cdot \Delta z$, donde $R = 2000$ pc y $\Delta z = 25$ pc. Por tanto, la densidad puede expresarse como:

$$\rho_z = \frac{46.7278 \cdot e^{-5.96 \cdot 10^{-3} \cdot |z|}}{\pi \cdot 2000^2 \cdot 25}.$$

Por otra parte, si se extrapola esta función de densidad para toda la galaxia, $\rho_z = \rho_g$, y se considera la galaxia como un disco de 15 kpc de radio, se puede calcular el número total de NPs en el disco galáctico:

$$d(N_g) = \rho_z \cdot d(V_g) = \rho_z \cdot \pi(15\,000)^2 dz$$

$$N_g = 105.1376 \cdot \int_0^{644} e^{-5.96 \cdot 10^{-3} |z|} dz = 17\,261 \text{ NPs},$$

donde $z = 644$ pc es la altura a la que el número de NPs se convierte en 0 según la regresión lineal utilizada. Al igual que se hizo con la altura de escala y la densidad galáctica, se recalcula este parámetro haciendo uso de los límites inferiores y superiores de las distancias, para poder estimar una cota inferior y superior de la población galáctica de NPs. Así pues, obtenemos el siguiente valor: $N_g = 17.261_{-7.520}^{+27.297}$ NPs. A esta estimación de un total de 17 261 NPs del disco galáctico habría que sumarle las NPs que se calcula que se encuentran en el bulbo galáctico, unas 3500 según Peyaud [29]. Por lo tanto, se estima que haya alrededor de 21 000 NPs en la Vía Láctea. Se prevé que este número esté ligeramente subestimado, ya que faltarían las NPs del halo y algunas NPs no detectadas por Gaia o con paralaje desconocido para Gaia en la vecindad del Sol, donde se ha realizado la estimación que se extrapola para el resto del disco galáctico. Aunque el

número de NPs no detectadas o con falta de paralaje no será muy elevado, ya que a cortas distancias la precisión de Gaia es muy alta. Por su parte, en el trabajo de Zijlstra and Pottasch [28], se estima una población de NPs en el disco galáctico de alrededor de 23 000 NPs, considerablemente superior a nuestra estimación, aunque dentro de las cotas de error.

2.2.4 Completitud de la Muestra

Otro análisis de gran interés que puede realizarse, es el estudio de la completitud de la muestra de 1571 NPs seleccionada. Normalmente en astrofísica, cuando se trabaja sobre un número elevado de objetos, hay varios factores que hacen que la muestra sea incompleta. Concretamente, en este proceso de selección no se han tenido en cuenta aquellos objetos con paralajes desconocidos en Gaia DR2, aquellos detectados mas lejos de 5 as de las coordenadas de la NP y aquellos no catalogados como *PN* en Simbad. Por otra parte, hay varios factores externos que han contribuido a la incompletitud de la muestra. Principalmente, la dificultad de detectar objetos a medida que estos son mas lejanos. También, la alta extinción interestelar cerca del plano galáctico dificulta la detección de los objetos situados en esta zona. Finalmente, el bajo brillo que emiten las estrellas centrales de NPs muy viejas también hace difícil que sean detectables. Debido a estas causas se han perdido muchos objetos que han hecho que la muestra seleccionada sea incompleta.

En general, a medida que la distancia de búsqueda va aumentando, se van perdiendo más objetos. En esta subsección se trata de estimar hasta que distancia la muestra se puede considerar completa. Para ello, se hace una predicción del número de NPs esperadas en función de la distancia, teniendo en cuenta la densidad galáctica de NPs. En este caso se utilizará una densidad galáctica global, en lugar de la obtenida en la Subsección 2.2.2, que estaba estimada considerando una región con límites fijados por la escala de altura. Ahora, se estima la densidad galáctica sobre un volumen cilíndrico de igual radio (2 kpc) pero de altura igual a dos veces 644 pc (altura a la cual la regresión lineal predecía una población de NPs nula). Dentro de esta región se encuentran un total de 355 NPs de la muestra, por lo que la densidad aquí resulta ser:

$$\rho = \frac{355}{\pi \cdot 2000^2 \cdot 2 \cdot 644} = 2.19 \cdot 10^{-8} \text{ NPs/pc}^3.$$

Este valor se considerará como densidad galáctica global de NPs, y se utilizará para la predicción del número de NPs en función de la distancia.

Por otra parte, se representa la distribución acumulativa de la muestra de NPs en función de la distancia (excluyendo aquellas con altura galáctica absoluta mayor de 644 pc). Por último, como puede verse en la Figura 2.9, se compara esta distribución con la función de población de NPs estimada de acuerdo con la densidad obtenida anteriormente y considerando volúmenes esféricos de radio igual a la distancia

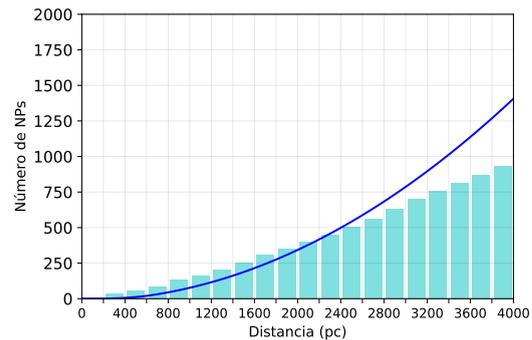


FIGURA 2.9: Distribución acumulativa de distancias (azul claro), junto con la función de población predicha (azul oscuro).

(para radios esféricos mayores de 644 pc, es necesario extraer las capas esféricas que sobrepasen esta altura, para ajustar la función de población). En esta figura, se puede observar que la predicción se cumple hasta la distancia de 2300 pc aproximadamente. Por lo que se puede concluir que la muestra de 1571 NPs es completa hasta estos 2.3 kpc.

Hay que notar que a lo largo de toda esta sección, hemos analizado una muestra de objetos con paralajes que en ocasiones presentan errores muy elevados o que incluso tienen valores negativos, y que esto repercute directamente en los errores de las distancias. Pero para el análisis general de las propiedades de las NPs de nuestra galaxia que se ha realizado en este capítulo (distribución galáctica, distribución de distancias o propiedades generales de la población de NPs), es conveniente no hacer ningún tipo de cribado en la muestra general para no influir en las propiedades estadísticas de la muestra. Como ya se comenta en el trabajo de Luri et al. [30], en caso de filtrar los datos de una muestra imponiendo un valor umbral para los paralajes o eliminando los paralajes negativos, haría que la distribución de distancias no fuese representativa y podría llevar a resultados y conclusiones erróneas sobre las propiedades estadísticas de la muestra.

En el próximo capítulo, donde se analizarán propiedades más precisas de las NPs, sí que se hará un filtrado previo para mantener únicamente aquellas NPs con distancias más fiables.

2.3 Muestra GAPN-DR2

Para realizar un estudio más detallado sobre las propiedades de las NPs, se procede a seleccionar aquellos objetos con medidas de paralajes y distancias más precisas en Gaia DR2, sobre la muestra general de 1571 NPs. En otras palabras, se seleccionan aquellos objetos que poseen errores más bajos en sus parámetros astrométricos. Para ello, se filtra la muestra imponiendo límites superiores a estos parámetros de los objetos de la muestra.

En primer lugar, se impone que tanto el error relativo del paralaje como los errores relativos (inferior y superior) de la distancia sean menores del 30%. Como se vio en las Figuras 2.3 y 2.5, la mayoría de las NPs tienen errores relativos por encima de este umbral en ambos parámetros, lo que hace que este cribado sea bastante exigente.

Además, por otra parte, siguiendo las recomendaciones de Lindegren et al. [23], se impone que los parámetros UWE (Unit Weight Error) y $RUWE$ (Renormalised Unit Weight Error) que miden la calidad astrométrica de las observaciones, cumplan las siguientes restricciones: $UWE < 1.96$ y $RUWE < 1.4$. El parámetro UWE se define como $\sqrt{\frac{\chi^2}{N-5}}$, donde χ^2 es el parámetro $astrometric_chi2_al$ y N es el parámetro $astrometric_n_goods_obs_al$. Ambos valores se pueden extraer de la base de datos de Gaia DR2. Mientras que el parámetro $RUWE$ viene dado por el correspondiente valor del UWE re-normalizado por una función $U_0(G, C)$, que a su vez depende del brillo (magnitud G) y del color del objeto ($C = G_{BP} - G_{RP}$). El valor que toma en cada caso esta función se ha obtenido por interpolación sobre las tablas de datos proporcionadas en la página *ESA Gaia DR2 known issues*.

Finalmente, como último filtrado, también se hizo una comprobación visual de las imágenes de las NPs, llevándonos a descartar alguna de ellas por tener una identificación dudosa de su estrella central. Así pues, se obtuvo una muestra final con un total de 217 NPs, que nombramos como *GAPN-DR2 (Golden Astrometry Planetary Nebulae in DR2)*. Los parámetros astrométricos de todas las NPs de esta muestra pueden consultarse en la Tabla A.1.

2.3.1 Distribución Galáctica

Al igual que se hizo en la sección anterior, en esta también se analiza la distribución galáctica de las 217 NPs de la muestra GAPN-DR2, en función de sus longitudes y su latitudes galácticas. En el diagrama de la Figura 2.10 puede visualizarse esta distribución. Similarmente al caso de la muestra general, aquí también puede observarse que la mayoría de las NPs están ubicadas cerca del plano galáctico. De hecho, en este caso la tendencia es más pronunciada, encontrándose la mayoría de las NPs dentro de una pequeña franja a latitudes de entre $\pm 5^\circ$, como puede verse más al detalle en la Figura 2.11 (panel derecho).

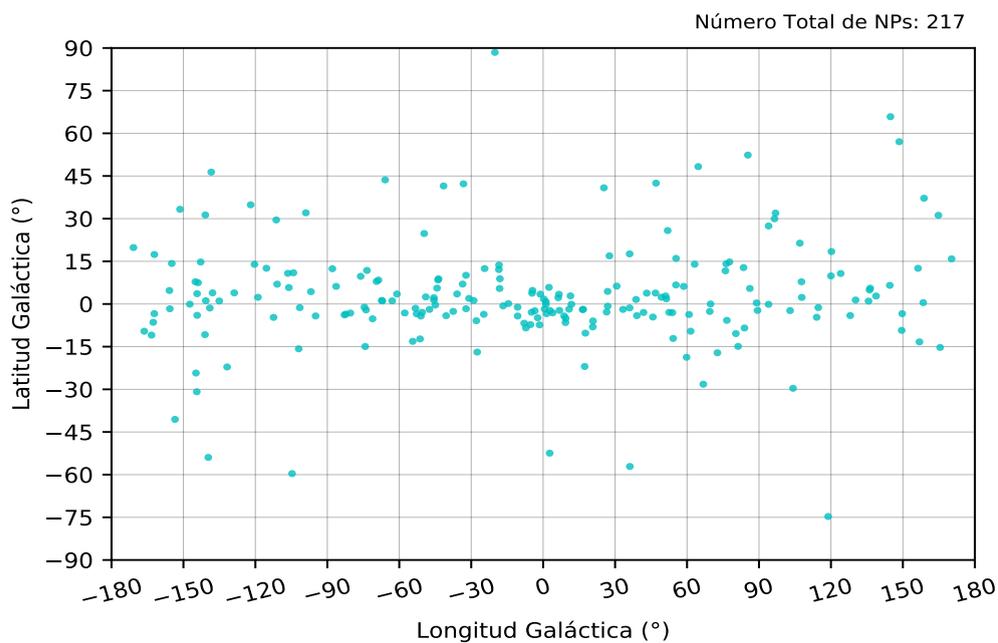


FIGURA 2.10: Distribución galáctica de las 217 NPs de la muestra GAPN-DR2, en función de la longitud y la latitud galáctica.

Sin embargo, en este caso, las NPs están más uniformemente distribuidas en función de la longitud galáctica, y no se aglomeran tanto en dirección al centro galáctico como podía observarse en el caso de la muestra general de NPs. Esto podría deberse a que al haber filtrado los objetos con distancias más fiables, estos tenderán a estar ubicados a distancias más cortas, y por tanto la distribución galáctica en esa zona más cercana no se verá tan influenciada por la alta densidad estelar presente en zonas cercanas al centro galáctico. De todas formas, como puede verse en la Figura 2.11 (panel izquierdo), sí que se muestra un ligero aumento de NPs en longitudes de entre ± 60 , que indican la dirección al centro galáctico.

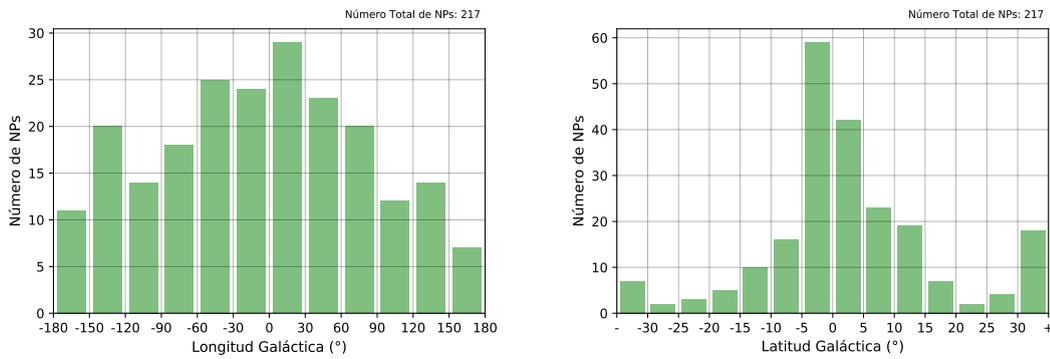


FIGURA 2.11: Histograma de la distribución de NPs en función de la longitud galáctica (izquierda) y de la latitud galáctica (derecha).

2.3.2 Paralajes y Distancias

En esta subsección se analizan las distancias a las que se encuentran las NPs contenidas en la muestra GAPN-DR2, que como se ha dicho anteriormente serán las más precisas del total de las 1571 NPs. Las distancias se derivan a partir de los paralajes, que dentro de la muestra GAPN-DR2 ya se sabe que tendrán todos un error relativo por debajo del 30%. Si se analiza la distribución de estos errores, puede verse mediante la Figura 2.12, que la mayoría de ellos están entre el 4% y el 22%. La poca cantidad de objetos obtenidos con errores relativos del paralaje por encima del 22% seguramente sea debido a que el cribado por errores en las distancias por debajo del 30% haya eliminado muchos de los objetos con errores relativos en paralajes más altos. En cuanto a la baja presencia de objetos con errores relativos del paralaje por debajo del 4%, puede ser consecuencia de que las mediciones en Gaia DR2 no sean lo suficientemente precisas como para poder detectar suficientes objetos con un error tan bajo del paralaje (menor del 4%).

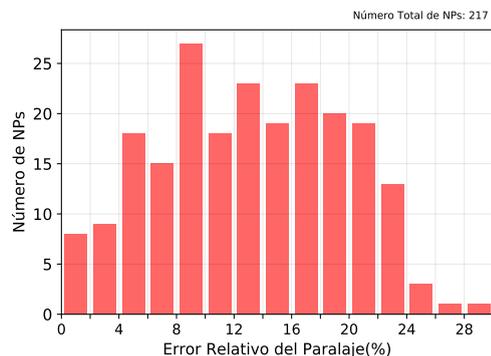


FIGURA 2.12: Distribución de los errores relativos del paralaje de las NPs de la muestra GAPN-DR2.

Podría pensarse que el error relativo del paralaje este relacionado con el brillo del objeto estelar en cuestión, es decir, a mayor brillo de un objeto más facilidad de ser detectado y con mayor exactitud podría medirse su paralaje, lo que haría

que presentase un error relativo menor. Para estudiar esta posible relación, se hace un pequeño análisis representando el error relativo del paralaje de los objetos de la muestra GAPN-DR2 en función de la magnitud G de Gaia DR2.

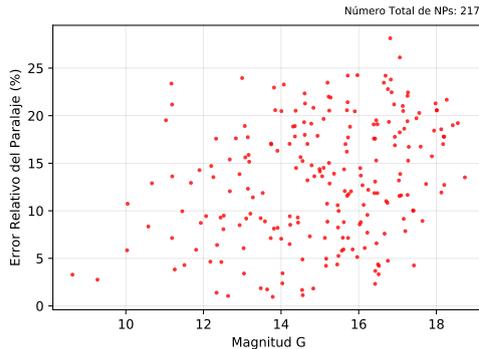


FIGURA 2.13: Error Relativo del Paralaje de los objetos del GAPN-DR2 en función de su brillo (magnitud G).

Como resultado se obtiene la gráfica que puede verse en la Figura 2.13. En principio no se puede extraer ninguna relación clara entre ambos parámetros. Aunque si se puede concluir que los objetos más brillantes ($G < 10$) poseen errores relativos del paralaje menores del 5%. Mientras que la mayoría de objetos con $G < 12$ tiene errores por debajo del 15%. Para el resto de objetos, la distribución es bastante homogénea, por

lo que no se puede sacar mucha más conclusión al respecto.

En cuanto a las distancias estimadas a partir de estos paralajes, decir que la inmensa mayoría de las NPs de la muestra GAPN-DR2 están situadas por debajo de 4 kpc, encontrándose las más lejanas a menos de 5 kpc. Es decir, que las distancias de esta muestra son significativamente más cercanas que las de la muestra general analizada en la sección anterior. Esto es de esperar al haber impuesto que las distancias en esta muestra tuvieran un error relativo bajo. En la Figura 2.14 puede observarse la distribución de estas distancias.

Si se analiza esta distribución, puede apreciarse que a partir de los 2 kpc el número de NPs comienza a decaer considerablemente. Esta tendencia concuerda con el estudio sobre la completitud realizado en la sección anterior, donde se había fijado el límite de completitud alrededor de los 2300 pc. Por lo tanto, a partir de esa distancia es de esperar que el número de NPs detectadas comience a disminuir.

De todas formas, para descartar otras posibles causas de este límite de completitud (a parte del mero efecto de pérdida de objetos por la lejanía de estos), como podría ser la posible baja densidad estelar en la dirección opuesta al centro galáctico (que podría comenzar a tener efecto a partir de los 2 kpc en esta región), se realizará un breve estudio al respecto.

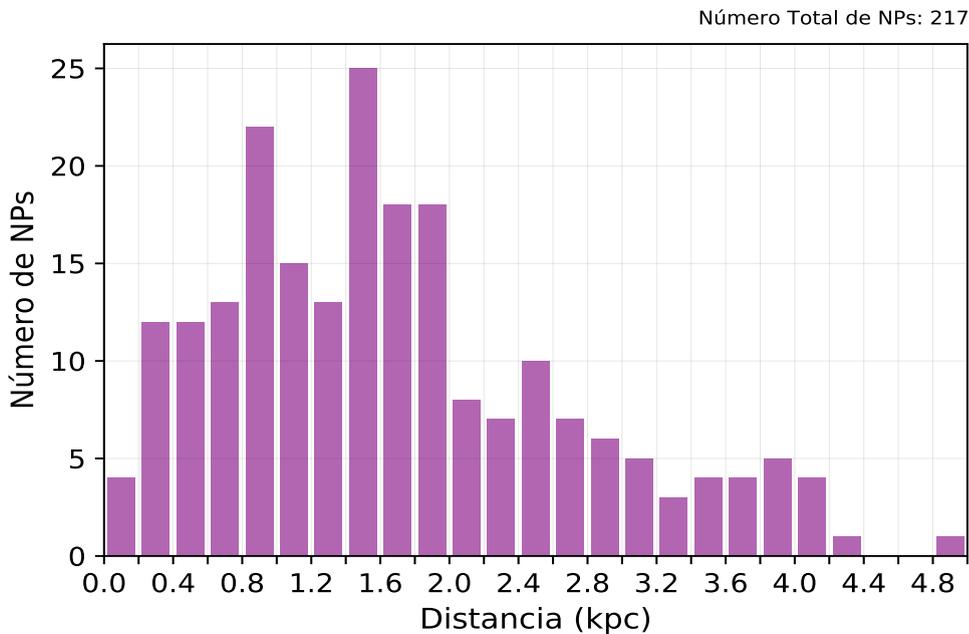


FIGURA 2.14: Distribución de distancias de las 217 NPs de la muestra GAPN-DR2.

Para ello, se verifica si el perfil de la distribución de distancias se mantiene teniendo en cuenta únicamente las NPs situadas en dirección al centro galáctico, es decir, aquellas que están situadas a longitudes galácticas de entre $\pm 90^\circ$. En la Figura 2.15 se muestra la distribución de distancias de esta submuestra compuesta por un total de 139 NPs. Como puede observarse la tendencia es muy similar a la que se da en la muestra completa,

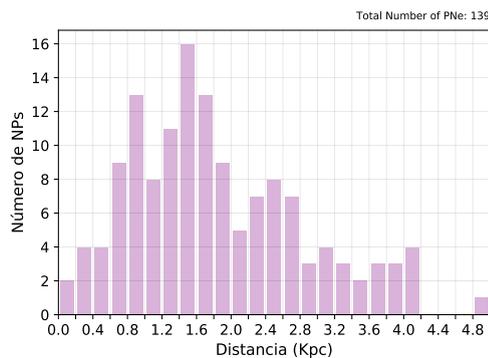


FIGURA 2.15: Distribución de distancias de las NPs de la muestra GAPN-DR2 situadas en dirección al centro galáctico ($-90^\circ < lon < +90^\circ$)

apreciándose esa disminución de NPs a partir de los 2 kpc. Por lo tanto, se podría decir que esa hipotética densidad baja de objetos estelares en dirección opuesta al centro galáctico no está afectando a la completitud de la muestra GAPN-DR2.

Por otra parte, procederemos a realizar una comparativa, para varias NPs de la muestra GAPN-DR2, entre las distancias obtenidas a través de los datos de Gaia DR2 y las obtenidas a través de medidas astrométricas de otras bases de datos o a través de otros métodos utilizados por diferentes autores. Como por ejemplo, métodos de distancias estadísticas, de ajustes de modelos hidrodinámicos, de ajustes de modelos non-LTE a

atmósferas estelares o mediante representación de brillos superficiales de las estrellas centrales frente a los radios nebulares.

En primer lugar, se comparan las distancias obtenidas mediante la astrometría de Gaia DR2 con las distancias obtenidas por Harris et al. [3], que utiliza también datos astrométricos. En la Figura 2.16 puede verse esta comparativa, que muestra las distancias estimadas por cada método para varios objetos en común entre ambas muestras. La línea discontinua muestra la relación 1:1 entre ambas distancias, mientras que

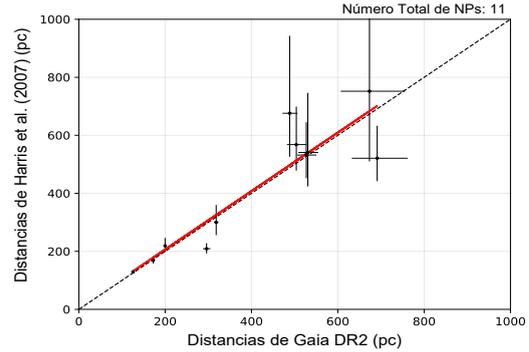


FIGURA 2.16: Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Harris et al. (2007).

la línea roja muestra la regresión lineal entre las dos estimaciones de distancia. En este caso ambas líneas están prácticamente solapadas, lo que quiere decir que en media las distancias estimadas entre ambos métodos tienen mucha similitud. En general, se puede apreciar que los objetos que están ubicados más cerca, muestran distancias más coincidentes entre ambos métodos, y los objetos más lejanos van perdiendo algo de exactitud entre las estimaciones de los dos métodos. Concretamente, los objetos situados por debajo de los 400 pc muestran distancias prácticamente idénticas, aunque también algún objeto situado por encima de los 500 pc tiene distancias iguales a través de ambos métodos. Todos los puntos de la gráfica están representados con las barras de error correspondientes a cada método.

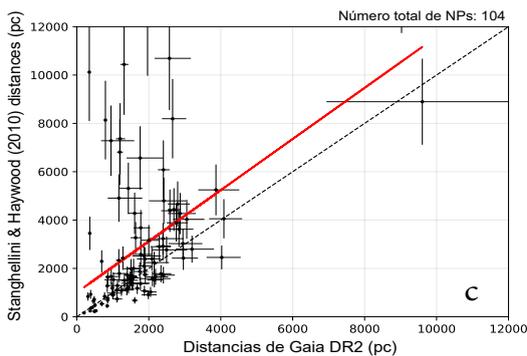


FIGURA 2.17: Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Stanghellini & Haywood (2010).

A continuación, se comparan las distancias obtenidas por Gaia DR2 con las obtenidas mediante el método de distancias estadísticas empleado en el estudio de Stanghellini and Haywood [4]. En la Figura 2.17 puede verse esta comparativa entre las estimaciones de distancias de ambos métodos. En este caso se observa que en general las distancias estimadas mediante el método

estadístico están sobrestimadas respecto a las de Gaia DR2, ya que la línea roja que indica la regresión lineal entre ambas distancias queda por encima de la línea discontinua que indica la relación 1:1 entre las distancias. De todas formas, se puede decir que en media, esta desviación es mas o menos constante, puesto que ambas líneas son prácticamente paralelas, apreciándose un desfase de aproximadamente 1 kpc entre las dos estimaciones. La presencia de este desfase parece deberse principalmente a un grupo marginal de NPs con distancias que muestran una alta discrepancia respecto a las de Gaia DR2. Una posible explicación para este resultado podría ser que las NPs de ese conjunto fueran bipolares o de tipo *butterfly*, ya que el método estadístico no puede estimar bien las distancias a este tipo de NPs.

Un método bastante conocido para estimar distancias es el de ajuste de modelos non-LTE a atmósferas estelares. Este método consiste en extraer la temperatura efectiva (T_{eff}) y el parámetro de gravedad (g) a partir del espectro estelar, para a continuación estimar la masa de la estrella mediante un diagrama de T_{eff} vs $\log(g)$ junto con las trazas evolutivas para estrellas en fase post-AGB. Este procedimiento para estimar distancias fue utilizado por primera vez en el trabajo de Mendez et al. [31]. Más recientemente, se estimaron distancias de más cantidad de NPs en el estudio de Napiwotzki [5] mediante este mismo método. Si comparamos las distancias obtenidas en este estudio con las obtenidas mediante Gaia DR2, Figura 2.18, observamos que al igual que en la comparativa anterior las distancias de Napiwotzki están sobrestimadas respecto a las de Gaia. En este caso también la desviación entre ambas estimaciones es prácticamente constante, mostrando un desfase de alrededor de 400 pc entre ambas.

Es interesante remarcar que en el trabajo de Napiwotzki se plantea la existencia de un posible desfase entre las distancias estimadas espectroscópicamente por él y las estimadas astrométricamente utilizando los paralajes medidos por el USNO (United States Naval Observatory) y el HST (Hubble Space Telescope). Este desfase implicaría que las distancias estimadas astrométricamente estarían

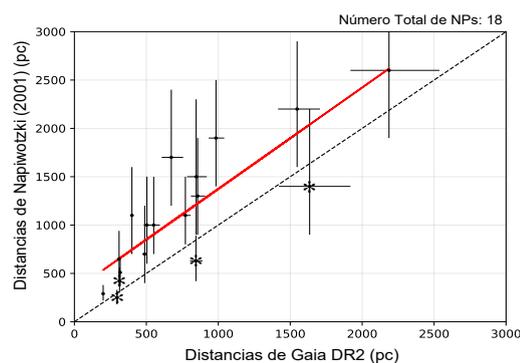


FIGURA 2.18: Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Napiwotzki (2001).

sobrestimadas en comparación con las obtenidas por Napiwotzki. Y explica que el desfase sería causado debido a un truncamiento sobre la muestra astrométrica en función de la calidad de los paralajes, con la idea de desechar paralajes muy pequeños o incluso negativos. Este corte influiría en la estadística de la muestra, tendiendo a sobrestimar las distancias de los objetos de esta. En el caso de la muestra GAPN-DR2 también debería haber influido este desfase en la estimación de las distancias, ya que fue seleccionado a partir de un filtrado previo en función de la calidad astrométrica. Por lo tanto, las distancias espectroscópicas de Napiwotzki deberían estar subestimadas en comparación con las distancias de Gaia DR2 y no sobrestimadas, como se aprecia en este caso. Para poder dar una explicación a estos resultados, se decidió llevar a cabo un análisis más detallado. Consecuentemente, concluimos que aquellas NPs con estrellas centrales de temperaturas por encima de los 90 000 K, son las que muestran más discrepancias en las estimaciones de distancias entre ambos métodos, quedando bastante bien ajustadas las correspondientes a estrellas centrales con temperaturas inferiores a los 90 000 K (objetos marcados con un * en la Figura 2.18). Así pues, una posible explicación a esta discrepancia podría deberse a que los modelos non-LTE no utilizan *line-blanketing* para los metales.

Otro método para estimar distancias a NPs es el propuesto en el estudio de Frew et al. [32], que consiste en derivar las distancias a partir de la relación entre el brillo en H_α de la superficie estelar y el radio nebuloso. En este caso, si se comparan las distancias estimadas mediante este método con las obtenidas en Gaia DR2, no se puede extraer una relación clara entre ambas estimaciones, como puede apreciarse en la Figura 2.19.

En este diagrama se puede observar como a distancias mas cortas (menores de unos 1.5 kpc) los valores de Frew están sobrestimados en comparación con los de Gaia DR2, mientras que para distancias lejanas (mayores de unos 2 kpc) los valores de Frew tienden a estar subestimados.

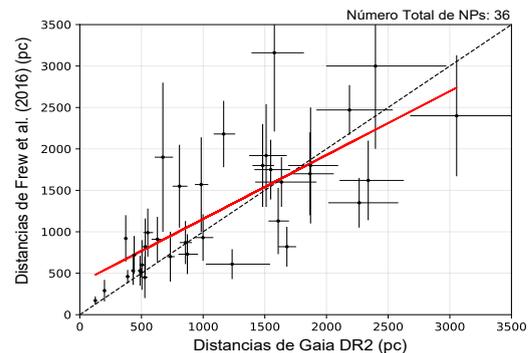


FIGURA 2.19: Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Frew et al. (2016).

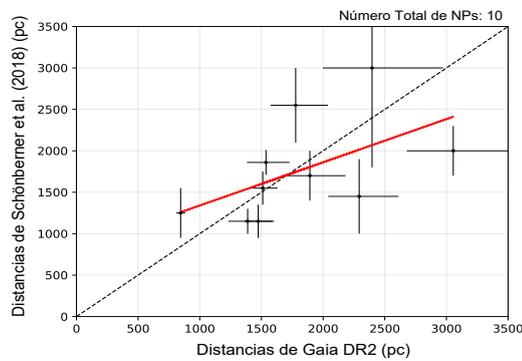


FIGURA 2.20: Comparación entre distancias de Gaia DR2 y distancias de Schönberner et al. [1].

Por último, se comparan las distancias de Gaia DR2 con las obtenidas en un estudio reciente de Schönberner et al. [1], que consiste en estimar distancias a NPs mediante un ajuste de modelos hidrodinámicos. Para ello, miden las velocidades de expansión nebular y las ajustan a modelos 1D de radiación hidrodinámica en la evolución nebular. Al igual que en el caso anterior, en esta

comparativa tampoco se puede extraer una relación clara entre ambas estimaciones de las distancias. Mostrándose también una tendencia de los valores de Schönberner a estar sobrestimados respecto a los de Gaia DR2 para cortas distancias (menores de unos 1.5 kpc) y a estar subestimados para largas distancias (mayores de unos 2 kpc).

Los valores de distancias y paralajes en Gaia DR2 (con sus respectivos errores) de todas las NPs de la muestra GAPN-DR2 pueden consultarse en la Tabla A.1.

2.3.3 Morfología, Radios y Velocidades Radiales

En esta sección se analiza la forma y tamaño de las NPs de la muestra GAPN-DR2. También se presenta un análisis sobre la distribución de velocidades radiales de varias NPs de la muestra.

Las NPs pueden adoptar diferentes formas, mostrando una gran variedad de tipos morfológicos. Estos suelen clasificarse en los siguientes grupos: redondas, elípticas, bipolares, de tipo-estelar, asimétricas e irregulares. Para la muestra de NPs de este estudio se ha adoptado la información morfológica propuesta en la base de datos de HASH. Así pues, obtenemos la distribución morfológica que puede verse en la Figura

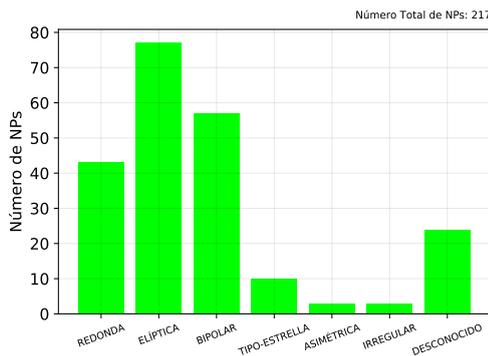


FIGURA 2.21: Distribución de las NPs del GAPN-DR2 en función de su morfología.

2.21 para las NPs de la muestra GAPN-DR2. A la vista de estos resultados, se puede apreciar que la inmensa mayoría de NPs muestran morfologías elípticas (35.5%), bipolares (26.3%) o redondas (19.8%). Con menor frecuencia aparecen morfologías de tipo-estelar (4.6%), asimétricas (1.4%) e irregulares (1.4%). Nótese que hay un significativo (11.1%) de NPs con morfología desconocida. Seguramente se deba a la presencia de NPs que están demasiado diluidas o demasiado compactas como para poder apreciarse su forma.

Existen varias posibles causas que podrían justificar la aparición de tan variadas morfologías en las NPs. La principal teoría sería la influencia gravitacional que se ejerce en los casos en los que aparece una estrella compañera ligada a la ECNP, sistemas binarios. Sobre este tema se volverá más adelante en la Sección 2.5. Otras posibles causas podrían ser la existencia de campos magnéticos alrededor de las estrellas centrales o incluso la variación del flujo nebuloso debido a la presencia de planetas cercanos.

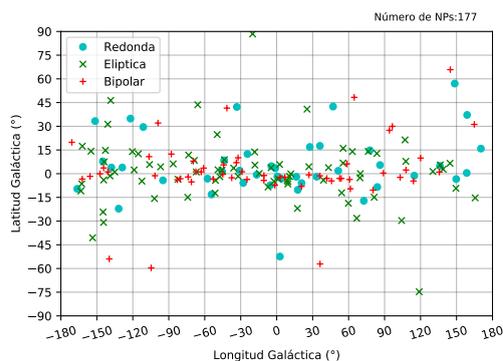


FIGURA 2.22: Distribución galáctica de las NPs redondas, elípticas y bipolares

Se puede tratar de buscar alguna relación entre la morfología de las NPs y su distribución galáctica. Según un estudio de Manchado [33], las bipolares suelen ser las más cercanas al plano galáctico, por lo que podrían derivar de estrellas jóvenes. Mientras que las redondas tienden a situarse a latitudes un poco más alejadas del plano galáctico, por lo que podrían provenir de estrellas más viejas. Por otra parte, la NPs con morfología elíptica se situarían en general en una zona intermedia entre las dos anteriores. Basándonos en las NPs del GAPN-DR2 se ha realizado este mismo análisis, hallando la distribución galáctica de los objetos pertenecientes a alguno de los tres principales tipos morfológicos. Aunque como puede observarse en la Figura 2.22 no se puede extraer una conclusión clara sobre esta distribución, mostrando las tres poblaciones una distribución muy similar.

Respecto al tamaño, también se encuentra una amplia variedad entre las diferentes NPs. Para tener una idea aproximada, se estima que el radio medio típico de una NP es de alrededor de 0.1 pc, según el trabajo de Osterbrock and Ferland [34]. Utilizando las

distancias estimadas a las NPs de la muestra GAPN-DR2, se puede calcular el tamaño físico de estas a partir del tamaño angular. Este último parámetro lo obtenemos de la base de datos de HASH, que contiene diámetros angulares de los ejes mayor y menor de la gran mayoría de las nebulosas del conjunto GAPN-DR2 (212 sobre 217), calculados a partir de fotometría H_α . Por lo tanto, calculando su radio angular medio (ϕ , en as) podemos estimar su radio físico (R , en pc) mediante una sencilla relación, y haciendo uso de la distancia:

$$R = \left(\frac{\phi}{3600}\right) \cdot \left(\frac{2\pi}{360}\right) \cdot D.$$

Una vez calculados los radios físicos de las NPs de la muestra, se puede analizar su distribución, Figura 2.23. Como puede apreciarse, un gran número de NPs tienen radios por debajo de 0.1 pc, en torno al 27%. A partir de este tamaño la densidad de objetos va disminuyendo, aunque se obtiene un número considerable de NPs con radios mayores incluso de 1 pc, alrededor del 8.5% del total. El valor medio del radio sobre todas las NPs de la

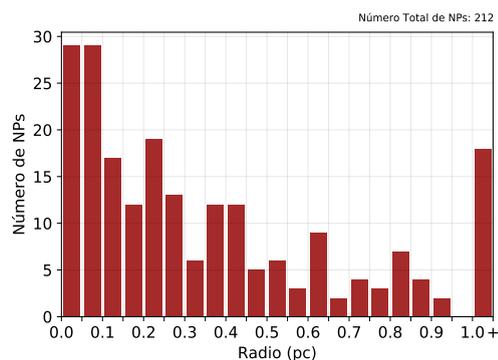


FIGURA 2.23: Distribución de radios físicos de las NPs del conjunto GAPN-DR2.

muestra es de 0.39 pc, notablemente mayor que el estimado por Osterbrock & Ferland. Hay que remarcar que la estimación del radio nebuloso realizada es un cálculo aproximado, ya que solo se ha considerado la morfología apreciable en el plano de visión. Y según la perspectiva el resultado puede variar considerablemente, sobre todo en estructuras morfológicas complejas.

Para profundizar un poco más en el análisis de la distribución de radios nebulares, se ha dividido la muestra en dos subconjuntos: las NPs situadas cerca del plano galáctico ($-10 < lat < +10$) y las NPs situadas lejos del plano galáctico (resto de latitudes).

En la Figura 2.24 se puede observar

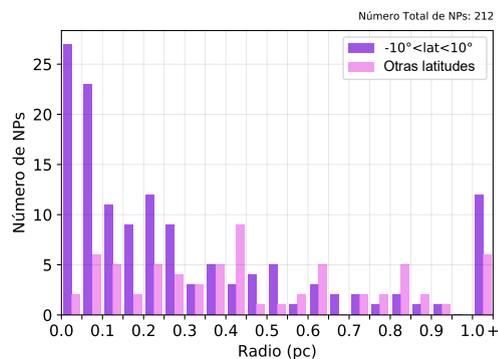


FIGURA 2.24: Distribución de radios físicos de las NPs situadas cerca del plano galáctico y de las situadas lejos de esta zona.

la distribución de radios de estas dos muestras. Las NPs más pequeñas ($R < 0.1$ pc) tienden a estar situadas cerca del plano galáctico, y a medida que el radio de las NPs va aumentando, estas tienden a situarse más homogéneamente en función de la distancia al plano galáctico. Respecto a las NPs más grandes ($R > 1$ pc), vuelve a apreciarse más presencia de ellas cerca del plano galáctico. Tanto los radios angulares como físicos de los objetos de la muestra GAPN-DR2 se hayan en la Tabla A.1.

Otro parámetro interesante que puede analizarse sobre las NPs es el de la velocidad radial, que indica si el objeto estelar se está acercando o alejando respecto al Sol y con que velocidad. La base de datos de Gaia DR2 dispone de este parámetro para muy pocos objetos estelares (para en torno al 0.5% de ellos), por lo que para este análisis la mayoría de estos valores se han obtenido de la base de datos de Simbad. En esta base de datos a su vez se recopilan de diferentes fuentes bibliográficas. Así pues, se ha logrado obtener la velocidad radial para un total de 122 objetos de la muestra GAPN-DR2. Todos estos valores junto con sus fuentes bibliográficas pueden consultarse en la Tabla A.1. Las velocidades radiales están dadas en referencia a LSR (Local Standard of Rest).

Si se analiza la distribución de velocidades radiales de estas NPs, Figura 2.25, puede verse que la mayoría de ellas poseen una velocidad de entre ± 40 km/s, en torno al 65% del total. Por lo que se podría decir que alrededor de dos terceras partes de la población de NPs se acercan o se alejan del Sol a velocidades no superiores a 40 km/s.

Aunque, como se ve, alguna de ellas puede superar incluso los 100 km/s. En cuanto al balance total entre las que se alejan y las que se acercan, se obtiene prácticamente la misma cantidad de objetos para cada caso. Es decir, que como es de esperar, no se aprecia una dirección privilegiada respecto a la otra.

Por otra parte, se realiza un pequeño estudio con el objetivo de comparar las velocidades radiales de las NPs con la velocidad radial esperada para un movimiento de rotación

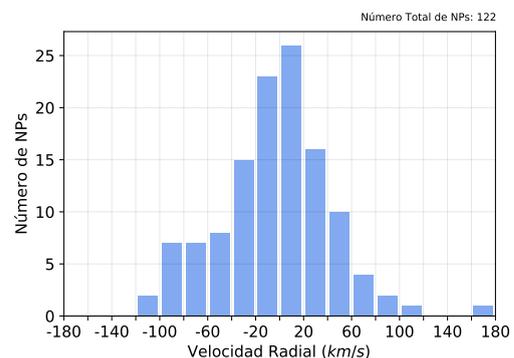


FIGURA 2.25: Distribución de las velocidades radiales de las NPs del conjunto GAPN-DR2.

galáctica puramente circular. Esta velocidad rotacional varía ligeramente en función de la distancia al centro galáctico, siendo mayor cuanto más lejos de este punto nos encontremos. Según las estimaciones de Pot [35], estas velocidades varían entre 188 km/s y 250 km/s. Para este estudio asumiremos una velocidad rotacional media de 230 km/s, ya que las NPs que analizaremos están situadas hasta los 4 kpc desde el Sol, por lo que la distancia al centro galáctico será bastante lejana.

A continuación, a partir de esta velocidad rotacional, se calcula la velocidad radial esperada en función de la longitud galáctica, para diferentes distancias al Sol: 1 kpc, 2 kpc, 3 kpc y 4 kpc. Para ello, se utiliza la siguiente expresión propuesta en el trabajo de Pottasch:

$$v_{rad} = V_R \cdot \sin(l) \cdot \left[\frac{R_0}{\sqrt{81 + r^2 - 18r \cos(l)}} - 1 \right],$$

donde $V_R = 230$ km/s (velocidad rotacional galáctica), $R_0 = 8$ kpc (distancia aproximada desde el Sol al centro galáctico), r es la distancia desde el Sol al objeto en cuestión y l es su longitud galáctica.

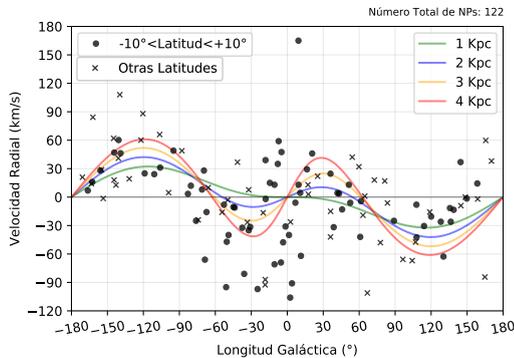


FIGURA 2.26: Distribución de las velocidades radiales de un conjunto de NPs del GAPN-DR2 en función de la longitud galáctica, junto con las funciones de velocidades radiales (a diferentes distancias) esperadas por el movimiento rotacional galáctico.

Así pues, se obtienen unas funciones sinusoidales de la velocidad radial, todas con una fase similar y con mayor amplitud a medida que aumenta la distancia, como puede verse en la Figura 2.26. Estas velocidades teóricas oscilan aproximadamente entre los ± 60 km/s.

Para comparar estas velocidades con las de las NPs, se ubican estas últimas sobre el mismo diagrama, separadas en dos grupos: las cercanas al plano galáctico (latitudes de $\pm 10^\circ$) y las alejadas del plano galáctico (resto de latitudes). Como se puede observar, en general, las velocidades de aquellas NPs ubicadas cerca del plano galáctico se ajustan mejor a las velocidades esperadas por la rotación galáctica. Esto es razonable ya que los objetos estelares de esta zona se moverán en mayor concordancia con la rotación galáctica que aquellos objetos situados más hacia el halo, que tendrán un movimiento más independiente. En la dirección al centro galáctico (longitudes cercanas a 0°) es

donde peor se ajustan las velocidades de las NPs a las esperadas por la rotación galáctica, esto podría deberse a la alta dispersión de velocidad que muestran las NPs de esta zona.

2.3.4 Velocidades de Expansión y Edades Cinemáticas

El conocimiento de distancias precisas para las NPs de la muestra GAPN-DR2 nos permite también estimar las edades cinemáticas de estas, es decir, el tiempo que lleva la nebulosa en expansión desde que fue expulsada de la corteza de su estrella central. Para ello, será necesario conocer su velocidad de expansión, un parámetro que no es sencillo de calcular. Una vez obtenido, la edad cinemática se puede calcular como el ratio entre el radio nebuloso y la velocidad de expansión.

El campo de velocidades en una NP suele ser bastante complicado de determinar, puesto que depende de la estructura de densidad de la nebulosa y de la masa de la estrella central. Para estimar estas velocidades se suele utilizar un método que se lleva a cabo analizando las líneas de emisión más brillantes de la nebulosa, como suelen ser las líneas de H_α , de [NII] y de [OIII]. Si se toman las líneas emitidas en la zona del centro de la nebulosa, se observará que estas líneas tienden a fraccionarse debido al efecto Doppler. Este fenómeno se produce porque las líneas emitidas por la parte frontal de la nebulosa, que se acercan hacia el observador, tienden a desplazarse hacia longitudes de onda más cortas (hacia el azul), mientras que las líneas emitidas por la parte posterior de la nebulosa que se alejan del observador, tienden a desplazarse hacia longitudes de onda más largas (hacia el rojo). Por lo tanto, midiendo la separación entre ambas líneas se podría calcular la velocidad relativa a la que se están alejando y acercando ambas caras de la nebulosa, y consecuentemente determinar la velocidad de expansión de la NP.

De todas formas, un estudio realizado por Villaver et al. [36] de simulaciones sobre evolución dinámica del gas circunestelar que rodea las NPs, demostró que las capas nebulares muestran expansiones aceleradas a lo largo de su evolución, por lo que la velocidad de expansión no tiene por qué ser constante. Incluso probó que las edades derivadas de estas velocidades pueden resultar superiores a la de la propia estrella central.

Por otra parte, según el trabajo de Schönberner et al. [37] sobre simulaciones 1D de envolturas nebulares, se concluyó que las velocidades de expansión son diferentes en cada capa nebulosa, salvo cuando la nebulosa sobrepasa aproximadamente los 8000 años

y la estrella central esta alcanzando su temperatura máxima. A partir de este punto las velocidades son similares en todas las capas. Normalmente, suelen medirse en la capa interna brillante de la nebulosa. La denominada velocidad de post-shock, que se da en las capas mas externas, se ha propuesto como una buena aproximación a la verdadera velocidad de expansión de la NP (ver Corradi et al. [38], Jacob et al. [39]), aunque pocas de ellas disponen de este parámetro en la bibliografía. Además, Jacob mostró como los modelos hidrodinámicos para envolturas nebulares pueden servir para estimar factores de corrección, que aplicados sobre las velocidades de expansión calculadas sirven para obtener un valor más realista de estas.

Teniendo en cuenta todas estas limitaciones para obtener la velocidad de expansión, decidimos realizar un estudio al respecto seleccionando únicamente aquellas NPs que cumplan ciertas condiciones que hacen que la estimación de sus velocidades de expansión sean más fiables. Así pues, siguiendo las recomendaciones de Jacob et al. [39], descartamos todas aquellas NPs que contengan un sistema estelar binario o que sean deficientes en hidrógeno. Además, también imponemos que las nebulosas tengan una forma lo más simétrica posible, eliminando aquellas NPs cuyo tamaño del semieje menor sea más pequeño que el 80% del tamaño del semieje mayor, es decir, nos quedamos con aquellas que cumplen la siguiente condición: $R_{min} > 0.8 \cdot R_{max}$.

Una vez seleccionado este subconjunto de NPs, tratamos de obtener su velocidad de expansión para el mayor número de ellas. Para ello, nos apoyamos principalmente en los valores proporcionados en los trabajos de Weinberger [40] (contiene velocidades de expansión obtenidas mediante líneas de [OII], N[II] y H_α) y de Frew [6] (contiene velocidades de expansión como el valor medio de los valores recopilados de otros estudios). De esta forma, obtenemos las velocidades de expansión para un total de 50 NPs de la muestra GAPN-DR2.

A continuación aplicamos la corrección sugerida por Jacob et al. [39] para tener en cuenta las limitaciones observacionales. El valor exacto del factor de corrección depende del estado evolutivo y de la masa de la estrella central, así como del modelo hidrodinámico utilizado para estimar la velocidad de expansión. Jacob estima valores de entre 1.3 y 1.6 para este factor. En este estudio aplicamos un valor general de 1.5 como factor de corrección, muy similar al utilizado por Gesicki et al. [41], que se basa en el modelo

hidrodinámico de Perinotto et al. [42] para calibrar la relación entre la velocidad de expansión, el radio y la edad de las NPs.

Tras aplicar esta corrección sobre las NPs del conjunto, se obtiene la distribución de velocidades de expansión que puede verse en la Figura 2.27. Los valores individuales de cada NP (sin corregir) están listados en la Tabla 2.1.

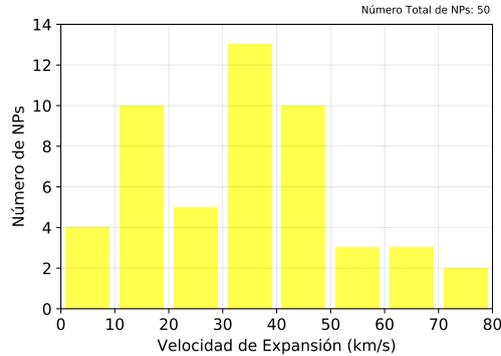


FIGURA 2.27: Distribución de velocidades de expansión para un subconjunto de NPs de la muestra GAPN-DR2.

Una gran cantidad de NPs, cerca del 50%, presentan velocidades de expansión de entre 30 y 50 km/s. Aunque en general hay bastante dispersión de valores, teniendo las más lentas velocidades de expansión por debajo de los 10 km/s, mientras que las más rápidas pueden alcanzar velocidades de expansión cercanas a los 80 km/s. Además se puede calcular el valor medio de la velocidad de expansión en la muestra y su desviación

típica, que toma el siguiente valor:

$$\langle V_{exp} \rangle = (34 \pm 18) \text{ km/s}.$$

Esta estimación es compatible por la obtenida por Jacob et al. [39] de 42 ± 10 km/s.

Una vez obtenidas las velocidades de expansión para este conjunto de NPs, y haciendo uso de los tamaños nebulares calculados en la sección anterior, se pueden estimar sus edades cinemáticas. Si suponemos que la velocidad de expansión es constante, se puede definir esta edad como el tiempo transcurrido desde la creación de la nebulosa hasta alcanzar el radio nebuloso actual:

$$T_c = \frac{R}{V_{exp}}.$$

Aplicando este simple cálculo sobre las 50 NPs del conjunto, se obtienen sus respectivas edades cinemáticas, cuya distribución puede verse en la Figura 2.28. Mientras que los valores individuales de cada NP pueden consultarse en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1: Velocidades de expansión y Edades cinemáticas con Gaia DR2

Nombre	Radio (pc)	V_{exp} (km/s)	Edad _{cin} (kyr)	Nombre	Radio (pc)	V_{exp} (km/s)	Edad _{cin} (kyr)
Abell 24	0.633	14	29.513	M 1-27	0.122	8	9.972
Abell 29	1.173	25	30.621	M 1-46	0.081	7	7.503
Abell 31	1.136	29	25.554	M 1-77	0.045	6.5	4.536
Abell 33	0.561	32	11.430	NGC 1360	0.414	34	7.938
Abell 34	0.778	35	14.501	NGC 1535	0.092	20	3.015
Abell 39	0.386	29	8.694	NGC 2022	0.115	26	2.889
Abell 51	0.308	42	4.791	NGC 2392	0.204	52.5	2.530
Abell 61	0.789	32	16.094	NGC 2610	0.253	24	6.888
Abell 79	0.404	12	21.97	NGC 2899	0.319	25	8.317
Abell 74	1.308	27	31.614	NGC 3242	0.105	28	2.439
ARO 121	0.877	22	25.993	NGC 3587	0.425	34	8.152
EGB 6	2.155	25	56.247	NGC 4361	0.283	32	5.776
H 1-31	0.003	21	0.105	NGC 5882	0.065	11	3.877
Hen 2-51	0.059	10	3.841	NGC 6153	0.082	17	3.148
Hen 2-108	0.081	12	4.407	NGC 6543	0.093	20	3.038
IC 289	0.167	25	4.334	NGC 6629	0.081	6	8.828
IC 972	0.213	16	8.673	NGC 6804	0.111	25	2.908
IC 1747	0.093	27	2.231	NGC 6826	0.093	16	3.808
IC 2448	0.163	13.5	7.874	NGC 6891	0.073	7	6.785
IC 4593	0.087	12	4.738	NGC 6894	0.157	43	2.376
IC 5148	0.391	53	4.811	NGC 6905	0.224	40	3.647
IsWe 1	0.774	5	>100	NGC 7354	0.163	25	4.254
IsWe 2	1.849	8	>100	SB 38	0.138	21	4.277
K 2-2	0.891	10	58.112	Sh 2-216	1.816	4	>100
LoTr 5	0.626	27	15.119	WRAY 17-31	0.535	28	12.460

Referencias: Los valores de V_{exp} están obtenidos de Frew [6] y Weinberger [40].

La mayoría de las NPs son bastante jóvenes, puesto que el 68% de ellas muestran edades por debajo de los 10 000 años. Por otro lado, las más viejas, con edades superiores a los 30 000 años, representan el 14% de la muestra.

También se puede estimar el valor medio de la edad cinemática de la muestra, que resulta ser:

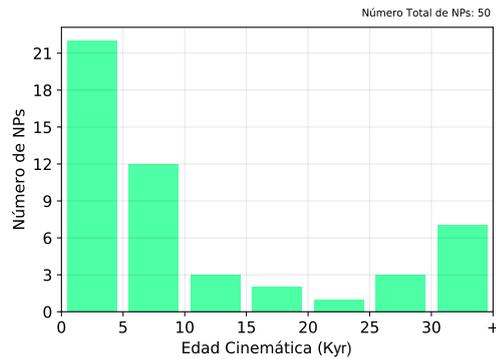


FIGURA 2.28: Distribución de edades cinemáticas para un subconjunto de NPs de la muestra GAPN-DR2.

$$\langle T_c \rangle = 21.4 \pm 26.6 \text{ kyr.}$$

Esta edad cinemática media es considerablemente mayor que la mostrada por la mayoría de las NPs, esto se debe a que en la muestra hay alguna NP muy vieja, que hace que este valor medio aumente notablemente. Aunque también hay que remarcar que las

NPs jóvenes son más fáciles de detectar que las viejas, puesto que estos objetos estelares tienden a difuminarse con la edad, haciendo que estas últimas sean más difíciles de ser detectadas. Por lo tanto, es de esperar que la muestra este sesgada hacia NPs más jóvenes. Para comprobarlo, se hizo un pequeño estudio analizando únicamente las edades cinemáticas correspondientes a las NPs cercanas, situadas a menos de 1 kpc, que son detectables prácticamente en su totalidad. Como resultado se obtuvo que la distribución de sus edades cinemáticas era mucho más homogénea. Esto confirmaría, que a medida que se va ampliando la distancia, se tiende a detectar más NPs jóvenes que viejas de las que hay realmente, creando ese sesgo en la muestra.

Por otra parte, la dispersión de la edad cinemática en la muestra es muy amplia, lo que conlleva a tener un valor alto en la incertidumbre. Además, el escaso número de objetos del que se dispone para este cálculo hace que la estadística sea bastante pobre como para poder dar un valor más robusto del valor medio. Esto también es aplicable para el caso del valor medio de la velocidad de expansión.

También es interesante estimar el tiempo de vida medio de una NP, conocido como el tiempo de visibilidad o *visibility time* (T_{vis}). Este parámetro se obtiene a partir del ratio entre el valor del radio nebular máximo al que se espera que cualquier NP pueda ser aún observada ($R_{max} = 0.9$ pc, según Jacob et al. [39]) y el valor medio de la velocidad de expansión:

$$T_{vis} = \frac{R_{max}}{\langle V_{exp} \rangle} = 25.9 \text{ kyr.}$$

Como se puede ver, se estima que el tiempo de vida medio de una NP sea de alrededor de 26 kyr, no muy superior a la edad cinemática media de la muestra, influenciada esta última por la presencia de alguna NP muy vieja como se comentaba anteriormente.

2.3.5 Ratio de Nacimiento

Como se ha visto en la sección anterior, la vida media de una NP es relativamente corta comparándola con la vida media total de una estrella. Por lo tanto, aunque en la Vía Láctea se estima que hay alrededor de 100 000 millones de estrellas, el número de NPs

en nuestra galaxia debería ser inmensamente menor. Según se estimó en la Subsección 2.2.3, este número rondaría las 21 000 NPs.

Haciendo uso de la información y los parámetros obtenidos hasta ahora, se puede realizar un estudio para estimar el número de nuevas NPs que surgen por unidad de tiempo y de espacio dentro de la galaxia. Este parámetro es conocido como el ratio de nacimiento (R_N). Para llevar a cabo esta estimación, partimos de la densidad galáctica de NPs obtenida en la Subsección 2.2.2 (dentro de los límites marcados por la altura de escala), que es de 63.7 NPs/kpc³. Por otra parte, según se ha estimado en la sección anterior, el 68% de las NPs tienen edades por debajo de los 10 000 años. Por lo tanto, se podría decir que la densidad de NPs con edades de hasta 10 000 años es aproximadamente de 43.3 NPs/kpc³. Por último, dividiendo esta densidad entre esos 10 000 años, se obtiene el siguiente ratio de nacimiento:

$$R_N = 4.33 \cdot 10^{-3} \text{ NPs} \cdot \text{kpc}^{-3} \cdot \text{yr}^{-1}.$$

Recalculando este parámetro con los límites inferior y superior estimados anteriormente para la densidad galáctica de NPs, se obtienen las cotas inferior y superior para el ratio de nacimiento. Por tanto, se tiene que: $R_N = 4.3_{-0.8}^{+2.2} \cdot 10^{-3} \text{ NPs} \cdot \text{kpc}^{-3} \cdot \text{yr}^{-1}$. Es decir, se espera que cada mil años entren en fase de NP alrededor de 4.33 estrellas en cada volumen de 1 kpc³ de nuestra galaxia. O lo que es lo mismo alrededor de 13 cada 3 mil años. Este ratio de nacimiento es ligeramente superior al estimado hace más de dos décadas por Pottasch [27], de aproximadamente $3 \cdot 10^{-3} \text{ NPs} \cdot \text{kpc}^{-3} \cdot \text{yr}^{-1}$.

2.4 Estado Evolutivo de las Estrellas Centrales

En esta sección se lleva a cabo un estudio más detallado sobre algunos objetos de la muestra GAPN-DR2, con el objetivo de analizar el estado evolutivo de las estrellas centrales de las NPs. Concretamente, se trata de estimar las masas y edades evolutivas de estos objetos estelares.

Para ello, es necesario ubicar las estrellas en el diagrama de Hertzsprung-Russel (HR), que da una idea de la fase evolutiva en la que se encuentra una estrella. Estos diagramas se representan en función de dos parámetros físicos de la estrella, que suelen ser la

magnitud absoluta frente al color, o la luminosidad frente a la temperatura. En este estudio, haremos uso del diagrama HR del segundo caso, por lo que será necesario hallar los valores de temperatura y luminosidad del mayor número posibles de estrellas de la muestra GAPN-DR2.

Por otra parte, será necesario obtener las trazas evolutivas de estrellas en fase de NP o fase post-AGB. Estas trazas estiman el camino que sigue una estrella de una masa dada a través de un diagrama HR a lo largo de diferentes edades evolutivas. En concreto, haremos uso de las trazas evolutivas de Vassiliadis and Wood [2], ya que abarcan un amplio rango de masas (desde 1 hasta 5 M_{\odot}), y por tanto cubrirán la gran mayoría de los puntos del diagrama. Finalmente, las posiciones en el diagrama HR de las estrellas se ajustarán a estas trazas evolutivas, para poder estimar sus correspondientes masas y edades evolutivas. Además, estas edades podrán ser comparadas con las edades cinemáticas obtenidas en la Subsección 2.3.4.

2.4.1 Temperaturas y Luminosidades

La temperatura de una estrella varía considerablemente entre las diferentes capas de esta, dándose en el núcleo las temperaturas más elevadas y en la superficie las más bajas. Para este análisis nos basaremos en la temperatura superficial de las estrellas, también conocida como temperatura efectiva. Esta temperatura también varía según la fase evolutiva en la que se encuentre la estrella. Las estrellas suelen mostrar temperaturas efectivas entre los 2000 y 50 000 K cuando se hallan en la fase de Secuencia Principal. Sin embargo, las estrellas en fases evolucionadas, pueden poseer temperaturas efectivas más elevadas. En el caso de las enanas blancas generadas en la fase de NP, se llegan a dar temperaturas de hasta 200 000 K. Aunque finalmente estas estrellas se van enfriando hasta obtener temperaturas por debajo de los 4000 K.

Para estimar la temperatura efectiva de las estrellas centrales de las NPs normalmente se utiliza el método de Zanstra [43]. Este método consiste en medir las líneas de emisión HI o HeII del flujo nebular, teniendo en cuenta la magnitud V de la estrella central y la extinción nebular. Se asume que todos los fotones ionizantes de la estrella central son absorbidos por la nebulosa.

Los valores de temperaturas efectivas proporcionadas por la base de datos de Gaia DR2 son bastante pobres e inexactos, y no van más allá de temperaturas de 10 000 K, por lo que no sirven para aplicarlos a nuestro estudio sobre la muestra GAPN-DR2. Por lo tanto, recopilamos los valores de temperaturas efectivas de estrellas centrales obtenidos mediante el método de Zanstra (sobre todo mediante HeII) en diferentes fuentes bibliográficas. Principalmente obtenemos estos valores de Frew [6], pero también alguno de Kaler and Jacoby [44], Gleizes et al. [45], Koesterke [46], Guerrero and De Marco [47]. Normalmente los valores de temperaturas efectivas de un mismo objeto en las diferentes fuentes bibliográficas son similares, por lo que en general son valores bastante consistentes.

Así pues, obtenemos temperaturas efectivas para un total de 124 estrellas centrales de la muestra GAPN-DR2. Aunque, con el objetivo de ajustar estas estrellas con las trazas evolutivas, eliminamos aquellas que sean binarias próximas o deficientes en hidrógeno, ya que las trazas no sirven para este tipo de estrellas. Por lo tanto, finalmente nos quedamos con 107 estrellas centrales, que será el conjunto sobre el que realizaremos

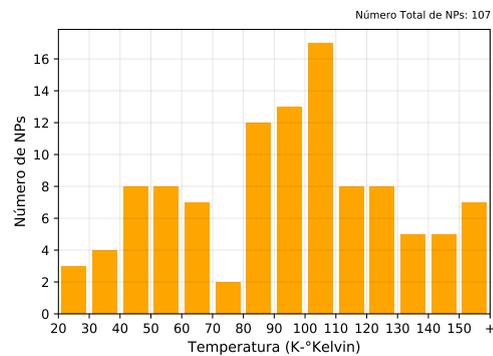


FIGURA 2.29: Distribución de temperaturas para un subconjunto de NPs de la muestra GAPN-DR2.

el estudio de esta sección. En la Figura 2.29 se puede observar la distribución de temperaturas de estos objetos. Una gran parte de estas estrellas, alrededor del 40%, tienen temperaturas de entre 80 000 y 110 000 K. De todas formas la dispersión de las temperaturas es bastante grande. Las estrellas más calientes de la muestra superan los 150 000 K (el 6.5% del total), mientras que las más frías apenas alcanzan los 30 000 K. Teóricamente, la estrella central tiene que alcanzar los 25 000 K para conseguir la energía suficiente para lograr ionizar totalmente la envoltura expulsada y así generar completamente la NP (Kwok [48]), por lo que seguramente, las tres estrellas que muestran temperaturas menores de los 30 000 K estén en proceso inicial de NP o incluso aún habiendo ionizado la envoltura solo parcialmente. Las temperaturas efectivas de los 107 objetos estelares de este conjunto están listadas en la Tabla A.2.

Por otra parte, se analiza el otro parámetro necesario para ubicar las estrellas en el

diagrama HR, la luminosidad. Esta propiedad intrínseca de las estrellas representa la potencia energética emitida por estas. Para estimar este parámetro es necesario conocer el brillo observado, la extinción interestelar y la distancia a la que se encuentra la estrella.

Para medir el brillo observado procedente de un objeto estelar se utiliza la magnitud aparente. Cuanto mayor brillo se detecte más baja será su magnitud aparente. Esta magnitud se puede medir en diferentes bandas del espectro electromagnético, siendo la más común la banda visible o banda V (luz con longitud de onda entre 450 y 750 nm). Así, la magnitud aparente en una determinada banda (en este caso la V) se define como:

$$m_V = -2.5 \cdot \log_{10}(I_V) + C,$$

donde I_V es el flujo luminoso observado en la banda V y C una constante que depende de las unidades del flujo y de la banda.

Por su parte, el satélite Gaia mide los brillos en tres bandas diferentes: banda G (luz con longitud de onda entre 330 y 1050 nm), banda G_{BP} o banda azul (luz con longitud de onda entre 330 y 680 nm) y banda G_{RP} o banda roja (luz con longitud de onda entre 640 y 1050 nm).

A continuación, nos centramos en el conjunto de las 107 ECs para las cuales hemos obtenido su temperatura efectiva, y extraemos de la base de datos de Gaia DR2 sus correspondientes magnitudes aparentes en las tres bandas de Gaia (G , G_{BP} y G_{RP}).

Por otra parte, hallamos sus correspondientes magnitudes V de las base de datos de APASS¹ y de otras fuentes bibliográficas. Principalmente del estudio de Frew [6], pero también de los trabajos de Tylenda et al. [49], Ciardullo et al. [50] y Moreno-Ibáñez, Manuel et al. [51]. En general, los valores de las magnitudes V extraídos de estas diferentes fuentes son consistentes entre sí.

En la Figura 2.30 se pueden observar las distribuciones de las magnitudes G y V sobre las 107 ECs del conjunto. Como se puede apreciar ambas distribuciones muestran un perfil similar. Esto es de esperar ya que las magnitudes G de Gaia se miden en una banda muy amplia en torno al espectro visible. La mayoría de las estrellas presentan magnitudes entre 12 y 18 en ambas bandas. En el caso de la banda V alrededor de un

¹<https://www.aavso.org/download-apass-data>

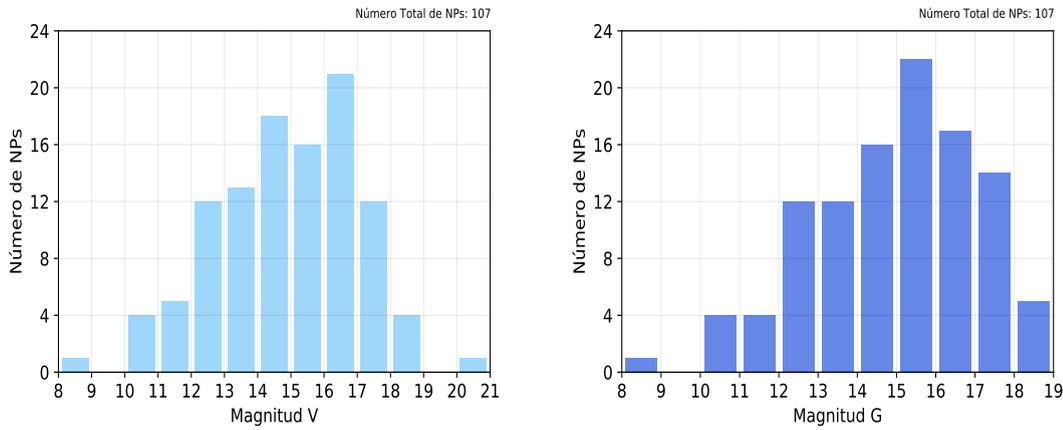


FIGURA 2.30: Distribución de las magnitudes visual V (izquierda) y magnitudes G de Gaia (derecha) del conjunto de las 107 ECs.

86% de ellas están en este rango, y en el caso de la banda G aproximadamente un 87% de ellas. Además, los valores medios en cada banda también son casi idénticos:

$$\langle V \rangle = 14.86,$$

$$\langle G \rangle = 14.89.$$

El objeto más brillante de la muestra tiene una magnitud V por debajo de 9, mientras que el más débil tiene una magnitud V por encima de 20. En la Tabla A.2 se encuentran los valores de las magnitudes G y V para cada uno de los objetos del conjunto. Como prueba de verificación se pueden comparar ambas magnitudes de un mismo objeto y ver si son similares. Para la inmensa mayoría de las estrellas del conjunto se cumple esta similitud.

A partir de los valores obtenidos en las bandas G_{BP} y G_{RP} , se puede analizar otra propiedad física de las estrellas: el color estelar. El color de una estrella da una idea sobre la temperatura de esta, siendo las estrellas azules las más calientes y las estrellas rojas las más frías. Como se mencionó anteriormente, la magnitud G_{BP} mide el flujo energético de longitudes de onda en la zona azul del espectro electromagnético y la magnitud G_{RP} el flujo de longitudes de onda en la zona del rojo.

Como parámetro para estimar el color de una estrella, se suele utilizar el valor $G_{BP} - G_{RP}$. Así pues, si el valor G_{BP} es menor que el de G_{RP} , la estrella tendrá más brillo en la banda azul. Al contrario, si G_{RP} es menor, la estrella tendrá más

brillo en la banda roja. Por lo tanto, si $G_{BP} - G_{RP}$ es negativo se considera que la estrella es más bien azul y si es positivo se considera que es más bien roja.

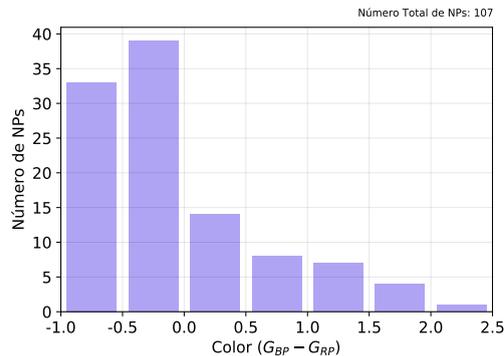


FIGURA 2.31: Distribución de color ($G_{BP}-G_{RP}$) de las ECs del conjunto.

Si se obtiene este parámetro de color para los 107 objetos estelares del conjunto, se encuentra la distribución que se muestra en la Figura 2.31. Como puede verse, la gran mayoría de ECs, alrededor del 67% de ellas, presentan un $G_{BP}-G_{RP}$ negativo, es decir, que son estrellas azules. Esto es de esperar, puesto que las ECs de las NPs suelen tener altas temperaturas, como se comentó anteriormente. Aunque hay en torno a un 33% de ECs con $G_{BP}-G_{RP}$

positivo, esto podría deberse a ECs que se encuentran en zonas con una alta extinción interestelar, que tienden a enrojecer la estrella (observarla con menor potencia o como si fuese más fría de lo que realmente es). También la propia extinción nebular podría contribuir a este efecto. Además, las NPs muy evolucionadas pueden tener ya ECs en proceso avanzado de enfriamiento, por lo que es de esperar que estas estrellas sean rojas. Esto podría explicar la aparición de unas pocas ECs, alrededor del 4.7%, con $G_{BP}-G_{RP}$ mayor de 2. Para más detalles, en la Tabla A.2 se encuentran los valores del color, $G_{BP}-G_{RP}$, de todos los objetos de este conjunto.

Hasta ahora, hemos obtenido los brillos de las estrellas, o lo que se conoce como magnitud aparente de la estrella. Pero para poder estimar la luminosidad de las estrellas es necesario obtener la magnitud absoluta de estas, puesto que este parámetro es independiente de la distancia a la que se encuentre la estrella y de la extinción interestelar. La magnitud absoluta se define como la magnitud aparente de un objeto que estuviese ubicado a una distancia de 10 pc y sin extinción interestelar. Para calcular este parámetro es necesario conocer la distancia a la estrella y el valor de la extinción interestelar. Así, en la banda visible, la magnitud absoluta se puede calcular como:

$$M_V = V + 5 - 5 \cdot \log_{10}(D) - A_V,$$

donde D es la distancia en parsec (pc) a la estrella y A_V la extinción interestelar en la

banda V en magnitudes. La extinción interestelar se debe a las partículas de polvo y gas que se encuentran en el campo de visión del objeto estelar en cuestión y que absorben parte de la luz emitida por este haciendo que se perciba con menos brillo.

Para aplicar este cálculo a las ECs de nuestro conjunto, por una parte utilizamos las distancias obtenidas de Gaia DR2, y por otra parte buscamos los valores de extinción interestelar en la bibliografía. Normalmente, en lugar de este parámetro, se suele dar el valor del enrojecimiento, $E(V - B)$, o la constante de extinción, c . Aunque la conversión al valor de extinción interestelar es directa. Así pues, se han extraído estos valores principalmente del trabajo de Frew [6], pero también algunos de ellos de Kaler and Jacoby [44], Tylenda et al. [52] y Cahn et al. [53]. Para completar los valores restantes se ha utilizado la plataforma *3D Dust Mapping* (Green et al. [54]), donde se estima la extinción interestelar en función de las coordenadas galácticas y de la distancia. En general, los valores obtenidos de las diferentes fuentes son bastante consistentes entre sí. Una gran parte de los objetos de nuestro conjunto, el 34% de ellos, muestran valores de extinción muy bajos, por debajo de 0.2 magnitudes. Aunque también hay alrededor de un 10% de objetos con extinciones notablemente altas, por encima de las 2 magnitudes.

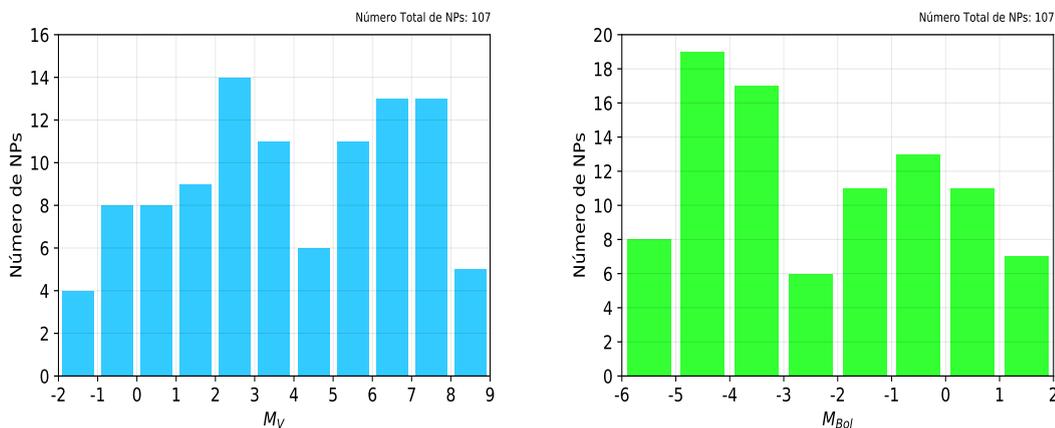


FIGURA 2.32: Distribución de las magnitudes absolutas en V (izquierda) y magnitudes bolométricas absolutas (derecha) del conjunto de las 107 ECs.

Una vez obtenidos los valores de extinción interestelar para las 107 ECs del conjunto, se calculan sus correspondientes magnitudes V absolutas. En el histograma de la izquierda de la Figura 2.32 puede observarse la distribución de estas magnitudes. Como puede verse, los objetos del conjunto toman valores que van desde -2 hasta 9 magnitudes, que es el rango esperado para estrellas en fase de NP. Para hacerse una idea, la magnitud V absoluta del Sol es de 4.81 magnitudes.

Esta magnitud absoluta está medida específicamente en la banda V o banda visible, pero para estimar la luminosidad de una estrella es necesario obtener la magnitud absoluta correspondiente a toda la radiación del espectro electromagnético, denominada como magnitud bolométrica absoluta (M_{bol}). Esta magnitud puede calcularse a partir de añadir un factor a la magnitud visible absoluta, conocido como corrección bolométrica (CB):

$$M_{bol} = M_V + CB.$$

Utilizando el procedimiento de calibración de Vacca et al. [55], se obtiene la siguiente expresión que depende de la temperatura efectiva:

$$M_{bol} = M_V + 27.66 - 6.84 \cdot \log_{10}(T_{ef}).$$

Esta corrección bolométrica se calculó para temperaturas efectivas máximas de 50 000 K. Aunque no está verificada para temperaturas más elevadas, en este caso se aplicará también sobre estrellas más calientes, ya que es la mejor aproximación disponible.

Aplicando este cálculo a las 107 ECs del conjunto, se obtienen sus respectivas magnitudes bolométricas absolutas, cuya distribución puede verse en la gráfica derecha de la Figura 2.32. Aquí se observa que estas magnitudes tienden a ser más brillantes que las visibles absolutas, situándose entre -6 y 2 magnitudes. En el caso del Sol, la magnitud bolométrica absoluta es de 4.74.

Tanto las magnitudes visibles absolutas como las bolométricas de las 107 ECs pueden consultarse en la Tabla A.2.

Por último, de las magnitudes bolométricas absolutas se pueden derivar las luminosidades de las estrellas, mediante la siguiente relación:

$$\log\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) = \frac{M_{bol\odot} - M_{bol}}{2.5},$$

donde $L_{\odot} = 3.86 \cdot 10^{26}$ W y $M_{bol\odot} = 4.74$. Por comodidad, la luminosidad de una estrella suele expresarse como logaritmo

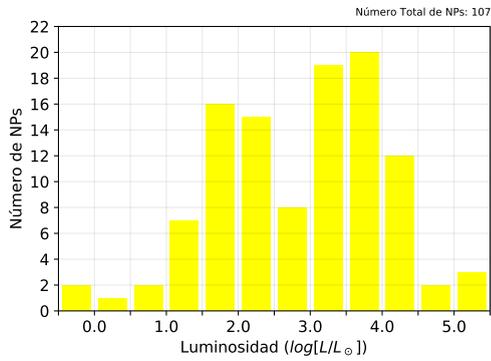


FIGURA 2.33: Distribución de luminosidades ($\log(\frac{L}{L_{\odot}})$) de las ECs del conjunto.

y en unidades de luminosidades solares, es decir, como $\log(\frac{L}{L_{\odot}})$. Por lo tanto, obteniendo este parámetro para las 107 ECs del conjunto, se obtiene la distribución de luminosidades que se muestra en la Figura 2.33. Aquí puede verse como la mayoría de ellas, en torno al 90%, tienen un valor de $\log(\frac{L}{L_{\odot}})$ de entre 1 y 4.5, que es el valor típico para las ECs de las NPs. Los valores individuales para

cada una de las ECs están listados en la Tabla A.2.

2.4.2 Masas y Edades Evolutivas

Una vez obtenidas las temperaturas y luminosidades de las 107 ECs del conjunto, se pueden ubicar estas estrellas en un diagrama HR para estudiar su estado evolutivo. Para ello hacemos uso de modelos de trazas evolutivas para estrellas en fase de post-AGB o de NP. En concreto, hacemos este análisis utilizando las trazas evolutivas de Vassiliadis and Wood [2] de fusión de hidrógeno con metalicidad de $Z = 0.016$, valor muy parecido a la metalicidad solar. Este modelo consta de 6 trazas que representan la evolución de las estrellas con 6 diferentes masas comprendidas entre 1 y $5 M_{\odot}$. En este caso, la masa estelar indicada es la correspondiente a la que tenía la estrella en su fase inicial de SP.

En la Figura 2.34 se puede ver la ubicación de las estrellas del conjunto en un diagrama HR (temperatura VS luminosidad) junto con las trazas de Vassiliadis and Wood [2]. Cada punto de una traza representa un instante de tiempo en la edad evolutiva de la estrella en fase de NP, tiempo que da comienzo cuando la estrella alcanza una temperatura mínima como para empezar a ionizar la envoltura eyectada y comenzar a generarse así la NP. Esta temperatura umbral se toma en estos modelos como $T_{ef} = 10\,000$ K ($\log_{10}(T_{ef}) = 4$). Por lo tanto, a lo largo de su vida, las estrellas irán recorriendo las trazas desde la parte superior derecha del diagrama HR hasta llegar a la parte inferior. Es decir, las estrellas irán aumentando su temperatura a luminosidad constante, y llegadas a su temperatura máxima, se irán enfriando y perdiendo luminosidad hasta llegar a la fase de enana blanca. Como ya se ha visto anteriormente mediante la estimación de las edades cinemáticas, el

tiempo de vida de las NPs es bastante corto, del orden de unas pocas decenas de miles de años.

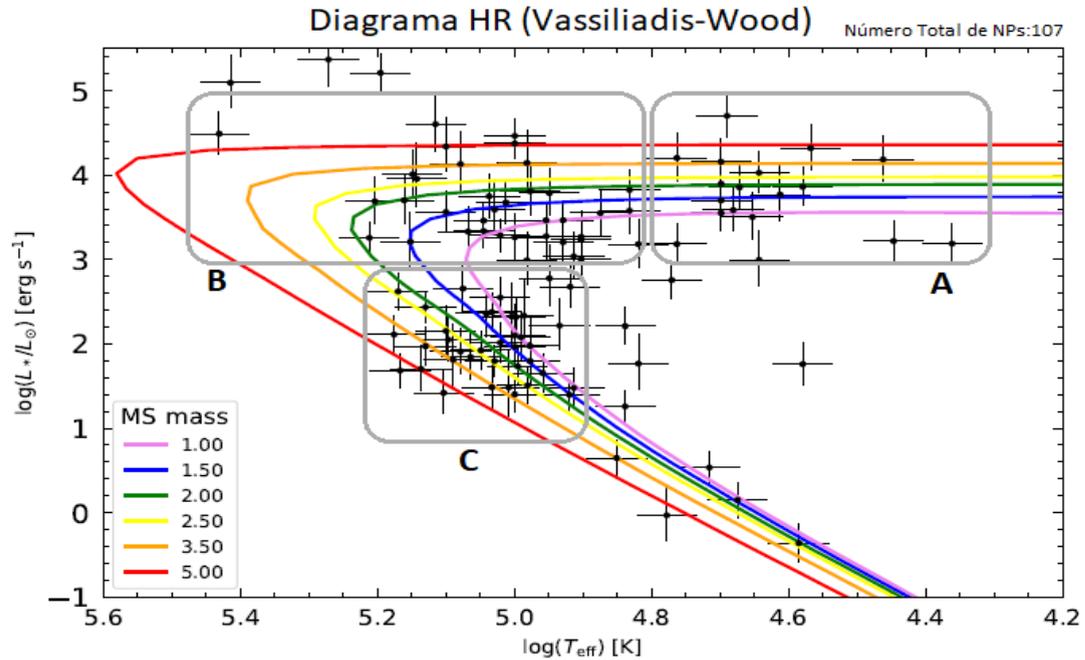


FIGURA 2.34: Ubicación en el diagrama HR (temperatura VS luminosidad) de las 107 ECs del conjunto, junto con las trazas evolutivas de Vassiliadis and Wood [2].

Con el objetivo de estimar la masa y edad evolutiva de las estrellas del conjunto, se trata de ajustar su posición en el diagrama HR con la de las trazas evolutivas. Para ello, se realiza una interpolación entre las dos trazas más cercanas a un punto dado (masas) y otra interpolación entre el punto más cercano de cada traza (edades) al punto dado. En caso de que la estrella esté ubicada fuera de las trazas, se toma como cota mínima o máxima para esta el valor de la masa correspondiente a la traza más cercana.

En la Figura 2.35 se pueden visualizar las distribuciones de masas y edades evolutivas del conjunto de las 107 ECs obtenidas de esta forma. Una gran parte de estas estrellas, aproximadamente un tercio de ellas, tienen masas de entre 1 y 1.5 M_\odot . Por otra parte, se puede ver que la cantidad de estrellas va disminuyendo a medida que va aumentando su masa, aunque hay alrededor de un 10% de ellas con masas superiores a los 5 M_\odot . Mientras que en torno al 17% de las estrellas del conjunto muestran masas por debajo de 1 M_\odot . Recordemos que la masa estimada para que una estrella pueda terminar en fase de NP es de entre 0.8 y 8 M_\odot .

Respecto a las edades evolutivas, se obtiene que sobre el 35% de las estrellas del conjunto muestran edades por debajo de los 10 000 años. También se puede ver que el número de

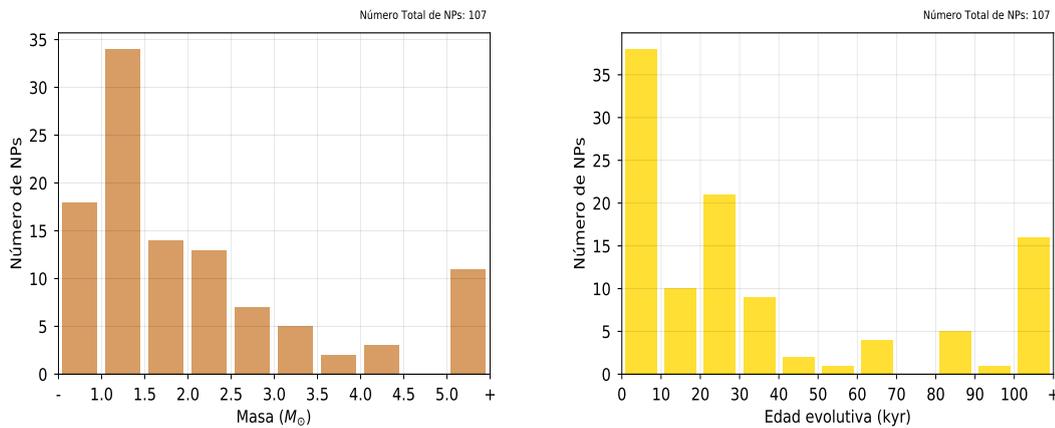


FIGURA 2.35: Distribución de masas (izquierda) y edades evolutivas (derecha) del conjunto de las 107 ECs.

estrellas a partir de los 40 000 años es bastante bajo, únicamente el 27% de ellas tienen edades superiores a esta. Sin embargo, también se detecta alguna estrella por encima de los 100 000 años, se trataría de estrellas muy evolucionadas que habrían perdido mucha luminosidad y temperatura, y cuya nebulosa estaría ya muy diluida.

Tanto los valores de las masas como de las edades evolutivas de cada una de las estrellas pueden consultarse en la Tabla [A.2](#).

Para realizar un estudio más detallado sobre el estado evolutivo de las NPs y sus correspondientes ECs, se procede a analizar los parámetros evolutivos de los objetos localizados en zonas concretas del diagrama HR. Para ello, se divide el diagrama en tres regiones diferentes, como puede verse en la Figura [2.34](#):

- Zona A: región inicial en el estado evolutivo de la NP, correspondiente a temperaturas bajas ($\log(T_{eff}) < 4.8$) y altas luminosidades ($\log(L/L_{\odot}) > 3$). En esta fase la EC acaba de expulsar su envoltura y comienza a ionizarla dando lugar a la fase de NP.
- Zona B: región intermedia en la vida de la NP, correspondiente a temperaturas más altas ($\log(T_{eff}) > 4.8$) y luminosidades que también se mantienen altas ($\log(L/L_{\odot}) > 3$). En esta fase la EC va aumentando su temperatura mientras se mantiene a una luminosidad constante.
- Zona C: región final en la vida de la NP, correspondiente a temperaturas aún altas ($5.2 > \log(T_{eff}) > 4.9$) y luminosidades más bajas ($\log(L/L_{\odot}) < 3$). En esta fase

la EC va enfriándose y perdiendo luminosidad en su camino a la fase de enana blanca.

A continuación, se obtienen en cada región los valores medios de la masa y edad evolutiva de las ECs de esa región, así como el valor medio del radio y de la velocidad de expansión (derivada de la edad evolutiva) de las correspondientes NPs. En la Tabla 2.2, se pueden ver estos valores medios, junto con su valor de dispersión. Con el objetivo de comparar resultados, también se muestran los valores medios de la edad cinemática y de la velocidad de expansión, cuyos valores individuales fueron obtenidos en la Subsección 2.3.4. Nótese que para este análisis no se han descartado aquellas NPs con geometría no esférica (como se hizo en la sección anterior), por lo que se tienen más NPs con velocidades de expansión conocidas.

TABLA 2.2: Valores medios de diferentes parámetros en tres regiones diferentes del diagrama HR, junto con sus valores de dispersión, entre paréntesis.

Parámetro	Región 1	Región 2	Región 3
Nº de objetos	17	36	40
$\langle R \rangle$ (pc)	0.114 (0.132)	0.386 (0.336)	0.740 (0.516)
$\langle M \rangle$ (M_{\odot})	2.33 (1.35)	2.11 (1.33)	2.09 (1.14)
$\langle T_{evo} \rangle$ (kyr)	5.0 (6.2)	11.8 (10.5)	64.4 (59.6)
$\langle T_{cin} \rangle$ (kyr)	4.6 (2.9)	6.5 (4.1)	37.1 (63.5)
$\langle V_{exp}^{evo} \rangle$ (km/s)	22.3 (27.7)	31.9 (28.3)	11.2 (10.4)
$\langle V_{exp}^{cin} \rangle$ (km/s)	25.7 (18.3)	37.3 (14.7)	36.0 (17.6)

Como cabe esperar, el valor medio del radio nebuloso va aumentando de una región a otra, ya que la nebulosa se va expandiendo y va aumentando su tamaño con el tiempo. Presentando un radio medio de 0.114 pc en la fase inicial, de 0.386 pc en la fase intermedia y de 0.740 pc en la fase final de evolución. En cuanto al valor de la masa de las ECs, en las tres regiones muestran un valor medio similar, variando apenas este entre las 2.09 y 2.33 M_{\odot} . Esto quiere decir que la masa de una EC no depende de en qué fase evolutiva se encuentre esta, y que apenas variará a lo largo de la vida de la NP.

Por otra parte, también se puede observar que el valor medio de la edad evolutiva de las NPs va aumentando de una región a otra, como era lógico esperar. En la fase inicial, la edad evolutiva media de las NPs es de 5 kyr, en la fase intermedia es de 11.8 kyr y en la fase final aumenta hasta los 64.4 kyr. Este fuerte aumento de la edad evolutiva media en la última fase se debe a que en esta región aparecen ya NPs muy viejas, por encima incluso de los 100 kyr. Si comparamos estos resultados con los de la edad cinemática

media, se puede ver que estos también van en aumento, aunque con valores más bajos que los de la edad evolutiva, yendo desde los 4.6 kyr en la fase inicial hasta los 37.1 kyr en la fase final. En cualquier caso, la dispersión de los valores medios de ambas edades es muy elevada en todas las regiones, ya que estos valores son muy sensibles a la masa de la EC. Siendo las estrellas más masivas las que más rápido evolucionan.

En cuanto a las velocidades de expansión obtenidas a partir de estas edades evolutivas y del radio nebular, se puede decir que son bastante similares a las obtenidas anteriormente a partir de las fuentes bibliográficas. Los valores medios en las dos primeras fases son muy parecidos en ambos casos, mientras que en la tercera fase los valores difieren notablemente. En ambos casos, la tendencia es de ligero aumento de la velocidad de expansión hasta la fase intermedia, y de constancia o disminución llegados a la última fase. De todas formas, al igual que los valores medios de las edades, los valores medios de ambas velocidades de expansión también muestran una gran dispersión en todas las regiones.

En general, se puede decir, que los tamaños y velocidades de expansión de las NPs concuerdan correctamente con el estado evolutivo de las ECs. Aunque también hay que remarcar, que casi un 15% de las estrellas del conjunto han quedado fuera de las tres regiones de este análisis. Algunas de ellas se encuentran sobre las trazas evolutivas en fases muy tardías, con luminosidades ya muy bajas, y seguramente se trate de enanas blancas cuya nebulosa ha sido ya prácticamente diluida. Otras de estas estrellas se hallan en la zona de $\log(L/L_{\odot}) < 3$ pero a temperaturas no suficientemente altas, por lo que no podemos hacer una estimación de sus masas y edades. Una posible hipótesis de esta extraña localización es que se trate de NPs de tipo *born-again* (Herwig et al. [56]). Por último, hay unas pocas estrellas que poseen luminosidades demasiado altas como para caer en una de las tres regiones de las trazas evolutivas. Probablemente se deba a una sobrestimación en sus correspondientes valores de extinción interestelar, lo que haría que su magnitud absoluta aumente por encima de lo normal, y consecuentemente también su luminosidad.

2.5 Sistemas Binarios en Nebulosas Planetarias

Como se comentó en la Introducción, se sabe que una parte considerable de las NPs proceden de sistemas binarios de estrellas en lugar de proceder de una única estrella. El estudio de estos sistemas es de gran interés ya que pueden proporcionar información sobre la formación y evolución de las NPs, e incluso arrojar luz sobre su influencia en la morfología nebulosa. La alta precisión de la astrometría de Gaia DR2 permite detectar estrellas ligadas gravitacionalmente a la EC de una NP, que formarían así un sistema estelar binario. Algunos trabajos previos, como el de Jiménez-Esteban et al. [57], han probado que es posible encontrar estrellas binarias usando los paralajes y movimientos propios (y velocidades radiales, si se conocen) de Gaia DR2. Concretamente, hablamos de sistemas binarios ampliamente separados, que permitan distinguir ambas componentes estelares como dos fuentes diferentes en Gaia DR2. En esta sección nos centraremos en la búsqueda de este tipo de sistemas binarios.

En esta sección haremos uso de la muestra GAPN-DR2 para buscar sistemas binarios ligados a alguna de las NPs pertenecientes a esta muestra. De esta forma, intentaremos esclarecer un poco más la influencia que tienen las estrellas binarias sobre las NPs.

2.5.1 Procedimiento de Búsqueda y Detección

El objetivo principal es detectar objetos estelares ligados gravitacionalmente a alguna de las ECs del conjunto. Para ello, se procede a buscar objetos que se encuentren muy próximos a las ECs y que se muevan conjuntamente a ellas, lo que denominaremos objetos *comoving*. Por lo tanto, en primer lugar, se trata de hallar objetos que tengan una posición muy similar a las ECs, es decir, coordenadas y paralajes muy parecidos. Además, por otra parte, estos objetos deben moverse en direcciones y con velocidades similares a las ECs, es decir, poseer movimientos propios parecidos. Los movimientos propios en Gaia DR2 se representan mediante dos parámetros en función de la dirección de desplazamiento: PM_{RA} (proper motion in Right Ascension) y PM_{Dec} (proper motion in Declination). En caso de que se conozca la velocidad radial de ambos objetos, también será de gran ayuda para verificar si se mueven conjuntamente.

Recordemos que los paralajes de Gaia DR2 y sus correspondientes errores deben ser corregidos mediante la forma que se explicó en la Subsección 2.2.1. Por otra parte, los

movimientos propios también necesitan ser corregidos debido a un desfase producido por la rotación. La corrección debe aplicarse únicamente sobre fuentes brillantes ($G < 16$), y viene dada mediante las siguientes expresiones propuestas por Lindegren et al. [23]:

$$PM_{RA} = PM_{RA}^{DR2} + w_x \sin(\delta) \cos(\alpha) + w_y \sin(\delta) \sin(\alpha) - w_z \cos(\delta),$$

$$PM_{Dec} = PM_{Dec}^{DR2} - w_x \sin(\alpha) + w_y \cos(\alpha),$$

donde α : ascensión recta, δ : declinación, $w_x = -0.086$, $w_y = -0.114$ y $w_z = -0.037$.

Además, los respectivos errores de estos movimientos propios también necesitan ser corregidos considerando el error sistemático, que depende del brillo del objeto. Esta corrección es similar a la aplicada sobre los errores del paralaje, y también esta propuesta por Lindegren et al. [23]:

$$\sigma_T(PM_{RA}, PM_{Dec}) = \begin{cases} \sqrt{\sigma_i^2 + (0.066)^2} & \text{if } G > 13, \\ \sqrt{\sigma_i^2 + (0.032)^2} & \text{if } G \leq 13. \end{cases}$$

Para realizar esta búsqueda de objetos *comoving*, se procede a obtener los parámetros astrométricos (paralajes y movimientos propios) de todos los objetos que se encuentren en un campo suficientemente amplio alrededor de la EC de cada NP de la muestra. Por tanto, se decidió fijar un radio de búsqueda de 2 arcmin (120 arcsec), que correspondería a un radio proyectado de 0.58 pc para una estrella situada a 1 kpc de distancia. Con la idea de filtrar esta búsqueda, se eliminaron los objetos más débiles ($G > 19$) y los que tienen parámetros astrométricos menos precisos (errores del paralaje, de PM_{RA} o de PM_{Dec} mayor del 30%).

A continuación, se establece un criterio de selección para considerar que una estrella sea *comoving* a alguna de la ECs. Este criterio es similar al utilizado por Jiménez-Esteban et al. [57] y consiste en lo siguiente: si se define σ como el error máximo del paralaje, de PM_{RA} o de PM_{Dec} entre un objeto dado y la EC, se considerarán objetos *comoving* aquellos cuyos paralajes y movimientos propios (PM_{RA} , PM_{Dec}) difieran con los de la EC correspondiente en menos de $2.5 \cdot \sigma$. Por lo tanto, aplicando este procedimiento sobre todas las estrellas detectadas en el campo alrededor de cada una de las 217 ECs de la muestra, se logran detectar un total de 44 objetos *comoving* a 31 de la ECs.

Por último, se establece una distancia de separación máxima entre las ECs y las estrellas *comoving* para considerarlas como sistemas binarios. Para distancias mayores a ese valor umbral, supondremos que las dos estrellas no estarían ligadas gravitacionalmente. En este caso, nos guiamos por la distancia de separación física proyectada (en AU), puesto que es más realista que la distancia de separación angular. Al conocer la distancia a la que se encuentran las ECs, es sencillo hacer esta conversión. Como resultado se obtiene que las estrellas

comoving seleccionadas se encuentran a distancias físicas de separación de entre 1500 y 410 000 AU. En la Figura 2.36 se puede ver la distribución de estas distancias de separación. Generalmente, se suele tomar como distancia de separación máxima para los sistemas

binarios un valor de 20 000 AU (Weinberg et al. [58], Close et al. [59], Zavada and Pířka [60]). Aunque este valor podría

variar para estrellas dispersas del halo o estrellas de clusters muy jóvenes, según Jiménez-Esteban et al. [57]. En cualquier caso, como entre separaciones de 20 y 40 kAU no tenemos ningún objeto *comoving*, finalmente, decidimos fijar el valor de 20 000 AU como distancia de separación máxima para considerarse un sistema binario. Así pues, finalmente, nos quedamos con un total de 8 sistemas binarios (uno de ellos es un posible sistema triple).

Los 8 sistemas binarios seleccionados cumplen unas condiciones bastante estrictas de filtrado, ya que se quiere evitar seleccionar falsas estrellas compañeras a las ECs. Sin embargo, cabe la posibilidad de que alguno de estos objetos pudiera ser una estrella de campo y que hubiera cumplido por casualidad todas las condiciones de filtrado. Para poder descartar esta hipótesis, realizamos un análisis al respecto. Para ello se estima la densidad de probabilidad de los tres parámetros astrométricos (paralaje, PM_{RA} y PM_{Dec}) alrededor de cada una de las 8 ECs, y se calcula la probabilidad de que un objeto cualquiera de ese campo tenga los tres parámetros coincidentes con los de la correspondiente EC (dentro del intervalo de error impuesto: $2.5 \cdot \sigma$).

Para llevar a cabo este análisis, fijamos radios de búsqueda alrededor de cada EC que

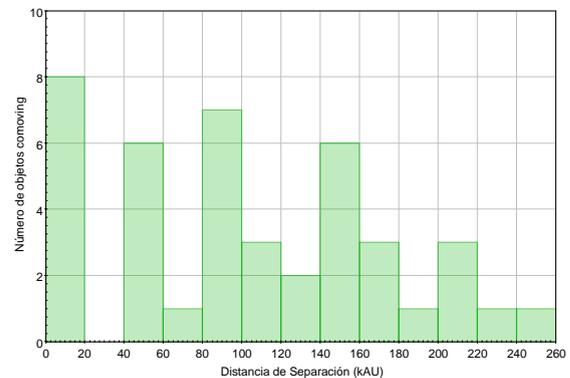


FIGURA 2.36: Distribución de distancias físicas de separación entre las estrellas *comoving* y sus correspondientes ECs, hasta los 260 kAU.

varían entre 1 y 4 pc, dependiendo de la densidad de población estelar en cada campo. Así, se logra obtener al menos 400 objetos en cada zona, número suficientemente grande para poder hacer un análisis representativo. En este estudio se han descartado los objetos más tenues ($G > 19$), pero no se ha realizado ningún filtrado en función de los errores relativos de los parámetros astrométricos de los objetos. A continuación, con el objetivo de sacar una buena estadística, se muestrea 100 veces cada parámetro de medida de cada objeto del campo, asumiendo una distribución de error Gaussiano. Se utiliza un intervalo de muestreo de $2.5 \cdot \sigma$.

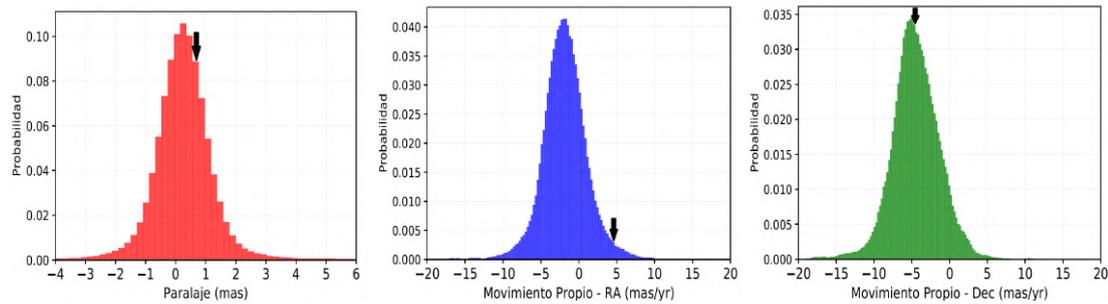


FIGURA 2.37: Distribución de probabilidad del paralaje (izquierda), del PM_{RA} (centro) y del PM_{Dec} (derecha) en el campo alrededor de la nebulosa PN SB 36. La flecha negra indica el intervalo correspondiente al valor del parámetro de la EC.

Así, para el campo alrededor de una de las 8 ECs (PN SB 36), se obtienen las distribuciones de probabilidad que pueden verse en la Figura 2.37 para cada uno de los parámetros astrométricos. En estas gráficas también se indica el intervalo correspondiente al valor que toman los parámetros astrométricos de la EC (mediante una flecha negra).

Finalmente, se obtiene la probabilidad de que un objeto de ese campo tenga el mismo valor del paralaje, de PM_{RA} y de PM_{Dec} que la EC. Como puede verse en la Tabla 2.3, las probabilidades obtenidas son muy bajas, prácticamente despreciables (por debajo del 0.2% en todos los casos). Por lo tanto, se puede descartar la hipótesis de haber seleccionado por azar alguna de estas estrellas binarias.

Consecuentemente, se concluye que los 8 sistemas binarios seleccionados son altamente probables de serlo, por lo que se irán analizando uno a uno en la siguiente sección.

Sistema	$P_{Paralaje}$	$P_{PM_{RA}}$	$P_{PM_{Dec}}$	$P_{Total} (\%)$
Abell 24	0.09	0.04	0.06	0.02
Abell 33	0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Abell 34	0.13	0.01	0.01	< 0.01
NGC 246	0.05	< 0.01	0.02	< 0.01
NGC 3699	0.13	0.02	0.11	0.02
NGC 6853	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
PHR J1129-6012	0.12	0.23	0.07	0.19
PN SB 36	0.09	< 0.01	0.03	< 0.01

TABLA 2.3: Probabilidades de coincidencia con el paralaje, el PM_{RA} , el PM_{Dec} y con los tres parámetros conjuntamente, para cada campo alrededor de las 8 NPs seleccionadas como poseedoras de sistemas binarios.

2.5.2 Parámetros astrométricos, fotométricos y evolutivos

En esta sección se analizan los parámetros y propiedades de los 8 sistemas binarios detectados. En cuanto a la astrometría, conocemos las coordenadas, paralajes, distancias y movimientos propios de ambas estrellas de cada sistema estelar. Así como la separación entre ambas estrellas de cada sistema y las velocidades radiales de algunas de ellas. Todos estos parámetros astrométricos pueden verse en la Tabla 2.4. También se proporcionan las cotas de error para los paralajes, para las distancias y para los movimientos propios. Como puede observarse, estos parámetros son muy parecidos entre ambas estrellas de cada sistema, como es de esperar, ya que son objetos *comoving*.

TABLA 2.4: Parámetros astrométricos de los sistemas binarios.

Objeto	RA ($^{\circ}$)	Dec ($^{\circ}$)	Paralaje (mas)	Distancia (pc)	Separación (AU)	PM_{RA} ($mas \cdot yr^{-1}$)	PM_{Dec} ($mas \cdot yr^{-1}$)	V_{Rad} ($km \cdot s^{-1}$)
Abell 24 (CS)	117.9065	3.0059	1.46 ± 0.15	691^{+70}_{-59}	...	-4.37 ± 0.23	-0.75 ± 0.14	13
Abell 24 - B	117.9067	3.0021	1.38 ± 0.07	725^{+29}_{-27}	9,912	-4.25 ± 0.11	-0.97 ± 0.09	...
Abell 33 (CS)	144.788	-2.8084	1.07 ± 0.10	932^{+77}_{-67}	...	-14.76 ± 0.17	9.42 ± 0.15	60
Abell 33 - B*	144.7878	-2.8089	1.17 ± 0.09	856^{+57}_{-51}	1,542	-14.94 ± 0.15	9.62 ± 0.14	...
Abell 34 (CS)	146.3973	-13.1711	0.89 ± 0.12	1118^{+144}_{-115}	...	3.08 ± 0.19	-9.13 ± 0.24	...
Abell 34 - B*	146.3954	-13.1693	0.87 ± 0.06	1155^{+56}_{-51}	10,472	3.23 ± 0.09	-9.11 ± 0.11	...
NGC 246 (CS)	11.7639	-11.872	1.98 ± 0.11	506^{+70}_{-59}	...	-16.96 ± 0.22	-8.88 ± 0.13	-16
NGC 246 - B*	11.7647	-11.8727	1.83 ± 0.06	547^{+10}_{-10}	2,118	-16.61 ± 0.09	-8.76 ± 0.08	-13**
NGC 3699 (CS)	171.991	-59.9579	0.68 ± 0.11	1506^{+279}_{-205}	...	-3.19 ± 0.16	1.14 ± 0.15	-16
NGC 3699 - B	171.9922	-59.9585	0.64 ± 0.07	1571^{+146}_{-123}	5,036	-3.22 ± 0.10	1.07 ± 0.10	...
NGC 6853 (CS)	299.9016	22.7212	2.69 ± 0.06	372^{+6}_{-6}	...	10.39 ± 0.09	3.66 ± 0.09	-42
NGC 6853 - B*	299.9005	22.7197	2.62 ± 0.06	382^{+7}_{-6}	2,453	10.22 ± 0.09	3.81 ± 0.09	...
NGC 6853 - C	299.8997	22.7202	2.36 ± 0.52	457^{+181}_{-101}	3,322	9.13 ± 0.64	3.78 ± 0.78	...
PHR J1129-6012 (CS)	172.4594	-60.2022	0.47 ± 0.09	2159^{+448}_{-320}	...	-6.64 ± 0.14	2.34 ± 0.12	...
PHR J1129-6012 - B	172.4573	-60.2022	0.41 ± 0.09	2482^{+576}_{-400}	9,551	-6.84 ± 0.38	2.70 ± 0.12	...
PN SB 36 (CS)	268.5868	-39.1772	0.63 ± 0.08	1610^{+192}_{-156}	...	4.43 ± 0.11	-4.75 ± 0.10	35
PN SB 36 - B	268.5831	-39.1761	0.77 ± 0.08	1331^{+128}_{-108}	14,880	4.43 ± 0.10	-4.78 ± 0.09	...

(*): Estrella compañera identificada previamente, ver el texto para más detalles.

(**): La velocidad radial de esta estrella se obtuvo mediante observaciones llevadas a cabo por nuestro equipo de investigación.

Por otra parte, se puede apreciar que las distancias de separación van desde los 1500 hasta los 15 000 AU, aproximadamente. Estas son separaciones típicas de binarias distantes,

por lo que se puede descartar cualquier fenómeno de transferencia de masa entre las estrellas, que podría darse en el caso de binarias próximas entre sí.

En cuanto a la fotometría de estas estrellas binarias, extraemos sus correspondientes magnitudes G , G_{BP} y G_{RP} de Gaia DR2. A continuación, para más precisión, se corrigen estas magnitudes con la extinción. Para ello, se hace uso de la extinción interestelar asignada a la estrella central de cada nebulosa (Tabla A.2, columna 5). En caso de nebulosas muy compactas, habría que tener en cuenta que la extinción debida a la nebulosa podría afectar más a una estrella que a la otra del sistema binario, pero como esto no se da en ninguno de nuestros sistemas, asumiremos la misma extinción para ambas estrellas de una misma nebulosa.

Por otra parte, se utilizan las relaciones de Danielski et al. [61] para obtener las extinciones en las tres bandas de Gaia (A_G , A_{BP} y A_{RP}) a partir de la extinción interestelar. Así, podríamos obtener la magnitud G corregida y el color $G_{BP} - G_{RP}$ corregido:

$$G_0 = G - A_G,$$

$$(G_{BP} - G_{RP})_0 = (G_{BP} - G_{RP}) - (A_{BP} - A_{RP}).$$

Las relaciones de Danielski vienen dadas por el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\frac{A_x}{A_V} = c_1 + c_2(G_{BP} - G_{RP})_0 + c_3(G_{BP} - G_{RP})_0^2 + c_4(G_{BP} - G_{RP})_0^3 + c_5 A_V + c_6 A_V^2 + c_7 (G_{BP} - G_{RP})_0 A_V,$$

donde $x = G, BP, RP$; y los coeficientes c_i están listados a continuación:

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7
A_G	0.9761	-0.1704	0.0086	0.0011	-0.0438	0.0013	0.0099
A_{BP}	1.1517	-0.0871	-0.0333	0.0173	-0.0230	0.0006	0.0043
A_{RP}	0.6104	-0.0170	-0.0026	-0.0017	-0.0078	0.0005	0.0006

Tras resolver este sistema de tres ecuaciones y tres incógnitas obtenemos las magnitudes corregidas en las tres bandas de Gaia DR2. Además, puesto que conocemos las distancias a las estrellas, también podemos obtener la magnitud absoluta en la banda G de cada una de ellas, M_G .

En la Tabla 2.5 pueden consultarse los valores fotométricos y de extinción obtenidos para las estrellas de los sistemas binarios. Hay dos sistemas (PHR J1129-6012 y PN SB 36) de los que no conocemos su extinción interestelar, por lo que no se han podido corregir su correspondiente fotometría. Por otra parte, hay otras dos estrellas (Abell 33-B y NGC 6853-C) de las que no se conoce su color de Gaia DR2. Para el resto de

estrellas compañeras, las ubicamos en un diagrama HR de magnitud vs color, ver Figura 2.38. A continuación, haciendo uso de las isócronas de PARSEC en las bandas de Gaia DR2 (Evans et al. [62]) y realizando un cálculo de interpolación, estimamos sus correspondientes temperaturas efectivas, luminosidades y masas. Estos parámetros también están listados en la Tabla 2.5.

En el caso de las dos estrellas en el que se desconoce su color, se obtiene su fotometría y se construye su SED (Spectral Energy Distribution) a través de la plataforma VOSA (Virtual Observatory SED Analyzer)². A continuación, se ajustan sus SEDs a los modelos de NextGen (AGSS2009) de Allard et al. [63], como puede observarse en la Figura 2.39. Para ello, se ha proporcionado el valor de la extinción interestelar correspondiente a cada caso. Finalmente, a partir de estos ajustes, se pueden estimar también las temperaturas efectivas y luminosidades de estas dos estrellas. Además, ubicándolas en un diagrama HR (luminosidad vs temperatura) junto con las isócronas de los modelos Nextgen, se puede obtener también una estimación de sus masas.

También se han añadido a la tabla las temperaturas, luminosidades y masas correspondientes a las estrellas centrales de las que se disponen estos parámetros,

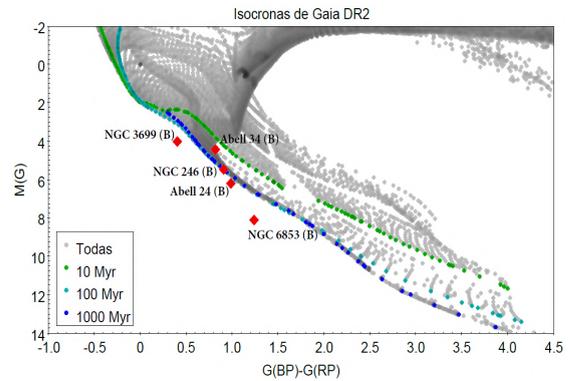


FIGURA 2.38: Ubicación de 5 de las estrellas compañeras en un diagrama magnitud vs color, junto con las isócronas de Gaia DR2.

²<http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/vosa/>

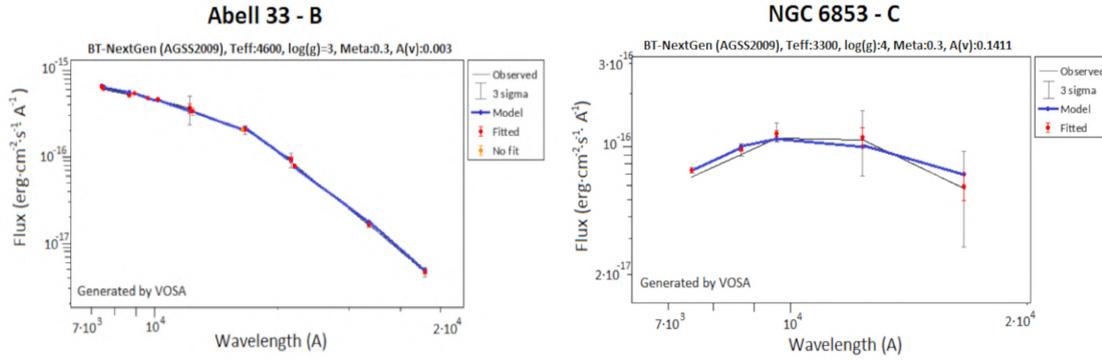


FIGURA 2.39: Ajustes de las SEDs de las estrellas Abell 33-B y NGC 6853-C a los modelos de NextGen (AGSS2009), realizados mediante la plataforma de VOSA.

estimados en la Sección 2.4. Si se comparan las temperaturas y luminosidades entre la estrella central y la compañera de cada sistema, se ve claramente que ambos parámetros son mucho mayores en el caso de las estrellas centrales que en el de las estrellas compañeras. Este resultado es de esperar ya que las estrellas compañeras se hayan en la zona de SP o cerca de esta y muestran temperaturas y luminosidades moderadas, mientras que las estrellas centrales se hayan en su fase final de vida mostrando temperaturas y luminosidades muy altas (capaces de ionizar la nebulosa), antes de apagarse, enfriarse y estabilizarse en la fase de enana blanca.

TABLA 2.5: Parámetros fotométricos y evolutivos de los sistemas binarios.

Objeto	G	M_G	A_G	$(G_{BP} - G_{RP})_0$	$A_{BP} - A_{RP}$	T_{eff} (kK)	$\log(L/L_\odot)$	$M(M_\odot)$
Abell 24 (EC)	17.41	7.99	0.22	-0.72	0.11	137.0	1.703	>5.0
Abell 24 - B	15.67	6.20	0.16	0.99	0.09	5.0	-0.569	0.761
Abell 33 (EC)	15.96	6.12	0.00	-0.37	0.00	100.0	2.04	$1.1^{+0.3}_{-0.1}$
Abell 33 - B	16.67	6.89	...	...	...	4.6	-0.787	<0.762
Abell 34 (EC)	16.42	6.04	0.14	-0.67	0.07	98.0	2.079	$1.02^{+0.01}_{-0.02}$
Abell 34 - B	14.85	4.43	0.11	0.82	0.06	5.9	0.086	0.908
NGC 246 (EC)	11.81	3.24	0.05	-0.68	0.03	150	3.688	3.75
NGC 246 - B	14.19	5.46	0.38	0.91	0.02	5.5	-0.314	0.846
NGC 3699 (EC)	17.60	4.93	1.78	-0.55	0.38	...	...	...
NGC 3699 - B	16.54	4.02	1.54	0.40	0.70	6.5	0.274	1.161
NGC 6853 (EC)	14.03	6.02	0.15	-0.67	0.08	135.0	2.44	$2.1^{+0.4}_{-0.4}$
NGC 6853 - B	16.12	8.10	0.11	1.24	0.06	4.0	-1.119	0.587
NGC 6853 - C	18.99	10.80	...	...	...	3.3	-2.020	0.200
PHR J1129-6012 (EC)	17.26	5.33*	...	1.06*	...	...	...	...
PHR J1129-6012 - B	17.12	4.83*	...	1.06*	...	...	...	...
PN SB 36 (EC)	15.25	4.03*	...	1.23*	...	...	...	...
PN SB 36 - B	14.62	3.85*	...	0.93*	...	...	...	...

(*): Valor no corregido por la extinción.

En cuanto a las masas, se puede observar que las estrellas centrales son más masivas que las estrellas compañeras. Nótese que en algún caso solo se puede dar una cota inferior o superior de este parámetro. En el caso de las estrellas centrales, también podemos estimar valores de incertidumbre (cálculo basado en las barras de error de la

temperatura y la luminosidad del diagrama HR de la Figura 2.34). Además, a partir de las masas estimadas y su posición en la SP, podemos estimar también el correspondiente tipo espectral de las estrellas compañeras. A continuación, se describen más al detalle los 8 sistemas binarios detectados:

Abell 24

La nebulosa Abell 24 esta situada a casi 700 pc de distancia y ubicada en la constelación de Canis Minor. Se trata de una nebulosa de morfología elíptica y de gran tamaño, con un radio medio de 0.633 pc ($\sim 130\,000$ AU). Su estrella central posee una masa de al menos $5 M_{\odot}$ y se halla en la fase final de enfriamiento camino a la fase de enana blanca, a una temperatura de aún $137\,000$ K y una luminosidad de unas $50 L_{\odot}$. En esta NP se ha encontrado una estrella compañera con una distancia de separación proyectada de casi $10\,000$ AU con la EC. Ajustando la fotometría de esta estrella a las isócronas de PARSEC, se ha estimado una masa de $0.761 M_{\odot}$, por lo que se trata de una estrella mucho menos masiva que la EC. También se le ha estimado una temperatura de 5000 K y una luminosidad de tan solo $0.27 L_{\odot}$. Por lo tanto, se trataría de una estrella de tipo espectral K, color naranja.

Hace unos 20 años, en la investigación de Ciardullo et al. [50] se propuso la presencia de un sistema binario en esta nebulosa.

Aunque en este caso, identificaron una estrella candidata más cercana a la EC que la nuestra y la calificaron como *doubtful association*. Si analizamos los parámetros astrométricos de esta estrella en Gaia DR2, se obtiene tanto un paralaje como unos movimientos propios incompatibles con los de la EC. Por lo tanto, se puede descartar este objeto como posible estrella asociada a la EC.

Abell 33

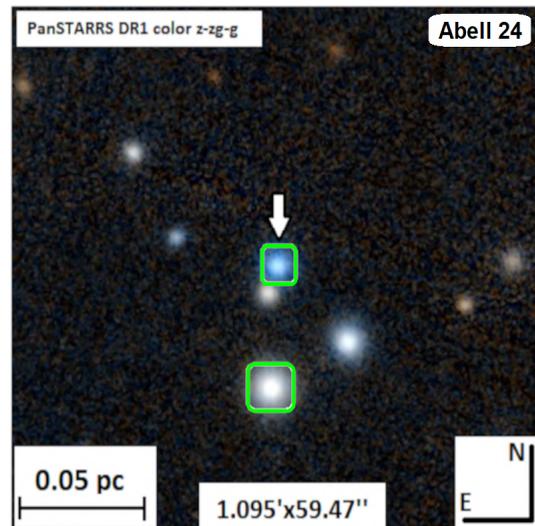


FIGURA 2.40: Sistema binario de Abell 24. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de *Aladin*.

Esta nebulosa de morfología redonda esta situada a más 900 pc de distancia, en la constelación de Hydra. Posee un radio medio de 0.516 pc ($\sim 106\,000$ AU). Su estrella central es poco masiva, de alrededor de $1.1 M_{\odot}$, y se encuentra en la fase de enfriamiento y apagándose, con una temperatura de unos 100 000 K y una luminosidad de unas $110 L_{\odot}$.

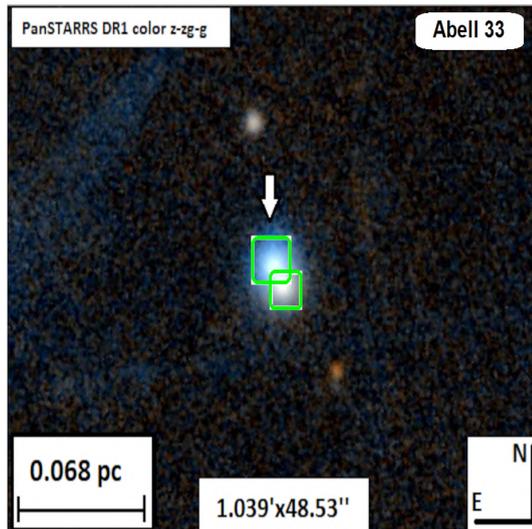


FIGURA 2.41: Sistema binario de Abell 33. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de *Aladin*.

En este caso, hemos detectado una compañera bastante cercana, con una separación proyectada de poco más de 1500 AU con la EC. Utilizando la plataforma de VOSA y ajustando la fotometría de esta estrella con el modelo NextGen (AGSS2009), se obtiene una temperatura de 4600 K y una baja luminosidad de unas $0.16 L_{\odot}$. Además, haciendo uso de las isócronas de NextGen, se consigue estimarle una masa máxima de $0.762 M_{\odot}$. Es decir, es menos masiva que la EC, pero con una masa que podría ser relativamente próxima a la de la EC. A partir de estos parámetros

se puede deducir que esta estrella es también de tipo espectral K y color naranja.

En el trabajo de Ciardullo et al. [50] esta estrella ya fue detectada como una posible compañera binaria. Por lo tanto, los datos de Gaia DR2 han podido confirmar que está ligada a la EC, formando un sistema binario.

Abell 34

La nebulosa Abell 34 se encuentra a algo más de 1100 pc de distancia, ubicada también en la constelación de Hydra. Tiene una morfología redonda y posee un gran tamaño, con un radio medio de 0.778 pc ($\sim 160\,000$ AU). Su correspondiente estrella central tiene una masa de poco más de $1 M_{\odot}$, y se encuentra en una fase evolutiva tardía muy similar a la de la Abell 33, mostrando una temperatura de 98 000 K y una luminosidad de unas $120 L_{\odot}$.

Ligada a la EC, hemos encontrado una estrella compañera situada a una distancia proyectada de separación de unos 10 000 AU. Tras obtener su fotometría en las bandas de Gaia DR2 y ajustarla a las isócronas de PARSEC, hallamos una masa de $0.91 M_{\odot}$

para esta estrella, muy similar a las $1.02 M_{\odot}$ de la EC. Mediante este ajuste, también le estimamos una temperatura de 5900 K y una luminosidad de $1.21 L_{\odot}$, valores muy parecidos a los del Sol. Por tanto, con estos parámetros le correspondería un tipo espectral G2.

Como puede observarse en la Figura 2.38, esta estrella ha salido ya de la SP y está situada sobre isócronas más viejas, en la zona de estrellas subgigantes. Por lo tanto, es posible estimar su edad evolutiva con más precisión que si estuviera en la SP (donde un ligero cambio de la posición en el diagrama HR puede suponer un cambio descomunal en la edad). Así pues, según la isócrona sobre la que se sitúa, le correspondería una edad evolutiva de 9200 Myr.

Por otra parte, en cuanto a la estrella central, haciendo uso de los modelos de Miller Bertolami [7] para las estrellas en fase

post-AGB y sumándole los correspondientes tiempos de las diferentes fases evolutivas que en ese trabajo se proponen (en función de la masa de la estrella), se estima una edad de 9244 Myr para esta estrella. Por lo tanto, ambas estrellas muestran aproximadamente la misma edad, lo que nos daría una evidencia más de que realmente pertenecen a un sistema binario, ya que habrían sido generadas al mismo tiempo.

En la Figura 2.43, se han ubicado ambas estrellas (señaladas mediante rombos) en un diagrama HR de luminosidad vs temperatura. En la zona de la izquierda, a temperaturas y luminosidades más elevadas, está situada la estrella central junto con la traza evolutiva de Miller Bertolami [7] más cercana a la estrella, correspondiente a $1 M_{\odot}$. Mientras que en la zona de la derecha, a temperaturas y luminosidades más bajas, está situada la estrella compañera junto con la isócrona de PARSEC más cercana, correspondiente a 9200 Myr.

En el estudio de Ciardullo et al. [50] también detectaron una posible binaria asociada a la EC de esta nebulosa, calculándole un 28% de probabilidad de tratarse de un falso

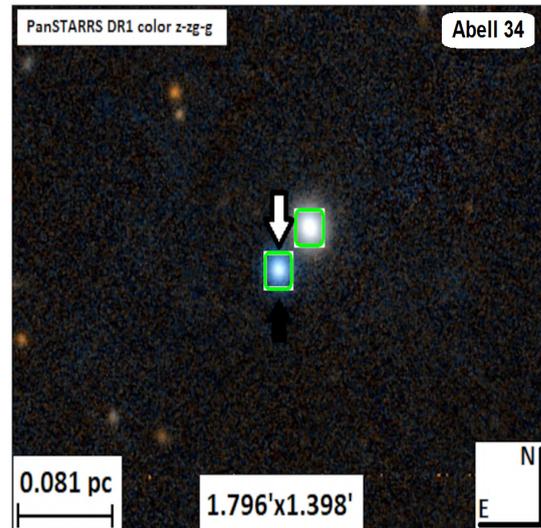


FIGURA 2.42: Sistema binario de Abell 34. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de *Aladin*.

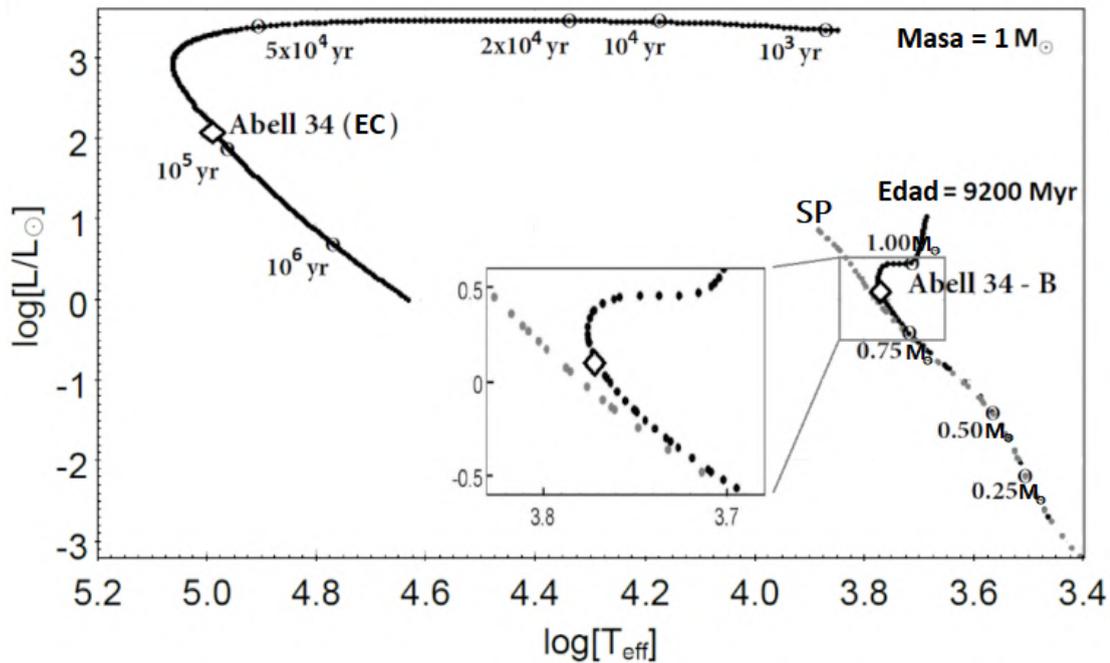


FIGURA 2.43: Diagrama HR de luminosidad vs temperatura con la ubicación de las 2 estrellas asociadas a Abell 34 (señaladas mediante rombos). La EC está situada junto a la traza evolutiva de $1 M_{\odot}$ (las edades que aparecen son solo de la fase post-AGB, habría que sumarle las de las otras fases hasta alcanzar los 9244 Myr). Mientras que la estrella compañera B está situada junto a la isocrona de 9200 Myr.

objeto *comoving*. Tras nuestro estudio y gracias a la astrometría de Gaia DR2, se ha podido confirmar que esta estrella, efectivamente, forma un sistema binario con la EC de la Abell 34.

NGC 246

La nebulosa NGC 246, también conocida como la nebulosa del esqueleto, está situada a una distancia de poco más de 500 pc, y ubicada en la constelación de Cetus. Está caracterizada por una morfología elíptica y un tamaño intermedio, mostrando un radio medio de 0.298 pc ($\sim 60\,000$ AU). La correspondiente estrella central posee una alta temperatura y luminosidad, de 150 000 K y unas $5000 L_{\odot}$ respectivamente.

En este caso se trata de una estrella deficiente en hidrógeno del tipo espectroscópico PG1159, según Heap [64], por lo que no podremos utilizar las trazas de Vassiliadis and Wood [2] o de Miller Bertolami [7] para estimar su masa. Sin embargo, haciendo uso de los modelos evolutivos para estrellas post-AGB calculados mediante pulsos térmicos muy tardíos y bajo un escenario *born-again*, en el estudio de Miller Bertolami and Althaus

[65] consiguieron hallar para esta estrella central remanente una masa de $0.74 M_{\odot}$, lo que correspondería a una masa inicial en la SP de unas $3.75 M_{\odot}$.

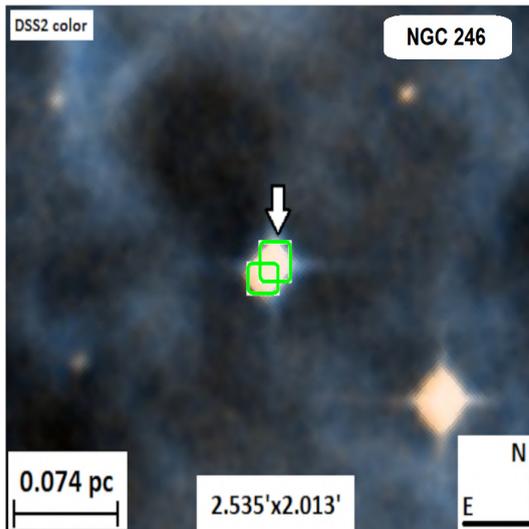


FIGURA 2.44: Sistema binario de NGC 246. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de *Aladin*.

Por otra parte, nosotros hemos hallado una estrella compañera con una distancia proyectada de separación respecto a la EC de poco más de 2100 AU. Además de coincidir en paralaje y movimientos propios con la EC, en este caso también se ha podido comprobar la coincidencia en la velocidad radial entre ambas estrellas. Por una parte, se ha obtenido una velocidad de -15.7 km/s para la EC, según el trabajo de Feibelman [66]. Y por otra parte, recientemente,

nuestro equipo de investigación ha obtenido el espectro óptico de la estrella compañera a través de unas observaciones llevadas a

cabo mediante el telescopio INT (Isaac Newton Telescope) de La Palma, y usando el espectrógrafo IDS (Intermediate Dispersion Spectrograph). A partir de este espectro, hemos podido estimar una velocidad radial de $-13 \pm 8 \text{ km/s}$ para la estrella compañera. Este resultado concuerda con el valor correspondiente de la EC.

En cuanto a la masa de la estrella compañera, se ha estimado un valor de $0.85 M_{\odot}$ mediante el ajuste de su fotometría con las isócronas de PARSEC. Por lo tanto, esta estrella es bastante menos masiva que la EC. A través de este ajuste también se ha podido estimar una temperatura de 5500 K y una luminosidad de $0.49 L_{\odot}$ para la estrella compañera. El valor de estos parámetros corresponden al de una estrella de tipo espectral G8, de color amarillo.

Estudios previos sobre esta la nebulosa NGC 246, como el de Adam and Mugrauer [67], han detectado la existencia de un sistema estelar triple asociado a la nebulosa, con unas distancias de separación de aproximadamente 500 AU y 2000 AU. En nuestro caso, todo indica a que habríamos detectado y confirmado la existencia de la estrella más lejana de las dos. La otra estaría demasiado cerca como para poder ser captada mediante la resolución de Gaia DR2. Esta nebulosa también está incluida en el catálogo de David

Jones³ sobre sistemas binarios en NPs.

NGC 3699

Esta nebulosa de morfología bipolar, está situada a poco más de 1500 pc de distancia, y ubicada en una zona con bastante extinción interestelar, dentro de la constelación de Centaurus. Posee un tamaño relativamente pequeño, con un radio medio de 0.153 pc ($\sim 60\,000$ AU). En este caso, no ha sido posible estimar la masa ni luminosidad de su estrella central, ya que no disponemos del valor de su temperatura, por lo que no podremos obtener la corrección bolométrica, y consecuentemente, tampoco podremos ubicarla en el diagrama HR (luminosidad vs temperatura).

La única referencia que hemos encontrado respecto a la temperatura de esta estrella se encuentra en el trabajo de Kaler and Jacoby [44], que proporcionan un valor estimado muy elevado, de 260 000 K. Pero, si se aplica este valor para el cálculo de la corrección bolométrica, se obtendría un valor de luminosidad extremadamente elevado y no realista.

En esta nebulosa, hemos hallado una estrella compañera a la EC con una distancia proyectada de separación de unos 5000 AU. Ajustando la fotometría de esta estrella en las bandas de Gaia DR2 a las isócronas de

PARSEC, se le estima una masa de $1.16 M_{\odot}$, una temperatura de 6500 K y una luminosidad de $1.88 L_{\odot}$. Según estos parámetros se trata de una estrella de tipo espectral F, por lo que mostraría un color blanco amarillento.

Respecto a esta nebulosa, no se ha encontrado bibliografía previa sobre la existencia de un sistema binario asociado a ella.

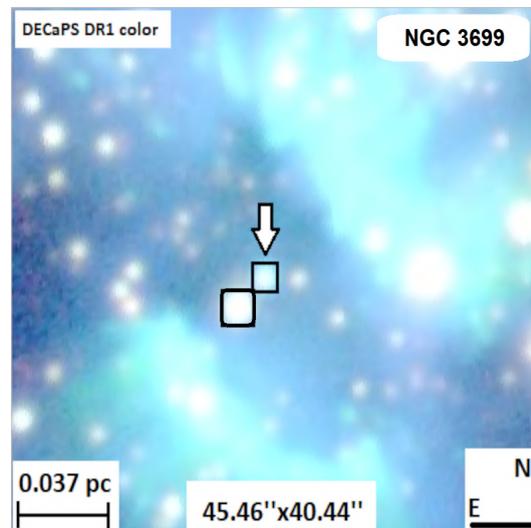


FIGURA 2.45: Sistema binario de NGC 3699. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de *Aladin*.

³<http://www.drdjones.net/bcspn>

NGC 6853

La nebulosa NGC 6853, también conocida como la nebulosa de Dumbbell, fue la primera en ser descubierta, lo hizo Charles Messier en 1764. Se trata de una nebulosa muy cercana, situada a unos 370 pc de distancia y ubicada en la constelación de Vulpecula. Muestra una morfología bipolar, con un radio medio de 0.368 pc ($\sim 75\,000$ AU). La estrella central de esta nebulosa posee una masa de alrededor de $2.1 M_{\odot}$. Aunque ya ha comenzado su fase de enfriamiento y pérdida de luminosidad, aún tiene una elevada temperatura de unos 135 000 K y muestra una alta luminosidad de aproximadamente $275 L_{\odot}$.

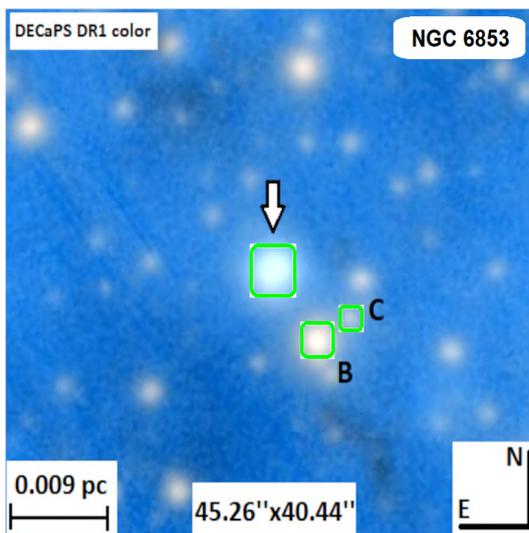


FIGURA 2.46: Sistema triple de NGC 6853. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de *Aladin*.

En este caso, hemos detectado dos estrellas compañeras, por lo que podrían constituir un sistema estelar triple. La más cercana de las dos (NGC 6853-B) está situada a casi 2500 AU de la EC. Mediante el ajuste de su fotometría a las isócronas de PARSEC, se le ha estimado una masa de $0.59 M_{\odot}$. Por lo que se trata de una estrella bastante menos masiva que la central. Además, a partir de este ajuste, también se le ha obtenido una temperatura de 4000 K y una baja luminosidad de tan solo $0.08 L_{\odot}$. Por lo tanto, le correspondería un tipo espectral K, y un color naranja. En cuanto a la otra

estrella (NGC 6853-C), es mucho más tenue ($G=18.99$) que la primera y está situada más lejos de la EC, a algo más de 3300 AU. En este caso, como no se dispone de su fotometría en todas las bandas de Gaia DR2, hemos obtenido su fotometría a través de la plataforma de VOSA. Y tras ajustar su correspondiente SED al modelo de NextGen (AGSS2009), le hemos estimado una masa de tan solo $0.2 M_{\odot}$, una baja temperatura de 3300 K y una también baja luminosidad de apenas $0.01 L_{\odot}$.

La existencia de un sistema binario en la nebulosa NGC 6853 fue sugerida por primera vez en 1973 por Cudworth [68], que descubrió una estrella compañera de magnitud $V = 17$ y ubicada a una distancia angular de 6.5 as respecto a la EC. Por lo que todo indica a que se trataría de la estrella más cercana de ambas detectada en nuestro estudio. En

1977 las medidas astrométricas de Cudworth demostraron que los movimientos propios de esta estrella coincidían con los de la EC. Nosotros, gracias a la precisa astrometría de Gaia DR2, hemos podido confirmar que esta estrella está ligada gravitacionalmente a la EC, formando así un sistema binario. Además, la nebulosa está también incluida en el catálogo de David Jones.

En cuanto a la segunda estrella compañera, aunque cumple las condiciones de nuestro algoritmo de selección, hay que remarcar que sus parámetros astrométricos no son tan parejos con los de la EC como los son los de la primera estrella, por lo que habría más dudas de que estuviese ligada a la EC. Una posibilidad sería que ambas estrellas compañeras estuviesen ligadas entre sí formando un sistema binario, y estas a su vez estuvieran orbitando alrededor de la EC.

PHR J1129-6012

Esta nebulosa está situada a una distancia de casi 2200 pc. Muestra una morfología elíptica y un pequeño tamaño con un radio medio de apenas 0.1 pc ($\sim 20\,000$ AU). En este caso no disponemos de mucha información de su estrella central, ya que se desconoce su temperatura y extinción interestelar. Se cree que esta extinción podría ser bastante elevada, ya que se encuentra a latitudes muy bajas, cerca del plano galáctico. Esto explicaría el color rojo observado que muestra esta estrella.

Hemos detectado una estrella compañera con una distancia proyectada de separación de algo más de 9500 AU respecto a la EC. Tanto su magnitud como su color son muy similares a los de la EC. Al no disponer del valor de la extinción interestelar, no hemos podido extraer más información sobre los parámetros de esta estrella.

Hay que notar, que la identificación de la EC de una NP no es una tarea sencilla, y en la mayoría de casos no puede determinarse con total fiabilidad. En un estudio reciente llevado a cabo por Chornay and Walton

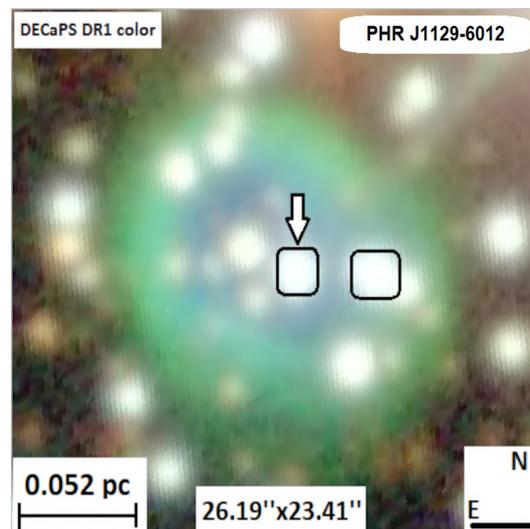


FIGURA 2.47: Sistema binario de PHR J1129-6012. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de *Aladin*.

[22], en el que proporcionan una tabla de las NPs junto con su correspondiente fuente de Gaia DR2 identificada como EC, dan una fiabilidad del 40% de que esta estrella sea realmente la EC de la nebulosa PHR J1129-6012. Por lo tanto, existe la posibilidad de que este sistema binario no pertenezca realmente a la nebulosa. Por lo demás, no se ha encontrado bibliografía previa sobre la existencia de un sistema binario en esta nebulosa.

PN SB 36

La nebulosa PN SB 36 también posee un tamaño muy pequeño, con un radio medio de tan solo 0.03 pc (~ 6000 AU). Y también está ubicada cerca del plano galáctico a una distancia de poco más de 1600 pc. En cuanto a la estrella central, tampoco se conoce su temperatura ni extinción interestelar, por lo que no hemos podido estimar sus parámetros evolutivos.

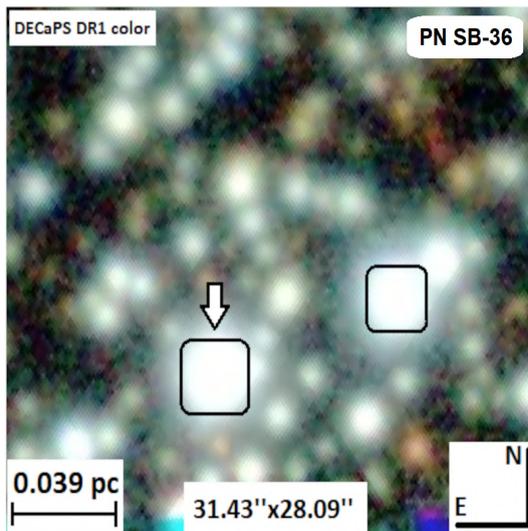


FIGURA 2.48: Sistema binario de PN SN 36. La EC viene indicada mediante la flecha. Imagen del atlas de *Aladin*.

En este caso hemos identificado una estrella compañera con casi 15 000 AU de distancia proyectada de separación. A pesar de que esta nebulosa está incluida en nuestra muestra GAPN-DR2 (y en el catálogo de Kerber et al. [19]), existen dudas de que realmente lo sea, ya que su espectro electromagnético mostrado en la base de datos de HASH solo muestra líneas de emisión en H_{α} .

Por otra parte, tampoco se ha encontrado bibliografía previa sobre la existencia de ningún sistema binario asociado a esta nebulosa.

Capítulo 3

Nebulosas Planetarias en Gaia EDR3

En diciembre de 2020, se publicó el tercer lanzamiento de datos de la misión Gaia, conocido como *Gaia Early Data Release 3 (GEDR3)*. Esta base de datos contiene parámetros astrométricos (posiciones, paralajes y movimientos propios) y fotométricos (en tres bandas diferentes) para más de 1800 millones de fuentes estelares de nuestra galaxia. Además, supone una mejora tanto en cantidad como en calidad de datos respecto a Gaia DR2. Este lanzamiento de datos se produjo como un avance del Gaia DR3, cuya publicación se produjo finalmente en junio de 2022, con la idea de proporcionar información espectrofotométrica en el rango 330-1050 nm para un amplio conjunto de fuentes (entre otras novedades).

En este capítulo haremos uso de los datos de Gaia EDR3 para analizar y estudiar un poco más a fondo las propiedades de la población galáctica de Nebulosas Planetarias. En primer lugar, expondremos el procedimiento utilizado para seleccionar la muestra de NPs a estudio y presentaremos un nuevo método de identificación de las correspondientes estrellas centrales, con más fiabilidad que el utilizado en el capítulo anterior con Gaia DR2. A continuación, obtendremos las distancias a las NPs a través del método Bayesiano propuesto por Bailer-Jones et al. [69]. Posteriormente, al igual que en el capítulo anterior, seleccionaremos una muestra con las NPs con distancias más precisas, y analizaremos sus propiedades físicas (tamaño, morfología, edad cinemática...). Además, para un subconjunto de esta muestra con las NPs de las que podamos conocer sus

temperaturas y luminosidades, haremos un estudio del estado evolutivo de sus estrellas centrales (masa, edad, tipo espectral...) mediante su ubicación en un diagrama HR junto a las trazas evolutivas para estrellas post-AGB de Miller Bertolami [7]. Por último, trataremos de encontrar sistemas estelares binarios asociados a las NPs. Por una parte sistemas binarios separados (buscando objetos *comoving* a las ECs), y por otra parte sistemas binarios próximos (mediante el análisis de ciertos parámetros de calidad de detección).

3.1 Catálogo de Nebulosas Planetarias galácticas

El objetivo principal de este capítulo es presentar un catálogo lo más amplio posible de nebulosas planetarias galácticas con distancias conocidas, apoyándonos en los datos de Gaia EDR3. Para ello, en esta ocasión, partiremos de todos los objetos catalogados como *True PN*, *Likely PN* o *Possible PN* en la base de datos de HASH. Entre todos estos objetos están incluidos prácticamente todos los contenidos en otros catálogos de NPs, como los de Kerber et al. [19], Stanghellini and Haywood [4] y Weidmann et al. [70]. Concretamente, solo obtenemos 21 objetos contenidos en el catálogo de Weidmann que no están incluidos en HASH. A su vez, estos objetos están definidos como *Symbiotic Stars*, *HII Regions* o *Ionized ISM* en HASH. Consecuentemente, decidimos basarnos en el criterio de HASH y excluir estos pocos objetos. Así pues, finalmente reunimos un total de 3711 nebulosas planetarias.

3.1.1 Identificación de la Estrella Central

Una vez seleccionada la muestra de nebulosas planetarias, procedemos a buscar la estrella central correspondiente a cada una de ellas, entre todas las fuentes de Gaia EDR3. Para ello, utilizamos las coordenadas de las NPs proporcionadas por HASH y fijamos un radio de búsqueda de 20 arcsec alrededor de las coordenadas de cada una de las 3711 NPs. Como resultado obtenemos un total de unas 160 000 estrellas candidatas, aproximadamente 40-45 para cada nebulosa.

La identificación de la EC de una nebulosa planetaria no es una tarea fácil, que a lo largo de la historia ha sido un quebradero de cabeza para los astrónomos y ha llevado a la publicación de falsas identificaciones. La EC suele encontrarse en torno al centro

geométrico de la nebulosa, pero este no es siempre el caso. Además, el centro geométrico nebuloso no es fácil de definir, debido a los efectos de proyección o a la interacción de la nebulosa con el medio interestelar (Villaver et al. [71]). Por otra parte, principalmente en nebulosas extensas, puede haber un gran número de estrellas de campo, lo que complica la identificación al haber más objetos candidatos. Por último, el propio brillo de la nebulosa puede dificultar la detección de la estrella, sobretodo en nebulosas aún jóvenes y compactas.

Aparte de la distancia al centro geométrico, otro parámetro que puede ayudar a identificar la EC es el color de la estrella. En Gaia, el color de una fuente suele definirse como la diferencia entre las magnitudes BP (Blue Photometer) y RP (Red Photometer), es decir, como el valor de $G_{BP} - G_{RP}$. Por otra parte, es de esperar que las ECs de NPs presenten un color azul, indicador de una alta temperatura capaz de ionizar la envoltura que les rodea. Concretamente, se estima que la fase de pre-nebulosa planetaria, cuando la envoltura comienza a ionizarse parcialmente, se da a partir de una temperatura aproximada de unos 13 000 K (Weidmann et al. [70]). Mientras que se considera que la nebulosa se ha ionizado completamente al llegar a una temperatura de unos 25 000 K (Kwok [48]). Haciendo uso de la relación entre temperaturas y colores Gaia propuesta por Andrae et al. [72], podemos estimar un color $G_{BP} - G_{RP} = -0.2$ para una estrella con una temperatura de 13 000 K (ver Figura 3 de este trabajo). Por lo tanto, fijaremos un color Gaia máximo de -0.2 (equivalente a una temperatura mínima de 13 000 K) para poder considerar una estrella candidata a ser la EC de una NP.

Hay que tener en cuenta que el brillo de las estrellas puede estar atenuado por el polvo interestelar. Este efecto afecta más a la banda azul del espectro que a la roja, lo que llevaría a "enrojecer" las estrellas, es decir, hacer que las estrellas parezcan más rojas de lo que realmente son. Consecuentemente, antes de evaluar el color intrínseco de todas las estrellas candidatas, deberíamos corregir este efecto de extinción sobre los colores estelares. Para llevar a cabo esta tarea,

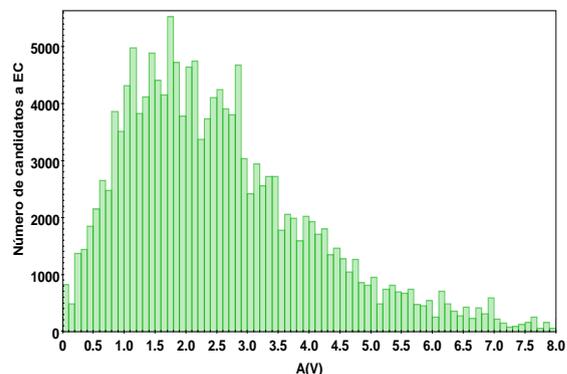


FIGURA 3.1: Distribución de extinciones interestelares para las fuentes candidatas a EC. Obtenidas de los mapas de Bayestar y SFD.

decidimos utilizar los valores de extinción

interestelar (A_V) proporcionados por los mapas¹ de polvo interestelar de Bayestar (Green et al. [54]) y SFD (Schlegel et al. [73]). Priorizamos los valores de Bayestar (en el caso de tenerlos, ya que no cubre toda la bóveda celeste) sobre los de SFD, puesto que estiman la extinción no solo en función de las coordenadas (lo que hace el SFD) sino también en función de la distancia a la fuente. Para la extracción de todos estos valores, implementamos un script en Python que hace consultas a las base de datos Bayestar y SFD, recibiendo como input las coordenadas de la fuente, y en el caso del Bayestar también la distancia a la fuente. La distribución de los valores de extinción obtenidos (hasta magnitud 8) se muestran en la Figura 3.1.

Una vez disponemos de estos valores de extinción, utilizamos las relaciones de Danielski expuestas en la Subsección 2.5.2 para calcular los valores de extinción en las bandas BP y RP: A_{BP} y A_{RP} . Finalmente, se corrigen los colores $G_{BP} - G_{RP}$ de todas las fuentes candidatas como:

$$(G_{BP} - G_{RP})_0 = (G_{BP} - G_{RP}) - (A_{BP} - A_{RP}).$$

A continuación, implementamos un algoritmo para decidir cual de las estrellas candidatas seleccionar como EC, teniendo en cuenta tanto su distancia al centro nebuloso (d) como su color (c). En primer lugar, el algoritmo comprueba si en la región de búsqueda alrededor de cada nebulosa hay objetos con color menor de -0.2 (valor correspondiente a la temperatura mínima a la cual podría comenzar la ionización) y distancia al centro nebuloso menor del 20% del correspondiente radio nebuloso (objetos considerablemente centrados en la nebulosa). En caso de haber un único objeto con esas condiciones, automáticamente es seleccionado por el algoritmo como EC de esa nebulosa. En caso de encontrar más de un objeto con esas condiciones, el algoritmo selecciona como EC el más cercano al centro nebuloso.

Para los casos en los que no se detecta ningún objeto bajo esos umbrales de la distancia al centro nebuloso y del color, construimos una función que contiene estos dos parámetros (d y c) y que permita al algoritmo seleccionar el objeto con los menores valores posibles en ambos parámetros (la estrella más cercana posible al centro nebuloso y la más azul posible). Para poder considerar estos dos parámetros de tan diferente naturaleza en

¹<https://dustmaps.readthedocs.io/en/latest/maps.html>

una misma función, se deben normalizar de alguna manera, cuyos valores normalizados llamaremos $N(d)$ y $N(c)$. Así pues, la función a minimizar será la siguiente:

$$f(d, c) = N(d) + N(c).$$

Podemos suponer que la estrella central debería caer dentro de la región cubierta por la nebulosa. Por lo tanto, normalizamos la distancia desde el centro hasta el radio nebuloso (R) al intervalo $[0,1]$ y asignamos un valor infinito si el objeto está a una distancia mayor del radio nebuloso (quedando descartado automáticamente). El parámetro $N(d)$ toma entonces los siguientes valores:

$$N(d) = \begin{cases} \frac{d}{R}, & d \in [0, R] \Rightarrow [0, 1]; \\ \infty, & d > R. \end{cases}$$

En los pocos casos en los que se desconoce el radio nebuloso, suponemos un valor para el radio muy pequeño, de tan solo 1 arcsec. En caso de que no haya ninguna fuente en la región cubierta por el radio nebuloso, no se asignará ninguna EC a esa nebulosa.

Por otra parte, también se normaliza el color de las fuentes en el intervalo $[0,1]$, cuyo valor normalizado estará definido por el parámetro $N(c)$. Como ya vimos con los datos de Gaia DR2, la gran mayoría de colores toman valores de entre -3 y 3. Consecuentemente, normalizaremos este rango de valores al intervalo $[0, \frac{1}{2}]$, el intervalo más probable. Mientras que los valores de color mayores (cuyo valor máximo es 4.82) serán normalizados al intervalo $[\frac{1}{2}, 1]$, el intervalo menos probable. Por último, asignaremos un valor 0 a aquellas escasas fuentes con valores del color por debajo de -3, dándoles una probabilidad muy alta de ser seleccionadas como estrella central. En resumen, el parámetro $N(c)$ tomará los siguientes valores en función del color c :

$$N(c) = \begin{cases} \frac{3+c}{12}, & c \in [-3, 3] \Rightarrow [0, \frac{1}{2}], \\ 0.5 + \frac{c-3}{3.64}, & c \in (3, 4.82] \Rightarrow [\frac{1}{2}, 1], \\ 0, & c < -3. \end{cases}$$

Para aquellos objetos sin valor conocido del color Gaia, se les asignará el valor promedio entre todos los candidatos, es decir, un valor c de 0.775. Así, será el valor d el que determine si debe o no ser seleccionado.

Una vez definida la función de selección $f(d, c)$, que tomará valores en el intervalo $[0, 2]$, el algoritmo seleccionará para cada una de las nebulosas restantes, la fuente que minimice la función entre todas las candidatas. La fuente seleccionada será considerada como EC de la nebulosa en cuestión. Tras ejecutar el algoritmo, obtenemos la identificación de la EC para un total de 3257 NPs. Si comparamos estas identificaciones con las obtenidas mediante otro método llevado a cabo recientemente por Chornay and Walton [74], obtenemos una coincidencia de más del 96% sobre las nebulosas en común entre ambos métodos.

Con el objetivo de proporcionar una información más clara sobre la fiabilidad de las identificaciones de ECs, las dividimos en tres grupos de fiabilidad: A, B y C. En el grupo A se incluyen las estrellas seleccionadas mediante el primer criterio, es decir, que tengan un color por debajo de -0.2 y que estén situadas a una distancia menor del 20% del radio nebuloso al centro geométrico de la nebulosa. Estas estrellas serían las más fiables de ser realmente la EC. Por otra parte, en el grupo B están incluidas aquellas estrellas que no cumplen el primer criterio pero cuyo valor de la función $f(d, c)$ es menor que 0.5. Estas estrellas tendrían una fiabilidad media.

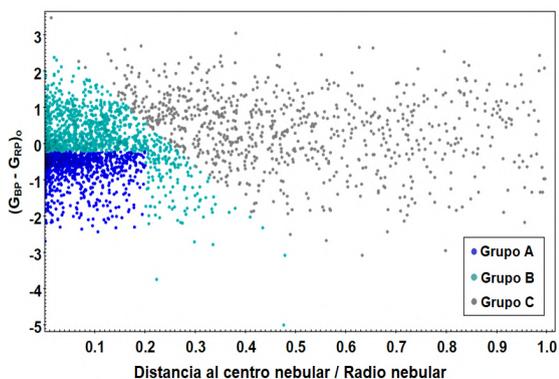


FIGURA 3.2: Color $(G_{BP} - G_{RP})_0$ frente a la distancia relativa al centro nebuloso, para aquellos objetos seleccionados como ECNP. Los objetos están divididos en tres grupos (A, B y C) en función de su grado de fiabilidad.

Por último, el grupo C contiene las estrellas restantes y que tendrían la fiabilidad más baja. También se han incluido en este último grupo las estrellas con valor del color Gaia desconocido, debido a que esto supone una considerable incertidumbre. En la Figura 3.2, se puede observar la ubicación de las estrellas de cada uno de estos tres grupos, en función de su color y de su distancia relativa al centro nebuloso (dependiendo de su correspondiente radio nebuloso). Nótese

que hay un gran número de estrellas con color superior al límite teórico de -0.2. Esto podría deberse a que la extinción interestelar aplicada no sea la más realista, por ejemplo,

en casos de NPs muy compactas, la propia nebulosa estaría contribuyendo a enrojecer más la estrella. En algunos otros casos, puede incluso que la EC sea una estrella binaria y que su estrella compañera este apantallando a la central, haciendo que realmente se este detectando la compañera, cuyo color será más rojo por lo general.

Sobre el total de las 3257 ECNPs seleccionadas, el 31.6% de ellas están incluidas en el grupo de fiabilidad A, el 30.9% en el grupo B, mientras que el 37.5% pertenecen al grupo C. En este punto, decidimos incluir en nuestro catálogo de ECNPs aquellas estrellas contenidas en los grupos A y B, dejando fuera a las del grupo C debido a una insuficiente fiabilidad en su identificación. Por lo tanto, hemos obtenido un catálogo de ECNPs compuesto por un total de 2035 objetos estelares. En la Tabla A.3 se presenta este catálogo, dando información sobre las fuentes de Gaia EDR3 identificadas como EC de cada una de las NPs: su grupo de fiabilidad, sus coordenadas (RA, Dec), su distancia angular al centro nebuloso (D_{ang}), su magnitud G de Gaia, su extinción interestelar (A_V) y su color $(G_{BP} - G_{RP})_0$ (corregido de extinción). La tabla completa con los objetos restantes del grupo C puede encontrarse online², junto con otras tablas de esta tesis.

3.1.2 Distancias a Nebulosas Planetarias

Una vez seleccionada la muestra de 2035 NPs con una identificación de su EC suficientemente fiable, nos centramos en analizar sus propiedades. Una de las más importantes es la distancia a la que se encuentran desde el Sol, ya que el determinar este parámetro permite estimar las propiedades intrínsecas de las nebulosas y sus ECs a partir de las propiedades observacionales. Haciendo uso de la altamente precisa astrometría de Gaia es posible estimar estas distancias. Gaia EDR3 proporciona el paralaje para aproximadamente el 81% de sus fuentes. Concretamente, en nuestra muestra tenemos 1725 objetos con paralajes en EDR3.

Partiendo de estos paralajes, podemos estimar las distancias a estas estrellas, y consecuentemente las distancias a la nebulosas correspondientes. Para ello, se procede de forma similar a como se hizo en el Capítulo 2 (con paralajes de DR2), pero en este caso haremos uso de la nueva tabla de distancias estadísticas Bayesianas de Bailer-Jones et al. [69]. En el capítulo anterior, con datos de DR2, se obtuvo una muestra de 1571 NPs con distancias conocidas. Ahora, no solo se han obtenido distancias para alrededor

²<https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR>

de un 10% más de objetos, si no que además las nuevas distancias de EDR3 son más precisas que las anteriores y provienen de una identificación de la EC con más fiabilidad. En la Figura 3.3 se muestra la distribución de estas distancias. Como puede observarse, la mayoría de las NPs están situadas a una distancia de entre 3.5 y 7 kpc desde el Sol, encontrándose un 6% del total a una distancia menor de 1 kpc, y solamente en torno a un 1% más allá de los 10 kpc.

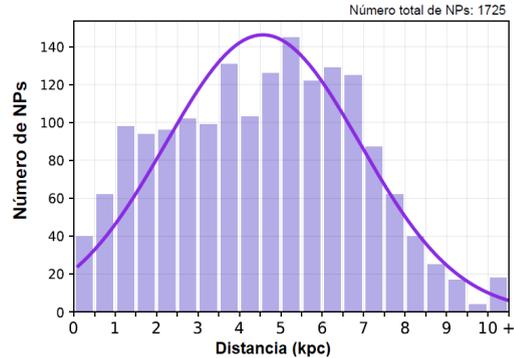


FIGURA 3.3: Distribución de distancias para la muestra de 1725 NPs.

Ajustando una función Gaussiana a esta distribución, se obtiene un valor de distancia media de 4.57 kpc, con una desviación estándar de 2.35 kpc. Esto quiere decir, que en comparación con la muestra de NPs obtenida en DR2 (distancia media de 3.55 kpc y desviación estándar de 1.94 kpc), ahora se detectan NPs más lejanas y más uniformemente distribuidas.

3.2 Muestra GAPN-EDR3

En esta sección analizaremos las propiedades físicas de las nebulosas planetarias. Para ello, seleccionaremos un conjunto de NPs con valores de distancias suficientemente precisos para poder derivar con suficiente exactitud otros parámetros a partir de estos valores. Como se ha visto en la sección anterior, hemos sido capaces de obtener los paralajes y las correspondientes distancias de una amplia muestra de ECNPs. Sin embargo, muchos de estos paralajes pueden tener valores altos de incertidumbre, que a su vez llevarían a un alto valor de incertidumbre en la distancia. Por lo tanto, la idea es deshacerse de todos estos casos.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que los paralajes (π) de EDR3 (al igual que ocurría en DR2) presentan un pequeño bias o desajuste conocido como *zero point* (z_0), que debe ser sustraído para corregir el paralaje medido. Según el estudio de Lindegren et al. [75], este *zero point* toma un valor medio de $-17\mu\text{as}$. Pero en general, existe una cierta dispersión en torno a este valor, que depende de la magnitud, el color y la posición

celeste de la estrella. Consecuentemente, Lindegren proporciona una fórmula en función de estos parámetros para estimar el valor del *zero point*. A partir de un script en Python desarrollado por la Universidad de Barcelona³, estimamos el *zero point* para cada una de nuestras estrellas. Finalmente, calculamos los paralajes reales (π_o) substrayendo este valor a los paralajes medidos por Gaia EDR3:

$$\pi_o = \pi - z_o.$$

Por otra parte, los valores de incertidumbre del paralaje también deben ser corregidos, ya que los valores que da Gaia EDR3 corresponden a la incertidumbre interna, y la incertidumbre sistemática también debe ser tomada en cuenta. Para obtener la incertidumbre total del paralaje ($\Delta\pi$) hemos aplicado los cálculos propuestos en el trabajo de Fabricius et al. [76].

Una vez aplicadas estas correcciones, seguimos el mismo criterio utilizado en el Capítulo 2 para seleccionar la muestra de NPs con distancias más precisas. Es decir, calculamos para cada objeto de la muestra las incertidumbres relativas del paralaje y de la distancia (de la cota inferior y superior) y los parámetros de calidad astrométrica UWE y RUWE. Y a continuación, con el objetivo de seleccionar aquellos objetos con menores incertidumbres en las medidas, imponemos las siguientes condiciones:

- $\frac{\Delta\pi}{\pi} < 30\%$
- $\frac{\Delta D_{low}}{D}, \frac{\Delta D_{high}}{D} < 30\%$
- $UWE < 1.96$ o $RUWE < 1.4$

Tras este filtrado, terminamos con una muestra de 405 NPs. Este conjunto de objetos tendrá medidas de distancia suficientemente precisas como para poder derivar de ellas otras propiedades nebulares con cierta claridad. Siguiendo la idea del capítulo anterior, nombramos a esta muestra como *Golden Astrometry Planetary Nebulae in EDR3* (GAPN-EDR3).

Respecto a la fiabilidad en la identificación de las ECs discutida en la sección anterior, casi dos tercios de los objetos de esta muestra, el 64%, pertenecen al grupo A. Mientras

³https://gitlab.com/icc-ub/public/gaiadr3_zero_point

que el 36% de ellos están contenidos en el grupo B. Por lo tanto, podemos concluir que la muestra GAPN-EDR3, en general, tiene identificaciones de las ECs con mucha más fiabilidad que la muestra general de 2.035 NPs.

Esta nueva muestra contiene casi el doble de objetos que la obtenida mediante los datos de DR2, que contenía 217 NPs. Si se comparan ambos conjuntos, se puede observar que hay 64 objetos de la muestra de DR2 que no están incluidos en la nueva muestra de EDR3. Analizando esta discordancia, se ve que se debe a diferentes razones. Una de ellas es que para crear la muestra de NPs en EDR3, hemos partido del criterio utilizado por la base de datos de HASH para catalogar los objetos como NP, mientras que para crear la muestra de NPs en DR2, nos basamos en la catalogación propuesta en la base de datos de Simbad. Así pues, se han descartado varios objetos catalogados como NP en Simbad que no están incluidos en HASH como tales objetos.

Otra razón es que, debido a las nuevas medidas astrométricas publicadas en EDR3, hay algunos objetos seleccionados anteriormente que ahora no cumplen las restricciones del filtrado (valores de los errores relativos del paralaje o distancias suficientemente bajos, valores de UWE o RUWE suficientemente bajos...) para ser incluidos en la muestra GAPN-EDR3. Esto ocurre para algunos pocos casos, pero en general, se han logrado incluir muchos más objetos respecto a DR2 que los que se han perdido.

Además, algunas de las discordancias son debidas a que para algunas nebulosas la identificación de su EC no es la misma en ambas muestras. Consecuentemente, varias de las nuevas fuentes identificadas como EC, no se han incluido (y por tanto tampoco la nebulosa) en la muestra GAPN-EDR3 por no poseer paralaje o por no cumplir las condiciones de filtrado. Esta discordancia en la identificación podría haberse dado debido a que el algoritmo de selección utilizado en DR2 se basaba únicamente en la distancia del objeto al centro geométrico de la nebulosa, mientras que el algoritmo utilizado en EDR3 tiene en cuenta tanto esta distancia como el color del objeto. Por último, como ahora estamos descartando las identificaciones de ECs menos fiables (las pertenecientes al grupo C), no estamos incluyendo alguna de las NPs contenidas en la muestra de DR2.

3.2.1 Distribución Galáctica y Distancias

Una vez seleccionada la muestra GAPN-EDR3, procedemos a estudiar las propiedades de las NPs contenidas en ella. Una de las principales propiedades es su ubicación en la Vía Láctea. Para localizar las NPs en la Galaxia utilizamos sus coordenadas en longitud y latitud. En la Figura 3.4 puede observarse esta ubicación.

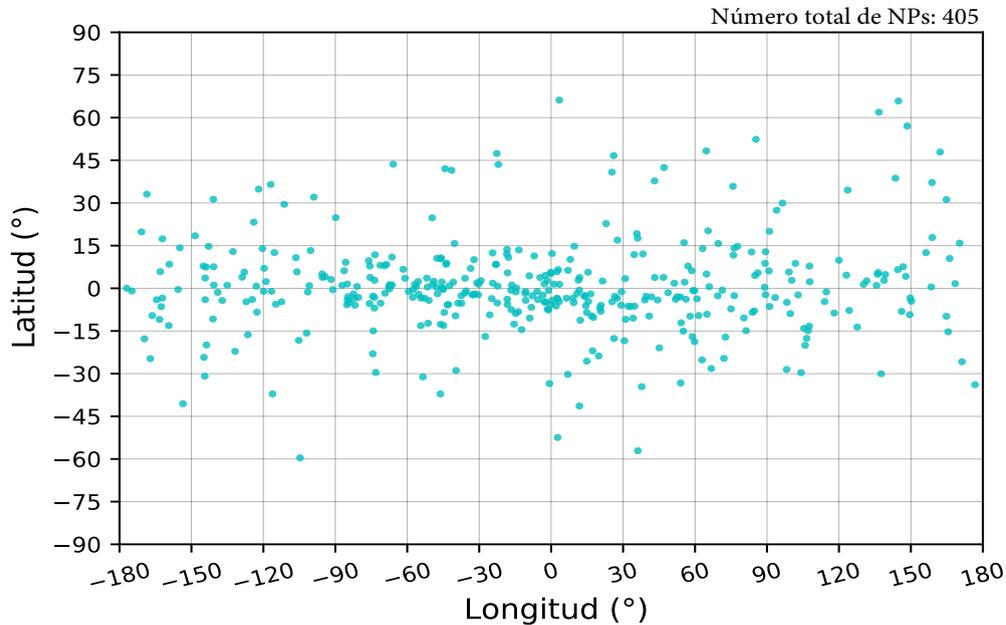


FIGURA 3.4: Distribución galáctica de los objetos contenidos en la muestra GAPN-EDR3.

Se puede apreciar que la mayoría de las NPs están localizadas cerca del plano galáctico, estando el 77% de ellas a latitudes de $\pm 15^\circ$. Por otra parte, también se puede decir que tienden a estar localizadas en dirección al centro galáctico, ya que aproximadamente la mitad de ellas están ubicadas a longitudes de $\pm 60^\circ$. Estos resultados concuerdan con lo esperado de la distribución de densidad estelar de la Galaxia.

Como ya comentábamos en la sección anterior sobre la muestra general de NPs, el conocimiento de la distancia a la que estas se encuentran, es clave para poder calcular sus propiedades intrínsecas. En el caso de la muestra GAPN-EDR3, las distancias de las NPs son aquellas que se han obtenido con mayor precisión, por lo que las propiedades que se deriven a partir de ellas también estarán calculadas con mayor exactitud.

Para poder estimar las distancias a las NPs es necesario conocer el paralaje de sus correspondientes ECs. En el caso de los objetos del conjunto GAPN-EDR3, los paralajes son los de mayor precisión, con errores relativos menores del 30% (condición que se impuso en el filtrado).

La distribución de estos errores se muestra en la Figura 3.5. Como puede apreciarse, estos errores tienden a ser más bajos que en el caso de DR2 (ver Figura 2.3).

Especialmente se ve que hay un aumento significativo de objetos con errores por debajo del 4%, que era uno de los rangos con menos fuentes.

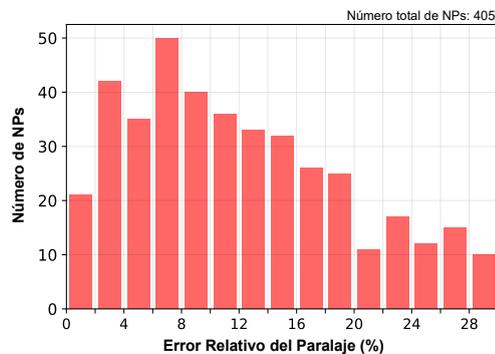


FIGURA 3.5: Distribución de los errores relativos de los paralajes de la muestra GAPN-EDR3.

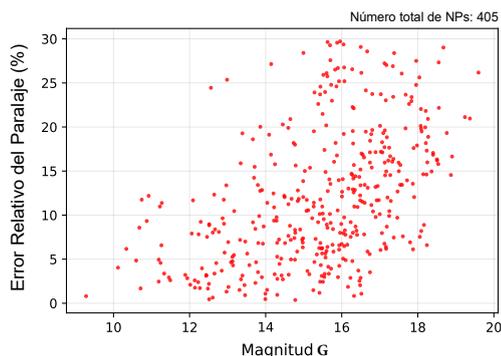


FIGURA 3.6: Errores relativos del paralaje de la muestra GAPN-EDR3 en función de la magnitud G de Gaia.

de que cuanto mayor es el brillo de un objeto, con más facilidad tenderá a ser detectado y por tanto con mayor precisión podrá medirse su paralaje, mostrando un error relativo menor.

A partir de estos paralajes, se derivan las distancias de los objetos correspondientes, como se comentó en la sección anterior. En la Figura 3.7 se muestra la distribución de distancias de los 405 objetos pertenecientes al conjunto GAPN-EDR3. En comparación con la distribución de distancias obtenida para la muestra general de NPs, se puede observar que en este caso los objetos tienden a estar situados más cerca, hallándose

En cuanto a la posible relación entre brillo y error del paralaje que se analizó en el capítulo anterior, ahora se distingue ligeramente mejor que, a mayor brillo menor tiende a ser el error del paralaje. Concretamente, se puede concluir que todas las fuentes con $G < 12$ tienen errores por debajo del 13%, mientras que todas las fuentes con $G > 17$ poseen errores mayores del 6%, como puede apreciarse en la Figura 3.6. Esto concuerda con la idea

solamente unos pocos objetos más allá de los 7 kpc. Mientras que alrededor del 50% de las NPs están ubicadas a menos de 2 kpc.

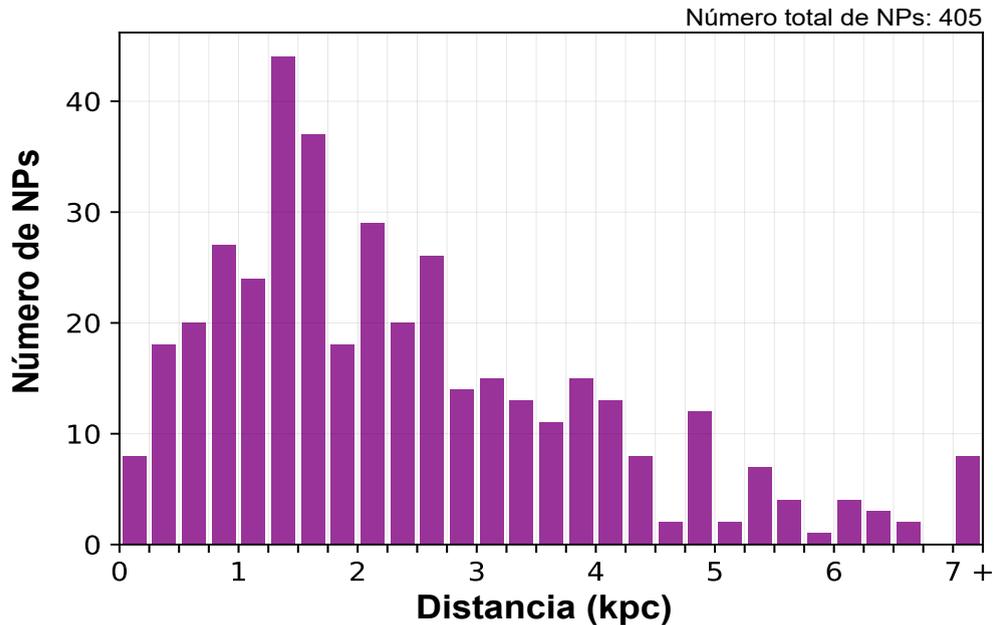


FIGURA 3.7: Distancias a los objetos contenidos en la muestra GAPN-EDR3.

La distancia media de la muestra es de 2.45 ± 0.96 kpc, apreciándose un importante decrecimiento en el número de NPs a partir de los 1.5 kpc. En la Tabla A.4 se proporcionan los valores individuales del paralaje y la distancia (junto con sus valores de incertidumbre) de cada uno de los objetos de la muestra GAPN-EDR3. La tabla completa está disponible en el CDS.

Una vez obtenidas las distancias con los paralajes de Gaia EDR3, es interesante comparar estos valores con las distancias a NPs estimadas por otros autores y mediante otros métodos, al igual que se hizo en el capítulo anterior con las distancias de DR2. En este caso también la comparativa será frente a distancias estimadas mediante métodos de estadística, de ajustes de modelos hidrodinámicos, de ajustes de modelos non-LTE a atmósferas estelares o mediante representación de brillos superficiales de las estrellas centrales frente a los radios nebulares.

A continuación se muestran varias de estas comparativas mediante diferentes gráficas. En cada una de ellas, la línea azul indica la relación 1:1 entre ambas distancias, mientras que la línea roja representa la regresión lineal entre ellas. Cada punto de las gráficas contiene las barras de error para ambas estimaciones de la distancia.

En primer lugar, comparamos las distancias de EDR3 con las obtenidas mediante DR2 y expuestas en el capítulo anterior. En este caso tenemos 147 objetos en común. Esta comparativa se puede observar en la Figura 3.8. A pesar de producirse una significativa dispersión para los objetos más lejanos, puede concluirse que las dos distribuciones son muy parecidas en media, ya que la línea roja prácticamente se solapa sobre la línea azul. Esta dispersión se va haciendo más notable a medida que aumenta la distancia, volviéndose bastante considerable a partir de los 3 kpc. Como es de esperar, las barras de error también van en aumento al crecer la distancia.

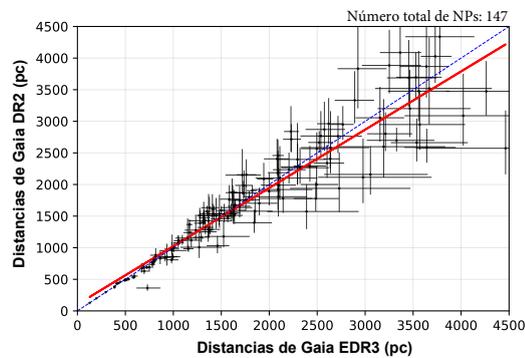


FIGURA 3.8: Comparativa entre las distancias obtenidas con Gaia DR2 y las obtenidas mediante Gaia EDR3.

Por otra parte, si comparamos las distancias de EDR3 con las obtenidas por otros métodos astrométricos, como es el caso de las distancias obtenidas por Harris et al. [3],

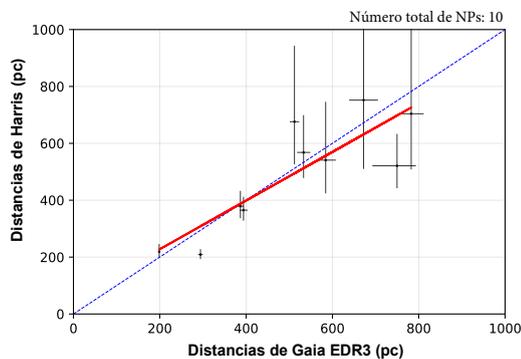


FIGURA 3.9: Comparativa entre las distancias obtenidas por Harris et al. [3] y las obtenidas mediante Gaia EDR3.

también se puede observar una similitud razonable entre ambas estimaciones de distancia. Esto también sucedía en el capítulo anterior con las distancias de DR2. En la Figura 3.9 se muestra esta comparativa. Nótese que en este caso hay pocos objetos en común, por lo que los resultados están obtenidos de una estadística bastante pobre. Además, la comparativa esta basada únicamente en distancias por debajo de los 800 pc.

Otro método para estimar distancias a NPs se basa en procedimientos estadísticos, como el utilizado por ejemplo en el trabajo de Stanghellini and Haywood [4]. Si se comparan las distancias obtenidas mediante este método con las halladas a través de los paralajes de EDR3, se observa que las distancias de Stanghellini tienden a estar sobrestimadas en comparación con las de EDR3, como puede verse en la Figura 3.10.

Se puede decir que este desfase es constante en media a lo largo de todas las distancias, ya que la línea roja que representa la regresión es prácticamente paralela a la línea azul que indica la relación 1:1. Concretamente, el desfase toma un valor de alrededor de 400-500 pc. En el capítulo anterior, cuando se compararon estas distancias con las de DR2, también se observó una sobrestimación constante, pero en aquel caso con un valor mucho más elevado, de aproximadamente 1 kpc.

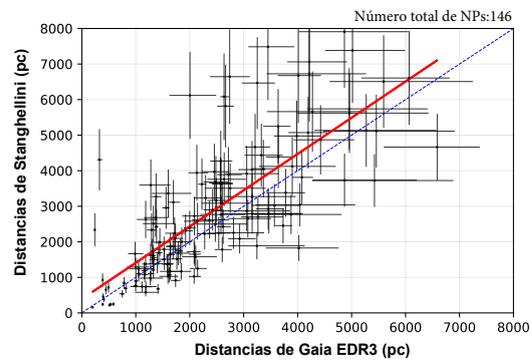


FIGURA 3.10: Comparativa entre las distancias obtenidas por Stanghellini and Haywood [4] y las obtenidas mediante Gaia EDR3.

Uno de los métodos más conocidos para estimar distancias es el de ajuste de modelos non-LTE a atmósferas estelares. Como ya se comentó en el capítulo anterior, este método consiste en extraer la temperatura efectiva y la gravedad en superficie de la estrella a partir de su espectro, para después poder estimar su masa y distancia a partir de trazas evolutivas de estrellas postAGB.

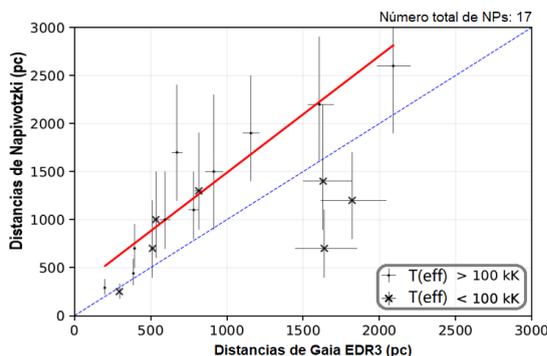


FIGURA 3.11: Comparativa entre las distancias obtenidas por Napiwotzki [5] y las obtenidas mediante Gaia EDR3. Los objetos están divididos en dos grupos en función de su temperatura.

Uno de los principales estudios en los que se utiliza este método es el de Napiwotzki [5]. Si comparamos las distancias estimadas en este trabajo con las obtenidas mediante la astrometría de EDR3, se observa que también están sobrestimadas (ver Figura 3.11), al igual que sucedía al compararlas con las distancias de DR2 en el capítulo anterior. En aquel caso el desfase era prácticamente constante, pero en este caso el desfase va aproximadamente desde los 250 pc (para bajas distancias) hasta más de 500 pc (para altas distancias). Esta sobrestimación podría darse porque los modelos non-LTE no están considerando *line-blanketing* para los metales.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el capítulo anterior, si se dividen las ECNPs en

dos grupos en función de su temperatura (mayor y menor de 100 kK), resulta también en este caso que aquellas de menor temperatura se ajustan mejor a las distancias de EDR3. De todas formas, el análisis está basado en una muestra pequeña de objetos, por lo que puede que las conclusiones no sean muy rotundas.

Otra comparativa interesante, es la de distancias de EDR3 frente a las distancias estimadas por Frew [6]. En ese estudio, utilizan una escala de distancias a ECNPs basada en una relación derivada estadísticamente entre el radio nebuloso y el brillo en H_α en la superficie estelar.

Aunque si se realiza esta comparativa, no se observa ninguna relación clara entre ambas estimaciones de distancias, como puede apreciarse en la Figura 3.12.

Únicamente se puede remarcar que para los objetos más cercanos (por debajo de los 1200 pc) las distancias de Frew tienden a estar sobrestimadas en comparación con las de EDR3. Mientras que para los objetos lejanos (por encima de los 1200 pc), las distancias tienden a estar subestimadas. En este caso la comparativa se realiza con más de 100 objetos, por lo que la estadística sería suficiente para poder sacar alguna conclusión.

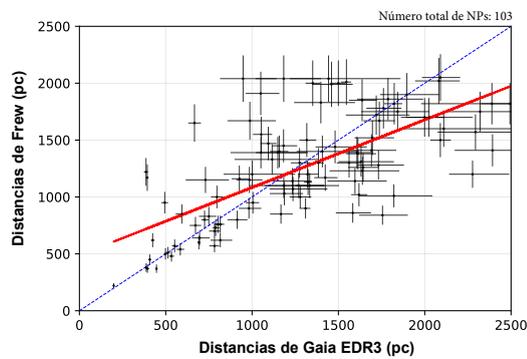


FIGURA 3.12: Comparativa entre las distancias obtenidas por Frew [6] y las obtenidas mediante Gaia EDR3.

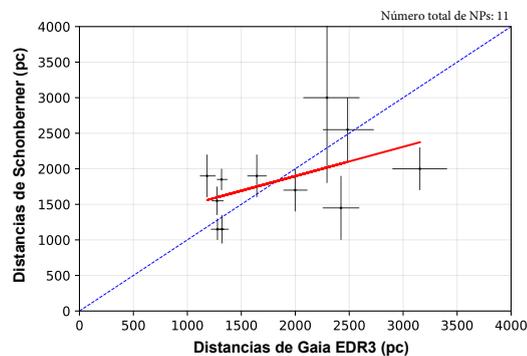


FIGURA 3.13: Comparativa entre las distancias obtenidas por Schönberner et al. [1] y las obtenidas mediante Gaia EDR3.

Por último, se comparan las distancias de EDR3 con las obtenidas recientemente por Schönberner et al. [1]. En ese trabajo se calculan las distancias a varias NPs de morfología redonda midiendo sus velocidades de expansión en diferentes capas. Posteriormente se corrigen estas velocidades mediante simulaciones 1D de radiación hidrodinámica sobre la evolución nebulosa.

En la Figura 3.13 puede visualizarse esta comparativa. El resultado es muy similar al obtenido en el capítulo anterior con las

distancias de DR2, y no se encuentra ninguna clara relación ni desfase entre ambas estimaciones de distancias. Solo se podría decir que las nebulosas más cercanas (por debajo de 1800 pc) tienen las distancias sobrestimadas en el trabajo de Schönberner en comparación con las distancias de EDR3. Mientras que las nebulosas más lejanas (por encima de los 1800 pc) tienden a tener las distancias subestimadas. En cualquier caso, se disponen de muy pocos objetos y con amplios errores de distancia para realizar esta comparativa, por lo que no es posible sacar ninguna conclusión clara.

3.2.2 Tamaño nebular y Morfología

El conocimiento de distancias precisas a los objetos de la muestra GAPN-EDR3, junto con los tamaños angulares observados y medidos para estas NPs, nos permite la estimación del tamaño físico de estas nebulosas. Para este cálculo, utilizamos los tamaños angulares proporcionados en la base de datos de HASH. Concretamente, se dan las medidas de los diámetros correspondientes al eje mayor y menor de la nebulosa. Proporcionando al menos uno de estos dos parámetros para prácticamente todas las nebulosas de la muestra (en torno al 99%). Con esta información, estimamos el valor medio de sus radios angulares (ϕ), para finalmente calcular sus radios físicos (R). Como el ángulo ϕ se da en arcsec, se debe pasar a radianes. Por lo que R se obtendría mediante la siguiente relación:

$$R = \frac{2\pi}{360} \cdot \frac{\phi}{3600} \cdot D.$$

Donde D es la distancia en parsec. Tras obtener el radio físico nebular para 401 objetos de la muestra, su distribución se puede observar en la Figura 3.14. Como puede verse la mayoría de las nebulosas (un 54%) tienen radios por debajo de los 0.3 pc, lo que equivale aproximadamente a 1 año-luz. Sin embargo, se puede apreciar que hay nebulosas de diversos tamaños por encima de este valor, lo que ilustra la variedad de estados de evolución en los que se encuentran las nebulosas de la muestra.

En el otro extremo, decir que hay un 14% de ellas con radios incluso por encima de 1 pc, lo que se consideran ya nebulosas muy extensas y diluidas, que se encontrarían en una fase de evolución muy avanzada y con su EC probablemente ya en fase de enana blanca.

Si se calcula el valor medio del radio de la muestra, se obtiene un valor de 0.59 pc. Este radio medio es considerablemente mayor que el obtenido en el capítulo anterior a partir de las distancias de DR2, donde se estimaba un valor medio de 0.39 pc. Para más información, los valores individuales de tanto los radios físicos como angulares de las nebulosas del conjunto GAPN-EDR3 pueden consultarse en la Tabla A.4.

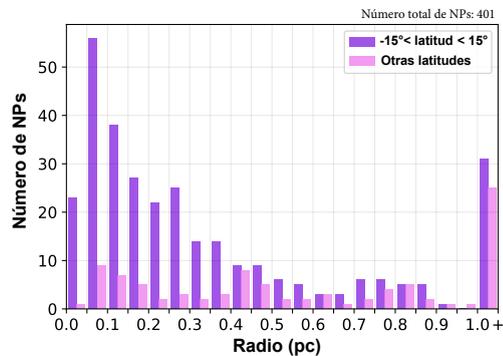


FIGURA 3.14: Distribución de radios físicos de las nebulosas de la muestra GAPN-EDR3.

Para un estudio más detallado, analizamos la distribución de radios en la zona del plano galáctico y fuera de él, con el objetivo de poder extraer alguna conclusión sobre el tamaño de las NPs en función de su ubicación en la Galaxia. Por tanto, separamos la muestra en dos conjuntos: los objetos con latitudes de entre $\pm 15^\circ$ (zona del plano galáctico) y los objetos con latitudes más alejadas del plano. Como puede observarse en la Figura 3.14, las nebulosas del primer grupo tienden a ser más pequeñas que las del segundo grupo, que están más uniformemente distribuidas a lo largo de todos los tamaños. Consecuentemente, se podría concluir que las nebulosas situadas en la zona del plano galáctico tienden a ser más jóvenes que las situadas lejos del plano, ya que muestran aún, por lo general, tamaños más pequeños.

A parte del tamaño nebuloso, otro aspecto interesante de las NPs es el de su morfología. Como ya se vio en el capítulo anterior, las nebulosas pueden adoptar una gran variedad de formas. Las más comunes son las redondas, elípticas y bipolares. Pero también existen otras morfologías como las de tipo-estelar, asimétricas, irregulares... La clasificación de las nebulosas en los diferentes tipos morfológicos no es del todo evidente, ya que la identificación de la morfología está sujeta a la incertidumbre introducida por los efectos de proyección y a la resolución de las imágenes, lo que dificulta esta tarea.

Basándonos en el tipo morfológico proporcionado por HASH, hemos podido clasificar morfológicamente alrededor del 87% de las nebulosas de la muestra GAPN-EDR3. En la Figura 3.15, se puede observar esta distribución. La mayoría de las nebulosas de la muestra son elípticas (40.2%), seguidas de las bipolares (22%) y de las redondas

(18.8%). En menor proporción aparecen las de tipo-estelar (2.7%), las irregulares (2%) y las asimétricas (1.2%). Nótese que hay un considerable porcentaje de objetos (13.1%) con morfología desconocida.

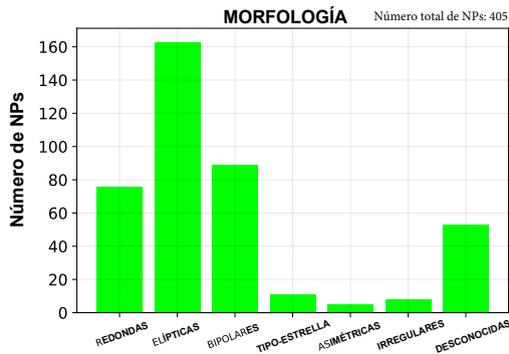


FIGURA 3.15: Distribución morfológica de las nebulosas de la muestra GAPN-EDR3.

Estos porcentajes de las diferentes poblaciones morfológicas podrían estar sesgados debido a la posibilidad de que no todos los tipos morfológicos se puedan observar con la misma capacidad. Por ejemplo, se sabe que las nebulosas bipolares tienden a ser más brillantes, lo que podría hacer que fueran más fáciles de detectar. Para comprobar esta hipótesis, analizamos únicamente la morfología de las nebulosas situadas a distancias por debajo de los 2 kpc, aproximadamente región hasta donde la muestra GAPN-EDR3 se espera que sea completa. Como resultado obtuvimos una distribución morfológica de la población nebulosa muy similar: el 37.2% elípticas, el 24% bipolares y el 16.8% redondas. Por lo tanto, se puede descartar la posibilidad de que haya un sesgo considerable.

Otro análisis que puede hacerse, es si existe alguna relación entre la morfología de las NPs y su ubicación en la Galaxia. Existen varios trabajos previos que han estudiado este asunto, como los de Peimbert and Torres-Peimbert [77], Corradi and Schwarz [78] y Manchado [33], donde se muestra por ejemplo que las nebulosas bipolares tienden a provenir de estrellas jóvenes de población Tipo I y localizadas más cerca del plano galáctico que nebulosas de otras morfologías. Lo que llevaría a pensar que las bipolares provienen de estrellas más masivas. Sin embargo, estos resultados se han obtenido mediante muestras relativamente pequeñas de NPs, por lo que sería interesante comprobar esta hipótesis sobre una muestra más poblada como la GAPN-EDR3.

Para ello, seleccionamos las NPs pertenecientes a los tres tipos morfológicos principales (elípticas, bipolares y redondas), obteniendo un conjunto de 328 NPs. A continuación, a partir de sus distancias y latitudes, se calculan sus alturas galácticas (z). Los valores concretos de altitud galáctica para cada una de las NPs pueden consultarse en la Tabla

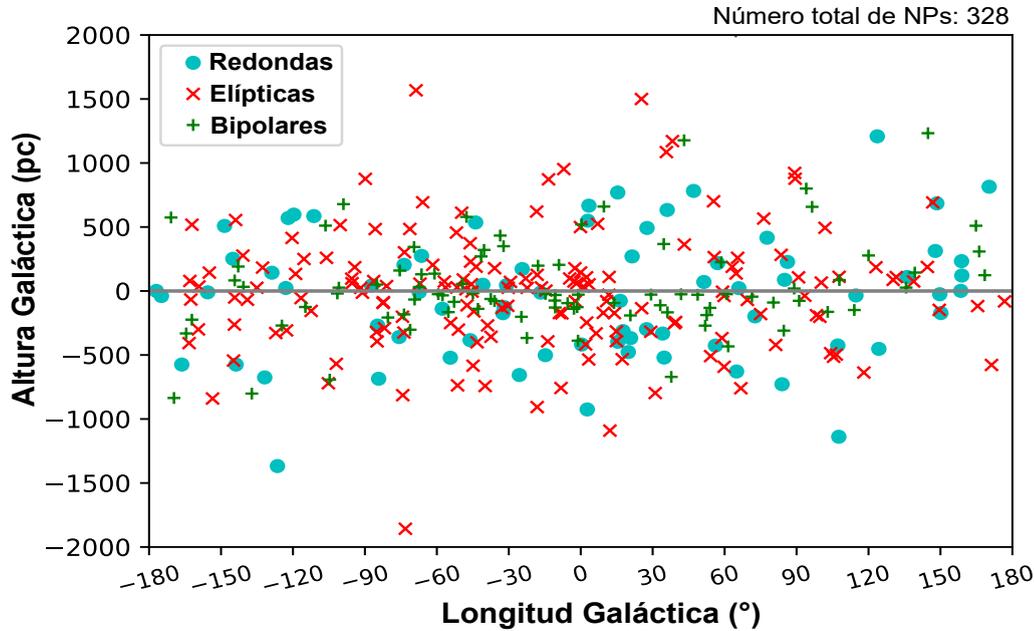


FIGURA 3.16: Distribución galáctica de las NPs elípticas, bipolares y redondas.

A.4. Finalmente, se ubican las NPs en un diagrama de z vs longitud, como puede verse en la Figura 3.16.

A primera vista, parece cierto que a grandes alturas galácticas, más allá de ± 500 pc, apenas hay NPs bipolares, tendiendo a concentrarse más en la zona del plano galáctico. Para comprobar esta hipótesis, dividimos la muestra GAPN-EDR3 en dos conjuntos de acuerdo a su morfología: bipolares y no-bipolares. A continuación, para cada una de estas submuestras, mostramos su distribución poblacional en función de la altura galáctica (ver Figura 3.17). La idea es estimar, para cada caso, a qué altura galáctica la densidad poblacional ha disminuido en un factor e , lo que se conoce como altura de escala o *scale height* (H_z). Esto nos daría una idea de hasta qué altura galáctica podemos encontrar cada tipo poblacional con un mínimo de abundancia. Para calcular H_z , se realiza un ajuste logarítmico de la distribución poblacional en función de z , muestreando la altura cada 50 pc. Este ajuste también puede apreciarse en las gráficas de la Figura 3.17. Una vez obtenida la función de ajuste, simplemente se calcula a qué altura el logaritmo de la población a disminuido en un factor 1, y este valor será el que tome H_z . En cada caso obtenemos los siguientes resultados:

$$H_z^{bipolar} = 285 \pm 8pc,$$

$$H_z^{no-bipolar} = 424 \pm 7pc.$$

Estos valores están indicados mediante la línea vertical discontinua en las gráficas de la Figura 3.17. Como puede apreciarse, la altura de escala obtenida para la población de NPs bipolares es considerablemente menor que la obtenida para el resto de NPs, mostrando ambos resultados valores bajos de incertidumbre. Esto nos llevaría a pensar que efectivamente las bipolares tienden a estar más concentradas en la región del plano galáctico, y que podrían provenir de otro tipo de población estelar.

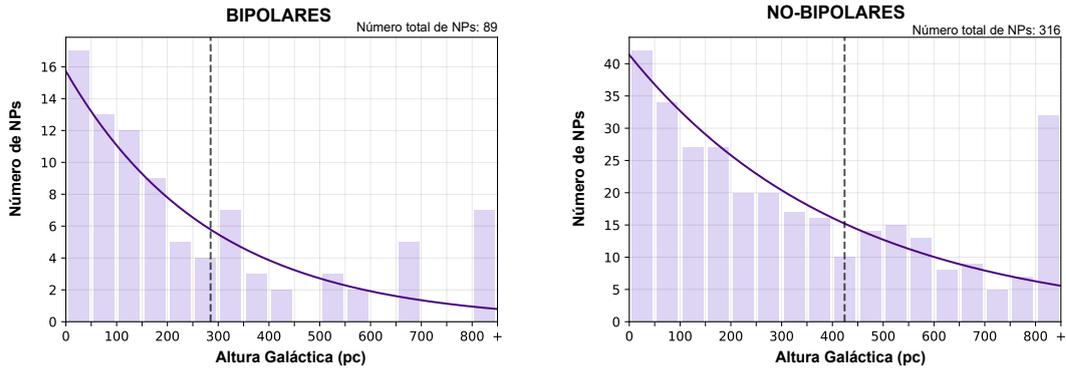


FIGURA 3.17: Distribución de nebulosas bipolares (izquierda) y no-bipolares (derecha) en función de su altura galáctica.

Por otra parte, también es interesante investigar si existe alguna relación entre el tipo morfológico y el tamaño nebuloso. Concretamente, estudiamos esta posible relación sobre los dos conjuntos morfológicos definidos anteriormente: nebulosas bipolares y no-bipolares. Para ello, calculamos el valor medio del radio ($\langle R \rangle$) sobre cada uno de los dos conjuntos, obteniendo los siguientes resultados:

$$\langle R \rangle^{bipolar} = 0.31 \pm 0.12pc,$$

$$\langle R \rangle^{no-bipolar} = 0.67 \pm 0.21pc.$$

Como puede verse, las bipolares muestran un radio medio menor de la mitad del radio medio correspondiente al resto de nebulosas, aunque en este caso los valores de incertidumbre son relativamente más amplios. Por lo tanto, se podría decir que las nebulosas bipolares tienden a ser más pequeñas por lo general.

En la siguiente sección, donde analizaremos las propiedades evolutivas de las ECNPs (como la temperatura, la masa o la edad evolutiva), estudiaremos la posible relación entre la morfología nebular y estas otras propiedades.

3.2.3 Velocidades de Expansión y Edades Cinemáticas

Al igual que se hizo con los datos de Gaia DR2, estudiaremos también ahora con los datos de EDR3 otras propiedades nebulares interesantes como lo son la velocidad de expansión y la edad cinemática. Esta edad se refiere al tiempo transcurrido desde que la envoltura fue expulsada de la EC, asumiendo que la velocidad de expansión es constante durante todo el tiempo. Como se comentó en el capítulo anterior, la medida de la velocidad de expansión de una nebulosa presenta varias dificultades, ya que cada capa nebular puede expandirse a diferentes velocidades y además estas velocidades no tienen por qué ser constantes en el tiempo.

Basándonos en la bibliografía sobre velocidades de expansión nebulares, obtuvimos este parámetro para un amplio conjunto de objetos de la muestra GAPN-EDR3. Principalmente, estos valores fueron extraídos de la tesis de Frew [6], y complementados con los valores proporcionados más antiguamente por Weinberger [40].

Sobre el conjunto de NPs con velocidades de expansión conocidas, nos quedamos solo con aquellas cuyos valores de velocidad nos sirvan para poder estimar su edad cinemática. Para ello, se realiza un filtrado teniendo en cuenta varias suposiciones y restricciones. En primer lugar, suponemos que la velocidad de expansión es constante a lo largo de toda la fase de NP y de igual intensidad en cualquier dirección de propagación. Además, solo consideramos aquellas nebulosas con morfología redonda, ya que su valor del radio medio será más fiable, y por tanto podremos estimar su edad cinemática con mayor precisión. Concretamente, seleccionamos aquellas NPs cuyo tamaño del semieje menor (R_{min}) sea al menos igual al 75% del tamaño del semieje mayor (R_{max}), es decir, que cumplan:

$$R_{min} \geq 0.75 \cdot R_{max}.$$

Por último, siguiendo las recomendaciones de Jacob et al. [39], descartamos aquellas NPs catalogadas como deficientes en hidrógeno o que contengan un sistema binario próximo,

ya que este tipo de estrellas siguen otro tipo de evolución. Así pues, nos quedamos con un subconjunto de 65 NPs con velocidades de expansión conocidas que cumplen todas estas condiciones.

Debido a que las velocidades de expansión no son igual en todas las capas nebulares, los modelos hidrodinámicos para la evolución de NPs planteados por Jacob, sugieren aplicar un factor de corrección sobre las velocidades de expansión medidas para obtener valores medios de velocidad más realista. Como hicimos en el capítulo anterior, decidimos aplicar un factor de corrección con valor general de 1.5, siguiendo las indicaciones de Jacob.

Como resultados, obtuvimos los valores de velocidad de expansión (V_{exp}) para las 65 NPs seleccionadas, cuya distribución puede verse en la Figura 3.18. Como se aprecia, la mayoría de ellas (el 78%) tienen velocidades de expansión de entre 10 y 50 km/s. Aunque se pueden dar velocidades mayores, expandiéndose la más rápida a una velocidad de más de 70 km/s. Si se calcula el valor medio de la velocidad de expansión de la muestra se obtiene el siguiente resultado:

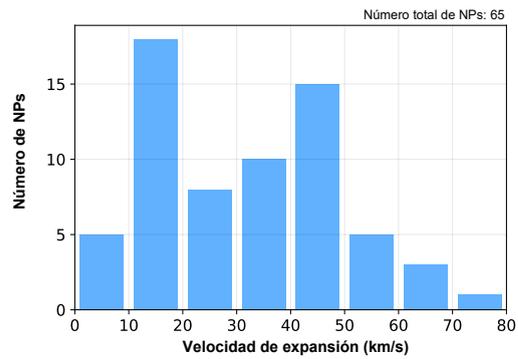


FIGURA 3.18: Distribución de velocidades de expansión de las 65 NPs seleccionadas de la muestra GAPN-EDR3.

$$\langle v_{exp} \rangle = 32 \pm 13 \text{ km/s.}$$

Un valor ligeramente menor que el obtenido mediante los datos de DR2 (38 ± 16 km/s, ver Subsección 2.3.4), pero coincidente dentro del intervalo de incertidumbre. Los valores individuales de velocidad de expansión (sin corregir) pueden consultarse en la Tabla 3.1.

Una vez obtenidas las velocidades de expansión, se pueden estimar las correspondientes edades cinemáticas (T_{cin}) a partir de los radios nebulares (R), mediante la siguiente relación simple:

$$T_{cin} = \frac{R}{V_{exp}}.$$

Como resultado se obtiene la edad cinemática para las 65 NPs del subconjunto, cuya distribución se muestra en la Figura 3.19, en unidades de kyr. Como puede apreciarse en la gráfica, la mayoría de las nebulosas son relativamente jóvenes, ya que el 66% de ellas muestran edades por debajo de los 10 kyr.

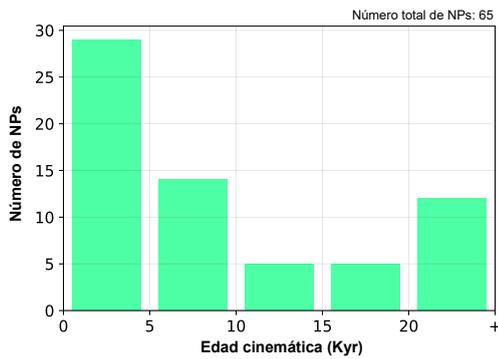


FIGURA 3.19: Distribución de edades cinemáticas de las 65 NPs seleccionadas de la muestra GAPN-EDR3.

En el otro extremo, también hay un porcentaje considerable de ellas, en torno al 18%, con edades por encima de los 20 kyr. Esta abundancia de nebulosas jóvenes probablemente sea debida a que estas NPs, por lo general, son más fáciles de detectar que las viejas, ya que tienden a ser más brillantes. Los valores de edades cinemáticas de las 65 NPs pueden consultarse en la Tabla 3.1. Por otra parte, si se calcula el valor medio de la

edad cinemática de la muestra, se obtiene el siguiente resultado:

$$\langle T_{cin} \rangle = 17.8 \pm 3.0 \text{ kyr}.$$

Este valor de la edad cinemática de la muestra es menor que el obtenido mediante los datos de DR2 (21.4 kyr), pero coincidente dentro del intervalo de incertidumbre. Como también se pudo apreciar en el capítulo anterior, este valor medio de casi 18 kyr es superior a la edad de la mayoría de las NPs. Esto se debe a la presencia de dos o tres nebulosas con edades extremadamente altas y prácticamente ya diluidas, que estarían sobrevalorando esa edad cinemática media de la muestra.

Otro valor interesante que se puede estimar es el del tiempo de visibilidad (T_{vis}), al igual que se hizo en el capítulo anterior. Este termino se refiere al tiempo máximo de vida esperado para una nebulosa, o tiempo durante el cual la nebulosa es visible

TABLA 3.1: Velocidades de expansión y Edades cinemáticas con Gaia EDR3.

Nombre	Radio (pc)	V_{exp} (km/s)	Edad _{cin} (kyr)	Nombre	Radio (pc)	V_{exp} (km/s)	Edad _{cin} (kyr)
Abell 24	0.687	14	32	M 1-53	0.072	13	3.6
Abell 28	0.302	4	49.3	M 1-65	0.054	4	8.9
Abell 29	1.17	25	30.5	M 1-77	0.05	6.5	5
Abell 3	0.344	30	7.5	M 2-33	0.049	12	2.6
Abell 31	1.202	29	27	M 3-34	0.071	14	3.3
Abell 33	0.653	32	13.3	NGC 2022	0.139	26	3.5
Abell 34	0.826	35	15.4	NGC 2792	0.108	20	3.5
Abell 39	0.455	29	10.2	NGC 3587	0.405	34	7.8
Abell 51	0.252	42	3.9	NGC 3699	0.147	27.5	3.5
Abell 61	0.789	32	16.1	NGC 4361	0.285	32	5.8
Abell 7	0.972	29	21.9	NGC 5882	0.069	11	4.1
Abell 71	0.426	20	13.9	NGC 6058	0.211	27	5.1
Abell 74	1.307	27	31.6	NGC 6072	0.178	6	19.3
Cn 3-1	0.07	10	4.6	NGC 6153	0.083	17	3.2
H 2-1	0.026	36	0.5	NGC 6210	0.065	21	2
HaWe 4	1.219	11	72.3	NGC 6572	0.061	18	2.2
Hen 2-107	0.077	33	1.5	NGC 6772	0.184	11	10.9
Hen 2-108	0.114	12	6.2	NGC 6781	0.15	12	8.1
Hen 2-131	0.061	12	3.3	NGC 6842	0.281	35	5.2
Hen 2-138	0.068	11	4	NGC 6891	0.077	7	7.2
Hen 2-51	0.073	10	4.7	NGC 6894	0.203	43	3.1
IC 1295	0.395	27	9.6	NGC 7009	0.072	25	1.9
IC 2448	0.168	13.5	8.1	NGC 7094	0.393	45	5.7
IC 289	0.167	25.5	4.3	NGC 7293	0.41	14	19.1
IC 3568	0.092	8	7.5	NGC 7354	0.164	25	4.3
IC 418	0.04	16	1.6	NGC 7662	0.117	27	2.8
IC 4593	0.083	12	4.5	PuWe 1	1.156	23	32.8
IC 4642	0.224	34.5	4.2	Sh 2-216	1.835	4	299.3
IC 5148/50	0.368	53	4.5	Vy 2-3	0.055	12.5	2.9
IsWe 2	1.711	8	139.5	We 1-10	1.1	26	27.6
Lo 1	0.813	30	17.7	WeDe 1	1.338	17	51.3
M 1-26	0.041	12	2.2	Wray 17-31	0.5	28	11.6
M 1-46	0.063	7	5.9				

Referencias: Los valores de V_{exp} están obtenidos de Frew [6] y Weinberger [40].

antes de diluirse completamente en el medio interestelar. Para obtener este parámetro, es necesario fijar un valor máximo para el radio nebuloso. Al igual que en el capítulo anterior y siguiendo la sugerencia de Jacob et al. [39], utilizamos un valor de $R_{max} = 0.9$ pc. Valor que concuerda bastante bien con los resultados sobre radios nebulosos obtenidos en la sección anterior, como puede verse en la Figura 3.14. Así pues, dividiendo este valor entre la velocidad de expansión media de la muestra, obtenemos el siguiente tiempo de visibilidad:

$$\langle T_{vis} \rangle = \frac{R_{max}}{\langle V_{exp} \rangle} = 27.8 \pm 11.7 \text{ kyr.}$$

Por lo tanto, podemos concluir que el tiempo de vida medio de una NP es de casi 28 000 años. Estimación ligeramente mayor que la obtenida mediante los datos de DR2, que predecían un tiempo de visibilidad de unos 26 000 años. Aunque ambos resultados son coincidentes dentro del rango de incertidumbre.

El valor del tiempo de visibilidad obtenido en esta ocasión (27.8 kyr), es considerablemente superior al tiempo medio de la edad cinemática de la muestra (17.8 kyr). Esto quiere decir que, en media, se espera que las nebulosas de la muestra GAPN-EDR3 sean visibles durante 10 kyr más.

Por último, es importante remarcar que estos resultados son más realistas que los obtenidos en el capítulo anterior, no solo porque los datos de EDR3 son más precisos que los de DR2, si no también porque la muestra sobre la que se ha realizado la estadística es un 30% más amplia que la utilizada con DR2.

3.3 Estado Evolutivo de las Estrellas Centrales

El conocimiento de distancias precisas a las estrellas centrales de la muestra GAPN-EDR3, nos permite también estudiar su estado evolutivo. Para ello, es necesario conocer también los brillos y las temperaturas efectivas de estas estrellas, para así, poder ubicarlas en un diagrama HR. Finalmente, haciendo uso de modelos de trazas evolutivas para estrellas post-AGB, se puede estimar el estado evolutivo de estas, es decir, sus masas y edades.

3.3.1 Temperaturas y Luminosidades

Para poder localizar las estrellas en un diagrama HR, es necesario obtener sus temperaturas y sus luminosidades, como ya se explicó detalladamente en el capítulo anterior (Sección 2.4).

Respecto a la temperatura de las estrellas, concretamente se utiliza su temperatura efectiva, que es la que se estima que tenga en la superficie, y que será más baja que la que tiene en capas más internas. Al igual que en el capítulo anterior, utilizaremos valores de temperaturas efectivas en la bibliografía estimadas mediante el método de Zanstra [43], ya que es el más utilizado y por tanto el que para más cantidad de objetos

proporciona su temperatura. Este método se basa en estimar la temperatura estelar midiendo los flujos nebulares de HI y HeII. De esta forma, hemos logrado obtener la temperatura efectiva para un total de 156 estrellas de la muestra GAPN-EDR3 (frente a las 107 del capítulo anterior), obtenidas principalmente de Frew [6], Frew et al. [32], Gleizes et al. [45] y Guerrero and De Marco [47].

La distribución de estas temperaturas se muestra en la Figura 3.20. Como puede apreciarse, la distribución es bastante homogénea en casi todo el rango de temperaturas, principalmente entre los 30 000 K y los 140 000 K. Por debajo de ese rango solo hay un 2.6% de estrellas. Recordemos que la temperatura mínima estimada para que la nebulosa se ionice completamente es de 25 000 K. En el extremo opuesto, hay un 3.8% de estrellas con temperaturas por encima de los 150 000 K, estrellas extremadamente calientes.

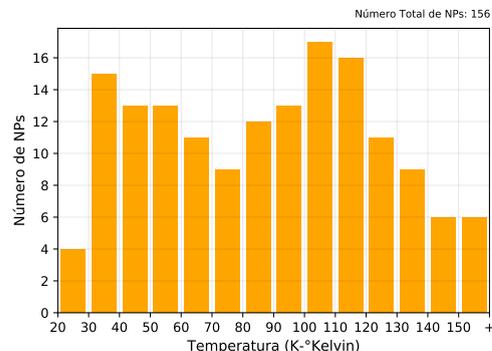


FIGURA 3.20: Distribución de temperaturas efectivas de 156 estrellas de la muestra GAPN-EDR3.

Por otra parte, se pueden utilizar las bandas G_{BP} y G_{RP} de Gaia para obtener el color $G_{BP} - G_{RP}$ (como hemos hecho anteriormente) de todos los objetos de la muestra GAPN-EDR3. Estos colores están directamente relacionados con la temperatura, y también nos pueden dar una idea del valor de esta. En la Figura 3.21 se muestra la distribución de colores de los objetos de la muestra, tras ser corregidos de la extinción interestelar.

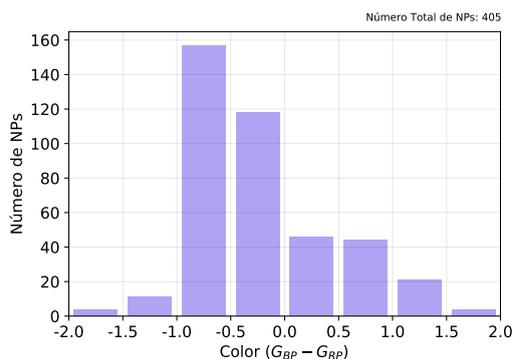


FIGURA 3.21: Distribución de colores $G_{BP} - G_{RP}$ (corregidos de extinción) de los objetos de la muestra GAPN-EDR3.

Como puede observarse los valores del color oscilan entre -2 y 2, aunque la mayoría de las estrellas, el 68% de ellas, muestran colores de entre -1 y 0. Como es de prever, la mayoría de objetos (un 72%) tienen $G_{BP} - G_{RP}$ negativos, lo que indica colores azulados y altas temperaturas, que son las características típicas de las ECNPs. Sin embargo, también hay un importante 28% de la muestra con $G_{BP} -$

G_{RP} positivos, lo que indica colores rojizos y no tan calientes. La presencia de estos valores podrían deberse a diferentes causas: que la EC esté ya muy evolucionada y en una fase de enfriamiento bastante avanzada como enana blanca, que la propia nebulosa este contribuyendo a una extinción más alta de lo esperada sobre la EC, o incluso la presencia de una posible estrella compañera ligada a la EC podría estar apantallándola y enrojeciéndola.

En cuanto a la luminosidad estelar, se sigue el mismo procedimiento que se llevo a cabo con los datos de DR2 en el capítulo anterior. Esto es, en primer lugar se obtienen las magnitudes de las estrellas en la banda visible (V) y los valores de extinción interestelar (A_V) correspondientes. A continuación, a través de estos parámetros y de la distancia a la EC, se calculan sus magnitudes absolutas V. Después, se realiza la corrección bolométrica para obtener las magnitudes bolométricas absolutas (magnitud que mide el brillo correspondiente a la luz de todas las longitudes de onda). Finalmente, se deriva la luminosidad a partir de esta última magnitud.

Tras realizar una búsqueda exhaustiva en diferentes fuentes bibliográficas sobre los brillos de ECNPs, logramos obtener la magnitud V para un total de 329 estrellas de la muestra GAPN-EDR3, el 80% de todo el conjunto. Concretamente, estos valores fueron obtenidos principalmente de los estudios de Frew (Frew [6] y Frew et al. [32]) y de la base de datos de APASS. Y complementados con valores de Tyenda et al. [49] y Weidmann et al. [70].

Llegados a este punto, realizamos un análisis sobre estas magnitudes V, para verificar si realmente estos valores bibliográficos correspondían realmente a las fuentes estelares identificadas como ECs mediante nuestro algoritmo. Para ello, hicimos una comparativa entre estas magnitudes V y las magnitudes G de las fuentes detectadas como ECs. Para poder comparar correctamente estas dos magnitudes, utilizamos la formula⁴ proporcionada por Gaia DPAC para estimar la magnitud V a partir de las magnitudes G , G_{BP} y G_{RP} de Gaia. Por tanto, transformamos nuestras magnitudes G en sus correspondientes magnitudes V mediante esa relación, lo que denominamos como V_G (magnitud V estimada a partir de magnitud G). Así, pudimos comparar estas magnitudes V_G con las magnitudes V obtenidas de la literatura, que denominamos como V_L .

Según la documentación de Gaia EDR3, la transformación de G a V solamente es valida para fuentes con un color mínimo de $G_{BP} - G_{RP} = -0.5$. Sin embargo, si la utilizamos

⁴<https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GEDR3>

para todas las fuentes y comparamos las V_G con las V_L , se obtiene una diferencia de $|V_G - V_L| = 0.278 \pm 0.098$ para las fuentes por encima de ese límite de color, mientras que para las fuentes por debajo del límite se obtiene una diferencia de tan solo $|V_G - V_L| = 0.227 \pm 0.054$. Es decir, que en principio la fórmula sería válida para todo el rango de colores, ya que la diferencia entre magnitudes teórica y estimada es incluso menor en el caso de las fuentes con colores por debajo del límite de color establecido por la fórmula.

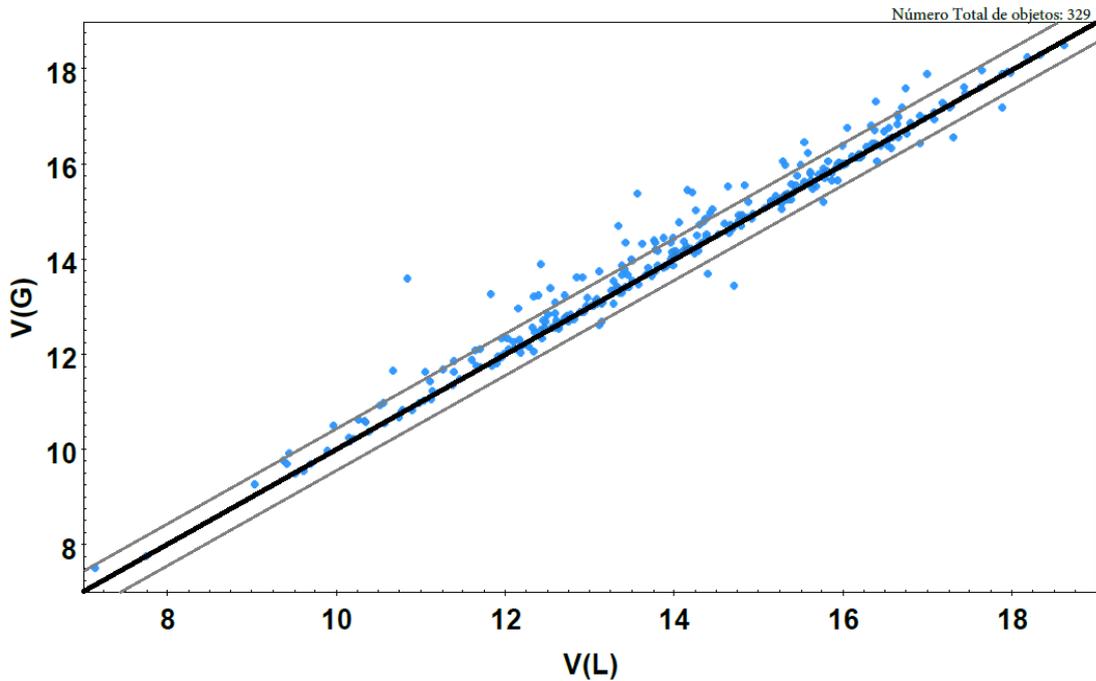


FIGURA 3.22: Comparativa entre magnitudes V obtenidas de la literatura (V_L) y magnitudes V calculadas a partir de las bandas de Gaia (V_G) para 329 estrellas de la muestra GAPN-EDR3. La línea negra central indica la relación 1:1, mientras que las líneas grises indican el umbral para los *mild outliers*.

Por tanto, representamos gráficamente las magnitudes V_G frente a las magnitudes V_L de las 329 estrellas para analizar su dispersión, como puede verse en la Figura 3.22. Nótese que ambas magnitudes están corregidas teniendo en cuenta la extinción interestelar. La línea negra central indica la relación 1:1 entre ambas magnitudes. Es decir, cuanto más cercano quede un punto a esa línea, más parecidas serán ambas magnitudes. En general, la dispersión no parece muy grande, salvo en algún punto aislado.

Para poder descartar aquellos objetos con magnitudes dispares, se fija un umbral para la diferencia $|V_G - V_L|$, a partir del cual la coincidencia entre ambas magnitudes sería incierta. Para ello utilizamos el umbral que sirve para definir los objetos *mild outliers* de una distribución. Estos objetos se consideran moderadamente alejados de la media de la distribución, y son aquellos que están más alejados de $1.5 \cdot IQ$. Donde $IQ = (Q_3 - Q_1)$

se denomina como el intervalo intercuartil, y es la diferencia entre el tercer cuartil y el primer cuartil. En este caso, en lugar de que esta sea la distancia para determinar los *mild outliers* desde el valor medio, lo imponemos como la distancia límite para los *mild outliers* tomada desde el valor ideal, es decir, cuando toma el valor $|V_G - V_L| = 0$.

Así pues, descartamos todos los objetos ubicados a una distancia $|V_G - V_L|$ mayor $1.5 \cdot IQ$. En este caso los cuartiles primero y tercero toman los siguientes valores:

$$Q_1 = 0.038,$$

$$Q_3 = 0.326.$$

Por lo tanto, la distancia umbral (d_u) será:

$$d_u = 1.5 \cdot (Q_3 - Q_1) = 0.432.$$

En la Figura 3.22 se muestran las dos líneas (en gris) que marcan esta distancia respecto a la línea central (negra), que indica la relación 1:1 entre ambas magnitudes, es decir, donde ambas magnitudes son iguales y la distancia de desviación es nula. Por tanto, descartamos todos los objetos ubicados más allá de esas líneas que marcan la frontera de los *mild outliers*. Así pues, nos quedamos con un total de 263 objetos con magnitudes V conocidas y fiables pertenecientes a la muestra GAPN-EDR3, aproximadamente el 65% del total.

El siguiente paso consiste en calcular las magnitudes V absolutas a partir de estas magnitudes V aparentes obtenidas. Para este cálculo es necesario conocer también la distancia a la estrella (D) y la extinción interestelar (A_V) correspondiente, como se indica en la fórmula de transformación a la magnitud absoluta:

$$M_V = V + 5 - 5 \cdot \log_{10}(D) - A_V.$$

Los valores de extinción interestelar para todas las ECPNs fueron obtenidos en función de su posición galáctica a partir de los mapas de polvo interestelar de Bayestar y SFD, como se detalló en la Subsección 3.1.1. Concretamente, se obtuvieron estos valores con

el objetivo de poder identificar con más fiabilidad la EC entre todas las candidatas. Sin embargo, se sabe que la nebulosa en sí puede contribuir a la extinción del brillo de la EC, sobretodo en nebulosas jóvenes y compactas. Por tanto, en esta ocasión, con la idea de tener unos valores de extinción más precisos, buscamos en la literatura valores específicos de extinción para las nebulosas de este conjunto de 263 objetos. Por consistencia, decidimos basarnos en los datos de extinción proporcionados en los estudios de Frew (Frew [6] y [32]), y complementados con los datos de extinción de Tylenda et al. [52] y Cahn et al. [53]. Para las nebulosas sin extinción específica en la literatura, utilizamos los valores de extinción de los mapas de polvo. Los valores de extinción individuales se muestran en la Tabla A.5.

Una vez obtenidos estos valores, se calculan los correspondientes valores de la magnitud V absoluta, cuya distribución puede verse en la Figura 3.23.

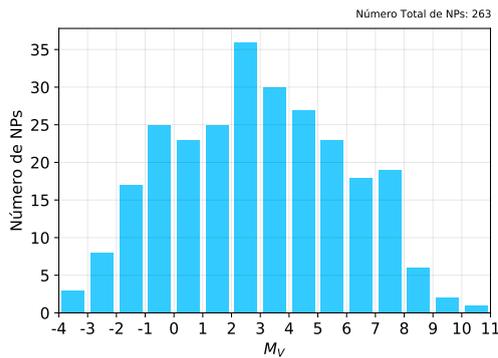


FIGURA 3.23: Distribución de magnitudes M_V de las 263 estrellas del conjunto.

Al igual que en la muestra obtenida con datos de DR2, la inmensa mayoría de estrellas tienen magnitudes V absolutas con valores de entre -1 y 8, lo que está dentro de lo esperado para estrellas en fase de NP. Si se calcula el valor medio de esta distribución se obtiene el siguiente resultado:

$$\langle M_V \rangle = 2.92 \pm 2.37.$$

Sin embargo, la estrella más tenue supera las 10 magnitudes, mientras que las estrellas más brillantes están por debajo de -3 magnitudes.

A continuación, se realiza el cálculo para obtener las magnitudes absolutas correspondientes a la luz emitida en todas las longitudes de onda, no solo en el espectro visible. Lo que se conoce como la magnitud bolométrica absoluta, M_{bol} . Esta magnitud se obtiene aplicando una corrección bolométrica (BC) a la magnitud M_V . Para ello, igual que se hizo con los datos de DR2, utilizamos la relación propuesta por Vacca et al. [55]. Así, recordemos que quedaba la siguiente expresión:

$$M_{bol} = M_V + 27.66 - 6.84 \cdot \log(T_{eff}).$$

Como esta fórmula depende de la temperatura efectiva, y únicamente poseemos este valor para un conjunto de la muestra, tenemos la posibilidad de obtener el valor M_{bol} para un total de 132 estrellas.

La distribución de estos valores se muestra en la Figura 3.24. Como puede apreciarse la mayoría de estrellas tienen magnitudes negativas, pudiendo llegar casi hasta magnitudes de -7. Mientras que apenas hay objetos con magnitudes más allá de 2. Calculando el valor medio de la distribución se obtiene el siguiente resultado:

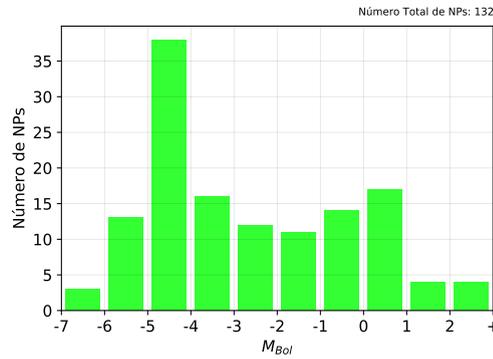


FIGURA 3.24: Distribución de magnitudes M_{bol} para un subconjunto 132 estrellas.

$$\langle M_{bol} \rangle = -2.76 \pm 2.51.$$

Una vez obtenidas estas magnitudes, el cálculo de la luminosidad estelar es inmediato, ya que depende únicamente de la magnitud bolométrica absoluta. Concretamente, el valor que se utiliza en el diagrama HR y que calculamos, es el logaritmo de la luminosidad por unidad de luminosidad solar, que se expresa de la siguiente manera:

$$\log\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) = \frac{M_{bol_{\odot}} - M_{bol}}{2.5}.$$

Donde $M_{bol_{\odot}} = 4.75$, y es la magnitud bolométrica absoluta del Sol. Por tanto, obtenemos la luminosidad para un total 132 objetos de la muestra GAPN-EDR3.

Para estudiar el estado evolutivo de estas estrellas, utilizamos modelos de trazas evolutivas para estrellas post-AGB ricas en hidrógeno, concretamente los publicados recientemente por Miller Bertolami [7]. Por tanto, tuvimos que descartar aquellos objetos deficientes en hidrógeno y los objetos que tengan una binaria próxima. Para identificar

estos objetos entre los del conjunto de 132, nos basamos en la clasificación proporcionada en los estudios de Jacob et al. [39], Boffin and Jones [14] y Weidmann et al. [70].

Tras este filtrado, nos quedamos con un conjunto de 78 ECNPs, cuyo estado evolutivo puede estudiarse a través de su ubicación en el diagrama HR y haciendo uso de las trazas evolutivas para estrellas en fase post-AGB. Este conjunto de objetos, tiene un alto nivel de fiabilidad en cuanto a la identificación de la estrella central que se realizó en la Subsección 3.1.1, ya que el 85% de los objetos pertenecen al grupo A de fiabilidad, mientras que el 15% restante son del grupo B. Por lo tanto, aunque en este conjunto tengamos menos objetos que en el conjunto analizado para el diagrama HR con datos de DR2, serán de mayor fiabilidad y con una ubicación más precisa. Los valores de temperatura y luminosidad de todos estos objetos se presentan en la Tabla A.5.

3.3.2 Masas y Edades evolutivas

Una vez ubicadas las 78 ECNPs en el diagrama HR junto con las trazas evolutivas para estrellas en fase post-AGB (ver Figura 3.25), es posible estimar sus edades evolutivas y las masas de sus estrellas progenitoras, de forma similar a la que se hizo en el capítulo anterior con datos de DR2. Cada traza indica la evolución que se estima que siga una estrella de una cierta masa. En este caso, decidimos hacer uso de las trazas de Miller Bertolami [7] para realizar esta estimación. Aunque abarquen menos rango de masas que las de Vassiliadis and Wood [2], en este caso nos es suficiente para cubrir prácticamente todas las estrellas del diagrama, y por otra parte, las trazas de Miller Bertolami están basadas en los modelos más precisos disponibles hasta la fecha. Estos modelos son válidos para estrellas con masas iniciales de entre 0.8 y 4 M_{\odot} (masa de la estrella progenitora en la Secuencia Principal), que corresponden a masas en la fase post-AGB de entre 0.5 y 0.85 M_{\odot} . Concretamente, el modelo que utilizamos, que está contemplado para una metalicidad de $Z = 0.01$ (muy similar a la solar), contiene seis trazas evolutivas que abarcan los objetos con masas iniciales de entre 1 y 3 M_{\odot} .

Las trazas de estos modelos comienzan en la parte superior derecha del diagrama HR, que indica el inicio de la fase post-AGB. Concretamente, se toma un valor de temperatura de $\log T_{eff} = 3.85$ (en torno a 7000 K) como el inicio de la fase rápida del proceso evolutivo de las estrellas post-AGB. El tiempo evolutivo de las ECNPs se calcula desde este punto añadiendo un tiempo de transición que comienza antes, cuando la masa de la envoltura

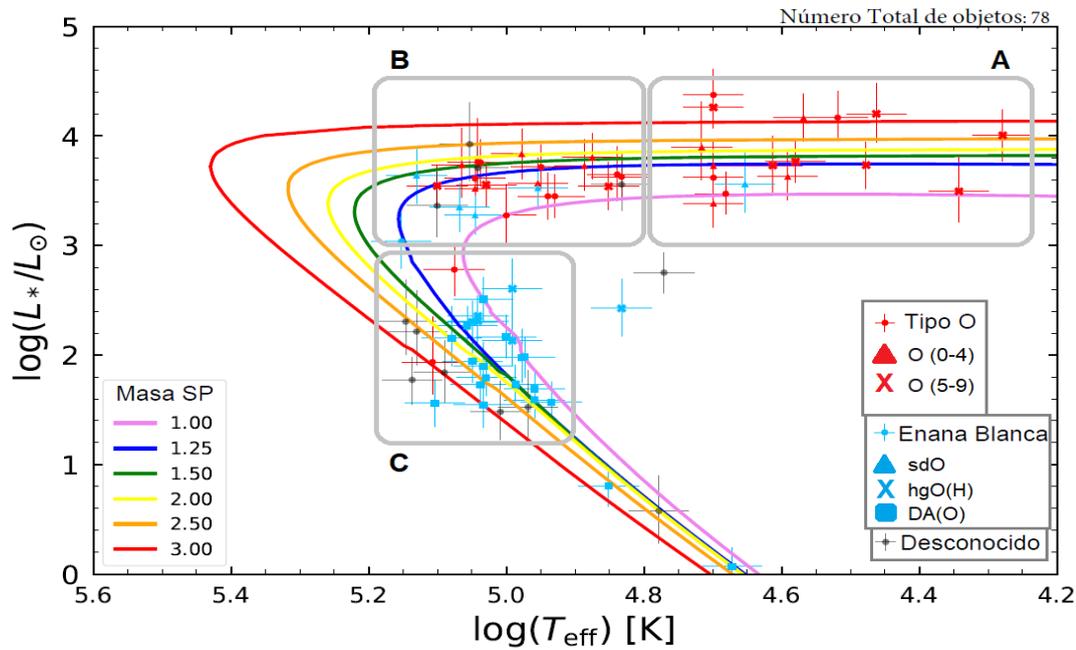


FIGURA 3.25: Ubicación en el diagrama HR de las 78 ECNPs seleccionadas sobre la muestra GAPN-EDR3, junto con las trazas evolutivas de Miller Bertolami [7]. También se proporciona información sobre sus tipos espectrales.

de la estrella, debido a los vientos estelares, cae por debajo del 1% del total de la masa estelar y se considera que la fase AGB ha terminado (ver el artículo de Miller Bertolami [7] para más detalle).

Desde el punto de inicio, las estrellas irán calentándose a luminosidad más o menos constante. Tras llegar a su máxima temperatura, por encima de los 100 000 K (parte superior izquierda), las estrellas comenzarán a perder luminosidad a medida que se van enfriando. Finalmente, llegarán a una fase estable, conocida como fase de enana blanca. Cada punto de las trazas, indica un tiempo evolutivo de la ECNPs, que va en aumento a medida que se avanza por este itinerario. Como se vio en la sección anterior, el tiempo de duración de la fase de NP puede durar varias decenas de miles de años, un tiempo muy breve en comparación con la vida total de una estrella. Es importante remarcar que cuanto mas masiva sea una estrella, más rápido evolucionará. Por lo que las trazas correspondientes a las masas más altas, incrementarán su edad evolutiva más rápido que el resto de trazas.

Como puede observarse en el diagrama HR (Figura 3.25), prácticamente todas las ECNPs del conjunto seleccionado, caen sobre las trazas evolutivas. Consecuentemente, por interpolación entre las trazas, se puede estimar sus edades y masas progenitoras

correspondientes. También se puede apreciar, que los puntos del diagrama se muestran con sus correspondientes barras de error. En cuanto a la incertidumbre en la luminosidad, se obtiene mediante propagación de errores, a partir de las incertidumbres en distancia (cota inferior y superior), en magnitud V y en temperatura. Para la incertidumbre en la temperatura hemos supuesto un error relativo medio del 10%, ya que no disponemos de datos específicos de este parámetro.

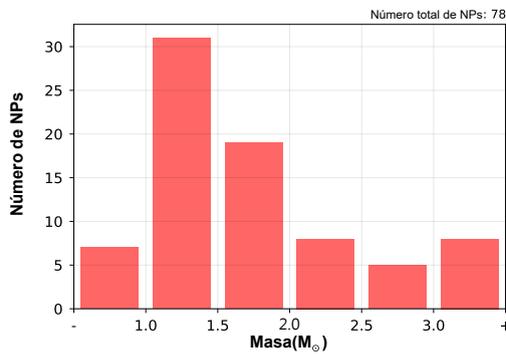


FIGURA 3.26: Distribución de masas progenitoras de las 78 ECNPs del diagrama HR.

Una vez interpolados los valores de las masas progenitoras de las 78 estrellas, obtuvimos la distribución de masas que se muestra en la Figura 3.26. Como puede verse aquí, la mayoría de las ECNPs (alrededor del 73%), vienen de estrellas progenitoras de masas menores de $2 M_{\odot}$. Mientras que solamente un 10% de las ECNPs provienen de estrellas progenitoras de más de $3 M_{\odot}$. Si se estima el valor medio de la masa progenitora del

conjunto, se obtiene el siguiente resultado:

$$\langle M_{\odot} \rangle = 1.73 \pm 0.47 M_{\odot}.$$

En la Tabla A.5 puede consultarse la masa progenitora de cada una de las estrellas del conjunto.

Por otra parte, también estimamos las edades evolutivas de las ECNPs (desde el inicio de la fase post-AGB) interpolando los valores entre las trazas. Recordemos, que al tiempo estimado a partir de las trazas, hay que sumarle el anteriormente mencionado tiempo de transición. Este tiempo varía entre 1 kyr y 36 kyr, en función de la masa estelar. Cuanto más masiva sea la estrella menor será el tiempo de transición, ya que más rápida será su evolución.

Como resultado obtuvimos la distribución de edades evolutivas que se muestra en la Figura 3.28. Pese a que se aprecia una amplia variedad de edades, la mayoría de las

ECNPs son bastante jóvenes, ya que el 46% de ellas poseen edades por debajo de los 10 000 años.

Dentro de este pequeño conjunto la distribución de edades es más o menos uniforme, como puede apreciarse en la gráfica pequeña de esta figura. En el otro extremo, se detectan varios objetos con edades evolutivas por encima de los 60 000 años. Estas edades corresponderían a las estrellas localizadas en el tramo final de las trazas del diagrama HR. Estos objetos ya habrían perdido gran parte de su nebulosa llegando a la fase final de enana blanca. El

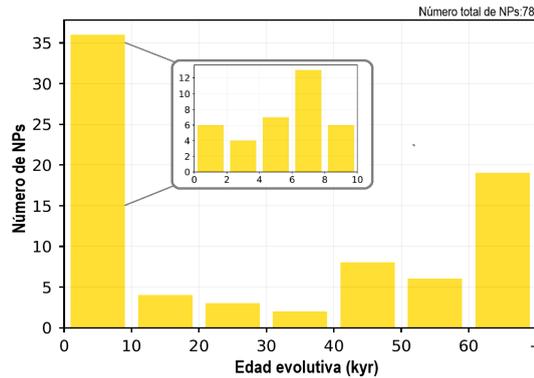


FIGURA 3.27: Distribución de edades evolutivas de las 78 ECNPs del diagrama HR.

resto de estrellas muestran edades intermedias de entre 10 000 y 60 000 años.

En comparación con las edades cinemáticas calculadas en la sección anterior, estas edades evolutivas tienen valores considerablemente más elevados. Esto podría deberse a que las edades evolutivas miden el tiempo de toda la fase post-AGB, desde que se comienza a expulsar la envoltura de la EC. Mientras que las edades cinemáticas únicamente miden el tiempo que lleva en expansión la nebulosa, hasta que deja de ser visible. Por otra parte, si comparamos estas edades evolutivas con las estimadas en el capítulo anterior con datos de DR2, no se observa una diferencia muy significativa.

En general, todas las ECNPs se encuentran entre las trazas del modelo o muy cerca de ellas, por lo que su estimación de masa y edad evolutiva es bastante realista. Únicamente existen un par de excepciones, dos objetos que caen muy lejos de las trazas: la EC de la nebulosa HaWe 13 y la de Abell 82. La primera de ellas se trata de una enana blanca de tipo espectral hgO(H), con una temperatura de 68 000 K y una luminosidad de $\log(\frac{L}{L_{\odot}}) = 2.43$. Por lo tanto, siendo una enana blanca, debería tener una mayor temperatura para esa luminosidad, o si no, debería tener ya una menor luminosidad para haber disminuido hasta esa temperatura. En cuanto a la EC de la Abell 82, se trata de una estrella ligeramente más fría y más luminosa, con una temperatura de 59 000 K y una luminosidad de $\log(\frac{L}{L_{\odot}}) = 2.75$. En este caso su tipo espectral es desconocido,

por lo que no se puede sacar información sobre la zona del diagrama HR donde debería situarse.

3.3.3 Tipos Espectrales

Otro aspecto importante a la hora de estudiar el estado evolutivo de una estrella es la clasificación espectral, ya que conociendo el tipo espectral de una estrella podemos hacernos una idea de su temperatura y luminosidad. Por lo tanto, siguiendo con el análisis de las 78 ECNPs ubicadas en el diagrama HR, buscamos en la bibliografía su tipo espectral para analizar después su concordancia con la ubicación en el diagrama HR. Concretamente, obtuvimos los tipos espectrales del reciente catalogo de NPs de Weidmann et al. [70]. En ese trabajo se analizan, desde un punto de vista observacional, las trazas evolutivas seguidas por las estrellas hasta alcanzar la fase de NP. Para después discutir las diferentes secuencias espectrales. También se plantean dos diferentes secuencias evolutivas en la fase post-AGB según la composición estelar, haciendo distinción entre estrellas ricas y pobres en hidrógeno.

Basándonos en estos tipos espectrales, clasificamos nuestras ECNPs en dos tipos principales: estrellas tipo O y estrellas enanas blancas. Siguiendo la catalogación de Weidmann, las estrellas de tipo Wolf Rayet quedaron descartadas previamente por ser estrellas deficientes en hidrógeno (como ya se comentó en la Subsección 3.3.1), así como las estrellas susceptibles de ser binarias próximas, ya que las trazas de Miller Bertolami son solamente válidas para estrellas ricas en hidrógeno.

Como se muestra en el diagrama HR (ver Figura 3.25) las estrellas de tipo O se indican en rojo y las enanas blancas en azul. Mientras que hay unos pocos objetos en gris que indican que se desconoce su tipo espectral. Dentro de las estrellas de tipo O, distinguimos entre tempranas O(0-4), que serían las más calientes, y tardías O (5-9), que serían las más frías dentro de este grupo espectral. A su vez, las enanas blancas están subdivididas en tres grupos: subenanas blancas (sdO), objetos evolucionados (hgO(H)) y enanas blancas muy evolucionadas (DA(O)).

Analizando esta distribución espectral en el diagrama HR, se observa que es bastante coherente con el estado evolutivo correspondiente. En general, todas las estrellas de tipo O están ubicadas en la parte de alta y constante luminosidad, como cabe esperar.

Tendiendo a estar las de tipo 0 (5-9) en la parte más fría de esta región (zona derecha), y las de tipo O(0-4) en la parte de más altas temperaturas de esta región (zona izquierda).

En cuanto a las estrellas enanas blancas también se ubican aproximadamente en la región esperada del diagrama HR según su tipo espectral. Es decir, la zona donde las estrellas han alcanzado su temperatura máxima y comienzan a perder luminosidad ha medida que bajan su temperatura. Más concretamente, se aprecia que las subenanas blancas de tipo sdO tienden a localizarse en la parte donde la luminosidad todavía es muy alta, las estrellas catalogadas como objetos evolucionados hgO(H) tienden a ubicarse en una zona de luminosidad más baja ya, y las estrellas enanas blancas DA(O) se hallan en la parte más evolucionada de las trazas, con temperaturas y luminosidades más bajas aún.

En general, el escenario muestra una buena correspondencia entre la ubicación de las estrellas en el diagrama HR y su tipo espectral. Habiendo únicamente algún objeto que no sigue esta regla. Los tipos espectrales particulares de las estrellas de la muestra GAPN-EDR3 están listados en la Tabla A.4, y en la Tabla A.5 se pueden consultar los de las estrellas que están ubicados en el diagrama HR.

3.3.4 Análisis del Diagrama HR

Con el objetivo de realizar un estudio más detallado sobre el estado evolutivo de las ECNPs y al igual que se hizo en el capítulo anterior, dividimos el diagrama HR en tres regiones de acuerdo a su fase evolutiva, que llamamos A, B y C. En la Figura 3.25, pueden distinguirse estas tres zonas. La región A corresponde a la fase temprana de NP, donde las estrellas comienzan a aumentar su temperatura (hasta que $\log(T_{eff}) = 4.8$) y se mantienen a luminosidad alta ($\log(\frac{L}{L_{\odot}}) > 3$) y más o menos constante. Después, se encontraría la región B, zona con estrellas de luminosidad similar pero con más altas temperaturas (desde $\log(T_{eff}) = 4.8$ hasta la temperatura máxima). Por último, estaría la región C, correspondiente a la fase tardía de NP, que abarca la zona con estrellas de menor luminosidad que las anteriores y con temperaturas decrecientes respecto al máximo de temperatura.

Analizando el tipo espectral de las estrellas de cada región, se aprecia que casi todas las pertenecientes a la región A son estrellas de tipo O. En el otro extremo, se puede ver que

casi todas las estrellas de la región C son enanas blancas. Mientras que en la región B, se encuentran estrellas de ambos tipos, aunque mayoritariamente del tipo O.

Por otra parte, analizamos otras propiedades evolutivas en cada una de las tres regiones, con la idea de observar como varían de una zona a otra. Concretamente, analizamos los radios y edades cinemáticas nebulares; así como las temperaturas efectivas, las masas de las progenitoras y las edades de evolución de las estrellas de cada región. A continuación, calculamos el valor medio y el correspondiente valor de incertidumbre para cada uno de estos parámetros y en cada una de las regiones. Los resultados se exponen en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2: Valores medios (con valor de incertidumbre) de diferentes parámetros evolutivos en cada una de las regiones del diagrama HR

Parámetro	Región A	Región B	Región C
N° de objetos	17	27	29
$\langle R \rangle$ (pc)	0.08 (0.02)	0.24 (0.13)	0.75 (0.32)
$\langle T_{eff} \rangle$ (kK)	39 (9)	100 (17)	109 (11)
$\langle M \rangle$ (M_{\odot})	1.98 (0.50)	1.50 (0.42)	1.87 (0.62)
$\langle T_{evo} \rangle$ (kyr)	16.0 (3.8)	23.7 (1.5)	53.5 (30.3)
$\langle T_{kin} \rangle$ (kyr)	3.6 (2.5)	4.7 (1.9)	34.7 (8.9)

Region A: $\log\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) > 3.0$ & $\log(T_{eff}) < 4.8$; Region B: $\log\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) > 3.0$ & $\log(T_{eff}) > 4.8$; Region C: $\log\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) < 3.0$ & $\log(T_{eff}) > 4.9$.

En primer lugar, se ve que el radio nebular medio ($\langle R \rangle$) va en aumento desde la región A a la C, yendo desde menos de los 0.10 pc hasta los 0.75 pc. Esta tendencia es la que cabe esperar, ya que la nebulosa se irá expandiendo a medida que transcurre el tiempo, aumentando su radio nebular. En cuanto a la temperatura efectiva ($\langle T_{eff} \rangle$) de las estrellas, se observa un gran crecimiento de la región A a la B, y un ligero crecimiento de la región B a la C. Respecto a la masa de la progenitora ($\langle M \rangle$), no se aprecia ningún patrón de cambio de una región a otra, lo que refleja que este parámetro es independiente del estado evolutivo.

Por otra parte, el valor medio de la edad evolutiva ($\langle T_{evo} \rangle$) aumenta ligeramente de la región A a la B, y muestra un aumento mucho más grande de la región B a la C. Aunque en esta última región la dispersión es muy grande, como puede verse en su valor de incertidumbre. Esto seguramente se deba a la presencia de estrellas en una fase de NP muy avanzada, que prácticamente habrían perdido toda la nebulosa y se habrían convertido ya en enanas blancas estables y frías, y que contribuyen a aumentar el valor

medio de la edad evolutiva y de su dispersión. Por último, también se ha incorporado a la tabla el valor medio de las edades cinemáticas ($\langle T_{\text{kin}} \rangle$), edades que fueron calculadas en la sección anterior. Como cabe esperar, este valor también aumenta ligeramente de la región A a la B y notablemente de la región B a la C.

Nótese que hay cinco ECNPs del diagrama HR que no se han incluido en este análisis, ya que no están contenidas en ninguna de las tres regiones. Dos de ellas por estar situadas fuera de las trazas evolutivas, como se comentó anteriormente, y las otras tres por estar en una zona demasiado evolucionada del diagrama HR, lo que incluirlas desvirtuaría los resultados generales al tratarse de estrellas muy viejas.

Como ya se ha comentado antes, en el capítulo anterior se realizó un análisis similar usando los parámetros de Gaia DR2. Pero en este caso, con Gaia EDR3, los parámetros son más exactos y la identificación de las ECNPs más fiable, por lo que se espera que estos resultados sean más consistentes. Además, en el análisis con DR2 teníamos muchos más objetos ubicados fuera de las trazas evolutivas, por lo que la estimación de las masas y edades era más incierta que ahora. La mayoría de estos objetos han sido descartados en esta ocasión por diferentes razones: por no estar catalogados como PN en la base de datos de HASH, por tener alguna de las nebulosas una nueva identificación de su EC en Gaia EDR3, o por ser clasificadas como estrellas deficientes en hidrógeno o binarias próximas en el catálogo de Weidmann.

Si comparamos los valores medios de los parámetros evolutivos obtenidos ahora con los obtenidos con DR2, se observa que ahora con EDR3 los valores del radio nebuloso son ligeramente menores que los obtenidos con DR2, mientras que las edades evolutivas tienden a ser mayores con EDR3. En cuanto a las edades cinemáticas, son bastante similares en ambos casos.

TABLA 3.3: Valores medios (con valor de incertidumbre) de los diferentes parámetros evolutivos para cada uno de los tres grupos morfológicos principales.

Parámetros	Elípticas	Bipolares	Redondas
N° de objetos	29	22	23
$\langle |z| \rangle$ (pc)	449 (231)	413 (149)	495 (207)
$\langle R \rangle$ (pc)	0.39 (0.12)	0.22 (0.07)	0.52 (0.18)
$\langle T_{\text{eff}} \rangle$ (kK)	90 (20)	84 (29)	92 (12)
$\langle M \rangle$ (M_{\odot})	1.72 (0.39)	1.78 (0.44)	1.75 (0.50)
$\langle T_{\text{evo}} \rangle$ (kyr)	53.2 (4.5)	21.4 (3.2)	69.1 (47.4)
$\langle T_{\text{kin}} \rangle$ (kyr)	12.6 (2.6)	8.3 (3.1)	33.8 (5.7)

Volviendo al estudio morfológico de las nebulosas, podemos ahora analizar el estado evolutivo de los tres grupos morfológicos principales: elípticas, bipolares y redondas. Nótese que el 95% de los objetos del conjunto del diagrama HR pertenecen a uno de estos tres grupos morfológicos. Calculando los valores medios, para cada grupo, de los parámetros evolutivos analizados anteriormente, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 3.3.

Una de las principales conclusiones que se puede extraer, es que las nebulosas bipolares son considerablemente más pequeñas que las demás (como se postuló en la Subsección 3.2.2), con un radio medio de poco más de 0.2 pc. Consecuentemente, las nebulosas bipolares tienden a ser más jóvenes (con tiempos evolutivos y cinemáticos más pequeños) que las elípticas o redondas. En cuanto a la temperatura efectiva y la masa progenitora de las ECNPs, no se aprecia mucha diferencia entre los valores medios de los tres tipos morfológicos, por lo que no se puede extraer ninguna conclusión sobre la posible relación entre los valores de estos parámetros y la morfología de las nebulosas.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que debido a los efectos de proyección, podría haber algunas nebulosas elípticas que se observan como redondas, y por tanto estarían catalogadas como tal. Según el estudio de Manchado [33], se estima que el 7% de las nebulosas elípticas se observan realmente como redondas. Este efecto, podría estar desvirtuando ligeramente los resultados obtenidos para los grupos morfológicos elípticos y redondos.

3.4 Sistemas Binarios en Nebulosas Planetarias

Como ya se comentó en el capítulo anterior, la precisa astrometría de Gaia puede utilizarse para buscar estrellas binarias en NPs. La detección de sistemas estelares binarios o múltiples es de gran importancia ya que pueden ayudar a arrojar luz sobre la formación y evolución de las NPs. También se cree que las diferentes morfologías nebulares podrían deberse a la interacción entre las dos componentes de un sistema estelar binario, como se expone en el estudio de Jones and Boffin [79].

Con la astrometría de Gaia DR2 (coordenadas, paralajes y movimientos propios), fuimos capaces de detectar sistemas binarios en varias de las NPs de la muestra GAPN-DR2, y

determinar sus distancias de separación. Incluso en algún caso pudimos estimar la masa y edad de la estrella compañera.

Como las componentes de estos sistemas estaban suficientemente alejadas entre sí para poder distinguirlas como dos fuentes independientes, estos sistemas se denotan concretamente como *binarias ampliamente separadas*. Ahora, con la aún más precisa astrometría de Gaia EDR3, buscaremos nuevos sistemas binarios de este tipo en las NPs de la muestra GAPN-EDR3, utilizando un método similar.



FIGURA 3.28: Nebulosa planetaria que alberga un sistema estelar binario. Imagen tomada por el interferómetro astronómico ALMA.

Además, trataremos de buscar evidencias de sistemas *binarios próximos*, sistemas donde ambas componentes estelares no pueden resolverse como dos fuentes separadas. Para ello, haremos uso de ciertos parámetros de EDR3 asociados con la calidad de detección de las fuentes, con el objetivo de buscar una relación entre estos parámetros y la binariedad próxima.

3.4.1 Búsqueda de Binarias Ampliamente Separadas

Siguiendo el procedimiento utilizado con los datos de DR2, y partiendo ahora de las 405 ECNPs de la muestra GAPN-EDR3, tratamos de detectar objetos *comoving* a esas ECs. Es decir, objetos ubicados en la misma posición (coordenadas (RA,Dec) y paralaje (π) similar) y moviéndose en consonancia (movimientos propios similares (PM_{RA}, PM_{Dec})). Estos objetos se considerarían ligados gravitacionalmente a la EC. En el caso de conocer la velocidad radial de los objetos, servirá como parámetro extra para confirmar la asignación como objetos *comoving*.

Para buscar estos objetos, se comenzó seleccionando todas aquellas estrellas ubicadas dentro de un radio de 120 arcsec alrededor de cada una de las ECs de la muestra. Región que consideramos suficientemente amplia, y donde más allá sería muy extraño la presencia de una estrella ligada a una de las ECs. A continuación, descartamos todos

aquellos objetos sin paralaje conocido en EDR3. Así, en media, obtuvimos 630 objetos candidatos alrededor de cada EC. En este punto, se corrigieron los valores de los paralajes y movimientos propios (así como de sus valores de incertidumbre) tal y como se explicó en la Sección 3.2 y en la Subsección 2.5.1, respectivamente.

Por último, se realizó un filtrado para quedarnos únicamente con los objetos con astrometría muy precisa. Para ello, se eliminan aquellos objetos con errores relativos en paralaje, en distancia o en movimientos propios por encima del 30%, o que no cumplan con los valores de $UWE/RUWE$ recomendados. Así, finalmente, nos quedamos con una media de unos 50 objetos candidatos a estrella compañera por cada nebulosa. En cuanto a las ECs, ya fueron filtradas en función de los errores en paralaje y en distancia para ser seleccionadas (y de los valores de $UWE/RUWE$), pero no así en función de los errores en movimientos propios. Por lo tanto, al aplicar esta última restricción, también hubo que descartar algunas ECs, quedándonos finalmente con 357 ECNPs candidatas a albergar una estrella compañera.

Una vez seleccionados los objetos candidatos a estrellas compañeras, aplicamos un algoritmo similar al utilizado en el capítulo anterior. El método consiste en seleccionar aquellos objetos cuyos tres parámetros astrométricos (π , PM_{RA} y PM_{Dec}) difieran en menos de 2.5 veces σ respecto a los parámetros de la correspondiente EC, donde σ se define como el mayor valor de incertidumbre entre la estrella candidata y la EC para cada uno de los tres parámetros. Tras ejecutar este algoritmo sobre la muestra GAPN-EDR3, obtuvimos un total de algo más de 200 posibles estrellas compañeras distribuidas en 85 posibles sistemas binarios, o múltiples.

Sin embargo, la mayoría de las posibles estrellas compañeras detectadas, se hallan demasiado lejos de su correspondiente EC como para poder considerar que estén ligadas gravitacionalmente a ella, y podrían estar compartiendo unos parámetros astrométricos similares simplemente por casualidad. Siguiendo el mismo criterio que se utilizó para el estudio con DR2 y recomendado por otros estudios ya citados en el capítulo anterior, decidimos fijar un valor de separación máxima de 20 000 AU entre ambas estrellas para considerar que realmente forman un sistema binario.

En la Figura 3.29 se muestra la distribución de las distancias de separación (proyectadas en el plano del cielo) entre las estrellas *comoving* detectadas y sus correspondientes ECs, hasta los 200 000 AU. En principio, el número de objetos detectados tiende a aumentar

a medida que aumenta la distancia de separación, ya que se va abarcando más área sobre la que buscar estrellas. Aunque también es cierto que a distancias menores de 20 000 AU se detectan un número considerable de estrellas.

Aplicando este límite superior de distancia de separación, finalmente nos quedamos con ocho sistemas binarios o múltiples dentro de la muestra GAPN-EDR3. De estos ocho sistemas estelares, cinco de ellos ya fueron hallados mediante la astrometría de DR2 como se mostró en el capítulo anterior. Por lo tanto, se confirmaría su existencia mediante este nuevo análisis con astrometría de EDR3. Concretamente, se trata de los sistemas binarios situados en las nebulosas Abell 24, Abell 33, Abell 34, NGC 3699 y NGC 6853.

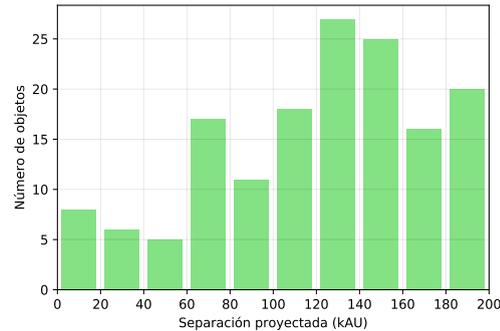


FIGURA 3.29: Separación física proyectada (hasta los 200 kAU) entre las posibles estrellas compañeras detectadas y su correspondientes ECs.

Los restantes posibles sistemas binarios detectados con DR2, quedarían descartados según este nuevo análisis con EDR3 por diferentes razones. En concreto, el de la nebulosa NGC 246 no está seleccionado porque su EC no cumple las restricciones en la calidad de la astrometría para estar incluida en la muestra GAPN-EDR3. Por otra parte, el posible sistema binario en la nebulosa PN SB 36, no está incluido esta vez porque la nebulosa no está catalogada como *PN* en la base de datos de HASH. Por último, el posible sistema hallado en la nebulosa PHR J1129-6012 no ha sido incluido ya que la identificación de su EC no es lo suficientemente fiable como para haber sido incluida en la muestra GAPN-EDR3.

En esta ocasión, aparte de los cinco sistemas binarios nombrados anteriormente, se han detectado otros tres nuevos sistemas binarios que no fueron hallados mediante la astrometría de DR2. Estos sistemas estelares pertenecen a las nebulosas NGC 6720, NGC 6781 y PN G030.8+03.4a. Los parámetros astrométricos (coordenadas, separación, distancia, paralaje y movimientos propios), así como los colores Gaia, de las componentes estelares de estos sistemas se muestran en la Tabla 3.4.

TABLA 3.4: Parámetros de las estrellas de los nuevos sistemas binarios detectados en la muestra GAPN-EDR3.

<i>Object</i>	RA ($^{\circ}$)	Dec ($^{\circ}$)	Separación (AU)	Distancia (pc)	Paralaje (mas)	PM_{RA} ($\text{mas} \cdot \text{yr}^{-1}$)	PM_{Dec} ($\text{mas} \cdot \text{yr}^{-1}$)	$G_{BP} - G_{RP}$ (mag)
NGC 6720 (CS)	283.3962	33.0291	-	783^{+29}_{-32}	1.29 ± 0.05	1.73 ± 0.08	2.36 ± 0.08	-0.79
NGC 6720 - B	283.3915	33.0324	14,448	$1,093^{+346}_{-220}$	1.05 ± 0.26	1.22 ± 0.24	2.56 ± 0.24	-0.23
NGC 6781 (CS)	289.6170	6.5387	-	494^{+19}_{-19}	2.03 ± 0.07	-6.93 ± 0.11	-4.17 ± 0.09	-0.51
NGC 6781 - B	289.6189	6.54012	4,139	470^{+34}_{-29}	2.15 ± 0.19	-6.64 ± 0.19	-3.79 ± 0.16	2.66
PN G030.8+03.4a (CS)	278.8805	-0.2640	-	546^{+82}_{-53}	1.92 ± 0.27	2.01 ± 0.22	-8.85 ± 0.18	0.43
PN G030.8+03.4a - B	278.8800	-0.2612	5,425	533^{+169}_{-98}	2.18 ± 0.44	2.66 ± 0.35	-8.51 ± 0.29	1.66
<i>Posible Sistema Triple</i>								
Fr 2-42 (CS)	298.4000	-10.3255	-	129^{+1}_{-1}	7.76 ± 0.06	-11.48 ± 0.09	-16.52 ± 0.08	-0.23
Fr 2-42 - B	298.4001	-10.3249	304	130^{+1}_{-1}	7.68 ± 0.06	-10.92 ± 0.09	-15.78 ± 0.08	-0.20
Fr 2-42 - C	298.3880	-10.3320	6,528	128^{+1}_{-1}	7.78 ± 0.10	-10.96 ± 0.12	-16.14 ± 0.09	-0.03

Nota: Todos los parámetros se han obtenido o derivado de Gaia EDR3. Los colores Gaia están corregidos por extinción.

El primero de estos nuevos sistemas binarios detectados corresponde a la nebulosa NGC 6720, también conocida como *Ring Nebula* o Nebulosa del Anillo (ver Figura 3.30). Esta nebulosa está situada a una distancia de casi 800 pc desde el Sol y tiene una morfología elíptica, con un radio medio de unos 30 000 AU (0.147 pc). La EC de esta nebulosa es una enana blanca con una temperatura y luminosidad decreciente, de 112 000 K y de unas $200 L_{\odot}$, respectivamente. Y se le ha estimado una masa de $1.54 M_{\odot}$ y una edad evolutiva de casi 24 000 años. Mediante nuestro algoritmo, se ha detectado una estrella compañera a una distancia de separación proyectada de más de 14 000 AU respecto a la EC. De acuerdo a su magnitud G absoluta, $M_G = 8.16$, y a su color Gaia, $G_{BP} - G_{RP} = -0.23$, se debe tratar también de una enana blanca.

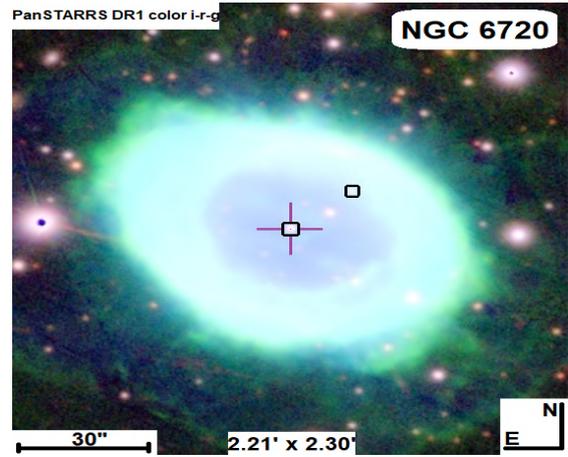


FIGURA 3.30: Imagen del posible sistema binario en NGC 6720, mostrando tanto la ubicación de la EC (con una cruz) como de la compañera *comoving*. Imagen obtenida del atlas estelar de *Aladin*.

Otro de los nuevos sistemas binarios detectados pertenece a la nebulosa bipolar NGC 6781 (ver Figura 3.31), que está ubicada a casi 500 pc del Sol. Esta nebulosa tiene un tamaño medio similar al de la Nebulosa del Anillo, con un radio medio de unos 31 000 AU (0.15 pc). La EC de esta nebulosa también es una enana blanca, algo más evolucionada que la nebulosa anterior, ya que posee una temperatura muy similar pero una luminosidad aún más baja, de unas $88 L_{\odot}$. Mientras que se le ha estimado una masa mayor, de unas $2.21 M_{\odot}$, y un tiempo evolutivo de tan solo unos 5000 años.

En este caso, hemos detectado una estrella compañera con una separación proyectada de poco más de 4000 AU respecto a la EC. Haciendo uso de la herramienta VOSA proporcionada por la plataforma del *Spanish Virtual Observatory*, y mencionada ya en el capítulo anterior, hemos sido capaces de estimar algunos parámetros evolutivos de esta estrella compañera.

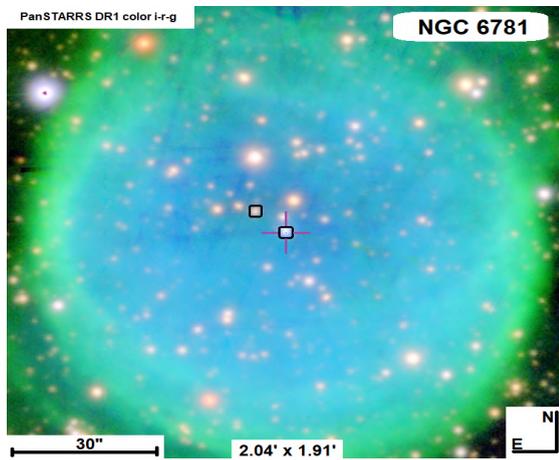


FIGURA 3.31: Imagen del posible sistema binario en NGC 6781, mostrando tanto la ubicación de la EC (con una cruz) como de la compañera *comoving*. Imagen obtenida del atlas estelar de *Aladin*.

A partir de las coordenadas, de la distancia y de la extinción de la estrella compañera, VOSA nos ha permitido construir su SED. Ajustando esta SED a los modelos de NextGen (Allard et al. [63]), hemos sido capaces de estimarle una temperatura efectiva de 3400 K y una luminosidad de unas $0.07 L_{\odot}$. Valores que corresponderían a una estrella de tipo espectral M. Además, la herramienta VOSA nos ha permitido estimar la masa de la estrella. Para ello, se ha ubicado la estrella en un diagrama HR junto con las trazas evolutivas de NextGen, y por

interpolación se le ha estimado una masa de $0.35 M_{\odot}$. Esta masa es notablemente menor que la de la EC.

La presencia de un posible sistema binario en esta nebulosa ya fue propuesta en el trabajo de Douchin et al. [80] hace unos pocos años. La estrella compañera fue catalogada con un tipo espectral M3, lo que está en consonancia con lo estimado a partir de los datos de EDR3.

El tercer nuevo sistema binario detectado por nuestro algoritmo pertenece a la nebulosa PN G030.8+03.4a (ver Figura 3.32). Esta nebulosa muestra una morfología de tipo-estrella y está ubicada a una distancia de unos 550 pc del Sol. En este caso no poseemos mucha información sobre su EC. Únicamente que tiene una magnitud de $G = 17.7$ y un color de $G_{BP} - G_{RP} = 0.43$. Hemos detectado una estrella compañera con una distancia de separación proyectada de más de 5000 AU respecto a la EC.

En este caso, si se ajusta la SED de la estrella compañera, a través de la herramienta VOSA, se obtiene una temperatura efectiva de 3500 K y una luminosidad de $0.11 L_{\odot}$.

Valores que también corresponderían a una estrella de tipo espectral M. Además, haciendo uso de las trazas evolutivas de NextGen, se estima una masa de $0.32 M_{\odot}$ para esta estrella.

Durante este proceso de búsqueda de estrellas binarias separadas en NPs, se observo un conjunto de tres estrellas que, aún no cumpliendo estrictamente las condiciones para ser seleccionado por nuestro algoritmo, parece que podrían estar ligadas gravitacionalmente, formando así un posible sistema estelar triple. Ya que las tres estrellas no solo están ubicadas muy próximas entre sí, si no que además tienen movimientos propios muy similares. Se trata de la EC perteneciente a la nebulosa Fr 2-42, y dos posibles estrellas compañeras de esta (ver Figura 3.33).

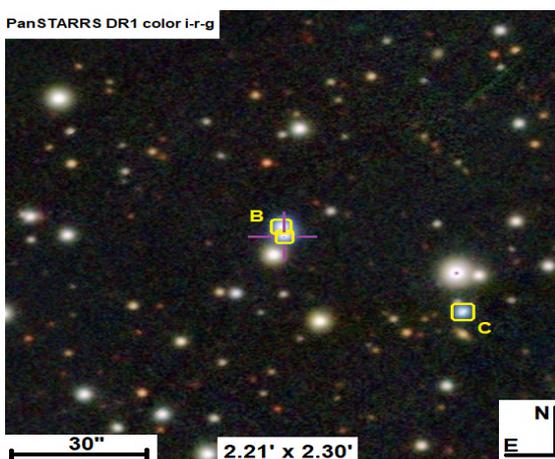


FIGURA 3.33: Imagen del posible sistema triple en Fr 2-42, mostrando tanto la ubicación de la EC (con una cruz) como de las compañeras *comoving*. Imagen obtenida del atlas estelar de *Aladin*.

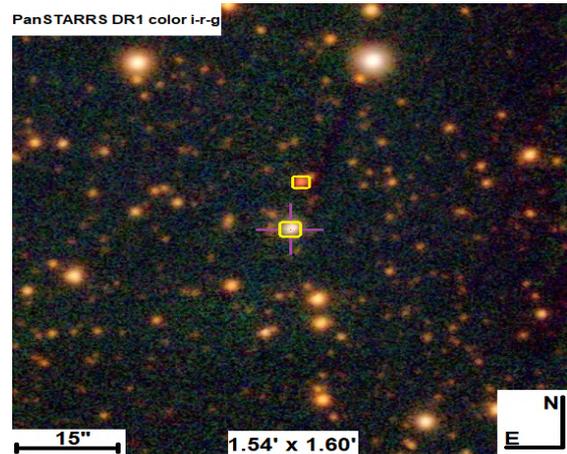


FIGURA 3.32: Imagen del posible sistema binario en PN G030.8+03.4a, mostrando tanto la ubicación de la EC (con una cruz) como de la compañera *comoving*. Imagen obtenida del atlas estelar de *Aladin*.

Como puede apreciarse, una de ellas se encuentra muy cerca de la EC, a poco más de 300 AU. Mientras que la otra se halla a algo más de 6500 AU. En la Tabla 3.4 se muestran los parámetros astrométricos y el color Gaia de estas tres estrellas.

Si se analizan estos parámetros, se ve que los paralajes si cumplen la restricción del algoritmo de selección. Es en los movimientos propios donde las diferencias son ligeramente superiores al valor umbral impuesto por el algoritmo. En este caso particular, ya que la nebulosa es muy

cercana (ubicada a unos 130 pc del Sol), el movimiento orbital de las estrellas alrededor de la EC podría estar influyendo significativamente en el movimiento propio total de estas.

Realizando un cálculo aproximado, se puede estimar la significancia de esta influencia. Si consideramos un movimiento orbital circular de una estrella alrededor de la EC, la velocidad orbital viene dada por:

$$v_0 = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}},$$

donde G es la constante gravitacional universal, M la masa de la EC y R la distancia de separación entre ambas estrellas. En este caso no conocemos la masa de la EC, pero sabemos que se trata de una enana blanca, y que la mayoría de este tipo de estrellas tienen masas de entre 0.5 y 0.7 M_{\odot} . Por lo tanto, le asignaremos una masa media de 0.6 M_{\odot} . En cuanto a la distancia de separación, tomaremos la de la estrella más lejana (caso cuya velocidad es más conservadora), es decir, $R = 6528$ AU. En consecuencia, se obtiene la siguiente velocidad orbital:

$$v_0 = 369.7 \text{ m/s.}$$

Para ver como contribuye esta velocidad en el movimiento propio total de la estrella, es necesario transformarla a velocidad angular (w), obteniendo así su desplazamiento angular en el plano del cielo. La velocidad angular se puede calcular a través de la simple relación $v_0 = D \cdot w$, donde D es la distancia a la que se encuentra la estrella desde el Sol. Esta distancia ya la conocemos y es de 129 pc. Por lo tanto, obtenemos una velocidad angular de $w = 9.3 \cdot 10^{-17}$ Rad/s. Pasando ahora este valor a unidades de mas/yr, como se mide el movimiento propio, se obtiene un valor de $w = 0.604$ mas/yr.

Este valor sería el módulo de la velocidad, pero habría que ver cual sería el valor de cada componente en los ejes de coordenadas RA y Dec. En media, el módulo se va a proyectar en igual cantidad en ambos ejes de coordenadas. Por lo tanto, si $w = \sqrt{w_{RA}^2 + w_{Dec}^2}$, tendríamos que $w = \sqrt{2 \cdot w_{RA}^2}$. Finalmente, podríamos estimar ese valor de la componente, que sería igual a ese movimiento propio extra (μ) que estaría contribuyendo al movimiento propio total de la estrella:

$$\mu = w_{RA} = \frac{w}{\sqrt{2}} = 0.427 \text{ mas/yr.}$$

Mediante este cálculo aproximado, se ha podido estimar que el movimiento orbital podría estar influyendo hasta en un rango de ± 0.43 mas/yr sobre el movimiento propio total, lo que podría hacer que los movimientos propios de estas tres estrellas fueran coincidentes según nuestro algoritmo. Por lo tanto, es posible que estemos frente a un sistema estelar triple asociado a esta nebulosa. A pesar de que la estabilidad de este tipo de sistemas en la fase de NP es muy dudoso (Jones et al. [81]), se ha llegado a probar la existencia de al menos uno de ellos. Concretamente, en la nebulosa NGC 246 (Adam and Mugaer [67]). Por otra parte, atendiendo al color y al brillo de estos tres objetos estelares, se podría decir que se tratan de enanas blancas calientes.

3.4.2 Búsqueda de Binarias Próximas

La altamente precisa astrometría de Gaia EDR3 permite distinguir fuentes estelares separadas entre sí a distancias angulares tan pequeñas como unos 0.2 arcsec, según se explica en el trabajo de Lindegren et al. [75]. Por debajo de estas distancias angulares dos estrellas no podrán detectarse como dos fuentes separadas, pareciendo que hay una única fuente.

Los sistemas binarios próximos, cuyas componentes estelares están suficientemente cerca para incluso transferirse masa mutuamente (ver Figura 3.34), tienen distancias de separación por debajo de esa resolución de Gaia. Por lo tanto, para buscar sistemas binarios próximos en NPs, no será válido el método utilizado hasta ahora, basado en la posición y los movimientos propios de las fuentes, ya que ambas componentes se detectarán como una sola fuente. Sin embargo,



FIGURA 3.34: Sistema estelar binario, transfiriéndose masa entre ambas estrellas. Imagen: Mark A. Garlick.

sabiendo que la presencia de una posible estrella compañera podría estar interfiriendo en la calidad de la detección de la EC, se podría deducir que en los casos en la que

esta calidad sea suficientemente baja, la posibilidad de que existiese un sistema binario próximo en esa NP sería notablemente mayor.

Para profundizar en esta hipótesis, analizamos varios parámetros proporcionados por Gaia EDR3 que están relacionados con esa calidad en la detección. Concretamente, el parámetro *astrometric excess noise* (mide la diferencia entre la observación de una fuente y el mejor modelo astrométrico estandar de ajuste), el parámetro *IPD⁵ harmonic amplitude* (mide la desviación con el ajuste del centroide de la imagen detectada), el parámetro RUWE (Renormalised Unit Weight Error) y los valores de incertidumbre en las coordenadas RA y Dec.

Por otra parte, el color Gaia de las estrellas también puede ayudar a clarificar la detección de sistemas binarios próximos. Como ya sabemos, las ECNPs tienden a mostrar colores azules, indicadores de que poseen temperaturas suficientemente elevadas como para ionizar la nebulosa. Sin embargo, muchas de las ECs de la muestra GAPN-EDR3 tienen colores Gaia rojos. En algunos de estos casos, esto podría deberse a la presencia de una posible estrella compañera que estuviera eclipsando y enrojeciendo a la EC. Por lo tanto, cabe pensar que las ECs rojas tengan más probabilidad de pertenecer a un sistema binario próximo, y consecuentemente, presentar valores mayores en los parámetros que miden el error de la calidad de detección.

Así pues, realizamos un análisis sobre los parámetros de calidad dividiendo previamente la muestra de ECNPs en dos conjuntos de acuerdo a su color: azules y rojas. Así, se puede comparar los valores que toman estos parámetros en cada uno de los conjuntos. Además, como inicialmente fueron descartadas de la muestra general aquellas ECNPs pertenecientes al grupo de fiabilidad C por tener colores demasiado rojos o por estar muy alejadas del centro nebuloso, recuperaremos para este análisis aquellas estrellas del grupo C ubicadas a no más del 50% de su centro nebuloso (puesto que esta es la distancia máxima permitida para las estrellas del grupo A y B). Ya que el hecho de que sean rojas no es discriminatorio para este estudio. Finalmente, aplicamos a este conjunto de objetos del grupo C las mismas restricciones de filtrado que impusimos para seleccionar la muestra GAPN-EDR3 (ver Sección 3.2), quedándonos con 59 objetos extra que se añaden a la muestra original para llevar a cabo este análisis.

⁵Image Parameter Determination procedure

TABLA 3.5: Valores medios (con valor de incertidumbre) de los parámetros de calidad astrométricos y de ajuste de la imagen para los conjuntos de ECNPs azules y rojas.

Parámetro	Azules	Rojas	p-valor	D-valor
<i>Astrometric excess noise</i>	0.287 (0.060)	0.393 (0.076)	0	0.358
<i>IPD harmonic amplitude</i>	0.043 (0.015)	0.056 (0.017)	0	0.217
<i>RA error</i>	0.047 (0.013)	0.053 (0.017)	0.001	0.177
<i>Dec error</i>	0.044 (0.010)	0.049 (0.015)	0.001	0.189
<i>RUWE</i>	1.013 (0.051)	1.059 (0.042)	0.080	0.117

Nota: p-valores y D-valores obtenidos de un test estadístico de Kolmogorov-Smirnov entre ambos conjuntos y sobre cada uno de los parámetros de calidad.

Una vez dividida la muestra en los dos conjuntos, azules ($G_{BP-RP} \leq -0.2$) y rojas ($G_{BP-RP} > -0.2$), calculamos los valores medios de los parámetros de calidad para cada uno de los conjuntos. Los resultados se muestran en las primeras columnas de la Tabla 3.5. Como puede apreciarse, los valores medios de estos parámetros son ligeramente superiores en la muestra de estrellas rojas. Esto supone, que en general, las estrellas rojas tienden a tener una mayor diferencia entre las mediciones astrométricas y los modelos de ajuste, que la desviación en el ajuste del centroide de la imagen es mayor, que la medición de las coordenadas RA y Dec es más imprecisa y que el parámetro RUWE está más lejano a 1 (valor esperado para una medición perfecta). Todo esto nos lleva a suponer que las estrellas rojas tienden a tener valores de estos parámetros más relacionados con la posible presencia de una estrella compañera, en comparación con las estrellas azules.

A continuación, con el objetivo de reforzar esta suposición, realizamos un análisis estadístico sobre los parámetros de calidad entre los dos conjuntos. Concretamente, ejecutamos un test estadístico de Kolmogorov-Smirnov⁶ para medir la significancia de la similitud entre los dos conjuntos, con la idea de demostrar que la distribución de estos parámetros es diferente en cada uno de los conjuntos. Y poder concluir así, que las ECNPs rojas están realmente más relacionadas con la binariedad próxima que las azules.

El test de Kolmogorov-Smirnov es un test estadístico no-paramétrico que mide la diferencia entre las distribuciones de probabilidad acumulativa de dos muestras diferentes sobre una variable. Como resultado de este test se obtienen dos parámetros estadísticos que dan información sobre la similitud de las dos muestras: el p-valor y el D-valor. Si el p-valor es menor que un cierto parámetro α (normalmente de valor 0.01 o 0.05), se considera que ambas muestras tienen una distribución diferente respecto a cierta variable. De lo contrario, no se podría descartar su similitud. Para este análisis, hemos tomado

⁶https://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_de_Kolmogorov-Smirnov

$\alpha = 0.01$ para obtener un mayor nivel de significancia, que corresponde a una fiabilidad del 99%. Por otra parte, si el D-valor es mayor que cierto parámetro D_α , se puede concluir que ambas muestras tienen una distribución diferente. De lo contrario, no se podría descartar la similitud. El valor del parámetro D_α depende de la población de las muestras y del propio α mediante la siguiente relación:

$$D_\alpha = c(\alpha) \cdot \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}},$$

donde $c(0.01) = 1.63$, n_1 es la población de la muestra azul y n_2 es la población de la muestra roja. Por lo tanto, tenemos que $D_\alpha = 0.153$.

Tras ejecutar el test, obtuvimos los p-valores y D-valores que se muestran en las dos últimas columnas de la Tabla 3.5. Respecto a los p-valores, sobre todos los parámetros de calidad se obtienen valores que excluyen la posibilidad de que ambos conjuntos tengan una distribución similar, ya que todos toman valores por debajo de 0.01. En cuanto a los D-valores, únicamente para el parámetro RUWE obtenemos un resultado por debajo de 0.153, lo que indica que no puede descartarse una posible similitud entre los dos conjuntos. Sobre el resto de parámetros obtenemos valores que permiten descartar esta similitud. De todas formas, hay que recordar y recalcar aquí que los parámetros RUWE de los objetos de esta muestra están sesgados, ya que los objetos pasaron un filtrado que exigía que tuvieran un RUWE menor de 1.4. Y este efecto podría estar influyendo en los resultados del test sobre esta variable.

En general, estos resultados nos llevan a concluir que los parámetros de calidad de detección del conjunto de las ECNPs rojas tienen una distribución diferente que aquellos del conjunto de ECNPs azules. Lo que refuerza la hipótesis de que las estrellas rojas tienden a tener más posibilidad de pertenecer a un sistema estelar próximo que las estrellas azules.

Por otra parte, podemos comparar estos dos conjuntos con el conjunto de sistemas binarios próximos detectado por Chornay et al. [82]. En ese estudio se utilizan los datos de Gaia DR2 para buscar estrellas compañeras próximas a ECNPs mediante el análisis de la variabilidad de la fotometría multi-época y la incertidumbre en el exceso de fotometría. Si se realiza un test de Kolmogorov-Smirnov entre este conjunto y nuestro conjunto de estrellas rojas, se obtiene como resultado que, sobre cuatro de los cinco

parámetros de calidad, ambos conjuntos podrían tener una distribución similar. Mientras que ejecutando el test entre el conjunto de Chornay y nuestro conjunto de estrellas azules, se obtiene una posible similitud únicamente sobre dos de los cinco parámetros de calidad. Estos resultados también van en concordancia con la idea de que las ECNPs rojas tendrían más afinidad con la binariedad próxima que las ECNPs azules.

Sabiendo esto, tratamos de ver si podría haber una relación entre la binariedad próxima en NPs y la morfología nebular. Como ya se explicó en la Introducción, en el caso de sistemas binarios próximos, puede darse una fuerte interacción entre ambas estrellas, lo que podría afectar significativamente en la morfología nebular.

Esta interacción entre ambas estrellas podría ser suficientemente fuerte como para llegar a producirse un transporte de masa de una a la otra, bien a través de los vientos estelares o bien por el efecto conocido como *Roche-lobe overflow*. Este fenómeno de transferencia de masa estelar se da cuando parte de la masa de una de las dos estrellas (normalmente la estrella compañera), sale de la región en la cual la masa estelar permanece

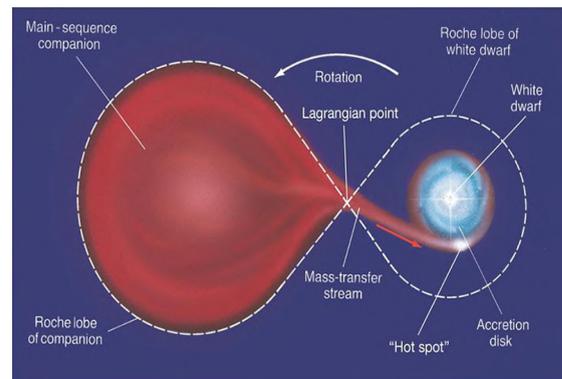


FIGURA 3.35: Fenómeno de *Roche-lobe overflow* entre dos estrellas unidas gravitacionalmente.⁷

gravitacionalmente unida a la estrella (esta región es conocida como Roche-lobe), y pasa a entrar en la región gravitatoria de la otra estrella, produciéndose un transporte de masa de la primera a la segunda estrella. En la Figura 3.35 puede verse como se produce este fenómeno y como la transferencia de masa se daría a través del punto de Lagrange (punto gravitacionalmente estable) que une ambas regiones del Roche-lobe. Se cree que las morfologías nebulares de tipo bipolar podrían tener su origen mediante esta clase de interacciones producidas en los sistemas binarios próximos.

Analizando la distribución morfológica de las nebulosas dentro de cada una de las dos muestras utilizadas en esta sección (estrellas azules y rojas), podríamos ver si existe alguna diferencia entre ambas distribuciones, y por tanto ver si hay alguna relación entre

⁷<http://www.tayabeixo.org/biografias/roche.htm>

TABLA 3.6: Porcentaje de nebulosas de cada tipo morfológico dentro de las muestras de ECNPs azules y rojas.

Morfología	Estrellas Azules	Estrellas Rojas
<i>Elíptica</i>	39%	40%
<i>Bipolar</i>	21%	27%
<i>Redonda</i>	21%	14%
<i>Tipo-estelar</i>	3%	5%
<i>Irregular</i>	2%	1%
<i>Desconocida</i>	14%	13%

la morfología nebular y la binariedad próxima, relacionada esta última con la población de ECNPs rojas.

En la Tabla 3.6 se muestran estas dos distribuciones, proporcionando el porcentaje de población de cada uno de los tipos morfológicos. En general, se puede ver que los porcentajes son bastante similares entre ambas muestras. Pero sí que se observa una significativa diferencia en la cantidad de nebulosas bipolares y redondas entre ambas muestras. La población de ECNPs rojas tiene un 27% de nebulosas bipolares, mientras que la población de ECNPs azules tiene tan solo un 21%. A su vez, esta diferencia poblacional se ve compensada mediante las nebulosas redondas, ya que la población de ECNPs rojas tiene solo un 14% de nebulosas redondas y la de ECNPs azules contiene hasta un 21%.

En resumen, como la población ECNPs rojas tienen más probabilidad de pertenecer a sistemas binarios próximos, se podría decir que los sistemas binarios próximos tienen más probabilidad de generar una nebulosa de morfología bipolar. Resultado que esta en concordancia con la hipótesis planteada anteriormente.

Capítulo 4

Estrellas post-AGB en Gaia EDR3

En este capítulo analizaremos las estrellas en fase de post-AGB haciendo uso de la base de datos de Gaia EDR3. Comenzaremos explicando el proceso de colección y selección de objetos candidatos a post-AGB presentes en la bibliografía actual, con el objetivo de crear una muestra sobre la cual estudiar este tipo de estrellas. Tras filtrar la muestra y quedarnos con los objetos con distancias más precisas, estudiaremos las propiedades físicas y evolutivas de este conjunto de estrellas. Después, ubicaremos estos objetos en un diagrama HR, con el objetivo de clasificarlos en función de su fase evolutiva, e identificar así los objetos más probables de ser estrellas en fase de post-AGB. Finalmente, nos centraremos en analizar el conjunto de estrellas identificadas como post-AGBs.

4.1 Selección de la muestra general

El primer paso para llevar a cabo esta investigación fue inspeccionar los catálogos existentes en la bibliografía sobre estrellas en fase post-AGB, con el objetivo de crear una muestra general de objetos candidatos o confirmados como post-AGBs.

Así pues, decidimos hacer uso del catálogo de Torun¹ de estrellas post-AGB galácticas (Szczerba et al. [10]), de la base de datos astronómica de Simbad y del atlas espectroscópico de estrellas post-AGB y NPs de Suárez et al. [8]. Concretamente, reunimos todos aquellos objetos catalogados como *Likely* o *Possible* en Torun, como *Post-AGB* o *Candidate post-AGB* en Simbad, y como *post-AGB* en el catálogo de Suárez.

¹<https://www.ncac.torun.pl/postagb>

Finalmente, tras realizar una unificación de nomenclaturas entre los objetos seleccionados de las tres fuentes diferentes, obtuvimos un total de 929 objetos.

Una vez seleccionada esta muestra general de estrellas post-AGB (o candidatas), la idea fue identificarlas entre las fuentes de Gaia EDR3 para poder obtener sus paralajes, y así poder estimar sus distancias. Como ya se vio con las NPs, el conocimiento con precisión de la distancia a una estrella es de gran utilidad, ya que permite calcular sus propiedades físicas y evolutivas a partir de los parámetros observacionales.

Con el objetivo de obtener una buena identificación de estos objetos entre las fuentes de Gaia, decidimos utilizar un radio de búsqueda de tan solo 1 arcsec alrededor de las coordenadas de los objetos, proporcionadas estas en la bibliografía. Pese a ser bastante restrictivos en este proceso, logramos identificar 853 objetos entre las fuentes de Gaia EDR3, lo que equivale al 92% del total de la muestra seleccionada. Como es necesario conocer el paralaje de un objeto para estimar su distancia, descartamos aquellos objetos que no tienen paralaje conocido en EDR3. Así, nos quedamos con un conjunto de 765 objetos.

Como ya se comentó en el capítulo anterior, los paralajes de Gaia EDR3 (π) muestran un pequeño bias o también llamado *zero point* (z_o), que debe ser considerado y substraído del valor medido para obtener el paralaje real (π_o). Recordemos que este *zero point* tomaba un valor medio de $-17 \mu\text{as}$ según el estudio de Lindegren. Pero en general, se observa una cierta dispersión alrededor de este valor, que depende de la posición en la bóveda celeste, del color y de la magnitud del objeto en cuestión. Por tanto, decidimos utilizar la relación que propone Lindegren para estimar el *zero point*, mediante el script de python mencionado anteriormente (véase Sección 3.2). Así, logramos obtener el *zero point* para cada uno de nuestros objetos. Y finalmente corregimos los paralajes de estos objetos a través de la siguiente simple expresión:

$$\pi_o = \pi - z_o.$$

Aparte de esta corrección, también es necesario corregir el valor de incertidumbre de los paralajes, ya que el valor de incertidumbre que da Gaia EDR3 es únicamente el correspondiente al error interno de la medida, pero también es necesario tener en cuenta el error sistemático. Por lo tanto, para calcular el valor de incertidumbre total de los

paralajes, seguimos las indicaciones dadas en el estudio de validación de Fabricius et al. [76], donde se tienen en cuenta ambos parámetros.

Como es sabido, a partir de la inversa del paralaje de una estrella es posible estimar su distancia. Pero esta sencilla aproximación es solo válida para objetos relativamente cercanos, que en general, no será nuestro caso. Por lo tanto, al igual que hicimos en el estudio de las NPs, utilizamos el método estadístico Bayesiano propuesto por Bailer-Jones et al. [69], que consiste en asumir una densidad de probabilidad de estrellas en la Galaxia que decrece exponencialmente de acuerdo a una escala de distancia apropiada. Este método no solo proporciona la distancia estimada a un objeto, si no que también proporciona una cota inferior y superior de la distancia al objeto. Por tanto, podemos obtener sus valores de incertidumbre inferior y superior a partir de estos parámetros.

Si se quiere analizar las propiedades de estas estrellas con detalle, es necesario tener distancias precisas a estos objetos. Para ello, al igual que hicimos en el estudio de las NPs, aplicamos un filtrado a la muestra, de acuerdo a la incertidumbre en la distancia y a la calidad de los parámetros astrométricos de las estrellas, para quedarnos únicamente con aquellos objetos que tengan distancias más precisas.

Concretamente, impusimos las siguientes condiciones de filtrado: que los objetos tengan un error relativo del paralaje y de la distancia (tanto inferior como superior) por debajo del 30%, y que tengan los parámetros de calidad astrométrica UWE y RUWE por debajo de cierto umbral ($UWE < 1.96$ o $RUWE < 1.4$). Tras aplicar este filtrado, nos quedamos con una pequeña muestra de 179 objetos con una astrometría suficientemente precisa.

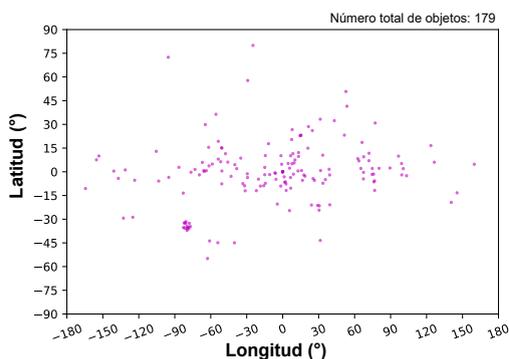


FIGURA 4.1: Distribución galáctica (longitud vs latitud) de los 179 objetos de la muestra filtrada.

Si se analiza la distribución galáctica de estos objetos en función de su latitud y longitud (ver Figura 4.1), se puede ver como tienden a ubicarse cerca del plano galáctico, a latitudes de $\pm 15^\circ$, y en dirección al centro galáctico, a longitudes de $\pm 60^\circ$, como cabe esperar.

Un resultado curioso de esta distribución, es la aparición de un pequeño cúmulo de 20 objetos en el hemisferio sur, como

puede apreciarse en la gráfica. Buscando las coordenadas de esa zona en Simbad, vimos que esa región correspondía a LMC. Es decir, que este conjunto de objetos está situado en la línea de visión de LMC, aunque estos objetos no tienen por qué estar contenidos en ella. En principio, parecería bastante probable que sí perteneciesen a la LMC, puesto que se concentrasen en esa zona solo por casualidad parece poco probable. Sin embargo, como la zona LMC ha sido más analizada que el resto de la bóveda celeste, en general, también podría darse la posibilidad de que haya muchos objetos en esa sección celeste.

En cualquier caso, decidimos separar provisionalmente este pequeño conjunto de objetos de nuestra muestra, ya que si realmente se encontrasen situados en LMC, podrían seguir otros modelos evolutivos que los objetos galácticos. Los estudiaremos por separado más tarde. Por tanto, ahora nos focalizaremos en los 159 objetos galácticos restantes candidatos a estrellas post-AGB.

Es interesante analizar la distancia a la que se encuentran estos objetos. Para ello, en la Figura 4.2, mostramos la distribución de distancias de la muestra. Como puede verse, la mayoría de estos objetos están situados a menos de 5 kpc del Sol. Sin embargo, también hay varios objetos mucho más lejanos de esta distancia, ubicándose los más lejanos a más de 10 kpc. Mientras que el valor medio de la distancia de la muestra es:

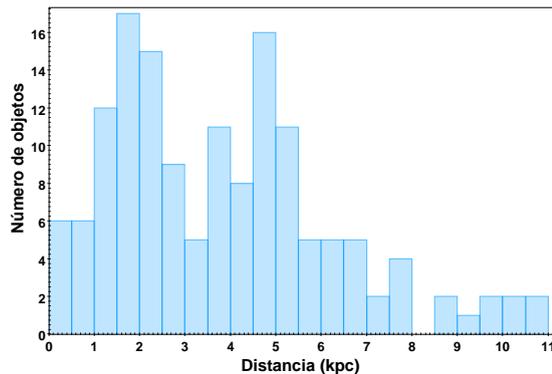


FIGURA 4.2: Distribución de distancias de los 159 candidatos a post-AGB galácticos de la muestra seleccionada.

$$\langle D \rangle = 3.86 \pm 1.65 \text{ kpc.}$$

En esta distribución también puede apreciarse la presencia de dos picos de máximo poblacional, uno de ellos en la región 1.5-2 kpc y el otro en la zona 4.5-5 kpc. Por tanto, este perfil de distancias hace muy difícil determinar cual sería la completitud de la muestra. Los valores de distancia individuales de estos objetos pueden consultarse en las tablas de objetos post-AGB y candidatos de la siguiente sección (4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

4.2 Búsqueda de estrellas post-AGB

En esta sección se explica el análisis que llevamos a cabo para tratar de determinar qué objetos de la muestra de candidatos seleccionada son realmente estrellas en fase post-AGB. Para ello, trataremos de colocar los objetos de la muestra en un diagrama HR, para poder esclarecer un poco su estado evolutivo. Por tanto, es necesario conocer sus luminosidades y temperaturas efectivas.

Concretamente, la luminosidad de una estrella puede ser una propiedad muy útil para distinguir entre estrellas post-AGB y otro tipo de estrellas que también estarían ubicadas fuera de la Secuencia Principal del diagrama HR, como pueden ser las supergigantes, las post-RGBs o los YSOs.

Según el criterio seguido por Kamath et al. [11], las estrellas post-AGB deberían tener luminosidades de entre $2\,500 L_{\odot}$ y $35\,000 L_{\odot}$ ($3.4 < \log(\frac{L}{L_{\odot}}) < 4.54$). Mientras que los objetos por encima de esa luminosidad máxima deberían ser estrellas supergigantes, y los objetos por debajo de esa luminosidad mínima estrellas post-RGBs o YSOs. Dentro de esta población de objetos de baja luminosidad, aquellos objetos por debajo de las $100 L_{\odot}$ ($\log(\frac{L}{L_{\odot}}) < 2$), se espera que sean YSOs. Así pues, decidimos seguir este criterio de Kamath para clasificar los diferentes objetos de nuestra muestra.

Para poder estimar la luminosidad de una estrella, es necesario conocer su brillo aparente, la distancia a la que se encuentra y la extinción interestelar a la que está sometida. Teniendo esto en cuenta, hay diferentes formas de obtener la luminosidad de una estrella. La más común es a partir de la obtención de la magnitud V absoluta, para después aplicar una corrección bolométrica y calcular la correspondiente magnitud bolométrica absoluta, recordemos:

$$M_V = m_V + 5 - 5 \cdot \log_{10}(D) - A_V.$$

$$M_{Bol} = M_V + CB \Rightarrow \log\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) = \frac{M_{Bol} - M_{Bol\odot}}{2.5}.$$

Otra forma de estimar la luminosidad, es utilizando la fotometría de la estrella en varias bandas y poder construir así su SED. Para después ajustar esta SED a un cierto modelo

de emisión y poder predecir su temperatura y luminosidad. En este caso, decidimos utilizar este segundo método para estimar las luminosidades de los objetos de nuestra muestra, ya que la aplicación de diferentes puntos fotométricos debería ser más fiable que aplicar únicamente la magnitud V del visible. Además, a través de este método, también se puede obtener la temperatura efectiva de la estrella, en lugar de tener que mezclar varios valores bibliográficos de temperatura.

Nótese que en el caso de las ECNPs no pudimos utilizar este método, ya que se trata de estrellas demasiado calientes para poder ser ajustadas a alguno de los modelos disponibles. Pero en este caso, se espera que las temperaturas sean considerablemente más bajas, por debajo de los 20 000 K en su gran mayoría, por lo que sí se podrán realizar los ajustes.

Para llevar a cabo esta tarea, al igual que hicimos en el estudio de las estrellas binarias en capítulos anteriores, utilizamos el software VOSA de la plataforma del *Spanish Virtual Observatory*. Este programa necesita varios parámetros de la estrella como *input* para poder construir la SED: las coordenadas, la distancia (con valores de incertidumbre) y el valor de extinción interestelar.

A través de Gaia EDR3 hemos obtenido las coordenadas y la distancia a los objetos de la muestra, pero hemos tenido que hacer un estudio bibliográfico para obtener los valores de extinción interestelar. Tras analizar y contrastar los datos de diferentes catálogos y mapas de polvo interestelar, decidimos hacer uso de los valores de extinción de Stassun [83]. Este catálogo contiene valores de extinción para casi todos nuestros objetos, principalmente obtenidos de mapas de polvo (dependientes de la distancia cuando están disponibles). Así pues, logramos obtener el valor de extinción para un total de 146 objetos de la muestra, es decir, para en torno al 92% de todos los objetos.

Una vez obtenidos los parámetros necesarios como *input* para el VOSA de todos estos objetos, logramos construir la SED para cada uno de ellos, consultando todos los catálogos fotométricos en el óptico proporcionados por VOSA. A continuación, fuimos revisando las SEDs una a una para verificar si había algún punto fotométrico discordante, y eliminarlo en tal caso. Tras esta verificación, ajustamos las SEDs de los objetos a los modelos fotométricos de Castelli and Kurucz [84], y como resultado, obtuvimos un valor estimado de la luminosidad y de la temperatura efectiva (con sus correspondientes valores de incertidumbre) para cada uno de los 146 objetos del conjunto.

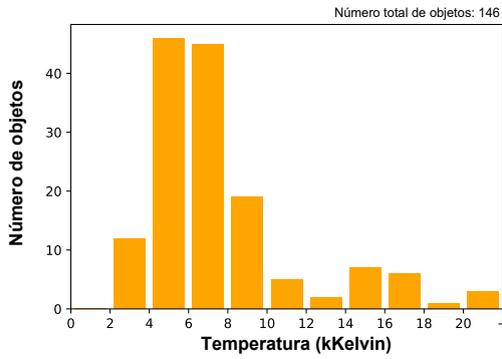


FIGURA 4.3: Distribución de temperaturas efectivas para los 146 objetos de la muestra.

En la Figura 4.3, hemos representado la distribución de temperaturas de estos objetos. En esta gráfica se puede apreciar como la gran mayoría de estrellas (el 84% de ellas) tienen temperaturas efectivas por debajo de los 10 000 K. Más concretamente, la mayoría de ellas muestran temperaturas de entre 4000 y 8000 K, que es la temperatura típica de las estrellas en fase post-AGB. Por otra

parte, solo hay tres objetos con temperaturas por encima de los 20 000 K. Se trataría de estrellas que estarían comenzado a ionizar parcialmente la envoltura y aproximándose a la fase de nebulosa planetaria.

En cuanto a las luminosidades, tenemos una amplia variedad de valores. Como puede verse en la Figura 4.4, las estrellas menos luminosas estarían por debajo de $1 L_{\odot}$ ($\log(\frac{L}{L_{\odot}}) = 0$), mientras que las más luminosas alcanzarían más de 100 000 L_{\odot} ($\log(\frac{L}{L_{\odot}}) = 5$). De todas formas, la mayoría de los objetos tienen luminosidades en el rango de $2.5 < \log(\frac{L}{L_{\odot}}) < 4$, que sería la región correspondiente a las estrellas post-AGB

y post-RGB, según el criterio de Kamath. Concretamente, el rango de valores $3 < \log(\frac{L}{L_{\odot}}) < 3.5$, es muy interesante de analizar, puesto que sería la zona donde estos dos tipos de estrellas se solaparían. Además, un gran número (el 34%) de las estrellas de esta muestra, se ubican en esta región de luminosidades.

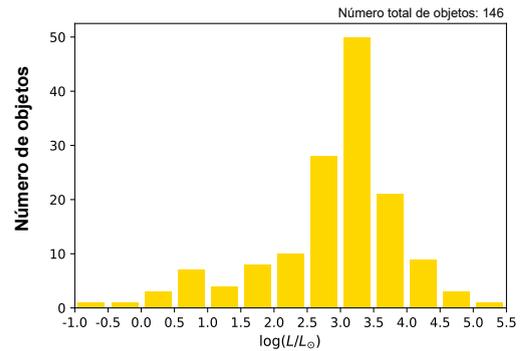


FIGURA 4.4: Distribución de luminosidades para los 146 objetos de la muestra.

Los valores individuales de temperaturas efectivas y luminosidades de los 146 objetos de la muestra pueden consultarse en las Tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 de objetos post-AGB y candidatos.

Finalmente, con el conocimiento de las luminosidades (y considerando también sus valores

de incertidumbre) y aplicando el criterio de Kamath mencionado anteriormente, pudimos clasificar los objetos de nuestra muestra en los diferentes tipos estelares, obteniendo la siguiente distribución:

- post-AGB: 46 objetos
- post-RGB: 72 objetos
- YSO: 22 objetos
- Supergigante: 6 objetos

Por lo tanto, en torno a una tercera parte de la muestra, 46 objetos, serían realmente estrellas post-AGB confirmadas. Por otra parte, cabe destacar que casi la mitad de los objetos (72) serían estrellas post-RGB. Mientras que únicamente tendríamos 22 YSOs y 6 supergigantes en la muestra.

Para ilustrar estos resultados, ubicamos todos los objetos de la muestra en un diagrama HR (Figura 4.5) en función de su temperatura y luminosidad. Además, también añadimos las trazas evolutivas Miller Bertolami [7] para estrellas en fase post-AGB y fase de nebulosa planetaria. Concretamente, utilizamos el modelo con metalicidad igual a $Z = 0.02$, cuyas trazas evolutivas cubren el rango de entre 1 y $4 M_{\odot}$, y son compatibles con el criterio de Kamath. Nótese que estas masas son las correspondientes a las que tenía la estrella en la SP, ya que entradas en la fase post-AGB habrán perdido una parte importante de su masa inicial.

Como puede apreciarse, todos los objetos catalogados como post-AGB, caen dentro de la región inicial de las trazas (teniendo en cuenta sus barras de error), como cabe esperar para las estrellas en fase de post-AGB. Por otra parte, las supergigantes están situadas por encima de las trazas, mientras que las estrellas post-RGB e YSO están ubicadas por debajo de estas. Por lo tanto, estos resultados refuerzan el criterio de luminosidad utilizado para identificar estrellas post-AGB.

Entre los objetos pertenecientes a estos cuatro tipos estelares, también hemos indicado en el diagrama HR aquellos que pueden ser posibles estrellas binarias, de acuerdo con la clasificación del catálogo de Torun y del estudio de Kluska et al. [85]. En concreto, tendríamos 10 post-AGB binarias y 1 supergigante binaria.

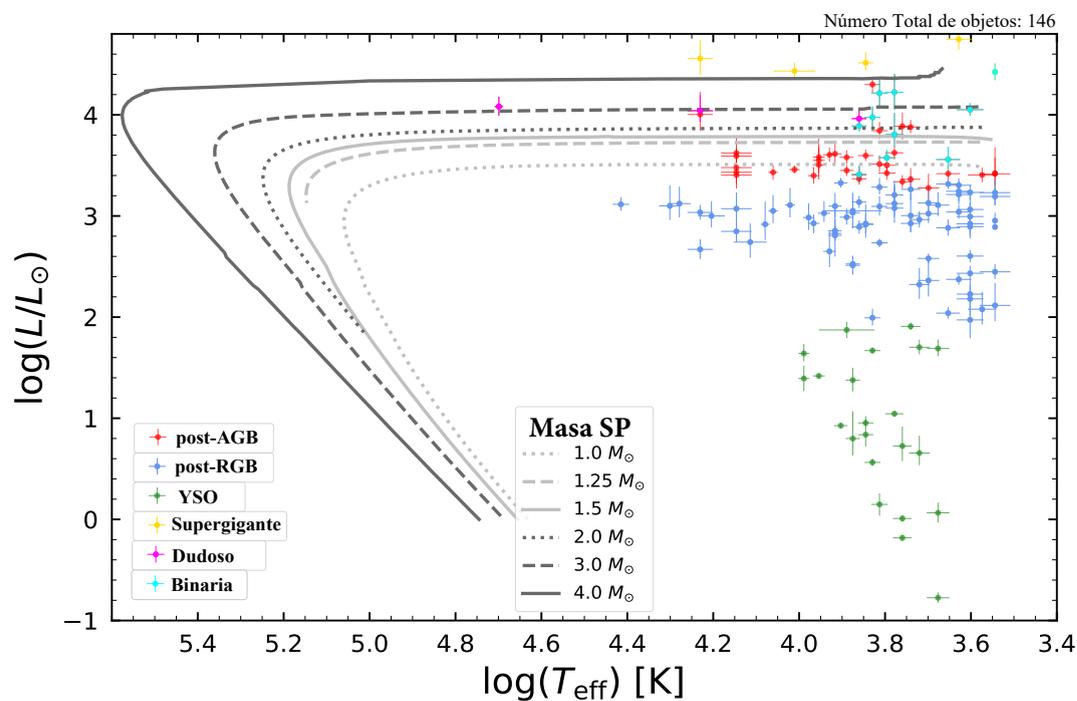


FIGURA 4.5: Diagrama HR con los 146 objetos de la muestra, junto con las trazas evolutivas de Miller Bertolami [7] con $Z = 0.02$. Los objetos están clasificados en diferentes tipos estelares en función del criterio de Kamath.

Finalmente, hemos indicado como objetos *doubtful* en el diagrama HR, aquellas post-AGB de la muestra que no habían sido confirmadas como tal anteriormente. Es decir, que no están catalogadas como *Likely* en el catálogo de Torun, ni en Simbad ni en el catálogo de Suárez como *post-AGB* confirmadas. Únicamente tenemos tres post-AGBs clasificadas como *doubtful*, que se analizarán al detalle en la próxima sección.

TABLA 4.1: Parámetros astrométricos y evolutivos de las 46 estrellas post-AGB.

Nombre	RA (°)	Dec (°)	Distancia (pc)	T(ef) (K)	Log[L/L _⊙]	Masa (M _⊙)	Edad(evo) (kyr)	Tipo Espectral
89 Her (**)	268.8550	26.0500	1307	6750	3.98	2.57	1.80	F2Ibp
2MASS J06544616-1048325	103.6924	-10.8091	5633	9250	3.40	< 1.0	9.58	OB+
2MASS J17442550-1937537	266.1063	-19.6316	6639	14000	3.62	1.13	7.57	OB+
BD+48 1220	76.9596	48.4026	2839	7250	3.37	< 1.0	9.18	A4Ia
BD-02 4931	289.5946	-2.7031	3661	7250	3.41	< 1.0	9.18	B1III
CD-30 15464 (*)	274.0020	-30.7565	9965	17000	4.04	2.88	2.17	B1Ib
CD-42 8141	197.1931	-43.4642	5862	17000	4.00	2.72	2.01	B2I
CD-46 11775	265.6416	-46.9802	4982	14000	3.43	< 1.0	10.68	OB+
CD-48 11445 (**)	256.9027	-48.3190	4718	6000	3.81	1.62	1.53	G2p(R)
CD-53 5736	223.1197	-54.2952	3421	8500	3.60	1.11	6.28	A0Ie
CD-54 5573	212.6620	-55.0075	4340	7750	3.58	1.08	5.70	A3I
CD-54 6746	246.1641	-54.6358	2138	14000	3.59	1.09	7.00	B8Iab
CD-55 5174	202.4626	-56.1149	2822	14000	3.40	< 1.0	10.68	B1Iae
CD-59 6142	246.2609	-60.0590	5021	8250	3.61	1.12	6.49	A3Ie
EM* StHA 161	290.4804	35.0486	10312	9000	3.58	1.08	5.76	Fe
HD 53300 (*)	106.0812	-5.3054	2916	7250	3.96	2.50	1.74	A2II
HD 56126	109.0427	9.9967	2099	4500	3.42	< 1.0	6.83	F0/5Ia
HD 93662 (**)	161.9099	-57.4674	1104	4000	4.05	2.88	1.17	K5
HD 101584 (**)	175.2450	-55.5738	1788	7250	3.89	2.12	1.34	F0Iape
HD 105262	181.7952	12.9853	1567	7750	3.45	< 1.0	9.31	B9 Ib
HD 108015 (**)	186.2229	-47.1521	5130	6500	4.21	3.49	-0.11	F3/5Ib/II
HD 133656	226.8643	-48.2983	1708	7000	3.60	1.10	6.10	A1/A2Ib/II
HD 161796	266.2311	50.0442	1921	6000	3.62	1.13	6.52	F3Ib
HD 172481 (**)	280.4040	-27.9504	6999	6000	4.22	3.52	0.86	F2/3Ia
HD 187885	298.2196	-17.0306	2310	6500	3.51	1.03	3.74	F0Ie
HD 235858	337.2932	54.8517	1410	3750	3.41	< 1.0	0.00	G5Ia
HD 306753	174.4288	-60.8976	5416	11500	3.43	< 1.0	9.98	A0
IRAS 01259+6823 (*)	22.3892	68.6547	4817	6250	3.42	< 1.0	8.96	F5Ie
IRAS 12360-5740	189.7213	-57.9422	9082	6250	3.50	< 1.0	8.96	-
IRAS 14527-6204	224.1857	-62.2815	3631	3500	3.42	< 1.0	0.00	-
IRAS 17433-1750	266.5659	-17.8628	9585	3500	3.42	< 1.0	0.00	M2I
IRAS 18084-1737 (*)	272.8678	-17.6110	1474	50000	4.08	3.15	0.68	G3I
IRAS 18435-0052	281.5326	-0.8114	2082	10250	3.46	< 1.0	9.77	B2II
LS IV - 04 1	254.1156	-4.7900	10863	9000	3.55	1.05	5.04	B
LS IV - 15 3	260.7996	-15.6209	7934	9000	3.50	< 1.0	9.54	A0Ie
LS II +34 26	312.0693	34.4567	4720	14000	3.48	< 1.0	10.68	B1.5Ia
V* HP Lyr	290.4128	39.9356	10720	5750	3.89	2.09	0.31	A3Ia/Iab
V* LN Hya	194.1256	-26.4604	1684	5500	3.88	2.06	0.27	F3Ia
V* PS Gem (**)	105.9151	10.7703	1813	6250	3.58	1.08	4.62	A0
V* TX Oph	256.0003	4.9835	4682	5500	3.36	< 1.0	8.54	F8Iae
V* V2053 Oph (**)	273.7058	5.2155	4188	4500	3.56	1.06	3.25	C
V* V340 Ser	262.6955	-11.3689	4269	6500	3.84	1.85	3.03	F2/3II
V* V400 Sco	267.8291	-36.1824	8617	5000	3.28	1.00	2.93	-
V* V421 CMa (**)	109.0345	-23.4504	5122	7250	3.41	< 1.0	9.18	F5
V* V802 Car (**)	165.5179	-62.1619	4404	6750	4.30	3.79	1.07	F2III
V* V956 Cen	198.5344	-54.6930	1535	5750	3.34	< 1.0	8.68	F5Ia/ab

(*) : Objeto no confirmado aún como estrella post-AGB en la bibliografía.

(**) : Posible estrella binaria.

Tipos espectrales obtenidos de la base de datos de Simbad.

TABLA 4.2: Parámetros astrométricos y evolutivos de las 6 estrellas supergigantes.

Nombre	RA (°)	Dec (°)	Distancia (pc)	Altura Gal. (pc)	T(ef) (K)	Log[L/L _⊙]	Tipo Espectral
42 Cyg	307.3350	36.4547	1139	29	10250	4.43	A2Iab-Ib
HD 148743	247.6251	-7.5144	3101	1394	7000	4.51	A7Ib
HD 167402	274.0779	-30.1249	4940	550	17000	4.56	O9.5/B0Ib/II
HD 179821	288.4942	0.1255	4432	383	4250	4.75	G4_0-Ia
V* V1027 Cyg	300.6141	30.0737	3723	24	3750	5.26	G7Ia
V* V709 Car	154.8203	-57.3238	4006	22	3500	4.42	G8Ia-0

Tipos espectrales obtenidos de la base de datos de Simbad.

TABLA 4.3: Parámetros astrométricos y evolutivos de las 22 estrellas YSO.

Nombre	RA (°)	Dec (°)	Distancia (pc)	Altura Gal. (pc)	T(ef) (K)	Log[L/L _⊙]	Tipo Espectral
2MASS J14034398-6937097	210.9332	-69.6194	3379	449	5250	0.66	-
BD+32 2754	249.0487	32.4893	307	203	6000	1.04	F8
BPS BS 16479-0009	198.4999	18.5253	3604	3549	9750	1.64	-
EM* VES 351	314.7316	49.5203	623	26	6750	1.67	F3Ie
HD 157350	260.8558	-17.9711	219	39	7750	1.87	A2III/IV
HD 246299	85.2377	10.2403	937	172	5500	1.91	G2I
IRAS 02528+4350	44.0473	44.0478	390	90	8000	0.93	A0e
IRAS 08351-4634	129.1899	-46.7469	1963	121	6500	0.15	-
IRAS 09370-4826	144.7280	-48.6731	461	23	5750	-0.18	-
IRAS 16494-3930	253.2330	-39.5818	2915	141	5750	0.73	G2I
IRAS 17310-3432	263.5850	-34.5815	2267	38	7500	1.38	-
IRAS 20259+4206	306.9261	42.2789	1060	41	7000	0.95	-
IRAS 20490+5934	312.5566	59.7642	482	83	9000	1.42	A3e
IRAS 21289+5815	322.5952	58.4811	964	88	6750	0.56	A2Ie
IRAS 21525+5643	328.5631	56.9570	2186	76	7000	0.84	-
OH 15.7 +0.8	274.1057	-14.9210	1367	18	4750	0.07	-
OH 17.7 -2.0	277.6288	-14.4793	2348	83	5250	1.70	-
PHL 1580	322.6053	-19.3763	314	216	5750	0.01	B2
RAFGL 6945S	272.8321	-21.9166	2418	64	4750	1.69	-
V* LX And	34.9337	40.4562	508	168	4750	-0.77	-
SDS2012 NGC 6402 160	264.1583	-3.3866	3506	904	7500	0.80	-
SDS2012 Ter 8 38	295.4198	-34.0664	4503	1872	9750	1.39	-

Tipos espectrales obtenidos de la base de datos de Simbad.

TABLA 4.4: Parámetros astrométricos y evolutivos de las 72 estrellas post-RGB.

Nombre	RA (°)	Dec (°)	Distancia (pc)	Altura Gal. (pc)	T(ef) (K)	Log[L/L _⊙]	Tipo Espectral
2MASS J00235767-7205296	5.99	-72.0915	4007	2827	4000	2.92	-
2MASS J01302276-7303339	22.5948	-73.0594	1909	1320	4250	2.37	B
2MASS J05241036-2429206	81.0432	-24.4891	7877	3860	7000	2.92	-
2MASS J13272898-4722472	201.8708	-47.3798	6249	1623	20000	3.10	-
2MASS J16570924-0404243	254.2885	-4.0735	6829	2678	19000	3.12	B
2MASS J17390218-4500388	264.759	-45.0108	4714	599	16000	3.00	-
2MASS J18224265-3014383	275.6778	-30.244	2271	303	4000	2.23	B7Ib
2MASS J18530579-0842378	283.2741	-8.7105	7633	576	9250	2.93	-
BD+33 2642	237.9994	32.9484	3467	2687	14000	3.07	B2 IV _p
BD-13 5550 (P)	300.4576	-12.6883	4734	1717	9500	2.98	B1Iae
CD-24 13065	256.0433	-24.4661	2569	454	14000	2.85	B8
CD-49 8217	207.3232	-50.3793	5380	1067	7500	3.03	B2I
CD-49 11554	263.7604	-49.4407	3858	606	7500	3.05	B3Ie
CI* NGC 6779 SAW V6	289.149	30.1941	10125	1469	5000	3.13	kF5hF8
EM* GGR 44 (P)	331.0512	53.067	5279	180	8250	2.85	B1I
GSC 04501-00166	16.1896	79.4462	3685	1052	8250	2.83	B2Iab
HD 107369	185.1872	-32.5573	2568	1279	7250	2.89	A2II/III
HD 116745	201.6096	-47.2743	4893	1281	6500	3.09	F0Ibp
HD 144941	242.3523	-27.2272	1446	442	17000	3.03	B8
HD 172324 (P)	279.4949	37.4349	1807	576	7250	3.14	A0Iabe
HD 177566 (P)	286.7828	-41.7213	1130	394	26000	3.11	B6Ib
HD 186438	295.7205	37.6782	945	115	6500	2.73	F3Ib
HD 214539	340.1999	-67.6886	1390	981	8000	3.33	B8/9I
IRAS 07227-1320	111.2628	-13.4389	1982	41	3500	2.45	M1I
IRAS 07582-4059	119.9905	-41.1231	3516	360	6750	1.99	-
IRAS 08275-6206	127.1013	-62.2724	1952	456	4000	2.60	-
IRAS 11387-6113	175.2862	-61.5048	5022	20	5500	3.26	A3Ie
IRAS 11531-6111	178.9084	-61.4713	5266	63	7500	2.51	-
IRAS 12145-5834	184.3171	-58.8582	8645	561	8500	2.65	B8Ie
IRAS 13421-6125	206.392	-61.6677	3645	34	5250	2.32	-
IRAS 15066-5532	227.6111	-55.7367	3226	112	7750	2.99	-
IRAS 16086-5255	243.1269	-53.0528	2504	56	7500	2.53	-
IRAS 16476-1122	252.6012	-11.466	1978	690	4000	2.89	M1I

Continúa en la próxima página

Tabla 4.4 – Continuación de la página anterior

Nombre	RA ($^{\circ}$)	Dec ($^{\circ}$)	Distancia (pc)	Altura Gal. (pc)	T(ef) (K)	Log[L/L $_{\odot}$]	Tipo Espectral
IRAS 17208-3859	261.0812	-39.0294	4277	131	4000	1.97	-
IRAS 17223-2659	261.361	-27.0337	5204	433	8250	2.81	-
IRAS 17287-3443	263.0201	-34.7591	2533	30	4750	3.11	-
IRAS 17332-2215	264.0712	-22.2889	4882	451	4000	2.18	-
IRAS 17364-1238	264.8205	-12.6749	5991	1011	8750	3.03	-
IRAS 17581-2926	270.314	-29.4441	2082	116	3500	3.19	-
IRAS 18113-2503	273.6136	-25.0502	5217	331	5000	2.36	-
IRAS 18158-3445	274.8057	-34.7417	6605	1040	4000	2.99	F6
IRAS 19075+0432	287.4997	4.619	4898	172	6000	3.12	-
IRAS 19225+3013	291.1122	30.3241	6087	730	3500	3.23	M2II
IRAS 19454+2920	296.8533	29.4696	6830	252	7000	2.92	C-rich
IRAS 20094+3721	302.82	37.5145	1787	66	5000	2.58	-
IRAS 20244+3509	306.6048	35.3204	1694	49	4000	2.43	-
LB 3193	19.7215	-61.9281	5710	4671	13000	2.74	-
LS 4331	265.2502	-16.3035	6437	840	11500	3.05	B1Ibe
LS 5112	280.2026	-17.0773	5354	506	8250	3.10	B1IIIep
LSE 63	280.0917	-31.9469	7318	1499	10500	3.11	B1Iabe
NGC 6254 1035	254.2989	-4.0666	5974	2342	6000	3.08	G0e
OH 345.05 -1.86	258.0907	-42.4193	2838	92	3500	2.12	-
PG 1704+222	256.6924	22.0978	7513	4021	12000	2.92	sdB3IHe8
PN G038.7+01.5	284.0942	5.8833	1083	30	4500	2.04	-
PN PM 1-243	278.7396	-13.9802	3958	190	3750	2.08	-
V* AD Aql	284.7862	-8.1706	6147	580	6000	3.21	kF1hF5cnG5Ib
V* AU Vul	304.5245	27.7343	2317	182	4250	3.30	F3Ie
V* BZ Pyx	137.0422	-28.3195	4556	1020	5500	2.93	F6Ia
V* CE Vir	207.3212	-1.9291	1365	1154	4250	3.04	G8III
V* RV Col	83.9343	-30.8265	1850	891	3500	2.89	G5
V* RX Cap	303.73	-12.943	7253	2982	5500	3.00	G0Iae
V* TT Oph	252.3995	3.6316	2369	1135	4500	2.88	F5pe
V* V1333 Sco	246.5849	-34.2869	3948	704	6500	3.28	F8
V* V1401 Aql	301.2725	-11.5995	727	267	4500	3.32	F2II
V* V360 Cyg	317.6479	30.6724	4795	979	5000	3.02	F8Ie
V* V399 Cyg	312.2852	33.6958	4842	537	4250	3.21	G8
V* V590 Aql	304.2856	-4.0519	6299	2246	4000	3.06	-
V* V652 Her	252.0195	13.2618	1542	846	17000	2.67	-
V* V760 Sgr	267.5448	-22.848	2116	84	5250	2.96	G5
V* V811 Ara	255.9236	-61.5047	4714	982	4250	3.24	-
V* V825 Ara	265.0452	-53.7928	2123	440	3500	2.95	-
V* YY Ara	250.335	-59.8752	2348	362	4000	3.23	K0:-Me

Tipos espectrales obtenidos de la base de datos de Simbad.

4.3 Muestra de post-AGB galácticas

Una vez divididos los objetos de la muestra en los diferentes tipos estelares, en esta sección nos centraremos en el análisis del conjunto de los 46 objetos identificados como estrellas en fase de post-AGB, con el objetivo de estudiar sus propiedades evolutivas.

En la Figura 4.6, mostramos la región concreta del diagrama HR donde están localizadas las 46 estrellas post-AGB. Como puede apreciarse, la mayoría de ellas se concentran en la zona de baja masa, a temperaturas por debajo de los 15 000 K ($\log[T_{eff}] \approx 4.2$) y luminosidades menores de $10\,000 L_{\odot}$ ($\log[\frac{L}{L_{\odot}}] = 4$).

Haciendo uso de la ubicación de estas estrellas en el diagrama HR, y a través de las trazas evolutivas de Miller Bertolami, logramos estimar sus masas en la SP y sus edades evolutivas desde que entraron en la fase de post-AGB. Para ello, realizamos una interpolación entre los valores de los puntos de las trazas vecinas más cercanos a cada uno de los objetos.

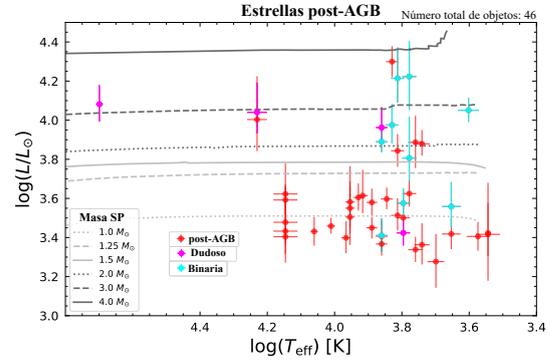


FIGURA 4.6: Región del diagrama HR donde se ubican las 46 estrellas en fase post-AGB, junto con las trazas de Miller Bertolami [7].

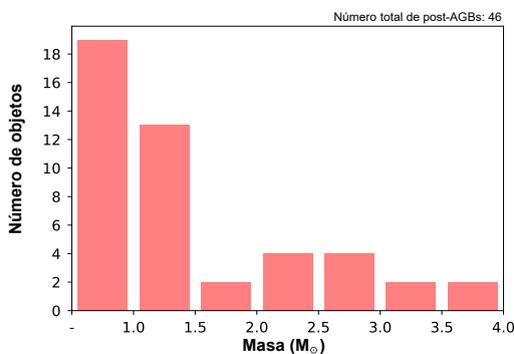


FIGURA 4.7: Distribución de masas en la SP de las 46 estrellas post-AGB.

Como resultado obtenemos la distribución de masas que se muestra en la Figura 4.7. En el histograma puede observarse como la mayoría de las estrellas poseen masas en la SP menores de $1.5 M_{\odot}$, en torno al 70% de ellas. En el otro extremo, únicamente se obtienen cuatro estrellas con masas por encima de $3 M_{\odot}$. Por lo tanto, se puede concluir que, en general, las estrellas post-AGB del conjunto son objetos de baja masa. Recordemos que cuanto más masiva sea una estrella más rápido evolucionará, y por eso, habrá menos estrellas masivas en esta fase de post-AGB.

El valor medio de la masa de la muestra es el siguiente:

$$\langle M \rangle = 1.52 \pm 0.08 M_{\odot}.$$

Nótese que hay un gran número de estrellas por debajo de $1 M_{\odot}$, y cuya masa no podemos estimar con exactitud a través de estos modelos, por lo que solo hemos podido asignarle ese valor máximo. Por lo tanto, este valor medio estaría ligeramente sobrestimado, y estaría situado por debajo de $1.5 M_{\odot}$ realmente. Los valores de la masa de cada estrella en la SP pueden consultarse en la Tabla 4.1.

En cuanto a las edades evolutivas a lo largo de la fase de post-AGB de las estrellas del conjunto, se obtiene la distribución de valores que se muestra en la Figura 4.8. Recordemos, que en los modelos evolutivos de Miller Bertolami, el inicio de la fase post-AGB se toma cuando la masa de la capa exterior de la estrella cae por debajo del 1% de la masa estelar. Como las estrellas masivas evolucionan más rápido, cuanto más masiva sea una estrella, menos tiempo pasará en la fase de post-AGB.

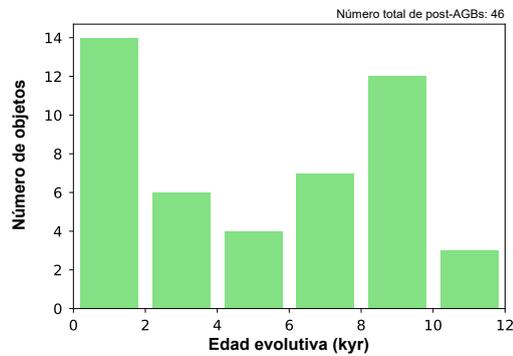


FIGURA 4.8: Distribución de edades evolutivas de las 46 estrellas post-AGB.

Como puede verse en el histograma, una gran parte del conjunto de estrellas tienen edades evolutivas por debajo de los 2000 años, alrededor del 30% de todo el conjunto. Además, también puede verse que casi todos los objetos tienen edades por debajo de los 10 000 años, con solo tres estrellas del conjunto por encima de esta edad. Así pues, se puede concluir que la fase de post-AGB dura solamente unos pocos miles de años, confirmando que se trata de una fase muy rápida en la vida de una estrella. Si se calcula el valor medio de la edad evolutiva del conjunto se obtiene el siguiente resultado:

$$\langle T_{evo} \rangle = 5.19 \pm 3.57 \text{ kyr}.$$

Por lo tanto, se espera que en media, una estrella transcurra poco más de 5000 años en la fase de post-AGB. Esto explicaría porque se han descubierto tan pocas estrellas post-AGB en nuestra galaxia. Los valores de la edad evolutiva de cada una de las estrellas post-AGB están listados en la Tabla 4.1.

Otro parámetro evolutivo que hemos analizado para los objetos de la muestra de post-AGBs es el tipo espectral. Para ello, obtuvimos la clasificación espectral que se proporciona en el catálogo de Torun, y complementada con la que da la base de datos de Simbad. Los tipos espectrales de estas estrellas pueden consultarse en las Tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 de la sección anterior. Como puede observarse, estos objetos muestran una amplia variedad de tipos espectrales, cubriendo prácticamente todo el rango espectral. Sin embargo, se puede apreciar que la mayoría de estos objetos post-AGB son estrellas de tipo F (33%), de tipo A (22%) o tipo B (20%). Aunque en general, no se puede extraer ninguna conclusión clara sobre la relación entre las estrellas en fase post-AGB y sus tipos espectrales.

Por último, hemos llevado a cabo un estudio sobre la distribución galáctica de las estrellas post-AGB. Para ello, calculamos la altura galáctica de estos objetos, y la comparamos con las alturas galácticas del resto de objetos de la muestra general (post-RGBs, YSOs y supergigantes).

En la Figura 4.9 se muestra la localización de todos estos objetos, en función de su longitud galáctica y altura galáctica. Para hacerse mejor idea de la ubicación de estas estrellas, también se indican los límites de las diferentes regiones galácticas: disco fino, disco grueso y halo. Como puede verse en esta gráfica, la mayoría de objetos están ubicados dentro del disco galáctico (fino o grueso), quedando muy pocas estrellas en la región

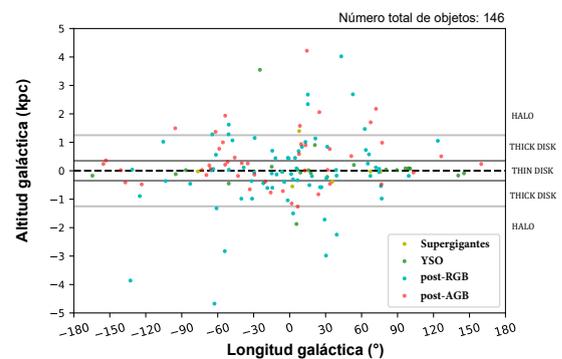


FIGURA 4.9: Altura galáctica frente a longitud galáctica de las estrellas post-AGB (46) y de las restantes estrellas de la muestra general (100).

del halo galáctico. Por otra parte, a simple vista, parece que las diferentes poblaciones estelares están distribuidas de una forma similar. Únicamente se puede remarcar que a alturas galácticas muy bajas, en la zona del halo del hemisferio sur, no se

encuentra ninguna estrella post-AGB, mientras que sí hay presencia de otros objetos, principalmente estrellas post-RGB. Sin embargo, en el otro extremo, en el halo del hemisferio norte, sí se encuentran algunas estrellas tanto post-AGB como de otros tipos.

Con el objetivo de analizar esta distribución con más detalle, calculamos por una parte la altura de escala (H_z) de la población de post-AGBs, y por otra parte la del resto de estrellas. Para ello, seguimos el mismo procedimiento que utilizamos para las nebulosas planetarias, es decir, obtener la población de estrellas en función de la altura galáctica y estimar la altura en la que la población a disminuido en un factor e desde el plano galáctico. Como resultado obtenemos los siguientes valores:

- $H_z^{postAGB} = 709 \pm 111 \text{ pc}$.
- $H_z^{others} = 610 \pm 72 \text{ pc}$.

Como puede verse, ambos valores de altura de escala son similares, y se solapan teniendo en cuenta el valor de incertidumbre. Por lo tanto, esto indicaría que hay una distribución galáctica muy parecida entre la población de estrellas post-AGB y el resto de estrellas.

4.3.1 Objetos dudosos

Como se indicó anteriormente, hemos catalogado como *doubtful* aquellos objetos que no han sido confirmados anteriormente como estrellas post-AGB en ninguno de los catálogos de la bibliografía (Torun, Simbad y Suárez). Concretamente, tenemos tres objetos *doubtful*, que vamos a analizar más detalladamente a continuación.

El más llamativo de los tres es el IRAS 18084-1737 (Figura 4.10), puesto que es el único objeto de la muestra que cae ya claramente en la región de altas temperaturas, con un valor de temperatura efectiva de 50 000 K, que debería corresponder ya a una estrella en fase de nebulosa planetaria.

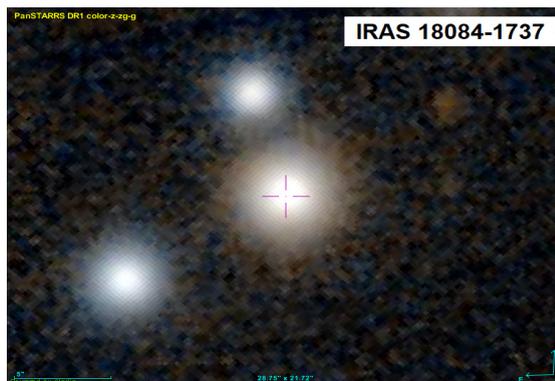


FIGURA 4.10: Imagen de la estrella IRAS 18084-1737 (tomada del atlas de *Aladin*).

Además, su emisión en radiación de 6 cm de longitud de onda (Ratag and Pottasch [86]), también indica que esta estrella debería estar ya en fase de nebulosa planetaria. Por otra parte, en el estudio de Kohoutek [87], esta estrella es catalogada como posible pre-nebulosa planetaria. Este objeto fue incluido en nuestra muestra únicamente por estar catalogado como *post-AGB candidate* en Simbad.

Por lo tanto, toda esta información nos lleva a desclasificar este objeto como estrella post-AGB, puesto que todo indica a que se encontraría ya en una fase más evolucionada.

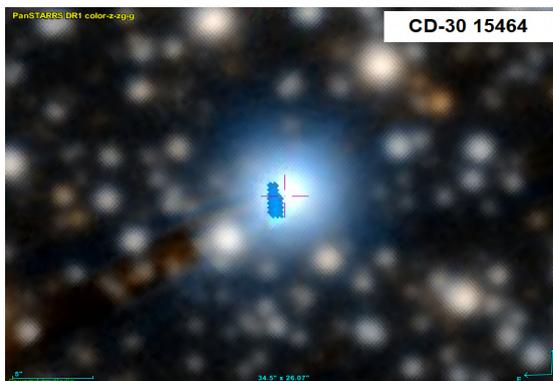


FIGURA 4.11: Imagen de la estrella CD-30 15464 (tomada del atlas de *Aladin*).

Otra de las estrellas post-AGB detectadas como dudosas, es el objeto CD-30 15464 (Figura 4.11). Esta estrella está clasificada como *possible* post-AGB en el catálogo de Torun, pero como simple *star* en Simbad, y no tiene ninguna referencia en el catálogo de Suárez.

En cuanto a las propiedades de esta estrella, está clasificada con un tipo espectral B1 y una temperatura efectiva de 17 000 K, un valor bastante elevado pero dentro de los límites para poder tratarse de una post-AGB. Por otra parte, está situada muy lejos del Sol (a una distancia de 9.96 kpc), en dirección al centro galáctico (longitud de 1.67°) y ligeramente por debajo del plano galáctico (latitud de -6.63°). Es decir, que su ubicación tan lejana y en una zona muy poblada, hace muy difícil distinguir este objeto lo suficientemente bien como para poder confirmar cual es su fase estelar. Por lo tanto, mantendremos este objeto como dudosa estrella post-AGB.

La tercera estrella post-AGB dudosa, se trata del objeto HD 53300 (Figura 4.12). Esta es una estrella de tipo espectral A2, ubicada en el plano galáctico (latitud de 0.44°), y posee una temperatura efectiva de 5750 K, un valor típico para estrellas en fase post-AGB.

Sin embargo, la única referencia, entre los catálogos utilizados en este trabajo, que tenemos de este objeto, proviene de Simbad, que la cataloga como *post-AGB candidate*.

En cuanto a otras referencias de este objeto en la bibliografía, en el estudio de Rao et al. [88] también la catalogan como estrella post-AGB, mientras que en el análisis de Bhatt and Manoj [89] fue identificada como estrella tipo Vega.

De acuerdo con nuestros resultados a partir de las distancias de Gaia EDR3, sí sería una post-AGB, ya que está ubicada en la región típica de este tipo de estrellas de acuerdo a su temperatura y luminosidad. Visualmente, también parece tratarse de una post-AGB, ya que se aprecia claramente como la envoltura de las capas externas de la estrella ya a comenzado a expandirse hacia afuera.

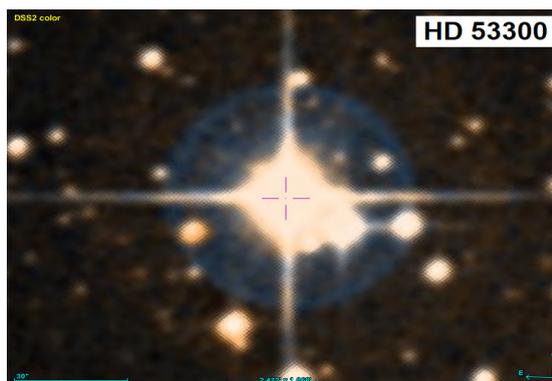


FIGURA 4.12: Imagen de la estrella HD 53300 (tomada del atlas de *Aladin*).

Por lo tanto, aunque no haya sido confirmado anteriormente, parece ser que hay evidencias suficientes para poder afirmar que el objetos HD 53300 se trata de una estrella en fase de post-AGB.

4.3.2 Objetos en la dirección de LMC

En esta subsección retomamos el pequeño conjunto de 20 objetos que quedaba situado en la dirección a la LMC, y que fue apartado al inicio de este capítulo ya que si estos objetos estuviesen fuera de nuestra galaxia, podrían seguir otros modelos evolutivos y necesitar un análisis distinto.

Para clarificar esta hipótesis, obtuvimos las altura galácticas de estos objetos y ubicamos estos objetos frente a su longitud galáctica para poder mostrar su localización espacial. Como resultado obtuvimos la distribución que se muestra en la Figura 4.13, donde también se muestran las regiones del disco galáctico fino, del disco grueso y la del halo.

Como puede apreciarse en la gráfica, la mitad de estos objetos están ubicados dentro del disco galáctico, ya sea fino o grueso. Por otra parte, la otra mitad de los objetos, se encuentran muy alejados del disco galáctico, situados en el halo galáctico o incluso fuera ya de la Galaxia, ya que están situados a alturas galácticas más allá de los 4 kpc, llegando los más alejados del plano a los casi 10 kpc de altura.

Para analizar este conjunto de objetos con más detalle, a partir de sus distancias y extinciones interestelares, estimamos sus temperaturas y luminosidades. Para ello, utilizamos el software VOSA, de la misma forma que lo hicimos para calcular las temperaturas y luminosidades de la muestra de estrellas galácticas.

A continuación, con el conocimiento de las luminosidades y siguiendo el criterio de Kamath, pudimos clasificar este conjunto

de estrellas como post-AGB, post-RGB o YSO. Esta clasificación se muestra también en la gráfica de la Figura 4.13. Nótese que todas las estrellas YSO, y solo ellas, están ubicadas dentro del disco galáctico. Mientras que los demás objetos, las estrellas post-AGB y post-RGB, se ubican en la zona externa de la Galaxia. Es de esperar que los objetos YSO, al ser estrellas jóvenes, estén situados cerca del plano galáctico. Pero por otra parte, es curioso que ninguno de los demás objetos caiga dentro de esta región.

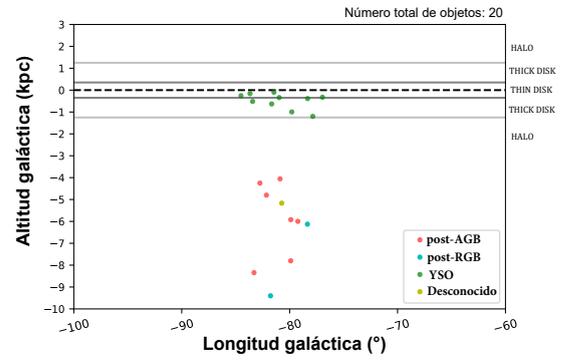


FIGURA 4.13: Altura galáctica vs longitud galáctica de los 20 objetos situados en dirección a la LMC.

TABLA 4.5: Altura galáctica (valor absoluto) y movimientos propios de los 10 objetos ubicados fuera de la Galaxia.

Nombre	Tipo	Altura gal. (kpc)	PMRA mas/yr	ER pmra mas/yr	PMDec mas/yr	ER pmdec mas/yr
J045024.63-684144.6	post-AGB	5.92	1.967	0.072	-0.119	0.073
J04541726-6922048	post-AGB	6.00	2.072	0.070	-0.016	0.071
J04580332-6719094	post-RGB	9.40	1.791	0.068	0.015	0.068
J050454.74-663945.8	post-AGB	4.25	1.749	0.073	-0.051	0.072
J05260996-6635476	post-AGB	8.34	1.679	0.067	0.557	0.067
J053001.70-684148.5	post-AGB	4.06	1.619	0.074	0.614	0.078
J05315397-6738456	post-AGB	4.80	1.808	0.072	0.508	0.073
J054019.98-685649.5	-	5.17	1.781	0.070	0.622	0.072
MSX LMC 130	post-AGB	7.80	1.965	0.069	0.233	0.070
WOH G 73	post-RGB	6.13	2.232	0.069	-0.095	0.070

Parámetros obtenidos a partir de Gaia EDR3. Los movimientos propios y sus valores de incertidumbre están corregidos según Lindegren et al. [23].

Tras ver que estas estrellas estaban claramente divididas en dos grupos, tratamos de analizar si los objetos de cada grupo podrían tener un origen común o si podrían estar relacionados entre sí gravitacionalmente o de alguna otra manera. Concretamente,

obtuvimos los movimientos propios ($PMRA$, $PMDec$) de estas estrellas, con el objetivo de poder verificar si existe alguna coincidencia en estos parámetros que nos llevara a vislumbrar un posible movimiento común de las componentes de cada grupo. Recordemos que tanto los valores $PMRA$ y $PMDec$ proporcionados por Gaia EDR3, como sus respectivos valores de incertidumbre, deben ser corregidos según las indicaciones sugeridas en Lindegren et al. [23].

Como resultado obtuvimos unos valores muy interesantes. Mientras que las estrellas del disco galáctico no mostraban ninguna correlación entre sus movimientos propios, las estrellas ubicadas fuera de la Galaxia sí mostraban valores similares entre sí (ver Tabla 4.5), y más aun, valores compatibles con los movimientos propios de la LMC. Que según Simbad toma los siguientes valores:

- $PMRA_{(LMC)} = 1.910 \pm 0.020 \text{ mas/yr}$
- $PMDec_{(LMC)} = 0.229 \pm 0.047 \text{ mas/yr}$

Por lo tanto, estos resultados supondrían que los objetos pertenecientes a este segundo grupo, podrían estar unidos gravitacionalmente formando un pequeño cluster estelar, que a su vez, parece estar unido de alguna manera a la LMC. La hipótesis más fuerte apunta a que este grupo de estrellas pertenecería al *stream* de la LMC (D’Onghia and Fox [90]), región que une la Nube con nuestra galaxia.

Capítulo 5

Espectros y Abundancias nebulares

En este último capítulo se muestra el trabajo llevado a cabo sobre el análisis de espectros nebulares y la estimación de la abundancia de los diferentes elementos químicos presentes en varias nebulosas planetarias, que fueron observadas para nuestro grupo de investigación mediante el telescopio *Isaac Newton Telescope* (INT), situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos en la isla de La Palma, España.

Una vez realizadas las observaciones, hicimos uso de programa IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*) para extraer los espectros correspondientes a estas nebulosas y poder identificar después sus líneas de emisión en las diferentes longitudes de onda. Permittiéndonos también medir los flujos de estas líneas. Este software fue desarrollado en los años 80 por Tody [91].

A continuación, a partir de estos flujos y mediante la librería PyNeb de Python desarrollada por Luridiana et al. [92], es posible estimar las temperaturas y densidades electrónicas del gas nebuloso. Para después poder calcular las abundancias de los diferentes átomos ionizados presentes en cada una de las nebulosas. Finalmente, y tras conocer estos valores, este programa también nos permitió estimar las abundancias totales de cada uno de los elementos químicos de las nebulosas.

5.1 Emisión nebuloso

Como es sabido, la extremadamente alta temperatura de las estrellas centrales de las nebulosas planetarias, hace que los átomos de los diferentes elementos químicos presentes

en la nebulosa se exciten y se ionicen perdiendo uno o varios electrones de sus capas externas. Estos átomos, al perder la carga negativa correspondiente al electrón, quedarán ionizados positivamente. Al de un tiempo, típicamente menos de un microsegundo, estos átomos ionizados tienden a capturar un electrón libre del gas en sus capas externas para volver a su estado neutro. Este electrón irá decayendo hacía los niveles energéticos más bajos disponibles, emitiendo en este proceso radiación que se detecta en un espectro mediante las conocidas como líneas de recombinación.

Este tipo de radiación suele darse en gases con densidades electrónicas altas y temperaturas electrónicas no muy elevadas. Y concretamente en gases ligeros como el hidrógeno o el helio. Las líneas de recombinación suelen estar asociadas a transiciones electrónicas permitidas entre el nivel origen y el nivel destino, ya sea por la baja vida media del electrón en el nivel excitado o por su alta probabilidad de transición.

Además, también existe otro proceso por el cual las nebulosas pueden emitir radiación. En ocasiones los átomos de la nebulosa son excitados al colisionar con otros electrones libres del gas nebuloso. Transcurrido un tiempo, del orden del milisegundo, si el átomo no ha colisionado con otro electrón que absorba este exceso de energía atómica, el electrón excitado volverá a su nivel energético original emitiendo radiación. La energía emitida mediante este mecanismo se detecta en un espectro a través de las conocidas como líneas de excitación colisional.

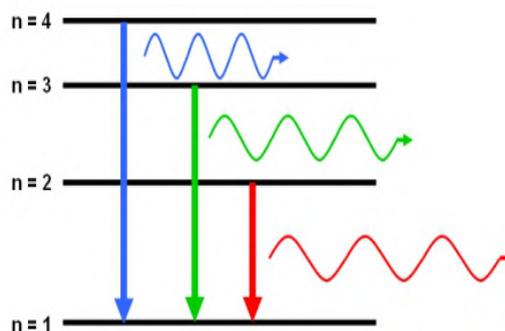


FIGURA 5.1: Líneas de emisión, producidas por la des-excitación electrónica.¹

Este tipo de radiación, al contrario que la emitida mediante las líneas de recombinación, suele darse en gases de altas temperaturas electrónicas y de bajas densidades electrónicas (para que al electrón excitado le de tiempo a decaer antes de colisionar con otro electrón libre). En concreto, los elementos más pesados, como el oxígeno, el nitrógeno, el neón o el argón, suelen emitir radiación mediante este tipo de líneas. En general, las líneas de excitación colisional son las más comunes, intensas y fáciles de medir en las nebulosas

¹<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/e/emission+line>

planetarias. Por su parte, estas líneas de emisión suelen estar asociadas a transiciones electrónicas prohibidas entre el nivel origen y el nivel destino, ya sea por la relativamente alta vida media del electrón en el nivel excitado o por la baja probabilidad de transición. Las líneas asociadas a las transiciones prohibidas se representan indicando el nombre del ion entre corchetes (ej. [NII]), para diferenciarlas de las líneas permitidas, que van sin corchetes.

En ambos tipos de líneas de emisión, la radiación emitida mediante fotones tendrá asociada una longitud de onda concreta, correspondiente a la diferencia energética entre los niveles atómicos origen y destino de los que ha decaído el electrón en cuestión. Estas longitudes de onda son muy características de cada uno de los iones, por lo que es posible deducir por qué ion ha sido emitida y entre que dos niveles atómicos ha ocurrido la transición.

Así pues, al analizar el espectro, se observarán picos muy estrechos de flujo en las longitudes de onda concretas correspondientes a la radiación emitida por los iones de la nebulosa (ver Figura 5.2), de ahí el nombre de líneas de emisión.

La nomenclatura común para representar las líneas de emisión consiste en dar el nombre del ion del que provienen, seguido del nivel de ionización del que provienen (en números romanos), junto con la correspondiente longitud de onda (en \AA). Por ejemplo, la línea [OII] 3726 vendría de un ion de oxígeno ionizado una vez, con una longitud de onda de 3726 \AA , y vendría de una transición prohibida, ya que va indicada entre corchetes.

La identificación de las líneas de emisión en un espectro nebuloso, junto con la medición de sus correspondientes flujos, es de gran importancia, puesto que permite deducir no solo qué iones se encuentran en el gas nebuloso, si no también conocer en qué proporción se hallan. Como normalmente no es posible detectar todas las líneas de emisión de los diferentes iones de un átomo dado, es necesario realizar una estimación para poder calcular la abundancia total en la nebulosa de ese átomo. Para ello, es necesario calcular

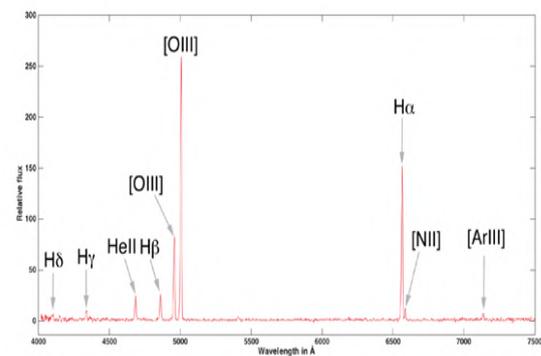


FIGURA 5.2: Espectro nebuloso, indicando sus líneas de emisión más comunes.²

²<https://www.shelyak.com/planetary-nebulae-confirmation>

el conocido como *Ionization Correction Factor* (ICF), que es un parámetro que estima cual es la contribución de los iones no detectados a la abundancia total del elemento.

5.2 Observaciones con INT

Con el objetivo de obtener el espectro electromagnético de emisión de algunas nebulosas planetarias de la muestra GAPN-EDR3, nuestro grupo de investigación solicitó (y se le adjudicó) tiempo de observación para el telescopio INT situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la Palma. Concretamente, las observaciones se llevaron a cabo las noches del 21, 22 y 23 de diciembre del 2021.



FIGURA 5.3: Observatorio del Roque de los Muchachos, situado en la isla de La Palma, España. Imagen: www.ing.iac.es.

El INT es un telescopio de 2.54 m de diámetro que detecta luz en la banda óptica. Fue construido en Inglaterra y trasladado a La Palma en 1981, debido a sus mejores condiciones para la observación estelar.



FIGURA 5.4: *Isaac Newton Telescope* (INT), situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Imagen: www.ing.iac.es.

Entre otros instrumentos, consta del *Intermediate Dispersion Spectrograph* (IDS), que sirve para realizar espectroscopia de resolución baja e intermedia. Este es el instrumento que utilizamos para nuestras observaciones, y poder así extraer los espectros nebulares. El IDS fue acompañado del detector Red+2 y una rejilla de R300V, centrada en 586 nm. Esto permitió cubrir un amplio rango espectral entre los 360 y 813

nm, con buena resolución espacial.

Consecuentemente, pudimos detectar todas las principales líneas de emisión típicas en las nebulosas, y con resolución suficiente para separar algunas muy próximas entre sí, como la línea de nitrógeno [NII] 6548 Å y la línea de hidrógeno H $_{\alpha}$ 6562 Å.

Por otra parte, el tiempo de observación medio para cada nebulosa fue de 1 hora. Normalmente dividido en dos exposiciones de 30 minutos, y en los casos de nebulosas más brillantes cuatro exposiciones de 15 minutos, con la idea de no saturar la imagen. Además, antes de observar cada una de las nebulosas, fue necesario tomar una breve exposición de un minuto para ajustar el tiempo de integración máximo antes de llegar a la saturación.

Previamente a seleccionar el conjunto de nebulosas a observar, realizamos un análisis sobre qué objetos de la muestra GAPN-EDR3 serían más adecuados para ser observados durante esa época del año y con poca contaminación atmosférica, imponiendo que fueran visibles a menos de dos masas de aire. También analizamos cual sería la secuencia de observación óptima a lo largo de cada noche, evitando en la medida de lo posible la iluminación de la Luna.

Durante la primera noche de observación hubo problemas de humedad y nubosidad, por lo que no se pudo observar durante un gran tiempo de la noche. Sin embargo, la climatología en las dos noches posteriores fue bastante adecuada para la observación, lo que nos permitió obtener imágenes de un total de 14 nebulosas a lo largo de las tres noches (alguna de ellas incluso siendo observada en más de una noche).

Cabe remarcar que estas observaciones fueron realizadas en modo servicio por técnicos del observatorio, ya que debido a la erupción del volcán Cumbre Vieja de La Palma durante todo el otoño del 2021, el observatorio se mantuvo cerrado para los visitantes, imposibilitándolos realizar las observaciones en persona.

5.3 Extracción y Reducción de Espectros nebulares

Una vez realizadas las observaciones por los técnicos del telescopio, recibimos todas las imágenes recogidas por los CCDs del telescopio, divididas en diferentes tipos de *frames* en formato FITS (Flexible Image Transport System).

Para llegar a extraer los espectros nebulares a partir de estas imágenes, es necesario realizar un procesado previo de estas, así como una calibración de la señal en longitud de onda y en flujo. Todas estas tareas fueron llevadas a cabo mediante el programa IRAF mencionado anteriormente.

5.3.1 Preprocesado de los CCDs

En primer lugar, es necesario fijar la región del CCD en la que se ha recogido la señal correctamente. Para ello se abre uno de los *frames* en IRAF y se inspecciona dónde se halla esta región, que se conoce como *trimsec*. Los CCDs que se utilizan en el instrumento IDS tienen una dimensión de 366x4200 píxeles. Concretamente, 366 píxeles en el eje espacial (a lo largo del cual se extiende la nebulosa) y 4200 píxeles en el eje de dispersión (a lo largo del cual se propaga el espectro).

En nuestro caso, fijamos la sección efectiva del CCD o región *trimsec* entre los píxeles 15 y 355 del eje espacial y entre los píxeles 1000 y 3500 del eje de dispersión. Por tanto, aplicamos este *trimsec* a todos los *frames* recogidos durante las observaciones.

Por otra parte, cuando se toma una imagen en el CCD siempre se recoge una señal extra de fondo conocida como *bias*, que debe ser sustraída antes de extraer los espectros. El valor del *bias* varía píxel a píxel, y en función del tiempo. Por eso, durante la noche se toman varias exposiciones con tiempo de integración cero, y se combinan para obtener una imagen que contendrá el valor del *bias* promedio en cada píxel. Finalmente, se sustrae esta imagen de *bias* al resto de *frames* tomados a lo largo de la noche.

Además, la sensibilidad o respuesta de cada píxel del CCD no es uniforme a lo largo de toda la superficie. Por lo que es necesario corregir esa variación píxel a píxel que se da en cualquier tipo de iluminación, eliminando la estructura a gran escala de este

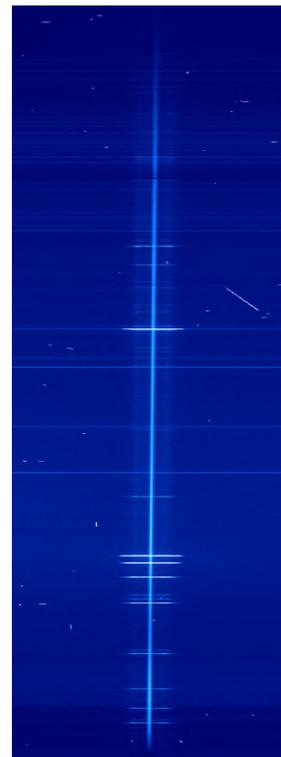


FIGURA 5.5: CCD que ha recogido una imagen de una NP.

efecto, ya que se corresponde al tipo de exposición en sí y no al objeto concreto que se quiere observar.

Para ello, se toman imágenes de un campo suficientemente plano y con un número de cuentas suficientemente alto. En nuestro caso, se tomaron imágenes de cielo al atardecer o anochecer. Este tipo de *frames* se conocen como *flatfields*. Al igual que se hizo con el *bias*, combinamos todas las imágenes de *flatfield* obtenidas con el objetivo de obtener un valor promedio en cada píxel del *flatfield*. A continuación, se normaliza de 0 a 1 este *frame* combinado. Y por último se dividen todas las imágenes por este *flatfield* normalizado.

Siguiendo este procedimiento para cada una de las noches de observación, pudimos corregir todos los efectos instrumentales en los CCDs, y obtener así las imágenes espectrales de las nebulosas con mayor claridad.

5.3.2 Extracción del *background* y de los rayos cósmicos

Para terminar de limpiar por completo las imágenes recogidas por los CCDs, es necesario eliminar otros efectos observados que son ajenos a la nebulosa en sí. Como son el fondo de cielo que se superpone a la emisión nebulosa o la presencia de rayos cósmicos de campo.

Cuando se observa la imagen de una nebulosa, a parte de la luz proveniente de la emisión nebulosa, también se detecta la luz correspondiente al fondo de cielo que queda tras la nebulosa, lo que el programa IRAF denomina como *background*. Por tanto, es necesario eliminar esta contribución del cielo para obtener una imagen espectral con menor ruido de fondo. Para ello, utilizamos el paquete *background* de IRAF, que consiste en fijar una región del cielo tomada por el CCD fuera ya de la influencia nebulosa y substraer posteriormente la contribución celeste a lo largo de todo el CCD, obteniendo así una imagen más nítida de la emisión nebulosa.

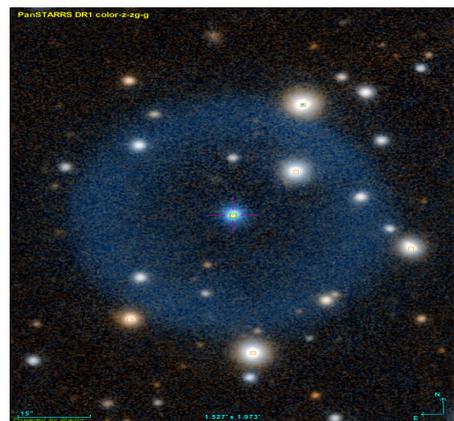


FIGURA 5.6: Fondo de cielo que suele apreciarse en la línea de visión de una nebulosa. Imagen: *Aladin*.

Por otra parte, en el CCD también suele ser recogida una considerable cantidad de radiación cósmica. Los rayos cósmicos son partículas subatómicas provenientes del espacio exterior, que contienen una alta energía debido a su gran velocidad. Para eliminar la contribución de la radiación cósmica sobre la emisión nebulosa, hicimos uso de la función `detect_cosmics` de la librería `astrocrappy` de Python.

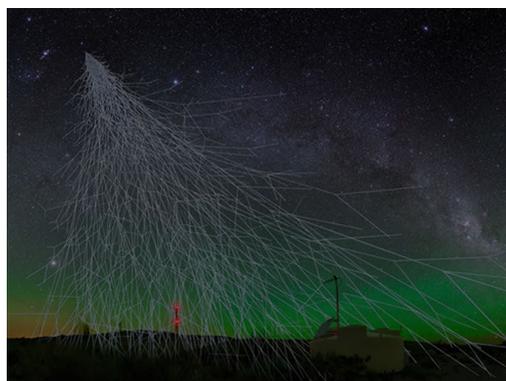


FIGURA 5.7: Cascada de rayos cósmicos incidiendo sobre la Tierra.³

Esta función detecta la presencia de rayos cósmicos en el CCD, si se le proporcionan parámetros como el nivel de saturación o la ganancia electrónica, y los elimina de la imagen recogida.

Por lo tanto, aplicando estos procedimientos logramos finalmente obtener las imágenes limpias de las diferentes emisiones nebulares.

5.3.3 Calibración en longitud de onda

Una vez preprocesados y limpiados de ruido externo los CCDs, se procede a calibrarlos en función de la longitud de onda. Es decir, a hacer una asociación entre los píxeles del CCD y la longitud de onda que correspondería a la señal detectada en ese píxel.

Para poder llevar a cabo esta tarea, a lo largo de la noche se toman varias imágenes de *arco* utilizando una lámpara de calibración. Concretamente, para el espectrógrafo IDS utilizamos lámparas de cobre/argón y cobre/neón (CuAr+CuNe), realizando exposiciones de 5 segundos. Estas exposiciones suelen tomarse justo después de observar cada una de las nebulosas. Las lámparas de calibración emiten un espectro ya conocido y de fácil ajuste, lo que hace que sea posible realizar esa relación píxel/longitud de onda a lo largo del CCD.

³<https://igfae.usc.es/igfae/es/nuevas-pistas-sobre-el-origen-de-los-rayos-cosmicos-de-ultra-alta-energia>

Haciendo uso de comando *identify* del programa IRAF, vamos identificando todas las líneas de emisión del espectro tomado de las lámparas de calibración, y asociándoles su valor de longitud de onda teórico que obtenemos de modelos ya predeterminados.

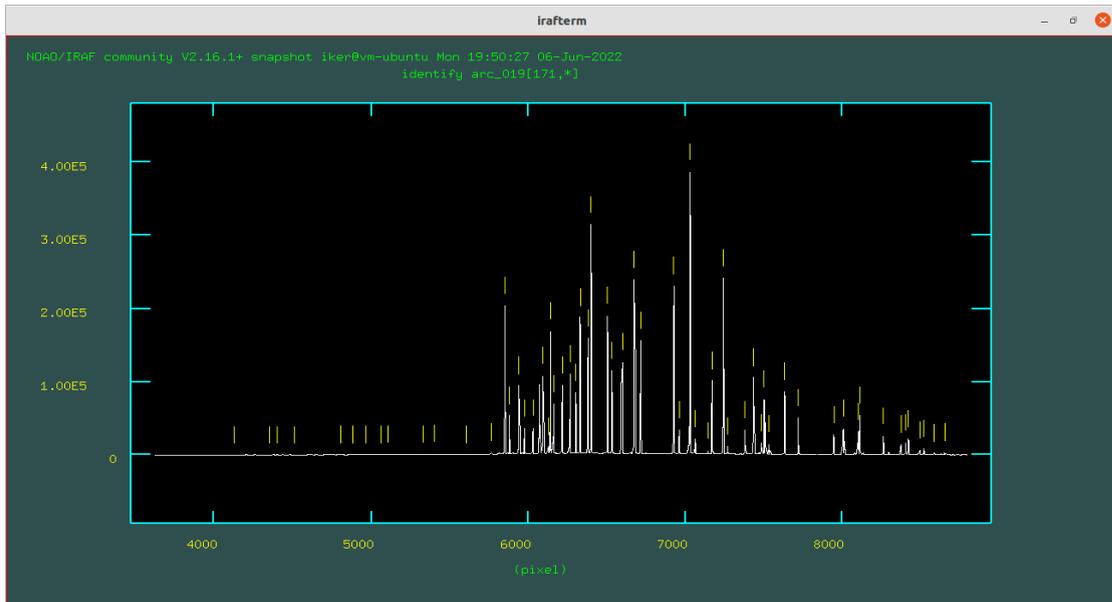


FIGURA 5.8: Identificación de las líneas de emisión del espectro proveniente de la lámpara de calibración de CuAr+CuNe. Imagen del IRAF.

Esta identificación se realiza sobre el espectro detectado en la zona central del eje espacial del CCD, y a lo largo de todo el eje de dispersión. Para realizar un mejor ajuste, ya que a lo largo del eje espacial el espectro no tiene porque ser idéntico al de la zona central, se utiliza el comando *reidentify*, que realiza automáticamente una identificación de las líneas del espectro de la lámpara a lo largo de todo el eje espacial, partiendo de la identificación realizada en la zona central.

Después, con el comando *fitcoords*, se puede realizar un ajuste más exhaustivo punto a punto a lo largo de todo el eje de dispersión. Finalmente, a través del comando *transform* se lleva a cabo la calibración en longitud de onda de las imágenes de las nebulosas, apoyándose en los espectros provenientes de las lámparas, que han sido identificados y ajustados previamente.

Este proceso se realiza para cada nebulosa observada, utilizando las exposiciones de *arco* tomadas justo después de cada una de ellas, ya que los espectros de las lámparas podrían variar (aunque muy ligeramente) a lo largo de la noche, y especialmente de una noche a otra.

5.3.4 Calibración en flujo

Aparte de la calibración en longitud de onda, también es necesario calibrar las imágenes recogidas por los CCDs en función del flujo detectado, en lugar del número de fotones recogidos por píxel, que es el valor del que se dispone. Así, se podrán posteriormente medir los flujos correspondientes a las diferentes líneas de emisión.

Para llevar a cabo esta tarea, es necesario realizar varias observaciones a lo largo de la noche de ciertas estrellas estándares. Estas estrellas suelen ser relativamente brillantes y poseen ya tabulados los valores del flujo estelar en función de su longitud de onda, lo que hace posible obtener los flujos del resto de imágenes por comparativa. En nuestro caso, utilizamos dos estrellas estándares por noche, que fueron observadas dos o tres veces cada una a lo largo de cada noche, con tiempos de exposición de entre 60 y 300 segundos, dependiendo del brillo estelar, con el objetivo de no llegar a saturar la imagen.

Una vez obtenidas las imágenes de las estrellas estándares, y al igual que se realizó para los *frames* de las nebulosas, se lleva a cabo la substracción del *background* y de los rayos cósmicos sobre estas imágenes, así como el calibrado en longitud de onda. A continuación, se selecciona una de las imágenes de las estrellas estándares (normalmente la más cercana temporalmente a la imagen de la nebulosa que se quiere calibrar) y se procede a extraer su espectro. Para ello, se hace uso del comando *apall* de IRAF, dentro del paquete *apextract*. Aquí, el usuario deberá seleccionar la apertura del CCD donde más flujo se detecta, que corresponderá al flujo de la estrella estándar, normalmente situada en la zona central (respecto al eje espacial) del CCD. Así, el programa extraerá el espectro correspondiente a esa apertura a lo largo del eje de dispersión del CCD.

Tras haber extraído el espectro, puede visualizarse mediante el comando *plot* y eliminarse alguna región del espectro (a lo largo del eje de dispersión) que no se vaya a utilizar para el posterior análisis de líneas de emisión nebulares. A continuación, debe conocerse a cuantas masas de aire fue tomada la imagen de la estrella estándar, para

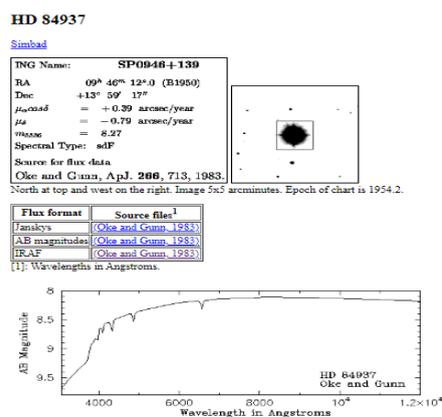


FIGURA 5.9: Información sobre la estrella estándar HD 84937, utilizada durante nuestras observaciones con el telescopio INT.

tener en cuenta la influencia de la atmósfera terrestre sobre el flujo del espectro medido. Para ello se hace uso del comando *setairmass* de IRAF, que calcula automáticamente a cuantas masas de aire fue tomada la imagen en su momento. Como ya especificamos al principio de este capítulo, en nuestro caso impusimos que todas las observaciones se realizarán a un máximo de dos masas de aire.

Por otra parte, también hay que tener en cuenta la extinción que produce el cielo en el observatorio del Roque de los Muchachos, por lo que se hace uso de una tabla que contiene la extinción del cielo en esta región en función de la longitud de onda, yendo desde los 3000 Å hasta los 11000 Å. Así pues, utilizando los comandos *standard* y *sensfunc* del paquete *ctioslit* de IRAF, y apoyándonos también en la tabla de flujos en función de la longitud de onda de la estrella estándar, es posible obtener una función de sensibilidad que permite calibrar en flujo un espectro tomado bajo las mismas condiciones que la estrella estándar.

Finalmente, a través del comando *calibrate* del paquete *ctioslit*, se puede calibrar en flujo el espectro en cuestión.

5.3.5 Extracción de los espectros

Una vez realizado todo el tratado de los CCDs y haber obtenido las calibraciones en longitud de onda y en flujo, se puede proceder a la extracción de los espectros de las imágenes.

Primero, para obtener una mejor relación de señal/ruido, se recomienda combinar todas las imágenes tomadas para cada nebulosa. En nuestro caso suelen ser dos imágenes de 1800 segundos de exposición por nebulosa, y en los casos más brillantes cuatro imágenes de 900 segundos de exposición. Para alguna de las nebulosas, incluso poseemos imágenes de dos noches diferentes, que pueden también ser combinadas.

A continuación, al igual que se hizo para las estrellas estándares, se hace uso del comando *apall* del paquete *apextract* de IRAF. En este caso, el usuario deberá seleccionar una o varias aperturas del CCD donde más flujo se detecta, normalmente una de ellas corresponde al flujo de la EC y el resto al flujo nebuloso. Finalmente, se extraen los espectros correspondientes a las aperturas seleccionadas, que se propagan a lo largo de todo el eje de dispersión. Como ya se hizo en el caso de las estrellas estándares, se elimina

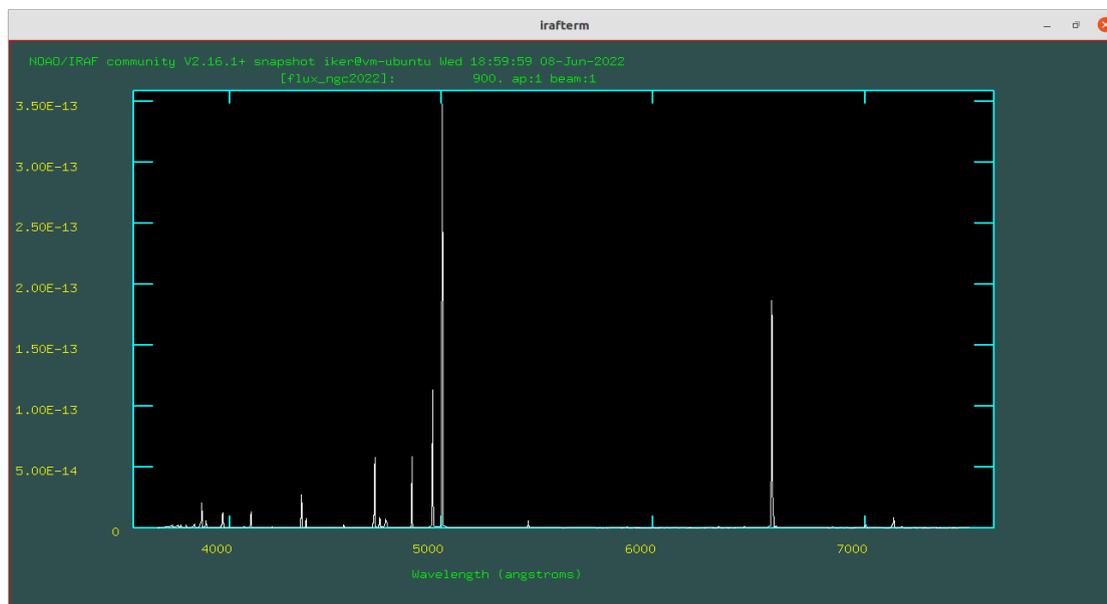


FIGURA 5.10: Espectro de emisión de la nebulosa NGC 2022, calibrado tanto en flujo como en longitud de onda. Imagen del IRAF.

también en estos espectros la región a lo largo del eje de dispersión que no vaya a ser utilizada para el análisis de las líneas de emisión de la nebulosa.

Por último, simplemente se utiliza el comando *calibrate* para calibrar los espectros en flujo, y obtener así las imágenes finales de los espectros nebulares y de los espectros de las ECs de todas las nebulosas observadas.

5.3.6 Identificación de las líneas de emisión

Una vez obtenidos los espectros nebulares, se procede a la identificación y cuantificación en flujo de sus líneas de emisión. Para ello, el programa IRAF permite ir midiendo los flujos integrados en cada línea, únicamente indicando la anchura de la línea a lo largo del eje de dispersión. Además, también proporciona el error del flujo medido. En el caso de solapamiento entre dos líneas, simplemente indicando dónde se encuentra el pico de cada línea, IRAF puede realizar un ajuste Gaussiano para cada una de ellas, pudiendo estimar así su flujo.

Así, se van seleccionando manualmente todas las líneas de emisión de cada uno de los espectros, y obteniendo automáticamente sus correspondientes flujos (ver Figura 5.11). Todos estos valores se van guardando en un fichero generado por IRAF. A continuación,

basándonos en la longitud de onda, se van identificando las líneas medidas con las líneas de emisión teóricas (las contenidas en PyNeb).

Las líneas de emisión más comunes en un espectro nebular son las de recombinación del hidrógeno (líneas de Balmer: H_α , H_β , H_γ ...) y del helio (tanto de HeI como de HeII). Pero también se suelen observar líneas de emisión colisionales de oxígeno (O) y nitrógeno (N), y en menor medida de otros elementos como el argón (Ar), el neón (Ne), el cloro (Cl) o el azufre (S).

Para poder determinar la temperatura y densidad electrónica nebular (parámetros de los cuales se derivan las abundancias nebulares), es necesario detectar en el espectro al menos las líneas de H_α y H_β del hidrógeno, dos o tres líneas del oxígeno o del nitrógeno, y al menos dos líneas de elementos menos comunes como el azufre o el cloro. Esto nos obliga a que los espectros sean lo suficientemente nítidos para poder detectar todas estas líneas de emisión.

Varias de las NPs observadas son demasiado diluidas o demasiado compactas como para poder identificar todas las líneas de emisión requeridas. En el caso de las muy diluidas, la mayoría de las líneas de emisión serán ya muy débiles como para ser detectadas y, además, el flujo nebular estará muy contaminado ya por el cielo de fondo. Mientras que en el caso de las muy compactas, la emisión de la EC de la nebulosa ocultará las líneas de emisión nebulares. Por lo tanto, y tras analizar todos los espectros extraídos, fuimos capaces de obtener las líneas de emisión necesarias para un total de únicamente cinco nebulosas: Abell 20, Abell 24, HDW 5, IC 2149 y NGC 2022.

En la Tabla 5.1 se muestran los flujos de las diferentes líneas de emisión para cada una de estas nebulosas. Nótese, que para que los valores sean más manejables, los flujos se dan normalizados por el valor del flujo de H_β y multiplicados por 100, que es como suelen darse comúnmente. Por lo tanto, las unidades representan el porcentaje de flujo respecto al flujo de H_β .

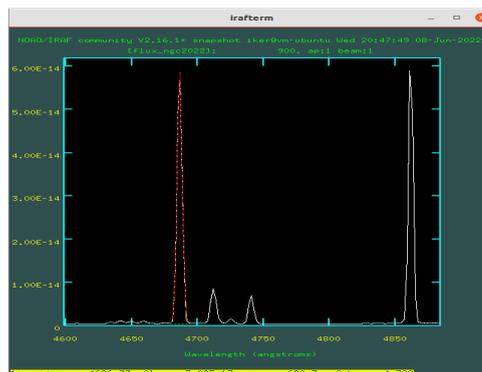


FIGURA 5.11: Proceso de medición del flujo de las líneas de emisión en un espectro, mediante el programa IRAF.

TABLA 5.1: Flujos (normalizados por el flujo de H_β y multiplicados por 100) de las diferentes líneas de emisión para las diferentes nebulosas.

Línea de Emisión (Å)	Abell 20	Abell 24	HDW 5	IC 2149	NGC 2022
[ArIII] 7136	3.45	18.24	21.5	9.54	14.14
[ArIV] 4711	-	-	-	-	15.82
[ArIV] 4740	-	-	-	-	12.12
[ArIV] 7237	-	-	-	-	0.87
[ArIV] 7263	-	-	-	-	0.64
[ArV] 6435	-	-	-	-	2.36
[ArV] 7005	1.19	-	-	-	5.22
[ClIII] 5518	-	-	-	0.58	0.75
[ClIII] 5538	-	-	-	0.46	0.55
H_θ 3798	-	-	-	-	4.5
H_η 3835	5.89	-	-	-	6.46
H_ζ 3889	-	-	-	-	10.09
H_ϵ 3970	-	-	-	-	18.82
H_δ 4102	-	33.45	11.51	16.19	24.07
H_γ 4341	72.44	53.62	33.03	43.02	43.63
H_β 4861	100	100	100	100	100
H_α 6563	478.05	312.55	409.13	326.18	353.28
HeI 3889	-	-	-	8.78	-
HeI 4026	-	-	-	-	1.45
HeI 4471	-	27.39	4.33	3.06	0.62
HeI 4922	-	-	-	8.35	-
HeI 5876	-	40.63	19.2	15.56	2.22
HeI 6678	-	19.18	5.06	6.89	1.01
HeI 7065	-	-	5.96	6.04	-
HeI 7281	-	-	-	1.2	-
HeII 4198	-	-	-	-	1.88
HeII 4541	-	-	-	-	3.47
HeII 4686	74.58	29.4	2.02	-	112.06
HeII 5411	-	-	-	-	10.13
HeII 6407	-	-	-	-	1.77
[KIV] 6102	-	-	-	-	0.75
[NI] 5200	-	41.05	-	-	-
[NII] 5755	-	28.95	2.29	0.82	0.11
[NII] 6548	-	565.08	50.04	14.03	0.66

Continúa en la próxima página

Tabla 5.1 – *Continua de la página previa*

Línea de Emisión (Å)	Abell 20	Abell 24	HDW 5	IC 2149	NGC 2022
[NII] 6584	-	1736.05	290.52	35.74	2.08
[NeIII] 3869	9.92	-	-	27.78	41.63
[NeIII] 3968	-	-	-	15.14	7.82
[NeIV] 4724	-	-	-	-	0.45
[NeIV] 4726	-	-	-	-	0.47
[OI] 5577	-	54.29	4.34	-	-
[OI] 6300	-	55.68	31.38	0.9	-
[OI] 6364	-	24.55	10.75	0.46	-
[OII] 3727	-	232.85	392.13	85.99	5.46
OII 4649	-	-	-	2.62	-
[OII] 7320	-	-	7.45	4.95	0.56
[OII] 7330	-	-	10.02	1.55	0.53
[OIII] 4363	-	11.43	-	3.59	12.06
[OIII] 4959	195.54	31.74	9.31	181.48	223.3
[OIII] 5007	807.82	68.34	19.07	550.31	681.9
[SII] 4069	-	-	-	-	2.52
[SII] 6716	-	62.4	82.98	0.85	0.76
[SII] 6731	-	49.54	101.69	1.98	0.98
[SIII] 6312	-	-	-	0.47	2.35

Como puede apreciarse, en todos los casos, una de las líneas más intensas es la de H_{α} , con una intensidad de más del triple que H_{β} . Además, en la Abell 20, IC 2149 y NGC 2022, las línea de [OIII], son aun más intensas, lo que indica que estas nebulosas son de alta ionización. Mientras que la Abell 24 y la HDW 5, muestran fuertes líneas de [NII], lo que indicaría que son nebulosas de baja ionización.

5.4 Estimación de Abundancias nebulares

A través de las líneas de emisión de una nebulosa es posible estimar varias de sus propiedades físicas y químicas. Concretamente, el conocimiento de los ratios entre ciertas líneas de emisión pueden dar un diagnóstico sobre la temperatura y densidad electrónica en la nebulosa. Y a partir de estos parámetros es posible estimar la composición química nebulosa, es decir, conocer la proporción de los diferentes iones presentes en el gas nebuloso,

y finalmente poder estimar la proporción total de cada elemento químico presente en la nebulosa. A estas cantidades se les conoce en astrofísica como abundancias iónicas y elementales, respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, la librería PyNeb desarrollada en código Python, permite realizar todos estos cálculos a partir de los flujos de las diferentes líneas de emisión. Para ello se le debe pasar un fichero *.dat* con las etiquetas de las diferentes líneas de emisión detectadas y sus correspondientes valores de flujo (y valores de su error si se conocen).

Antes de comenzar a realizar cualquier cálculo a través de los flujos de las líneas, es necesario corregirlas de extinción. Como ya es conocido, en el espectro visible, las líneas sufrirán más extinción o enrojecimiento cuanto más baja sea su longitud de onda (más azules). El valor de la extinción en el visible, $A(V)$, se puede calcular a través del ratio entre los propios flujos de las líneas de emisión, de varias maneras. La forma más común es a partir del ratio entre los flujos de H_α y H_β . El valor teórico de este ratio es conocido, y se sitúa alrededor de 2.85 (dependiendo ligeramente de la temperatura del gas). Por lo tanto, comparando este valor con el hallado a partir de los flujos de H_α y H_β obtenidos del espectro en cuestión, es posible estimar su valor de extinción.

PyNeb permite calcular el valor de extinción de una nebulosa a partir de este método, simplemente proporcionándole los flujos medidos de H_α y H_β . También permite indicar que ley de extinción quiere utilizarse para el cálculo. PyNeb posee varias leyes y también tiene la opción de permitir al usuario generar su propia ley de extinción. En concreto, nosotros hicimos uso de la ley de Fitzpatrick de 1999, que cubre todo el rango desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Así, pudimos corregir automáticamente los flujos de nuestras líneas de emisión medidas, quedando ya listas para llevar a cabo los siguientes procedimientos.

5.4.1 Cálculo de Temperaturas y Densidades electrónicas

Como se ha comentado, existen varios ratios entre los flujos de ciertas líneas de emisión que pueden ser utilizados para estimar la temperatura y densidad electrónica del gas nebuloso, como por ejemplo los ratios de [OIII] 4363/5007, [NII] 5755/6584 o [SII] 6731/6716. Conociendo uno de estos ratios y la temperatura electrónica es posible

calcular la densidad electrónica, así como conociendo uno de los ratios y la densidad calcular la temperatura. Aunque en este caso no se conoce ni la temperatura ni la densidad.

Sin embargo, combinando dos o más de estos ratios, es posible estimar simultáneamente tanto la temperatura como la densidad electrónica nebular. Para ello, se ubican en un diagrama temperatura vs densidad los ratios que se quieran utilizar para la estimación. A continuación, se obtiene el punto del diagrama donde se crucen ambos ratios, y este punto proporcionará los valores de temperatura y densidad electrónica estimados. Estos diagramas se conocen como diagramas de diagnóstico. En el caso de que haya más de dos ratios, el valor de temperatura y densidad se obtiene calculando el punto medio entre los diferentes cruces entre los ratios.

De nuevo, PyNeb permite realizar esta operación, simplemente proporcionándole al menos dos ratios entre flujos de líneas de emisión válidos para este procedimiento. Además, también permite generar el diagrama de diagnóstico mostrando los ratios que se han utilizado, como puede apreciarse en la Figura 5.12. La anchura de los ratios representa el rango de incertidumbre, que se obtiene a partir de los errores en flujo de las líneas de emisión correspondientes.

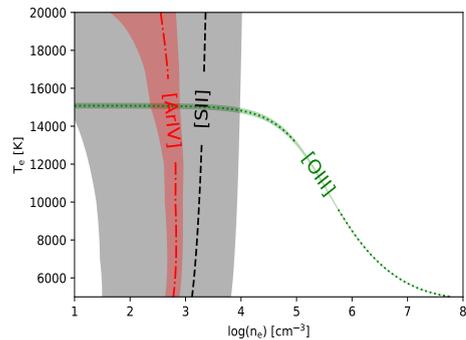


FIGURA 5.12: Diagrama de diagnóstico con los ratios de [OIII] 4363/5007, [SII] 6731/6716 y [ArIV] 4740/4711.

Por lo tanto, aplicando este procedimiento a las NPs de las que obtuvimos líneas de emisión suficientemente claras (Tabla 5.1), pudimos estimar sus correspondientes temperaturas y densidades electrónicas, salvo para la Abell 20, ya que finalmente no disponemos de los ratios suficientes para realizar el diagnóstico. Los valores de temperatura y densidad obtenidos para el resto de las NPs se muestran en la Tabla 5.2.

TABLA 5.2: Temperaturas y Densidades electrónicas.

	Abell 24	HDW 5	IC 2149	NGC 2022
T_e (K)	10.706 ± 1.048	8.648 ± 1.418	10.203 ± 31	15.025 ± 210
D_e (cm^{-3})	261 ± 204	1.383 ± 136	797 ± 616	884 ± 3334

Las nebulosas Abell 24 e IC 2149 muestran temperaturas intermedias, de entre 10 000 y 11 000 K. La HDW 5 es ligeramente más fría, con una temperatura de poco más de 8500 K. Mientras que la NGC 2022, tendría una temperatura de unos 15 000 K, siendo bastante más caliente que el resto.

Respecto a la densidad electrónica, la NP más densa sería la HDW 5, con casi 1400 e/cm^{-3} , lo que nos indicaría que se trata de una nebulosa bastante compacta. En el caso opuesto estaría la Abell 24, que sería una nebulosa ya muy diluida, con una densidad de tan solo 261 e/cm^{-3} . Mientras que la IC 2149 y NGC 2022 serían nebulosas de densidad intermedia, con unos 800 y unos 900 e/cm^{-3} , respectivamente.

Como puede apreciarse en la Tabla 5.2, también proporcionamos el valor de incertidumbre de las temperaturas y densidades. Estos valores han sido calculados a partir de los errores en flujo de las líneas de emisión utilizadas y aplicando el método de Monte Carlo, para reproducir los resultados cientos de veces alrededor del valor original obtenido (basándose en los errores en flujo), y poder hallar así la desviación estándar de la distribución de los resultados obtenidos. Esta desviación estándar es lo que utilizamos como valor de incertidumbre en temperatura y densidad.

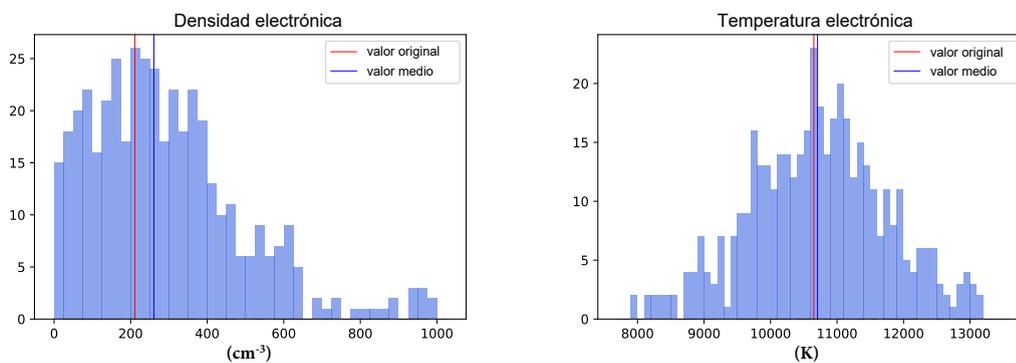


FIGURA 5.13: Distribución de densidad (izquierda) y temperatura (derecha) electrónica de la Abell 24, obtenidas utilizando del método de Monte Carlo alrededor de los correspondientes valores originales. En azul se indica el valor medio de la distribución, y en rojo el valor original.

En las gráficas de la Figura 5.13 se muestran las distribuciones de densidad y temperatura de la Abell 24, obtenidas utilizando este método. La línea vertical azul indica el valor medio de la distribución, mientras que la línea vertical roja indica el valor original obtenido sin este método. En ambos casos vemos que estos dos valores son muy cercanos, especialmente en el caso de la temperatura.

5.4.2 Obtención de Abundancias Iónicas

A partir de la temperatura y densidad electrónica de una nebulosa, y junto con el conocimiento de los flujos de las líneas de emisión de los diferentes iones, se puede proceder a estimar la proporción en la que se hallan los correspondientes iones dentro de la nebulosa, o lo que se conoce como las abundancias iónicas.

La librería PyNeb contiene una función que calcula estas abundancias proporcionándole estos parámetros. Además, también es necesario fijar qué línea de emisión va a utilizarse para el cálculo de la abundancia de cada ion, ya que puede haberse obtenido más de una línea de emisión para un mismo ion. Para este estudio, se decidió utilizar la línea más intensa de cada ion, ya que así los resultados serán más robustos. En la tabla donde se muestran todas las líneas de emisión (Tabla 5.1), se indica en negrita el flujo de la línea que se utiliza para cada ion en cada una de las nebulosas.

Las abundancias iónicas suelen tener valores que van desde 10^{-1} hasta 10^{-6} , ya que se trata de la proporción de cada ion con respecto a H^+ . Para que los resultados sean más manejables, se suelen normalizar los valores entre 1 y 12, utilizando una nomenclatura logarítmica, que tiene la siguiente expresión:

$$A(X) = 12 + \log\left(\frac{X}{H^+}\right),$$

donde X es la abundancia del ion en cuestión en el formato original. Así pues, pasamos las abundancias iónicas de cada NP a este formato, cuyos valores se muestran en la Tabla 5.3. Como puede observarse, la abundancia de H^+ es siempre 12 por definición, mientras que los demás iones tienen valores diversos.

De entre estos, los más abundantes son los iones de helio (He^+ y He^{++}), con valores siempre superiores a 9. Si la abundancia de $HeII$ es mayor que la de HeI , quiere decir que la nebulosa está altamente ionizada, ya que habrá más contribución de flujo proveniente de iones de helio doblemente ionizados.

Los siguientes iones más abundantes son los de oxígeno, con valores de entre 7 y 9 normalmente. De nuevo, si la abundancia de O^{++} es mayor que la de O^+ estaremos ante una nebulosa altamente ionizada, como es el caso de la NGC 2022 e incluso la IC 2149.

TABLA 5.3: Abundancias Iónicas.

Ion	Abell 24	HDW 5	IC 2149	NGC 2022
H^+	12.00 ± 0.02	12.00 ± 0.01	12.00 ± 0.01	12.00 ± 0.01
He^+	11.44 ± 0.06	11.01 ± 0.03	10.95 ± 0.02	10.13 ± 0.14
He^{++}	9.97 ± 0.33	9.27 ± 0.34	-	11.00 ± 0.01
N°	7.63 ± 0.21	-	-	-
N^+	8.45 ± 0.12	7.79 ± 0.31	6.79 ± 0.04	5.14 ± 0.06
O°	7.89 ± 0.18	7.89 ± 0.41	6.15 ± 0.05	-
O^+	7.85 ± 0.18	8.67 ± 0.52	7.56 ± 0.04	5.80 ± 0.15
O^{++}	7.29 ± 0.16	7.04 ± 0.41	8.25 ± 0.04	7.84 ± 0.01
Ar^{++}	6.11 ± 0.39	6.23 ± 0.28	5.83 ± 0.04	5.59 ± 0.01
Ar^{+3}	-	-	-	6.09 ± 0.01
Ar^{+4}	-	-	-	5.48 ± 0.03
Cl^{++}	-	-	4.76 ± 0.07	4.53 ± 0.39
Ne^{++}	-	-	7.49 ± 0.05	7.11 ± 0.01
Ne^{+3}	-	-	-	7.55 ± 0.21
S^+	6.36 ± 0.12	6.76 ± 0.29	4.96 ± 0.03	5.54 ± 0.10
S^{++}	-	-	5.95 ± 0.05	5.99 ± 0.06
K^{+3}	-	-	-	4.33 ± 0.25

Los iones de nitrógeno también tienen bastante presencia, principalmente los de N^+ , con valores de entre 6 y 8 aproximadamente.

Por su parte, los iones de azufre también suelen ser bastante comunes, tanto los de S^+ como de S^{++} , pero con abundancias ligeramente más bajas ya, con valores entre 5 y 7 normalmente. El ion de Ar^{++} también se encuentra en todas las nebulosas, aunque con abundancias inferiores, tomando valores de en torno a 6. En el caso de la NGC 2022, también se detectan iones de argón más ionizados (Ar^{+3} y Ar^{+4}).

Por último, en algunos casos, también tenemos abundancias de iones de neón (Ne^{++} o Ne^{+3}), cloro (Cl^{++}) e incluso de potasio (K^{+3}). Aunque con valores notablemente más bajos en general.

Al igual que se hizo en el caso de las temperaturas y densidades electrónicas, en este caso también hacemos uso del método de Monte Carlo para estimar el valor de incertidumbre de las diferentes abundancias iónicas, y partiendo de los valores de error de los flujos (ver Figura 5.14). Así, obtenemos la desviación estándar de la distribución de los resultados, y lo utilizamos como el valor de incertidumbre para cada una de las abundancias iónicas. Estos valores también se muestran en la Tabla 5.3.

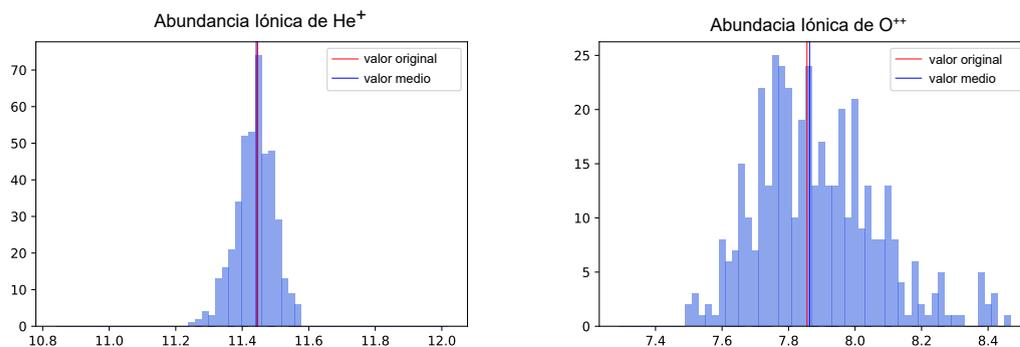


FIGURA 5.14: Distribución de abundancias iónicas del He^+ (izquierda) y del O^{++} (derecha) de la nebulosa Abell 24, obtenidas utilizando del método de Monte Carlo alrededor de los correspondientes valores originales.

5.4.3 Estimación de Abundancias Elementales

Una vez obtenidas las abundancias iónicas de las cuatro NPs, es posible estimar sus abundancias elementales. Es decir, la proporción en la que se hallan los diferentes elementos químicos en cada una de las nebulosas.

A lo largo del espectro óptico hemos sido capaces de detectar las líneas de emisión de unos cuantos iones, incluso más de una línea procedente de un mismo ion. Sin embargo, para poder obtener la abundancia total de un elemento, sería necesario haber detectado al menos una línea de cada uno de sus iones presentes en el gas nebuloso. Y esto no suele ser muy probable, puesto que hay muchos iones que no emiten radiación en el rango óptico, si no en el infrarrojo o ultravioleta. Por lo tanto, obtener las abundancias elementales no es una tarea fácil.

Para ello, se suele llevar cabo un método que, partiendo de las abundancias iónicas conocidas de un cierto elemento, trata de estimar cual sería la proporción de los iones que no pueden ser observados en el óptico. Concretamente, consiste en aplicar un factor de corrección (>1) sobre las abundancias iónicas ya conocidas de ese elemento, el conocido como ICF (*Ionization Correction Factor*), ya mencionado anteriormente.

A lo largo de los últimos años se han propuesto diferentes métodos para obtener estos ICFs. Los primeros se mostraron en el trabajo pionero de Torres-Peimbert and Peimbert [93]. Más adelante vinieron otros como el de Kingsburgh and Barlow [94]. Y más recientemente se han publicado otros como el de Izotov et al. [95] o el de Delgado-Inglada

et al. [96]. Cada uno de ellos, puede ser más útil o menos según las abundancias iónicas de las que se disponga, y no todos son válidos para todos los elementos químicos.

PyNeb contiene más de una docena de métodos para obtener el ICF, y poder estimar así las abundancias elementales. Así pues, fuimos inspeccionando los diferentes métodos disponibles para cada uno de los elementos de cada nebulosa. Tras analizar cuál era el método más adecuado para cada uno de nuestros casos, en función principalmente de las abundancias iónicas de las que disponíamos, fuimos capaces de estimar las abundancias elementales para cada nebulosa. Estos valores se muestran en las tablas 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7. Al igual que las abundancias iónicas, estos valores también vienen dados en el formato logarítmico expuesto anteriormente.

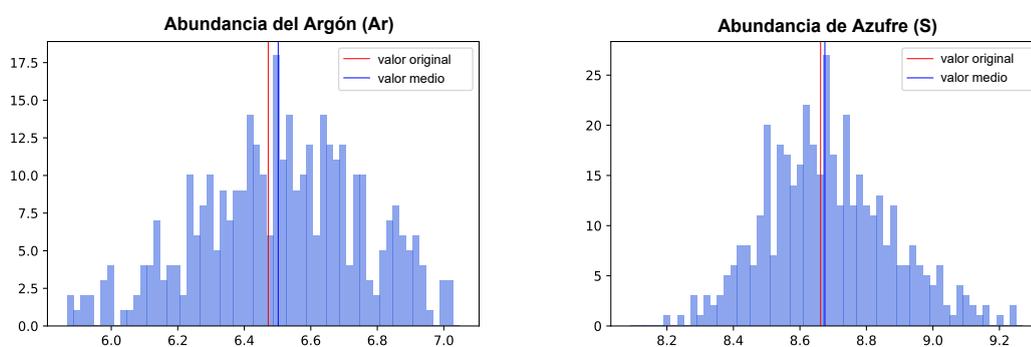


FIGURA 5.15: Distribución de abundancias del Argón (izquierda) y del Azufre (derecha) de la nebulosa Abell 24, obtenidas utilizando del método de Monte Carlo alrededor de los correspondientes valores originales.

En cuanto a los valores de incertidumbre de las abundancias, se han obtenido también de la misma forma que en el caso de las abundancias iónicas, basándonos en los errores de los flujos de las líneas y llevando a cabo el método de Monte Carlo para obtener una distribución de medidas, cuya desviación estándar nos proporciona el valor de incertidumbre. En la Figura 5.15 pueden apreciarse estas distribuciones para las abundancias de Argón y Azufre de la nebulosa Abell 24. Mostrándose también tanto el valor medio de la distribución, como el valor original (sin usar el método de Monte Carlo) de la abundancia. Como puede observarse, la diferencia entre estos dos valores suele ser muy baja.

Si se analizan las abundancias elementales obtenidas para las diferentes nebulosas, se puede ver que hay mucha variedad entre los diferentes elementos. Como ya se mencionó,

por definición, la abundancia del hidrógeno toma siempre el valor 12. El resto de abundancias pueden variar notablemente de una nebulosa a otra.

La nebulosa Abell 24 (Figura 5.16) es muy rica en helio, con un valor de abundancia de casi 11.5, lo que supone aproximadamente el 30% respecto a la abundancia de hidrógeno. Como se mostró en la sección anterior, el helio está presente principalmente en forma de He^+ en esta nebulosa. La Abell 24 también contiene una importante presencia de nitrógeno y oxígeno. El nitrógeno con una abundancia de casi 8.7, mientras que el oxígeno con un valor de abundancia ligeramente menor, de 8 aproximadamente. Por último, esta nebulosa también está compuesta por azufre y argón, pero en una proporción menor, con valores de abundancia de en torno 6.8 y 6.5, respectivamente.

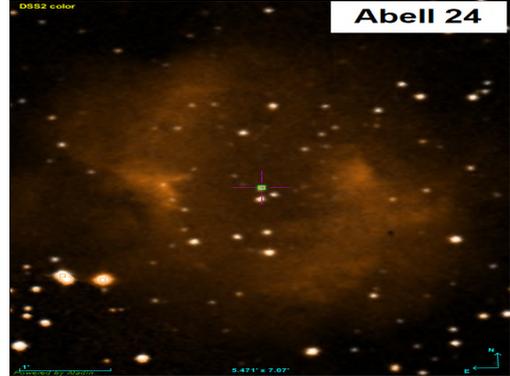


FIGURA 5.16: Nebulosa Abell 24. Imagem del atlas de *Aladin*.

TABLA 5.4: Abundancias Abell 24

Elemento	Abundancia	ICF	Referencia	Abun. Bibl.(*)
He	11.46 ± 0.05	1.00	(1)	11.45
N	8.69 ± 0.11	1.75	(1)	8.74
O	7.98 ± 0.19	1.02	(1)	8.29
S	6.77 ± 0.11	2.53	(1)	7.21
Ar	6.54 ± 0.39	2.62	(2)	6.68
Ne	-	-	-	8.53

Referencias: (*): Bohigas [97], (1): Delgado-Ínglada et al. [96], (2): Izotov et al. [98].

La composición química de esta nebulosa también fue calculada por Bohigas [97], obteniendo unas abundancias similares, aunque ligeramente sobrestimadas respecto a las nuestras. Las únicas diferencias notables son que en aquel estudio se detectó considerablemente más azufre (casi 0.5 más de abundancia), y que también se detectó presencia de neón.

La HDW 5 (Figura 5.17) es una nebulosa de morfología asimétrica muy particular, que estaría también compuesta por hidrógeno, helio, oxígeno, nitrógeno, azufre y argón. El helio tiene una presencia de algo más del 10% respecto al hidrógeno, con una abundancia de poco más de 11. La gran mayoría de este helio esta en forma de He^+ .

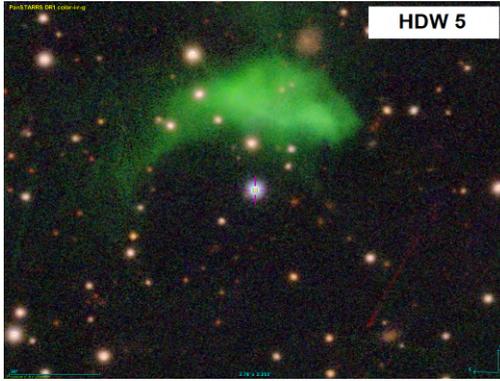


FIGURA 5.17: Nebulosa HDW 5. Imagen del atlas de *Aladin*.

El siguiente elemento más abundante es el oxígeno, con un valor de 8.65 (principalmente en forma de O^{++}), seguido del nitrógeno con una abundancia de casi 7.8. Por su parte, el azufre, posee una abundancia ligeramente por encima de 7. Por último, el elemento menos abundante es el argón, con algo más de 6.7 de abundancia.

En un trabajo previo de Bohigas [99], también fue estudiada la composición de esta nebulosa.

La diferencia más destacada respecto a nuestro estudio es que en aquel caso no se detectó presencia de argón. Respecto al resto de elementos, las abundancias detectadas fueron muy similares a las nuestras, con valores que, en general, tienden a ser ligeramente inferiores a los nuestros.

TABLA 5.5: Abundancias HDW 5

Elemento	Abundancia	ICF	Referencia	Abun. Bibl. (*)
<i>He</i>	11.02 ± 0.03	1.00	(1)	10.97
<i>O</i>	8.65 ± 0.38	1.01	(1)	8.42
<i>N</i>	7.79 ± 0.23	1.04	(1)	7.45
<i>S</i>	7.05 ± 0.22	2.07	(1)	7.10
<i>Ar</i>	6.74 ± 0.24	3.51	(1)	-

Referencias: (*): Bohigas [99], (1): Delgado-Inglada et al. [96].

En cuanto a la IC 2149 (Figura 5.18), se trata de una nebulosa compuesta por una amplia variedad de elementos químicos. Tiene una abundancia de helio de poco más de 11, concretamente supone algo más del 11% sobre la abundancia de hidrógeno. En este caso solo se han detectado iones de He^+ . El segundo elemento más abundante en esta nebulosa es el oxígeno, con un valor de abundancia por encima de 8.3, la mayor parte de él en forma de O^{+3} , lo que indicaría que se trata de una nebulosa altamente ionizada. La IC 2149 también es bastante abundante en nitrógeno

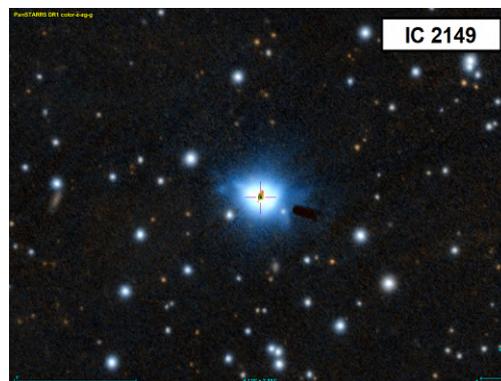


FIGURA 5.18: Nebulosa IC 2149. Imagen del atlas de *Aladin*.

y en neón, con valores de abundancia muy similares y ligeramente por encima de 7.5. En menor medida también se ha detectado la presencia de argón y azufre con valores de abundancia de en torno a 6.1, incluso se ha detectado la presencia de cloro, con un valor de abundancia ligeramente por debajo de 5.

TABLA 5.6: Abundancias IC 2149

Elemento	Abundancia	ICF	Referencia	Abun. Bibl.(*)
<i>He</i>	11.05 ± 0.01	1.11	(1)	10.97
<i>O</i>	8.33 ± 0.01	1.00	(2)	8.46
<i>N</i>	7.53 ± 0.03	5.46	(2)	6.92
<i>Ne</i>	7.52 ± 0.01	1.07	(2)	7.37
<i>S</i>	6.16 ± 0.04	1.52	(2)	5.14
<i>Ar</i>	6.08 ± 0.01	1.87	(3)	5.90
<i>Cl</i>	4.94 ± 0.03	1.50	(2)	4.70

Referencias: (*): Feibelman et al. [100], (1): Peimbert et al. [101], (2): Izotov et al. [95], (3): Kingsburgh and Barlow [94].

La composición de esta nebulosa fue analizada previamente mediante el estudio de Torres-Peimbert and Peimbert [93], y posteriormente más al detalle en el trabajo de Feibelman et al. [100]. Si comparamos estos últimos resultados con los obtenidos aquí, se observa que los valores de abundancias son compatibles en general, pero los de Feibelman tienden a estar subestimados respecto a los nuestros. Principalmente las abundancias de nitrógeno y especialmente del azufre, son menores en el estudio de Feibelman.

Este desajuste probablemente se deba al método utilizado para calcular los ICFs, ya que en aquella época se conocían menos métodos y menos eficaces que hoy en día.

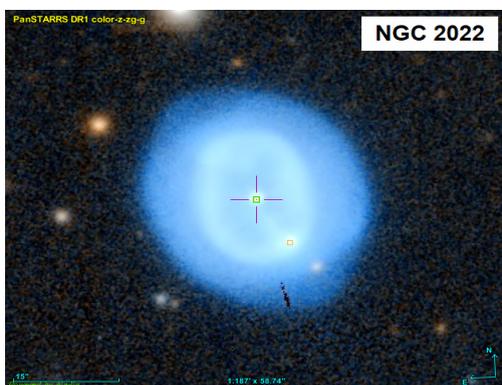


FIGURA 5.19: Nebulosa NGC 2022. Imagen del atlas de *Aladin*.

Por último, la nebulosa NGC 2022 (Figura 5.19), es a la que más líneas de emisión le hemos logrado medir, por tanto, con más fiabilidad hemos podido estimar sus abundancias elementales. Esta nebulosa posee una abundancia de helio muy similar a la anterior, con una proporción de poco más del 11% respecto a la abundancia de hidrógeno. Aunque en este caso, la mayoría del helio ha sido detectado en forma de He^{++} , por lo que estaríamos ante una nebulosa altamente ionizada.

La NGC 2022 también muestra una elevada abundancia de oxígeno (con un valor de entorno a 8.6), de neón (con un valor de casi 8.1) y nitrógeno (con un valor de 7.8). En el caso del oxígeno, se detectó principalmente en forma de O^{+3} , un indicativo más de la alta ionización de la NGC 2022. Ya en menor medida, también está compuesta por azufre (con una abundancia de entorno a 7), por argón (abundancia de casi 6.3) e incluso por algo de cloro (abundancia de poco más de 5).

TABLA 5.7: Abundancias NGC 2022

Elemento	Abundancia	ICF	Referencia	Abun. Bibl.(*)
<i>He</i>	11.05 ± 0.01	1.00	(1)	11.03
<i>O</i>	8.61 ± 0.12	6.00	(1)	8.68
<i>Ne</i>	8.07 ± 0.15	10.3	(2)	8.13
<i>N</i>	7.80 ± 0.16	486	(1)	8.00
<i>S</i>	7.03 ± 0.15	8.08	(3)	6.80
<i>Ar</i>	6.29 ± 0.10	1.0	(4)	6.43
<i>Cl</i>	5.01 ± 0.39	3.22	(3)	5.11

Referencias: (*): Pottasch et al. [102], (1): Delgado-Inglada et al. [96], (2): Kwitter and Henry [103], (3): Izotov et al. [95], (4): Método directo: $Ar^{++} + Ar^{+3} + Ar^{+4}$.

La composición química de la NGC 2022 fue estudiada previamente en el trabajo de Pottasch et al. [102]. Si se comparan las abundancias obtenidas en aquel estudio con las obtenidas en el presente estudio, se puede ver que los resultados son compatibles. En general, las abundancias de Pottasch tienden a estar ligeramente sobrestimadas respecto a las nuestras. Salvo en el caso del helio y del azufre, que están ligeramente subestimadas.

5.4.4 Propiedades nebulares derivadas de las Abundancias

El conocimiento de las abundancias elementales de una nebulosa puede dar información sobre otras propiedades nebulares, como la morfología o la masa de su EC. Hace unos pocos años, mediante el trabajo de Pottasch and Bernard-Salas [104], se llevó a cabo un estudio sobre la relación entre estas propiedades nebulares y las abundancias obtenidas para una treintena de NPs.

Concretamente, se analizaron los ratios entre las abundancias de nitrógeno y oxígeno, en forma logarítmica ($\log [N/O]$), y en función de la morfología nebular y de la masa de la EC. Como resultado se obtuvo que las nebulosas bipolares tendían a tener valores de $\log [N/O] > -0.1$, mientras que las elípticas, por lo general, tomaban valores de

$\log [N/O] < -0.1$. Además, cuanto mayor era el valor de $\log [N/O]$, más masiva tendía a ser la EC correspondiente.

En nuestro caso, si calculamos los valores de $\log [N/O]$ para nuestras NPs, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 5.8, donde también indicamos la morfología de estas nebulosas. Como puede apreciarse, la única con valor $\log [N/O] > -0.1$ es la Abell 24, que efectivamente es una nebulosa bipolar. Las otras tres NPs, con valores de $\log [N/O] < -0.1$, muestran morfologías diversas, siendo la única elíptica la NGC 2022, que concordaría con la predicción de Pottasch y Bernard-Salas.

TABLA 5.8: Otros parámetros nebulares.

	Abell 24	HDW 5	IC 2149	NGC 2022
$\log(N/O)$	0.72 ± 0.45	-0.86 ± 1.67	-0.80 ± 0.03	-0.83 ± 0.26
Morfología	bipolar	asimétrica	bipolar	elíptica
M_{trazas}	$4.6 M_{\odot}$	$< 1 M_{\odot}$	$1.15 M_{\odot}$	$< 1 M_{\odot}$
M_{abun}	$5.5 M_{\odot}$	$2 M_{\odot}$	$1.25 M_{\odot}$	$2 M_{\odot}$

Adicionalmente, también mostramos las masas de las respectivas ECs de cada nebulosa (M_{trazas}), calculadas previamente mediante trazas evolutivas de estrellas en fase de post-AGB, como ya se explicó en capítulos anteriores. Si se comparan estos valores de masa con los correspondientes valores de $\log [N/O]$, se observa que siguen la relación propuesta por Pottasch y Bernard-Salas. Es decir, cuanto mayor es el valor de $\log [N/O]$, mayor tiende a ser la masa. La Abell 24 es claramente la que posee una EC más masiva, y a su vez un valor de $\log [N/O]$ más alto. Mientras que el resto de nebulosas tienen ECs muy poco masivas, acompañadas de valores de $\log [N/O]$ bastante bajos. Aunque en nuestro caso tenemos muy pocas NPs como para poder confirmar esta relación estadísticamente.

Por otra parte, también se puede realizar una estimación de las masas a partir de las abundancias de las nebulosas, haciendo uso de los modelos de Karakas [105]. Estos modelos sirven para un amplio rango de metalicidades y para predecir masas de entre 1 y $6 M_{\odot}$.

Aplicando estos modelos a las abundancias obtenidas para nuestras NPs, obtenemos los valores de masas (M_{abun}) que se muestran en la Tabla 5.8. Como puede apreciarse, estos valores de masa son bastante similares a los estimados mediante las trazas evolutivas a partir de las temperaturas y luminosidades de la ECs. Por lo que se podría concluir que

ambos modelos de estimación de masas serían compatibles. Además, las masas obtenidas a partir de las abundancias, también son compatibles con los valores de $\log [N/O]$.

Conclusiones

En este trabajo se ha logrado primeramente identificar un conjunto de 1571 ECNPs entre las fuentes estelares de la base de datos de Gaia DR2 con paralajes conocidos. Más recientemente, haciendo uso de la base de datos de Gaia EDR3, se ha logrado identificar con aún más fiabilidad un total de 1725 ECNPs con paralajes conocidos. Para lograrlo, se ha utilizado un nuevo algoritmo de identificación, basado no solo en la distancia de las estrellas al centro nebular (caso del método utilizado con DR2), si no también basado en el color estelar (que se espera que sea lo más azul posible).

El conocimiento de los paralajes de estas estrellas, nos ha permitido derivar sus distancias mediante un método estadístico Bayesiano desarrollado por Bailer-Jones et al. [24]. Como resultado se ha obtenido que la mayoría de las NPs están ubicadas a una distancia de entre 1 y 7 kpc, aunque también se han llegado a detectar algunas NPs a más de 10 kpc. Por otra parte, en cuanto a la distribución galáctica de las NPs, se puede concluir que la mayoría de ellas están ubicadas en la zona del plano galáctico (bajas latitudes) y en dirección al centro galáctico (longitudes cercanas a 0°).

Gracias al conocimiento de las distancias y al de la distribución galáctica de las NPs, se ha podido realizar un estudio sobre la densidad de este tipo de objetos (63.7 NPs/kpc^3) en la Vía Láctea y de su población total (20 761 NPs), siendo los valores hallados ligeramente inferiores a los obtenidos por Zijlstra and Pottasch [28]. La completitud de la muestra es un factor importante que puede influir en estos cálculos o en otros similares que se hagan a gran escala. Consecuentemente, se ha logrado estimar que la muestra utilizada es completa hasta alrededor de los 2.3 kpc, y se ha hipotetizado sobre los factores que han podido influir a la incompletitud de la muestra más allá de esta distancia.

Para realizar un análisis más detallado, se selecciona una muestra (GAPN) de NPs con los paralajes y las distancias más fiables y exactas. Para ello, se hace un filtrado en función de los errores relativos de estos parámetros astrométricos. Utilizando los datos de DR2 se ha obtenido una muestra de 217 NPs, mientras que con los datos de EDR3 se ha logrado obtener una muestra con 405 NPs. Si se comparan las distancias de estos objetos con las estimadas en otros estudios, se ve que son muy similares a aquellas obtenidas mediante métodos astrométricos. Mientras que si se comparan con las distancias estimadas mediante ajustes de modelos non-LTE a atmósferas estelares o

métodos de distancias estadísticas, el perfil de la distribución es similar, pero se ve que estas están sobrestimadas respecto a las de Gaia DR2 o EDR3, mostrando un desfase más o menos constante entre ellas.

En cuanto a la morfología y el tamaño de las NPs de la muestra, se puede decir que la mayoría de ellas, más del 80%, muestran formas elípticas, bipolares o redondas; mientras que el radio nebular medio de la muestra es de alrededor de 0.5 pc. De todas formas, la mayoría de las NPs tienen radios por debajo de 0.3 pc, y en el otro extremo, hay varias NPs con radios por encima de 1 pc. Además, se ha podido comprobar que las NPs bipolares tienden a ser más pequeñas que el resto de NPs, y a concentrarse más en la zona del plano galáctico. Por otra parte, también se ha visto que las NPs situadas cerca del plano galáctico, siguen aproximadamente las curvas sinusoidales de la velocidad radial esperadas para su rango de distancias, considerando que el plano galáctico tiene una rotación circular pura a 230 km/s.

Haciendo uso de los radios nebulares y de las velocidades de expansión extraídas de la bibliografía, se ha logrado estimar las edades cinemáticas para un conjunto de NPs de la muestra GAPN (45 NPs con DR2 y 65 NPs con EDR3). Analizando este parámetro se ve que la mayoría de ellas son NPs jóvenes, con edades cinemáticas por debajo de los 10 000 años. Además, se ha calculado que el tiempo de vida medio o tiempo de visibilidad de las NPs es de entorno a 26 000 - 28 000 años. Mientras que se ha estimado que cada mil años nacen unas 4.33 NPs en cada kpc^3 de nuestra galaxia.

Obteniendo las temperaturas y luminosidades de las ECs de un conjunto de las muestras GAPN-DR2 y GAPN-EDR3, hemos sido capaces de ubicar las estrellas en un diagrama HR junto con las trazas evolutivas de Vassiliadis and Wood [2] (caso de DR2) o de Miller Bertolami [7] (caso de EDR3), para poder así estudiar el estado evolutivo de las ECs (masas y edades) y de sus nebulosas. Como resultado, se ha obtenido que la mayoría de ellas muestran edades evolutivas por debajo de los 10 000 años (en concordancia con la edad cinemática) y masas de la estrella progenitora por debajo de $2 M_{\odot}$.

Dividiendo el diagrama en tres zonas en función de la fase evolutiva, se ha podido mostrar cómo tanto las edades evolutivas de las ECs como las edades cinemáticas y radios nebulares van en aumento a medida que se pasa de una fase a otra. En cuanto a las masas de las ECs, parecen ser independientes de la fase en que se midan, puesto que tienen valores medios similares en las tres fases. Si se analiza la distribución de

las ECs en el diagrama HR en función de su tipo espectral (caso con EDR3), se puede observar que las estrellas de tipo-O tardío están localizadas principalmente en la primera región, mientras que las estrellas de tipo-O temprano tienden a ubicarse más en la región intermedia. Por último, la tercera región está dominada por la presencia de estrellas en fase de enana blanca.

Además, buscando alrededor de cada EC de la muestra GAPN objetos coincidentes en paralaje y movimientos propios con su correspondiente EC, hemos logrado encontrar varios sistemas binarios asociados a las correspondientes nebulosas de la muestra, con separaciones menores de 15 000 AU. Alguno de estos sistemas ya habían sido detectados como posibles sistemas binarios, y la precisa astrometría de Gaia nos ha permitido confirmar estos vínculos. Mientras que otros sistemas detectados podrían ser novedosos. Incluso se ha detectado un posible sistema triple en la nebulosa Fr 2-42. Con el objetivo de no haber incluido ninguna falsa compañera, hemos aplicado condiciones muy estrictas a nuestro algoritmo de detección de objetos *comoving*. Además, se ha realizado un análisis probabilístico sobre posibles falsas coincidencias, obteniendo valores muy bajos, prácticamente despreciables. Haciendo uso de la fotometría de las estrellas compañeras y de los modelos evolutivos, hemos podido estimar las temperaturas, luminosidades y masas (incluso edades) de algunas de ellas. Estos parámetros se muestran en concordancia con los correspondientes parámetros de sus ECs.

También se han estudiado los sistemas binarios próximos en las NPs, es decir, aquellos cuyas componentes estelares son tan cercanas que no pueden distinguirse como dos fuentes separadas. Realizando un análisis estadístico sobre varios parámetros de EDR3 relacionados con la calidad de detección, se ha logrado vislumbrar que las ECNPs rojas tienden a tener más probabilidad que las azules de pertenecer a un sistema binario próximo. En cuanto a la posible influencia de los sistemas binarios próximos sobre la morfología de las nebulosas, se ha realizado un pequeño análisis, obteniendo como resultado que la población de ECNPs rojas (más probables de ser binarias próximas) tiende a albergar un mayor porcentaje de nebulosas bipolares que la población de ECNPs azules.

Por otra parte, se ha realizado un estudio sobre las estrellas en fase de post-AGB, haciendo uso de la astrometría de Gaia EDR3. Tras filtrar una muestra de objetos candidatos a post-AGB con buena precisión de la distancia, y ajustando la SED de estos

objetos a los modelos fotométricos, se ha logrado estimar sus luminosidades. Esto nos ha permitido discernir entre objetos post-AGB y objetos de otros tipos estelares similares dentro la muestra. La ubicación en un diagrama HR de las estrellas seleccionadas como post-AGB, junto con las trazas evolutivas de Miller Bertolami, nos ha permitido estimar sus masas y edades. Concluyendo que la mayoría de estas estrellas tienen masas por debajo de $1.5 M_{\odot}$ en la SP, y una edad evolutiva de unos pocos miles de años.

A través de este estudio, se ha logrado confirmar la identificación de un gran conjunto de estrellas post-AGB de la bibliografía. Por otra parte, se han propuesto varias estrellas como post-AGB que no habían sido confirmadas como tales, y también se han descartado algunas estrellas o al menos han sido cuestionadas como post-AGBs. Finalmente, hemos encontrado un curioso grupo de estrellas en dirección a la LMC que están ubicadas fuera de la Galaxia, probablemente en el *Stream* que une la LMC con la Vía Láctea, debido a sus distancias.

Por último, a partir de las observaciones de varias de las nebulosas de la muestra GAPN-EDR3 (realizadas para nuestro grupo de investigación mediante el telescopio INT de La Palma), hemos podido extraer sus espectros y medir sus líneas de emisión. Y a partir de las líneas, hemos logrado calcular las temperaturas y densidades electrónicas de alguna de estas nebulosas, así como estimar sus abundancias iónicas y elementales.

Finalmente, mediante las abundancias elementales, hemos realizado una estimación de las masas de las ECPNs. Y comparándolas con las masas obtenidas anteriormente a través de las trazas evolutivas, hemos obtenido resultados bastante similares. Así mismo, hemos verificado que las nebulosas con ECs más masivas tienen valores de N/O más elevados que las que poseen ECs menos masivas. Tendencia que también puede vislumbrarse mediante el análisis de otras nebulosas con abundancias ya conocidas en la literatura.

Conclusions

Through this work it has been possible to identify a set of 1571 CSPNe with known parallaxes among the stellar sources of the Gaia DR2 database. More recently, using the Gaia EDR3 database, a total of 1725 CSPNe with known parallaxes have been identified with even more reliability. To achieve this, a new identification algorithm has been used, based not only on the distance of the stars from the nebular center (case of the method used with DR2), but also based on the stellar color (which is expected to be as blue as possible).

The knowledge of the parallaxes of these stars has allowed us to derive their distances by using a Bayesian statistical method developed by Bailer-Jones et al. [24]. As a result, it has been obtained that most of the PNe are located at a distance between 1 and 7 kpc, although some PNe have been detected more than 10 kpc away. Regarding the galactic distribution of the PNe, it can be concluded that most of them are located in the area of the galactic plane (low latitudes) and in the direction of the galactic center (longitudes close to 0°).

Thanks to the knowledge of the distances and the galactic distribution of the PNe, a study on the density of this type of objects (63.7 PNe/kpc^3) in the Milky Way has been carried out, and also on its total population (20 761 PNe). The values found have been slightly lower than those obtained by Zijlstra and Pottasch [28]. The completeness of the sample is an important factor that can influence these or similar calculations that are made on a large scale. Consequently, it has been possible to estimate that the sample used is complete up to around 2.3 kpc, and it has been hypothesized about the factors that may have influenced the incompleteness of the sample beyond this distance.

For a more detailed analysis, a sample (GAPN) of PNe with the most reliable and exact parallaxes and distances has been selected. To do this, a filtering has been done based on the relative errors of these astrometric parameters. Using the DR2 data, a sample of 217 PNe has been obtained, while with the EDR3 data it has been possible to obtain a sample of 405 PNe. If the distances of these objects are compared with those estimated in other studies, it can be appreciated that they are very similar to those obtained by astrometric methods. While if they are compared with the distances estimated by non-LTE model adjustments to stellar atmospheres or statistical distance methods, the profile of the

distribution is similar, but it is seen that these are overestimated comparing to those from Gaia DR2 or EDR3, showing a more or less constant bias between them.

Regarding the morphology and size of the PNe in the sample, it can be said that most of them, more than 80 %, show elliptical, bipolar or round shapes; while the mean nebular radius of the sample is around 0.5 pc. However, most PNe have radii below 0.3 pc, and at the other extreme, there are several PNe with radii above 1 pc. In addition, it has been found that bipolar PNe tend to be smaller than the rest of PNe, and to be more concentrated in the area of the galactic plane. Moreover, it has also been seen that the PNe located near the galactic plane, follow approximately the sinusoidal curves of the radial velocity expected for their range of distances, considering that the galactic plane has a pure circular rotation of 230 km/s.

Using the nebular radii and the expansion velocities obtained from the bibliography, it has been possible to estimate the kinematic ages for a set of PNe from the GAPN sample (45 PNe with DR2 and 65 PNe with EDR3). Analysing this parameter, it is seen that most of them are young PNe, with kinematic ages below 10 000 years. Furthermore, the mean lifetime or visibility time of PNe has been calculated to be around 26 000-28 000 years. While it has been estimated that every thousand years about 4.33 PNe are born in each kpc^3 of our galaxy.

Obtaining the temperatures and luminosities of the CSs of a set of the GAPN-DR2 and GAPN-EDR3 samples, we have been able to locate them in an HR diagram together with the evolutionary tracks of Vassiliadis and Wood [2] (DR2 case) or of Miller Bertolami [7] (EDR3 case), in order to study the evolutionary state of the CSs (masses and ages) and their nebulae. As a result, it has been obtained that most of them show evolutionary ages below 10 000 years (in agreement with the kinematic age) and masses of the progenitor star below $2 M_{\odot}$.

Dividing the diagram into three regions according to the evolutionary phase, it has been possible to show how both the evolutionary ages of the CSs, and how the kinematic ages and nebular radii increase from one phase to another. Regarding the masses of the CSs, they seem to be independent of the phase in which they are measured, since they have similar mean values in the three phases. If the distribution of the CSs in the HR diagram is analysed as a function of their spectral type (case with EDR3), it can be observed that the late O-type stars are located mainly in the first region, while the early O-type stars

tend to be located in the intermediate region. Finally, the third region is dominated by the presence of stars in the white dwarf phase.

Furthermore, searching around each CS of the GAPN samples for objects coinciding in parallax and in proper motions with their corresponding CS, we have managed to find several binary systems associated with the corresponding nebulae in the sample, with separations shorter than 15 000 AU. Some of these systems had already been detected as possible binary systems, and the precise astrometry of Gaia has allowed us to confirm these links. While other detected systems could be novel. Even a possible triple system has been detected in the Fr 2-42 nebula. In order to not have included any false companions, we have applied very strict conditions to our algorithm for detecting *comoving* objects. In addition, a probabilistic analysis has been carried out on possible false coincidences, obtaining very low, practically negligible values. Using the photometry of the companion stars and evolutionary models, we have been able to estimate the temperatures, luminosities and masses (even ages) of some of them. These parameters are displayed in accordance with the corresponding parameters of the CSs.

We have also study the close binary systems in PNe, that is, those whose stellar components are so close that they cannot be distinguished as two separate sources. Carrying out a statistical analysis on several EDR3 parameters related to the quality of detection, it has been possible to glimpse that the red CSPNe tend to be more likely than the blue ones to belong to a close binary system. Regarding the possible influence of close binary systems on nebular morphology, a small analysis has been carried out, obtaining as a result that the population of red CSPNe (more likely to be close binaries) tends to host a higher percentage of bipolar nebulae, than the population of blue CSPNe.

In addition, a study has been carried out on stars in the post-AGB phase, using Gaia EDR3 astrometry. After filtering a sample of post-AGB candidate objects with good distance accuracy, and fitting the SED of these objects to the photometric models, it has been possible to estimate their luminosities. This has allowed us to discern between post-AGB objects and objects of other similar stellar types within the sample. The location on an HR diagram of the stars selected as post-AGB, together with the evolutionary tracks of Miller Bertolami, has allowed us to estimate their masses and ages. Concluding that most of these stars have masses below $1.5 M_{\odot}$ in the MS, and an evolutionary age of a few thousand years.

Through this study, it has been possible to confirm the identification of a large set of post-AGB stars from the literature. On the other hand, several stars that had not been confirmed as post-AGB, have been now proposed as such, and some other stars have been ruled out or at least questioned as post-AGBs. Finally, we have found a curious group of stars in the direction of the LMC that are located outside the Galaxy, probably in the Stream that joins the LMC with the Milky Way, due to their distances.

Finally, based on the observations of several nebulae from the GAPN-EDR3 sample (carried out for our research group using the INT telescope on La Palma), we have been able to extract their spectra and measure their emission lines. And from the lines, we have managed to calculate the electronic temperatures and densities of some of these nebulae, as well as estimate their ionic and elemental abundances.

Furthermore, from the elemental abundances, we have made an estimation of the CSPNe masses. And comparing them with the masses obtained previously through evolutionary tracks, we have obtained quite consistent results. Likewise, we have verified that nebulae with more massive ECs have higher N/O values than those with less massive ECs. This trend can also be glimpsed through the analysis of other nebulae with abundances already known in the literature.

Conclusions

Neste traballo logrouse primeiramente identificar un conxunto de 1571 ECNPs entre as fontes estelares da base de datos de Gaia DR2 con paralaxes coñecidas. Máis recentemente, facendo uso da base de datos de Gaia EDR3, logrouse identificar con aínda máis fiabilidade un total de 1725 ECNPs con paralaxes coñecidas. Para logralo, utilizouse un novo algoritmo de identificación, baseado non só na distancia das estrelas ao centro nebular (caso do método utilizado con DR2), se non tamén baseado na cor estelar (que se espera que sexa o máis azul posible).

O coñecemento das paralaxes destas estrelas, permitiunos derivar as súas distancias mediante un método estatístico Bayesiano desenvolvido por Bailer-Jones et al. [24]. Como resultado obtívose que a maioría das NPs están situadas a unha distancia de entre 1 e 7 kpc, aínda que tamén se chegaron a detectar algunhas NPs a máis de 10 kpc. Por outra banda, en canto á distribución galáctica das NPs, pódese concluír que a maioría delas están situadas na zona do plano galáctico (baixas latitudes) e en dirección ao centro galáctico (lonxitudes próximas a 0°).

Grazas ao coñecemento das distancias e ao da distribución galáctica das NPs, púidose realizar un estudo sobre a densidade deste tipo de obxectos (63.7 NPs/kpc^3) na Vía Láctea e da súa poboación total (20 761 NPs), sendo os valores achados lixeiramente inferiores aos obtidos por Zijlstra and Pottasch [28]. A completitude da mostra é un factor importante que pode influír nestes cálculos ou noutros similares que se fagan a gran escala. Consecuentemente, logrouse estimar que a mostra utilizada é completa ata ao redor dos 2.3 kpc, e hase hipotetizado sobre os factores que puideron influír á incompletitud da mostra máis aló desta distancia.

Para realizar unha análise máis detallada, selecciónase unha mostra (GAPN) de NPs con con as paralaxes e as distancias máis fiables e exactas. Para iso, faise un filtrado en función dos erros relativos destes parámetros astrométricos. Utilizando os datos de DR2 obtívose unha mostra de 217 NPs, mentres que cos datos de EDR3 logrouse obter unha mostra con 405 NPs. Se se comparan as distancias destes obxectos coas estimadas noutros estudos, vese que son moi similares a aquelas obtidas mediante métodos astrométricos. Mentres que se se comparan coas distancias estimadas mediante axustes de modelos non-LTE a atmosferas estelares ou métodos de distancias estatísticas,

o perfil da distribución é similar, pero vese que estas están sobrestimadas respecto a as de Gaia DR2 ou EDR3, mostrando un desfaseamento máis ou menos constante entre elas.

En canto á morfoloxía e o tamaño das NPs da mostra, pódese dicir que a maioría delas, máis do 80%, mostran formas elípticas, bipolares ou redondas; mentres que o radio nebular medio da mostra é de ao redor de 0.5 pc. De todos os xeitos, a maioría das NPs teñen radios por baixo de 0.3 pc, e no outro extremo, hai varias NPs con radios por encima de 1 pc. Ademais, púidose comprobar que as NPs bipolares tenden a ser máis pequenas que o resto de NPs, e a concentrarse máis na zona do plano galáctico. Por outra banda, tamén se ha visto que as NPs situadas preto do plano galáctico, seguen aproximadamente as curvas sinusoidales da velocidade radial esperadas para o seu rango de distancias, considerando que o plano galáctico ten unha rotación circular pura a 230 km/s.

Facendo uso dos radios nebulares e das velocidades de expansión extraídas da bibliografía, logrouse estimar as idades cinemáticas para un conxunto de NPs da mostra GAPN (45 NPs con DR2 e 65 NPs con EDR3). Analizando este parámetro vese que a maioría delas son NPs novas, con idades cinemáticas por baixo dos 10 000 anos. Ademais, calculouse que o tempo de vida medio ou tempo de visibilidade das NPs é de contorna a 26 000-28 000 anos. Mentres que se estimou que cada mil anos nacen unhas 4.33 NPs en cada kpc^3 da nosa galaxia.

Obtendo as temperaturas e luminosidades das ECs dun conxunto da mostras GAPN-DR2 e GAPN-EDR3, fomos capaces de situar as estrelas nun diagrama HR xunto coas trazas evolutivas de Vassiliadis and Wood [2] (caso de DR2) ou de Miller Bertolami [7] (caso de EDR3), para poder así estudar o estado evolutivo das ECs (masas e idades) e das súas nebulosas. Como resultado, obtívose que a maioría delas mostran idades evolutivas por baixo dos 10 000 anos (en concordancia coa idade cinemática) e masas de estrélaa proxenitora por baixo de $2 M_{\odot}$.

Dividindo o diagrama en tres zonas en función da fase evolutiva, púidose mostrar como tanto as idades evolutivas das ECs e como as idades cinemáticas e radios nebulares van en aumento a medida que se pasa dunha fase a outra. En canto ás masas das ECs, parecen ser independentes da fase en que se midan, debido a que teñen valores medios similares nas tres fases. Se se analiza a distribución das ECs no diagrama HR en función do seu tipo espectral (caso con EDR3), pódese observar que as estrelas de tipo-Ou tardío están

localizadas principalmente na primeira rexión, mentres que as estrelas de tipo-Ou cedo tenden a situarse máis na rexión intermedia. Por último, a terceira rexión esta dominada pola presenza de estrelas en fase de anana branca.

Ademais, buscando ao redor de cada EC das mostras GAPN obxectos coincidentes en paralaxe e movementos propios co seu correspondente EC, logramos atopar varios sistemas binarios asociados ás correspondentes nebulosas da mostra, con separacións menores de 15 000 AU. Algún destes sistemas xa foran detectados como posibles sistemas binarios, e a precisa astrometría de Gaia permitiunos confirmar estes vínculos. Mentres que outros sistemas detectados poderían ser novos. Mesmo se detectou un posible sistema triplo na nebulosa Fr 2-42. Co obxectivo de non incluír ningunha falsa compañeira, aplicamos condicións moi estritas ao noso algoritmo de detección de obxectos *comoving*. Ademais, realizouse unha análise probabilístico sobre posibles falsas coincidencias, obtendo valores moi baixos, practicamente despreziables. Facendo uso da fotometría das @estrella compañeiras e dos modelos evolutivos, puídemos estimar as temperaturas, luminosidades e masas (mesmo idades) dalgunhas delas. Estes parámetros móstranse en concordancia cos correspondentes parámetros dos seus ECs.

Tamén se estudou os sistemas binarios próximos nas NPs, é dicir, aqueles cuxas componetes estelares son tan próximas que non poden distinguirse como dúas fontes separadas. Realizando unha análise estatística sobre varios parámetros de EDR3 relacionados coa calidade de detección, logrouse albiscar que as ECNPs vermellas tenden a ter máis probabilidade que as azuis de pertencer a un sistema binario próximo. En canto á posible influencia dos sistemas binarios próximos sobre a morfoloxía da nebulosas, realizouse unha pequena análise obtendo como resultado que a poboación de ECNPs vermellas (máis probables de ser binarias próximas) tende a albergar unha maior porcentaxe de nebulosas bipolares que a poboación de ECNPs azuis.

Por outra banda, realizouse un estudo sobre as estrelas en fase de post-AGB, facendo uso da astrometría de Gaia EDR3. Tras filtrar unha mostra de obxectos candidatos a post-AGB con boa precisión da distancia, e axustando a SEDE destes obxectos aos modelos fotométricos, logrouse estimar as súas luminosidades. Isto permitiunos discernir entre obxectos post-AGB e obxectos doutros tipos estelares similares dentro a mostra. A ubicacion nun diagrama HR das estrelas seleccionadas como post-AGB, xunto coas trazas evolutivas de Miller Bertolami, permitiunos estimar as súas masas e idades. Concluindo

que a maioría destas estrelas teñen masas por baixo de $1.5 M_{\odot}$ na SP, e unha idade evolutiva duns poucos miles de anos.

A través deste estudo, logrouse confirmar a identificación dun gran conxunto de estrelas post-AGB da bibliografía. Por outra banda, propuxéronse varias estrelas como post-AGB que non foran confirmadas como tales, e tamén se descartaron algunhas estrelas ou polo menos foron cuestionadas como post-AGBs. Finalmente, atopamos un curioso grupo de estrelas en dirección á NGM que están situadas fóra da Galaxia, probablemente no Stream que une a LMC coa Vía Láctea, debido ás súas distancias.

Por último, a partir das observacións de varias das nebulosas da mostra GAPN-EDR3 (realizadas para o noso grupo de investigación mediante o telescopio INT da Palma), puidemos extraer os seus espectros e medir as súas liñas de emisión. E a partir das liñas, logramos calcular as temperaturas e densidades electrónicas dalgunha destas nebulosas, así como estimar as súas abundancias iónicas e elementais.

Finalmente, mediante as abundancias elementais, realizamos unha estimación da masa das ECPNs. E comparándoas coas masas obtidas anteriormente a través das trazas evolutivas, obtivemos resultados bastante semellantes. Así mesmo, verificamos que as nebulosas con ECs máis masivas teñen valores de N/O mais elevados que as que posúen ECs menos masivas. Esta tendencia tamén se pode albiscar a través da análise doutras nebulosas con abundancias xa coñecidas na literatura.

Trabajo futuro

Tras el estudio llevado a cabo a lo largo de esta tesis sobre las estrellas en fase de NP y post-AGB, han quedado abiertos algunos temas sobre los que seguir investigando y trabajando.

El primero de ellos sería indagar más sobre la binariedad en las estrellas rojas de la muestra GAPN. Tras plantear la hipótesis de que las estrellas rojas de NPs tuviesen más probabilidad de formar sistemas binarios, y posteriormente reforzar esta idea con resultados estadísticos, sería interesante profundizar más en este tema. Para ello habría que analizar más exhaustivamente los parámetros astrométricos y fotométricos del conjunto de estas estrellas rojas, en busca de más evidencias de binariedad.

Por otra parte, es interesante tratar de verificar que existe una población estelar en el *Stream* que une la Nube Grande de Magallanes con la Vía Láctea. Durante el estudio de las estrellas post-AGB, descubrimos que había varios de estos objetos que se ubican en la dirección de la LMC pero que realmente estarían más cerca (y fuera de la Vía Láctea), según las distancias obtenidas mediante Gaia. El objetivo sería encontrar más objetos que pertenezcan a este *Stream*, analizando tanto sus posiciones como sus movimientos propios y velocidades radiales, y que nos confirmen que realmente pertenecen a esta región estelar.

Finalmente, también nos gustaría calcular las abundancias químicas de más de las nebulosas de la muestra GAPN, con el objetivo de poder hacer una estadística más fiable sobre la relación entre las abundancias nebulares y las masas estelares. Para ello, es necesario obtener tiempo de observación en algún telescopio óptico (como el INT), para poder así extraer los espectros de algunas nebulosas más de la muestra. Para posteriormente, a partir de las líneas espectrales, poder llegar a estimar las abundancias iónicas y elementales de estas nebulosas.

Anexo A

Tablas de Datos

A.1 Tabla Identificación de ECNPs y Datos Astrométricos - Gaia DR2

Nombre Simbad	Nombre PNG	ID Gaia DR2	RA (°)	Dec (°)	Paralaje (mas)	ER _{Paralaje} (mas)	Distancia (pc)	ER _{Dist} ^{inJ} (%)	ER _{Dist} ^{sup} (%)	Altura _{Gal} (pc)	Radio (mas)	Vel _{rad} (km/s)
Abell 14	PN G197.8-03.3	3330404266518636416	92.7861	11.7788	0.225	19.66	4338.3	13.86	18.65	-257.3	0.689	...
Abell 20	PN G215.9+07.8	1335710272253699584	110.7474	1.7594	0.636	15.28	1577.4	11.76	15.21	214.5	0.244	...
Abell 21	PN G205.1+14.2	3163546505053645056	112.2613	13.2468	1.89	5.14	530.6	4.13	4.5	130.5	0.813	28.8
Abell 24	PN G217.1+14.7	3088991026757468800	117.9065	3.0059	1.457	10.01	691.2	8.5	10.19	176	0.633	12.7
Abell 28	PN G158.8+37.1	1040417211407001984	130.3982	58.2301	2.61	4.22	383.7	3.5	3.76	231.9	0.297	-2
Abell 29	PN G244.5+12.5	5703415268543295744	130.0788	-20.9102	0.879	21.68	1152.6	17.96	27.17	250.7	1.173	...
Abell 30	PN G208.5+33.2	660071056749861888	131.7227	17.8795	0.391	17.81	2405.7	10.66	13.25	1320.4	0.74	...
Abell 31	PN G219.1+31.2	597324024095840512	133.5548	-2.8089	1.989	5.26	503.9	4.29	4.68	261.7	1.136	41
Abell 33	PN G238.0+34.8	3827045252522912128	144.7878	-2.8089	1.168	7.59	856.4	5.91	6.69	489.6	0.561	60.1
Abell 34	PN G248.7+29.5	5690534730341025408	146.3973	-13.1711	0.891	13.07	1118.1	10.32	12.87	551.3	0.778	...
Abell 36	PN G318.4+41.4	629207465679874688	205.1724	-19.882	2.32	4.29	432	3.5	3.75	286.2	0.401	36.8
Abell 39	PN G047.0+42.4	1305573511415857536	246.8905	27.9093	1.019	7.17	984.1	5.22	5.81	664.6	0.386	...
Abell 43	PN G036.0+17.6	4488953930631143168	268.3845	10.6234	0.461	17.03	2186.5	12.25	16.06	661.9	0.424	-42
Abell 46	PN G055.4+16.0	4585381817643702528	277.8275	26.9367	0.359	17.88	2767.5	11.22	14.27	764.3	0.607	...
Abell 51	PN G017.6-10.2	408664358380322400	285.2558	-18.2043	0.469	13.9	2155	9.24	11.28	-383.2	0.308	3
Abell 54	PN G055.3+06.6	4521168448795699328	287.1646	22.9832	0.408	21.18	2494.3	15.95	22.98	290.7	0.356	...
Abell 57	PN G058.6+06.1	2024098484670541952	289.2736	25.6258	0.538	20.29	1920.3	16.76	24.86	206.6	0.17	...
Abell 6	PN G136.1+04.9	46793620586597352	44.6745	64.5017	1.034	19	1007.4	16.88	25.24	86.6	0.457	...
Abell 61	PN G077.6+14.7	212768498263984224	289.7925	46.2478	0.614	16.72	1634.9	13.03	17.37	417	0.789	-48
Abell 63	PN G053.8-03.0	1820963913284517504	295.5429	17.0873	0.391	14.51	2567.1	8.36	9.99	-135.5	0.28	...
Abell 65	PN G017.3-21.9	686461781791978624	296.6425	-23.137	0.658	10.58	1532.7	7.38	8.63	-573.4	0.442	13
Abell 7	PN G215.5-30.8	298622039646236032	75.7814	-15.6063	2.05	4.35	488.5	3.44	3.69	-250.5	0.926	18
Abell 72	PN G059.7-18.7	1761341417799128320	312.5086	13.5582	0.723	14.48	1395.2	11.48	14.76	-448	0.459	32.0761
Abell 74	PN G072.7-17.1	1840395547924993152	319.2181	24.1475	1.504	11.55	673.4	9.88	12.25	-198.6	1.308	18
Abell 78	PN G164.8+31.1	1850685091269441792	323.8724	31.696	0.663	12.32	1511	9.12	11.08	-388.8	0.432	17
Abell 79	PN G102.9-02.3	2004936573978252672	336.5719	54.8272	0.317	23.47	3087.8	15.39	21.51	-125.1	0.404	...
Abell 82	PN G114.0-04.6	1998212476247082880	356.4489	57.0662	0.527	9.29	1902.7	3.97	4.3	-155	0.522	-30.5
AMU 1	PN G075.9+11.6	2125895669204184832	292.7857	43.416	0.677	8.89	1482.4	5.59	6.28	299.4	0.717	...
ARO 121	PN G164.8+31.1	936605992140011392	119.4651	53.4214	1.019	11.62	979.2	9.34	11.39	507	0.877	-84.3
BMP J0642-0417	PN G215.7-03.9	3103822540968315264	100.5767	-4.2969	2.841	13.51	362.2	12.21	16.11	-25.2	0.544	...
BMP J0739-1418	PN G231.1+03.9	303000556082868096	114.9606	-14.3072	0.503	14.36	1989.7	9.93	12.29	135.5	0.731	...
BMP J1423-5923	PN G314.4+01.3	5890832733541361408	215.9991	-59.3948	0.731	9.97	1378.6	8.03	9.53	33.4	0.037	...
BMP J1521-6203	PN G319.5-04.1	5875163902566884096	230.3192	-62.0596	1.16	19.22	905.1	17.54	26.86	-65	0.018	...
BMP J1759-3321	PN G357.7-04.8	4042513447762858880	269.9384	-33.3535	1.223	17.8	856.8	16.24	23.97	-72.4	1.194	...
DeHt 2	PN G027.6+16.9	4376331092036268032	265.4204	3.1159	0.612	14.14	1656.7	10.87	13.81	482.3	0.442	...
DS 1	PN G283.9+09.7	5362804330246457344	163.6689	-48.7841	1.324	4.65	756.6	3.02	3.21	127.8	0.614	-25
DS 2	PN G335.5+12.4	6008325614048284416	235.7709	-39.3041	1.238	6.4	811.3	4.88	5.4	174.9	0.366	...
ECB 6	PN G221.6+46.4	615161091995252864	148.2457	13.743	0.764	24.26	1235	17.28	24.91	893.8	2.155	...
ESO 40-11	PN G305.6-13.1	5790663302917359872	203.5595	-75.7754	0.438	17.71	2279.8	12.39	16.23	-517.8	0.359	-16
FP J0904-4023	PN G263.1+04.3	5620675957697739648	136.0096	-40.3722	0.946	12.82	1070.2	10.62	13.4	80.7	1.401	...
FP J0905-3033	PN G255.8+10.9	5635240088724202496	136.2722	-30.5534	1.371	6.58	731.9	5.22	5.82	139.2	1.368	...
FP J1824-0319	PN G026.9+04.4	4269678120544342144	276.1703	3.3333	4.918	1.83	203.5	1.48	1.52	15.7	0.824	...
GLMP 1008	PN G076.6-05.7	186942265048750336	312.0693	34.4567	0.299	19.52	331.4	11.1	14.08	-331.8	0.029	...
H 1-31	PN G355.1-02.9	4041720699831756160	266.3832	-34.5652	1.263	4.88	794	3.17	3.38	-40.4	0.003	47.5
H 3-75	PN G193.6-09.5	334038408258168960	85.1876	-12.3565	0.261	22.96	3686.8	12.52	16.27	-613.3	0.273	6.93
HaTt 4	PN G335.2-03.6	5937103069115240192	251.2508	-3.5125	0.393	24.21	2976.6	18.71	28.98	-164	0.154	-97
HaTt 5	PN G343.3-00.6	5966150998003866368	255.367	-43.0987	0.9	8.81	1118.8	6.61	7.6	-12.9	0.282	...

Continuación en la próxima página

Tabla A.1 – *Continuación de la página previa*

Nombre Simbad	Nombre PNG	ID Gaia DR2	RA (^o)	Dec (^o)	Paralaje (mas)	ER _{Paralaje} (mas)	Distancia (pc)	ER _{mf Dist} (%)	ER _{sup Dist} (%)	Altura _{Gal} (pc)	Radio (as)	Vel _{rad} (km/s)
HaT 7	PN G332.5-16.9	591165685276078080	268.5393	-60.8327	0.54	13.63	1870.9	9.72	12	-544.2	0.834	...
HaWe 5	PN G156.9-13.3	223404549266115456	56.3613	37.8145	3.195	4.25	313.7	3.64	3.92	-72.3	0.026	...
HbDs 1	PN G273.6+06.1	541132856582925258	148.1855	-46.2798	1.458	4.61	687.1	3.21	3.43	74.1	0.213	...
HDW 1	PN G124.0+10.7	535357713421191168	16.7821	73.5565	3.223	2.32	310.5	1.74	1.8	57.8	0.207	...
HDW 3	PN G149.4+09.2	241198950690107264	81.8142	45.4057	1.189	9.15	846.1	7.44	8.7	-136.4	1.127	...
HDW 4	PN G156.3+12.5	268129413812162816	54.8445	55.5376	3.384	3.33	296	2.8	2.96	64.3	0.12	...
HDW 5	PN G218.9-10.7	3001563840710096512	95.9048	-10.2233	0.934	10.62	1078.8	8.51	10.21	-201.7	0.246	...
Hen 2-105	PN G308.6-12.2	5796437220731788288	213.8531	-74.2128	0.307	22.34	3201.1	14.09	19.12	-680.9	0.319	...
Hen 2-107	PN G312.6-01.8	5854138766383247232	214.6805	-63.1195	0.243	21.28	4087.3	10.05	12.45	-135.5	0.094	...
Hen 2-108	PN G316.1+08.4	5897352631316651264	214.537	-52.1776	0.389	15.39	2886.3	9.37	11.45	380.1	0.081	-11.1
Hen 2-111	PN G315.0-00.3	5878442989838460416	218.327	-60.8268	0.389	19.51	2583.6	15.71	22.35	-16.7	0.275	-10.4
Hen 2-143	PN G327.8-01.6	5836606709883180672	240.2477	-55.0943	0.726	20.49	1431.2	17.82	27.3	-41.7	0.013	-35
Hen 2-36	PN G279.6-03.1	5306043043221261568	145.8568	-57.2821	0.249	21.17	4027.2	10.46	13.1	-223.9	0.196	12
Hen 2-51	PN G288.8-05.2	5251802141752703360	158.9404	-64.3199	0.373	13.63	2698.8	6.49	7.44	-245.3	0.059	8
Hen 2-66	PN G290.5+07.9	5348195948185156736	172.1508	-52.9344	0.505	15.64	1999.9	11.43	14.69	275.8	0.23	28
Hen 2-99	PN G309.0-04.2	585186514806989568	208.1278	-66.3907	0.2	15.16	4990.5	9.38	11.44	-369.1	0.621	-95
Hen 3-172	PN G249.0+06.9	564649053433949440	127.9287	-27.7588	0.401	12.93	2490.1	6.39	7.3	302.1	0.007	24.18
HFG 1	PN G136.3+05.5	468033345145186816	45.946	64.9098	1.427	3.43	701.7	1.5	1.55	67.9	0.816	-26
HFG 2	PN G247.5-04.7	5594969135329315072	115.599	-32.7975	0.597	13.19	1703.2	11.25	14.43	-139.7	1.377	...
IC 1747	PN G130.2+01.3	51190404556131200	29.3987	63.3218	0.338	20.57	2948.8	13.57	18.28	71.9	0.093	-62.7
IC 2448	PN G285.7-14.9	5222772389050179840	136.7763	-69.9418	0.318	20.48	3055.3	12.34	16.03	-788.3	0.163	-24
IC 289	PN G138.8+02.8	463228376251556224	47.5804	61.3169	0.658	11.86	1532.7	8.78	10.6	75	0.167	-13.4
IC 418	PN G215.2-24.2	2985789113026163584	81.8675	-12.6973	0.675	10.74	1473.8	7.47	8.74	-606.1	0.045	62
IC 4593	PN G025.3+40.8	4457218245479455744	242.9356	12.0714	0.41	23.38	2397	16.63	23.98	1567.4	0.087	22
IC 4637	PN G345.4+00.1	5966769881320062208	256.2936	-40.8856	0.784	8.06	1280.9	5.34	5.96	3.1	0.05	15
IC 5148	PN G002.7-52.4	674225217863096056	329.8962	-39.3857	0.812	12.68	1238.9	10	12.41	-982.1	0.391	-26.2
IC 972	PN G326.6+42.2	6291509197468092622	211.108	-17.2379	0.533	22.44	1867.1	17.15	25.18	1255.2	0.213	-26.6
IPHASX J062937.8+065220	PN G204.3-01.6	3324383581360538624	97.4084	6.8715	0.542	22.08	1895.1	18.94	29.61	-55.7	0.285	...
IPHASX J191716.4+033447	PN G039.0-04.0	4292267621344838864	289.3183	3.5798	0.27	18.86	3696.8	8.8	10.6	-264.1	0.287	...
IPHASX J234403.8+603242	PN G114.7-01.2	2011797217286839168	356.0166	60.5449	0.638	8.24	1571.7	4.24	4.63	-34.3	0.084	...
IRAS 16005-5041	PN G331.0+01.2	5981613872402237512	241.0745	-50.8341	0.566	18.24	1795.7	14.5	20.15	37.7	0.012	...
IRAS 21282+5050	PN G093.9-00.1	21716527690050709568	322.4936	51.0667	0.279	16.99	3573.1	6.29	7.16	-7.3	0.045	...
IsWe 1	PN G149.7-03.3	250358801943821952	57.2747	50.0041	2.276	4.36	440.5	3.55	3.81	-26.1	0.774	-1.5
IsWe 2	PN G107.7+07.8	221868261534278912	333.3438	65.8987	1.153	11.92	881.7	10.04	12.51	119.8	1.849	-8
Jacoby 1	PN G085.4+52.3	1595941441250636672	230.444	52.3678	1.365	5.81	733.9	4.36	4.77	581.1	1.174	...
JaSt 54	PN G001.1+00.8	4060723421811887104	266.2963	-27.5439	0.716	19.73	1460.6	17.39	26.46	20.6	0.053	...
JaSt 62	PN G001.1+00.0	4057637676787155200	267.1917	-27.9606	0.614	9.42	1639.7	5.67	6.38	-2.5	0.024	...
JaSt 96	PN G000.5-01.7	4056558471795846272	268.4877	-29.3377	0.614	9.7	1640.1	6.03	6.84	-50.6	0.099	...
JaSt 96	PN G104.2-29.6	2871119708335735552	353.9722	30.4684	1.24	8.57	808	6.92	8	-399.6	0.639	-67
K 1-15	PN G051.9+25.8	4594460760030429056	266.2357	27.3353	0.696	20.56	1455.6	16.71	24.49	634	0.152	...
K 1-16	PN G094.0+27.4	2160562927224840576	275.4671	64.3648	0.496	14.38	1985.9	9.62	11.78	914.8	0.544	...
K 1-2	PN G253.5+10.7	5647809392112960000	134.4415	-28.9602	0.503	26.13	1938.6	19.19	29.32	362.6	0.376	66
K 1-6	PN G107.0+21.3	2288467186442571008	301.0595	74.4267	3.722	1.39	268.8	0.71	0.72	98	0.117	-47.42
K 1-9	PN G219.3+01.1	3053413132594418688	106.815	-5.1688	0.637	16.89	1592.6	13.45	18.19	32	0.147	60.2
K 2-2	PN G204.1+04.7	3158419684195782656	103.0965	9.9655	1.188	6.5	844.8	4.89	5.41	69.7	0.891	28
K 3-55	PN G069.7+00.0	2055052657577415936	301.7345	32.277	0.63	13.87	1606.4	10.69	13.52	0.1	0.035	...
K 3-81	PN G083.9-08.4	196410253318064096	320.564	38.1209	0.224	24.22	4191.7	16.16	22.65	-615	0.203	...
K 6-8	PN G000.2+01.7	40680453344458792832	264.9135	-27.7902	1.259	10.84	807.3	9.21	11.26	24.2	0.013	"
" KFL 7	PN G003.9-03.1	406305266682883072	271.7084	-27.1046	0.525	19.1	1964.8	15.48	19.22	-107.2	0.031	-91
Lo 1	PN G255.3-59.6	475520010701141504	44.2436	-44.1716	1.267	4.96	789.6	3.27	3.49	-681.2	0.8	...
Lo 16	PN G349.3-04.2	5960852520245103744	263.9245	-40.1907	0.577	13.71	1758.1	10.12	12.63	-129.5	1.781	13

Continuación en la próxima página

Tabla A.1 – *Continuación de la página previa*

Nombre Simbad	Nombre PNG	ID Gaia DR2	RA ($^{\circ}$)	Dec ($^{\circ}$)	Paralaje (mas)	ER _{Paralaje} (mas)	Distancia (pc)	ER _{Dist} ^{int} (%)	ER _{Dist} ^{sup} (%)	Altura _{Gal} (pc)	Radio (as)	Vel _{rad} (km/s)
Lo 3	PN G288.0-15.7	5509004952576699904	108.7059	-46.9609	0.548	22.79	1806.6	17.33	25.51	-490.3	0.412	...
Lo 5	PN G286.5+11.6	5374348102823679744	168.4757	-47.9501	0.659	17.78	1030.7	14.34	19.37	313.7	0.562	...
Lo 8	PN G310.3+24.7	6162542191540458112	201.4062	-37.6041	0.984	13.85	1030.7	11.55	14.92	431.9	0.302	-3
LoTf 1	PN G228.2-22.1	2917223705359238016	88.7775	-22.9007	0.554	9.28	1802.2	4.52	4.96	-679.3	0.619	19.31
LoTf 3	PN G265.1-04.2	5521499734013833984	128.5294	-47.2777	0.907	6.06	1105.4	3.41	3.66	-81.2	0.075	49
LoTf 5	PN G339.9+88.4	3958428334589607552	193.8905	25.8918	2.007	3.28	498.6	2.27	2.38	498.6	0.626	-16.5
LoTf 8	PN G315.7+05.5	5895881038094691200	215.4997	-55.0384	1.4	18.57	748.4	17.09	25.81	72.6	0.049	...
LTNF 1	PN G144.8+65.8	786919754746647424	179.4369	48.9384	0.633	8.86	1573.6	5.05	5.6	1435.8	0.849	-8.9939
M 1-27	PN G356.5-02.3	4053955824662571648	266.6895	-33.1431	0.361	16.31	2802.4	9.78	12.09	-117.1	0.122	-47.7
M 1-43	PN G006.7-02.2	4066262280359160832	272.376	-24.2066	0.544	19.34	1892.5	18.72	22.65	-74.3	0.369	-5.9
M 1-45	PN G011.7+00.0	4095521422965004928	272.9538	-18.7725	1.077	7.31	933.4	5.53	6.2	-1.7	0.014	...
M 1-46	PN G016.4-01.9	4103910524954236928	276.9847	-15.5485	0.354	17.62	2838.7	11.1	14.13	-97.8	0.081	29.3
M 1-65	PN G043.1+03.8	4311868924367555200	284.1401	10.8693	0.254	18.91	3901.2	14	19	259.2	0.078	3.7
M 1-77	PN G089.3-02.2	1971995510535755648	319.7807	46.3131	0.416	8.73	2405.7	6.31	7.2	-95.1	0.045	...
M 3-4	PN G241.0+02.3	5710725616423348352	118.7975	-23.6368	0.252	22	3883.8	11.38	14.48	159.5	0.297	25
M 3-6	PN G253.9+05.7	5639472001599302528	130.1676	-32.376	0.344	18.92	2871.5	11.83	15.26	289.1	0.067	31.1
MaC 1-2	PN G309.5-02.9	5852194829848989840	208.6128	-64.9936	0.776	7.15	1293.3	4.06	4.42	-66.2	0.035	-47.1
Me 1-1	PN G052.5-02.9	4318785810234714752	294.7909	15.9467	0.256	17.58	3866.9	12.75	16.79	-199.7	0.041	-6
MFA J1029-6014	PN G286.1-02.0	5255143175335512320	157.2828	-20.2845	0.684	11.02	1476.8	7.99	9.48	-53.8	0.249	...
MFA J1326-6407	PN G306.7-01.5	586489205704369280	201.6366	-64.1192	0.884	11.67	1146.6	9.42	11.56	-30.2	0.025	...
MFA J1719-3043	PN G355.3+03.8	4058948024160146176	259.8336	-30.7279	0.692	9.98	1458.4	6.97	8.07	96.6	0.23	...
MFA J1729-2804	PN G358.8+03.4	4059708851903583488	262.3615	-28.0769	1.641	17.78	640.7	16.43	24.42	38.7	0.022	...
MFA J1751-2223	PN G006.3+02.2	4070418060753850112	267.9167	-22.3885	0.533	19.08	1927.7	15.44	22.06	74.2	0.037	...
MFA J1828-1516	PN G016.7-01.8	410393580341644544	277.0103	-15.2726	0.327	19.32	3070.5	12.09	15.75	-100.1	0.149	...
MFA J1858-1430	PN G020.7-08.0	4101453112078146432	284.5803	-14.5072	0.803	17.59	1289.1	15.23	21.74	-180.6	0.656	...
MWP 1	PN G080.3-10.4	1855295171732158080	319.2845	34.2077	0.201	3.41	495.4	2.43	2.55	-89.5	0.808	...
Mz 1	PN G322.4-02.6	5881838006914886784	233.5693	-59.1523	0.733	21.29	1426.7	18.78	29.63	-65	0.146	-32.3
NeV 3-2	PN G326.4+07.0	5902564934924665984	229.9328	-48.9986	0.288	21.91	3475.8	13.6	18.37	423.2	0.278	...
NGC 1360	PN G220.3-53.9	508489688945791232	53.311	-25.8715	2.582	3.83	387.9	3.12	3.33	-313.5	0.414	108
NGC 1501	PN G144.1+06.1	473712872456844544	61.7475	60.9206	0.597	8.53	1679.1	4.1	4.46	191.6	0.218	36.9
NGC 1514	PN G165.5-15.2	168937010969340160	62.3207	30.776	2.175	2.76	460.3	1.77	1.83	-121.4	0.206	59.8
NGC 1535	PN G206.4-40.5	3189152962633165056	63.5657	-12.7394	0.853	9.44	1166.3	6.94	8.02	-758.4	0.092	-1.4
NGC 2022	PN G196.6-10.9	333614041438097664	85.5258	9.0863	0.561	17.01	1166.3	12.91	17.13	-337.6	0.115	14.2
NGC 2242	PN G170.3+15.8	96506369588651648	98.5306	44.7772	0.438	28.14	2114.2	19.37	29.07	578.2	0.205	38
NGC 246	PN G215.6+03.6	3109444657456300288	107.3438	-0.8066	0.716	7.14	1401.5	5.83	6.58	88.5	0.311	47
NGC 2346	PN G189.1+19.8	885587110718845568	111.3945	29.4906	0.562	14.78	1749.7	10.46	13.06	593.9	0.169	21
NGC 2371	PN G197.8+17.3	865037169977723904	112.2949	20.9118	0.53	12.9	1866.7	8.6	10.31	558.2	0.204	84.2
NGC 2392	PN G118.8-74.7	2376592910265354368	11.7639	-11.872	1.982	5.9	505.7	4.96	5.49	-487.8	0.298	-15.7
NGC 246	PN G239.6+13.9	5709928951521751168	128.3476	-16.1494	0.449	20.46	2148.6	14.19	19.21	517.9	0.253	88
NGC 2610	PN G277.1-03.8	5307241785737968256	141.7622	-56.106	0.492	11.76	2049.5	6.99	8.1	-136.9	0.319	3.4
NGC 2899	PN G272.1+12.3	5420219732228461184	151.7573	-40.4364	1.187	5.84	844.8	4.11	4.48	181.4	0.149	48.8622
NGC 3132	PN G261.0+32.0	5668874905352843456	156.1922	-18.6423	0.712	14.71	1388.3	11.27	14.34	736.7	0.105	4.7
NGC 3242	PN G148.4+57.0	843950873117830528	168.6988	55.019	1.167	7.14	856.6	5.47	6.12	718.8	0.425	0
NGC 3587	PN G292.6+01.2	533613368717059040	171.991	-59.9579	0.678	16.74	1506.4	13.62	18.54	32.5	0.153	-15.8
NGC 3699	PN G120.0+09.8	537481007814722688	3.2541	72.5219	0.534	9.95	1878.2	5.27	5.87	321.9	0.205	-20.5
NGC 40	PN G294.1+43.6	3519614068578061568	186.1281	-18.7849	1.004	9.19	999	7.15	8.31	689.2	0.283	10
NGC 4361	PN G307.2-03.4	586370286827542384	203.3869	-65.9742	0.624	8.76	1608.6	4.91	5.44	-96.9	0.528	-8
NGC 5189	PN G327.8+10.0	6000119147299399936	229.2081	-45.6496	0.537	15.61	1892.7	11.78	15.3	331.3	0.065	7.7
NGC 5882	PN G341.6+13.7	6011169161583903488	240.338	-34.5433	0.334	17.74	2961.3	10.85	13.74	701.6	0.354	-87
NGC 6026	PN G064.6+48.2	1380199049219990784	241.1106	40.683	0.35	17.07	2763.5	9.59	11.69	2063.3	0.214	1
NGC 6058	PN G341.8+05.4	6017034570775817984	247.8774	-40.2535	0.764	10.75	1321.7	8.08	9.6	125.3	0.082	39
NGC 6153												

Continuación en la próxima página

Tabla A.1 – *Continuación de la página previa*

Nombre Simbad	Nombre PNG	ID Gaia DR2	RA (°)	Dec (°)	Paralaje (mas)	ER _{Paralaje} (mas)	Distancia (pc)	ER _{mf Dist} (%)	ER _{sup Dist} (%)	Altura _{Gal} (pc)	Radio (as)	Vel _{rad} (km/s)
NGC 6337	PN G349.3+01.1	5972577055062637056	260.5653	-38.4838	0.572	12.08	1768	10.09	12.57	-34.4	0.202	-70.9
NGC 6369	PN G002.4+05.8	4111368477921050368	262.3352	-23.7737	0.908	8.8	1110.9	6.64	7.64	113.2	0.079	-106
NGC 6543	PN G096.4+29.9	1633325248915154176	269.6392	66.6337	0.645	13.61	1536.8	10.03	12.41	767.4	0.093	-65.7
NGC 6563	PN G358.5-07.3	403960036544395392	273.0108	-33.8685	1.103	18.63	955	17.37	26.52	-122	0.118	-31
NGC 6578	PN G010.8-01.8	4094354493205077392	274.0688	-20.4508	0.571	15.03	1777.7	11.45	14.75	-56.7	0.051	4.5
NGC 6629	PN G009.4-05.5	4089517157442187008	276.4269	-23.2029	0.485	12.05	2087	12.27	12.27	-183.7	0.081	13
NGC 6720	PN G063.1+13.9	2090486618786534784	283.3962	33.0291	1.301	5.94	771.3	4.42	4.84	186.3	0.145	-19.1
NGC 6781	PN G041.8-02.9	4294123077230164736	289.617	6.5387	2.075	4.74	483.7	4.16	4.53	-25.2	0.147	4.3
NGC 6804	PN G045.7-04.5	4296362443149857920	292.8964	9.2253	1.169	7.06	860	5.44	6.09	-68.8	0.111	-13
NGC 6826	PN G083.5+12.7	2135352396915239808	296.2006	50.5255	0.665	8.34	1510.8	6.85	7.91	334.5	0.093	-6.2
NGC 6853	PN G060.8-03.6	1827256624493300096	299.9016	-22.7212	2.687	2.37	372.4	1.61	1.66	-24	0.368	-42
NGC 6891	PN G054.1-12.1	1803234906762692736	303.7869	12.7043	0.437	13.54	2292.7	10.95	13.89	-481.1	0.073	42.1
NGC 6894	PN G069.4-02.6	2053683628140774528	304.0998	30.565	0.869	17.01	1178	14.43	20.08	-53.9	0.157	...
NGC 6905	PN G061.4-09.5	1816547660416810880	305.5958	20.1045	0.43	15.24	2338.6	9.95	12.33	-388.9	0.224	-4.3
NGC 7026	PN G089.0+00.3	2165238733564304768	316.5774	47.8519	0.247	23.47	3832.3	16.36	23.14	25.1	0.53	-40.3
NGC 7094	PN G066.7-28.2	1770058865674512896	324.2207	-12.7886	0.645	11.87	1547.8	8.56	10.27	-731.5	0.378	-101.1
NGC 7293	PN G036.1-57.1	6628874205642084224	337.4108	-20.8372	5.006	1.86	199.9	1.51	1.56	-167.9	0.413	-15
NGC 7354	PN G107.8+02.3	221080755349789568	340.0828	61.2857	0.484	21.02	2101.3	16.45	23.99	84.9	0.163	-42.5
Pe 5	PN G076.3+14.1	2127040806264002944	289.8771	44.7618	0.439	16.22	2265.1	11.03	13.98	552.4	0.854	...
Pe 1-19	PN G026.5-03.0	4252307211263954688	282.4361	-7.0265	0.396	21.41	2573.4	16.05	23.2	-126.7	0.027	...
Pe 2-12	PN G002.8-02.2	4062786243067043968	270.2929	-27.6389	0.269	23.28	3762.8	14.56	20.19	-150.5	0.071	...
Pe 2-5	PN G285.4-01.1	5255353117640172672	157.1441	-59.0565	0.919	4.22	1090.5	3.21	3.43	-21.3	...	...
PeP 1	PN G222.1+03.9	3058094200264637312	110.5737	-6.3628	1.682	5.94	597	4.86	5.38	40.7	1.628	...
PHR J0650+0013	PN G212.6-00.0	3113542949606809088	102.669	0.229	0.252	20.54	3852.3	14.74	20.23	-4.4	0.607	...
PHR J0701-0749	PN G221.0-01.4	3052395775097859072	105.2892	-7.8233	0.339	15.87	2950.3	8.27	9.86	-72.8	0.476	46.29
PHR J0728+0036	PN G216.0+07.4	3110803653827201280	110.952	6.0689	0.248	20.58	3473.5	10.97	13.81	452	0.589	...
PHR J1129-6012	PN G292.9-01.0	5335989479389919104	172.4594	-60.2022	0.47	19.42	2159.2	14.82	20.73	40.7	0.099	...
PHR J1134-5243	PN G291.3+08.4	5345597458614614400	173.6066	-52.7256	0.243	23.96	4039.5	13.02	17.21	590.5	0.382	-66
PHR J1202-6112	PN G297.0+01.1	6058546464820066688	180.574	-61.2137	0.322	23.8	3084.6	18.52	28.08	59	0.202	...
PHR J1221-5907	PN G299.0+03.5	6059340861962763008	185.253	-59.1266	0.45	12.21	2234.2	9.81	12.11	137	0.482	...
PHR J1244-6601	PN G302.2-03.1	5861458902488176256	191.2481	-66.0178	0.377	13.2	2665.2	5.97	6.76	-146.6	0.139	...
PHR J1418-5144	PN G316.3+08.8	5897438771177986432	214.6074	-51.7441	0.8	15.27	1278	12.74	16.99	196.5	1.207	...
PHR J1642-5501	PN G332.1-05.8	5930256749426536064	250.7327	-55.0311	1.224	15.73	845.4	13.97	19.3	-86.6	0.094	...
PHR J1716-3002	PN G355.5+04.7	4059241211414866304	259.0174	-30.0374	0.562	17.58	1830.8	14.22	19.72	152.3	0.065	...
PHR J1843-0541	PN G026.9-00.7	4253485402344235264	280.7935	-5.6968	0.433	22.46	2360.4	18.93	29.5	-31.5	0.498	...
PM 1-177	PN G006.5+03.4	4118615354715439872	286.9519	-21.5364	1.244	6.09	807.3	4.49	4.92	48	0.018	...
PM 1-267	PN G038.7+01.5	4282499452616310912	284.0941	5.8832	1.042	9.49	969	8.3	9.91	26.8	...	-31.76
PM 1-290	PN G049.3+02.3	4320639728629291776	288.3234	15.6558	3.016	1.74	331.8	0.92	0.93	13.8	...	...
PM 1-295	PN G051.3+01.8	4514868732516293760	289.8279	17.1969	0.369	14.5	2716.1	7.57	8.88	86	0.131	13
PM 1-81	PN G314.4+02.2	5891103385192215296	215.3329	-58.6394	0.804	7.7	1251.9	6.47	7.41	48.4	0.029	...
PM 1-89	PN G324.0+03.5	5888049732191403904	229.7865	-53.1638	0.3	19.16	3331.7	10.94	13.85	205.2	0.218	-81
PTB 29	PN G008.7-04.2	4089592611425604864	275.2841	-23.3989	0.385	18.83	2631.3	13.22	17.76	-193.2	0.185	...
RCW 24	PN G258.5-01.3	5527934587141415168	126.4481	-40.2194	1.227	12.72	830.3	10.93	13.93	-18.7	1.092	...
RCW 44	PN G277.7-03.5	5307054800062198400	142.8355	-56.2943	0.688	18.43	1505.7	15.67	22.63	-93.4	0.535	...
Sa 1-8	PN G020.7-05.9	4102207686291028864	282.6848	-13.5173	0.38	17.03	2662	11.16	14.25	-276.7	0.045	46
Sa 3-151	PN G033.2-01.9	4265754371561662976	284.7155	-5.5484	0.879	8.49	1185.1	6.11	6.94	-39.3	0.032	...
SB 15	PN G009.3-06.5	4077540142924415360	277.811	-23.9681	0.33	17.98	3056.1	10.89	13.81	-347.4	0.104	165
SB 27	PN G341.9+08.8	6021420630046381440	244.8084	-37.7912	6.598	0.95	151.6	0.65	0.65	23.4	0.004	-2
SB 36	PN G352.0-06.7	4036463835977400064	268.5868	-39.1772	0.63	12.87	1610.2	9.68	11.91	-189.9	0.029	35
SB 38	PN G352.7-08.4	4035884045392107392	270.871	-39.3575	0.266	20.52	3786.5	11.06	14.08	-553.7	0.138	59
SB 40	PN G354.7-07.2	4037160548405771776	270.732	-37.1369	0.935	11.58	1087.4	9.48	11.65	-137.3	0.051	-69

Continuación en la próxima página

Tabla A.1 – *Continuación de la página previa*

Nombre Simbad	Nombre PNG	ID Gaia DR2	RA ($^{\circ}$)	Dec ($^{\circ}$)	Paralaje (mas)	ER _{Paral} (mas)	Distancia (pc)	ER _{Dist} ^{inf} (%)	ER _{Dist} ^{sup} (%)	Altura _{Gal} (pc)	Radio (as)	Vel _{rad} (km/s)
Sh 2-174	PN G120.3+18.3	228629668066976896	356.2588	80.9499	3.443	1.67	290.6	1.03	1.05	91.9	0.623	...
Sh 2-188	PN G128.0-04.1	509206447837376128	22.6383	58.414	1.157	10.03	872.1	8.32	9.95	-61.9	1.386	-26
Sh 2-216	PN G158.6+00.7	254092090595748096	70.8387	46.7016	7.97	1.05	125.5	0.83	0.84	1	1.816	14.35
Sh 2-68	PN G030.6+06.2	4276328581046447104	276.2434	0.8598	2.507	3.68	399.7	2.95	3.14	43.7	0.446	...
Sh 2-71	PN G035.9-01.1	4268419106711771776	285.5012	2.153	0.618	9.22	1623.8	5.44	6.09	-38.7	0.408	24.7
Sh 2-78	PN G046.8+03.8	450648409738382272	285.792	14.1163	1.607	8.93	629.2	7.59	8.92	42.2	0.907	...
ShWi 1	PN G001.4-03.4	4050281914036256768	270.6075	-29.4181	0.845	11.86	1202	9.55	11.76	-71.5	0.038	-40
Sp 1	PN G329.0+01.9	5982072132545824128	237.9206	-51.5246	0.698	7.12	1435.5	3.25	3.47	49	0.251	-31.5
SuWt 2	PN G311.0+02.4	5870592987893097984	208.9301	-59.3777	0.408	14.28	2459.4	8.46	10.13	106.3	0.387	-40
Th 4-11	PN G011.3+02.8	41437674777335296	270.0366	-17.6787	0.284	20.83	3519.6	16.05	22.96	175	0.085	-62
TK 2	PN G096.8+31.9	1634314740658456320	264.5108	66.8965	5.803	1.13	172.4	0.79	0.8	91.3	0.878	...
We 1-10	PN G086.1+05.4	2179832585761932032	307.9682	48.8805	0.661	20.57	1572.8	17.73	27.1	149.7	0.73	...
We 1-6	PN G224.9+01.0	3047204259149524480	109.3585	-10.1769	0.616	12.04	1633.2	8.68	10.45	30.3	0.311	...
WeBo 1	PN G135.6+01.0	465640807845756160	40.0599	61.1546	0.631	8.13	1588.7	3.99	4.32	27.8	0.164	-11.58
WeDe 1	PN G197.4-06.4	3341996555048041856	89.8536	10.6946	1.829	7.86	551.2	6.71	7.73	-61.8	1.243	16
WhMe 1	PN G051.0+02.8	4513629514212361984	288.7489	17.3794	0.576	11.41	1747.6	7.62	8.95	85.7	...	...
WR 72	PN G341.5+12.1	6010805807350513920	241.6186	-35.7535	0.735	8.21	1366.7	5.21	5.8	286.6	...	-92.5

Referencias: Radios calculados a partir de los tamaños angulares de los ejes menor y mayor que proporciona la base de datos HASH (Parker et al. [21]).

Velocidades radiales obtenidas de la base de datos de Simbad.

A.2 Tabla Datos Fotométricos y Evolutivos - Gaia DR2

Nombre PNG	G	$G_{BP} - G_{RP}$	V	A_V	M_V	M_{bol}	$\log(L/L_{\odot})$	T_{ef} (kK)	Masa (M_{\odot})	$Edad_{evo}$ (kyr)
PN G002.7-52.4	16.1	-0.64	16.16	0.02	5.67	-1.15	2.36	110	1.29	35.93
PN G006.7-02.2	16.78	2.02	16.2	5.09	-0.27	-8.67	5.37	187	1	0
PN G009.4-05.5	12.68	0.45	12.87	1.86	-0.59	-4.88	3.85	47	1.842	2.07
PN G011.7+00.0	14.74	1.31	14.74	5.94	-1.05	-3.22	3.19	23	1.2	4.46
PN G016.4-01.9	12.84	0.74	12.83	0.4	0.16	-4.01	3.5	45	< 1.0	14.11
PN G017.3-21.9	15.46	0.17	15.6	0.63	4.04	-1.94	2.68	83	1.211	24.81
PN G017.6-10.2	15.36	-0.17	15.47	0.69	3.11	-2.76	3	80	< 1.0	32.15
PN G025.3+40.8	11.17	-0.33	11.33	0.21	-0.78	-4.67	3.77	41	1.633	2.28
PN G026.9+04.4	14.83	-0.51	14.89	0.34	8.01	3.41	0.54	52	< 1.0	> 100
PN G027.6+16.9	15	-0.33	14.95	0.42	3.43	-3.58	3.33	117	1.205	21.26
PN G030.6+06.2	16.43	0.28	16.5	1.1	7.4	0.98	1.51	95.8	2.113	> 100
PN G035.9-01.1	13.47	1.21	13.75	3.1	-0.4	-8.28	5.21	157	> 5.0	0.05
PN G036.0+17.6	14.68	-0.28	14.74	0.53	2.51	-4.23	3.59	107	1.418	10.8
PN G036.1-57.1	13.48	-0.63	13.52	0.02	7	0.26	1.8	107	2.163	53.48
PN G041.8-02.9	16.75	0.35	16.88	1.64	6.82	-0.06	1.92	112	2.336	30.76
PN G045.7-04.5	14	0.49	14.17	1.7	2.79	-3.26	3.21	85	1.19	21.96
PN G046.8+03.8	17.64	-0.05	17.78	1.73	7.06	-0.02	1.91	120	2.936	28.54
PN G047.0+42.4	15.59	-0.53	15.6	0.06	5.58	-1.19	2.38	108	1.245	29.38
PN G054.1-12.1	12.26	-0.26	12.34	0.56	-0.02	-4.5	3.7	50	1.412	5.53
PN G055.4+16.0	14.94	-0.3	14.8	0.49	2.1	-3.2	3.18	66	1.213	21.18
PN G059.7-18.7	16.04	-0.54	16.11	0.09	5.3	-0.79	2.22	86	< 1.0	85.6
PN G060.8-03.6	14.03	-0.59	14.09	0.14	6.09	-1.34	2.44	135	2.127	4.51
PN G061.4-09.5	14.55	-0.28	14.6	0.47	2.29	-5.27	4.01	141	3.048	1.15
PN G063.1+13.9	15.61	-0.57	15.78	0.45	5.9	-1.81	2.62	148	2.234	3.86
PN G064.6+48.2	13.74	-0.6	13.85	0.08	1.56	-4.13	3.55	75	1.132	16.2
PN G069.4-02.6	18.17	0.41	18.32	1.92	6.04	-0.5	2.1	100	1.492	49.44
PN G072.7-17.1	17.05	-0.52	17.2	0.26	7.8	1.04	1.49	108	2.735	> 100
PN G075.9+11.6	13.59	-0.46	13.64	0.25	2.54	-3.34	3.24	80	1.185	22.14
PN G076.3+14.1	15.69	-0.41	15.3	0.39	3.14	-4.5	3.7	145	2.173	3.32
PN G077.6+14.7	17.29	-0.56	17.42	0.16	6.2	-0.19	1.98	95	1.222	83.32
PN G080.3-10.4	13.05	-0.59	13.13	0.06	4.6	-3.39	3.26	163	2.215	3.73
PN G081.2-14.9	13.15	-0.36	13.26	0.17	2.19	-4.44	3.68	103	1.611	6.28
PN G083.5+12.7	10.58	-0.34	10.68	0.3	-0.52	-5	3.9	50	2.138	1.15
PN G085.4+52.3	15.56	-0.66	16.6	0.05	7.22	-0.53	2.11	150	4.331	10.81
PN G089.0+00.3	15.2	0.57	15.1	1.61	0.57	-6.76	4.6	130.5	> 5.0	0.05
PN G093.9-00.1	13.75	1.76	14.2	1.97	-0.54	-3.3	3.22	28	1.197	6.17
PN G094.0+27.4	14.99	-0.63	15.08	0.13	3.46	-4.47	3.69	160	2.126	3.54
PN G096.4+29.9	11.19	-0.39	11.29	0.21	0.15	-4.21	3.59	48	1.121	11.59
PN G107.7+07.8	18.13	-0.08	17.71	1.39	6.6	-0.63	2.15	126	2.227	9.97
PN G107.8+02.3	17.13	0.97	16.2	3.78	0.81	-5.61	4.14	96	3.372	0.61
PN G114.0-04.6	14.43	1.55	14.92	0.69	2.83	-2.14	2.76	59	< 1.0	34.31
PN G120.3+18.3	14.54	-0.53	14.74	0.38	7.04	1.6	1.26	69	< 1.0	> 100
PN G124.0+10.7	16.42	-0.19	16.39	0.71	8.22	0.54	1.68	147	> 5.0	23.54
PN G128.0-04.1	17.4	-0.03	17.44	1.1	6.64	0.25	1.8	95	1.628	97.92
PN G130.2+01.3	15.7	0.28	15.4	1.92	1.13	-6.1	4.34	126	> 5.0	0.05
PN G136.1+04.9	18.42	0.99	18.5	3.12	5.36	-1.09	2.34	97	< 1.0	64.17
PN G144.8+65.8	15.19	0.42	16.15	0.11	5.06	-1.62	2.55	105	1.136	29.52
PN G148.4+57.0	15.73	-0.63	16.1	0.04	6.4	-0.28	2.01	105	1.387	64.16
PN G149.4-09.2	17.16	-0.19	17.08	0.62	6.83	-0.38	2.05	125	2.813	16.49
PN G149.7-03.3	16.5	-0.26	16.55	0.55	7.78	1.24	1.4	100	3.299	> 100
PN G156.3+12.5	16.51	-0.42	16.54	0.5	8.69	4.37	0.15	47.3	1.196	> 100
PN G156.9-13.3	17.42	-0.23	17.44	0.6	9.35	5.65	-0.36	38.5	1.24	> 100
PN G158.6+00.7	12.63	-0.56	12.87	0.12	7.25	1.26	1.4	83.2	1.758	> 100
PN G158.8+37.1	16.52	-0.47	16.57	0	8.65	3.13	0.65	71	2.904	> 100
PN G164.8+31.1	17.09	-0.63	17.14	0.07	7.12	0.14	1.84	116	2.256	42.14
PN G196.6-10.9	15.66	-0.27	15.75	0.81	3.69	-2.73	2.99	96	1.172	24.98
PN G197.4-06.4	17.2	-0.48	17.35	0.19	8.45	1.2	1.42	127	4.447	81.13
PN G197.8+17.3	10.67	-0.3	10.63	0.49	-1.22	-5.32	4.03	44	2.831	0.42

Continúa en la próxima página

Tabla A.2 – *Continuación de la página anterior*

Nombre PNG	G	$G_{BP} - G_{RP}$	V	A_V	M_V	M_{bol}	$\log(L/L_{\odot})$	T_{eff} (kK)	Masa (M_{\odot})	$Edad_{evo}$ (kyr)
PN G204.1+04.7	14.22	-0.53	14.3	0.01	4.66	-0.78	2.21	69	< 1.0	85.6
PN G205.1+14.2	15.96	-0.59	16	0.13	7.25	-0.18	1.97	135	4.21	14.39
PN G206.4-40.5	12.07	-0.48	12.11	0.06	1.71	-3.21	3.18	58	1.217	21.02
PN G214.9+07.8	16.45	-0.44	16.47	0.31	5.17	-1.89	2.66	119	1.27	22.16
PN G215.2-24.2	10.05	0.07	10.23	0.62	-1.24	-4.9	3.86	38	1.863	1.45
PN G215.5-30.8	15.45	-0.53	15.45	0.08	6.92	0.41	1.73	99	1.933	86.66
PN G215.7-03.9	18.74	0.29	18.5	0.86	9.85	4.83	-0.03	60	1.467	> 100
PN G217.1+14.7	17.41	-0.61	17.36	0.2	7.97	0.49	1.7	137	> 5.0	23.54
PN G219.1+31.2	15.48	-0.55	15.51	0.12	6.87	0.61	1.65	91	1.672	> 100
PN G220.3-53.9	11.26	-0.64	11.2	0.03	3.23	-3.46	3.28	105	1.079	25.82
PN G221.6+46.4	15.97	-0.51	16.09	0.12	5.51	-1.06	2.32	101	< 1.0	64.17
PN G238.0+34.8	15.96	-0.37	16.03	0	6.37	-0.17	2.04	100	1.103	38.27
PN G239.6+13.9	15.9	-0.55	15.97	0	4.31	-3.27	3.21	142	1.606	9.6
PN G244.5+12.5	18.27	-0.58	18.33	0.39	7.64	1.04	1.48	102	2.23	> 100
PN G248.7+29.5	16.42	-0.6	16.4	0.13	6.03	-0.45	2.08	98	1.02	> 100
PN G253.9+05.7	13.07	-0.07	12.79	1.34	-0.84	-5.76	4.2	58	3.96	0.21
PN G255.3-59.6	15.16	-0.65	15.16	0.01	5.67	-1.16	2.36	110	1.288	36.08
PN G255.8+10.9	16.46	-0.48	16.49	0.16	7.01	1.06	1.48	82	< 1.0	> 100
PN G258.0-15.7	16.75	-0.04	13	0.21	1.5	-5.58	4.13	120	3.332	0.8
PN G261.0+32.0	12.2	-0.56	12.32	0.13	1.48	-4.72	3.79	89	1.81	3.61
PN G272.1+12.3	10.03	0.16	10.07	0.31	0.13	-6.41	4.46	100	> 5.0	0.04
PN G273.6+06.1	12.46	-0.36	12.53	0.4	2.95	-3.9	3.46	111	1.252	17.76
PN G277.1-03.8	15.74	1.02	15.9	1.33	3.02	-6.47	4.49	270	> 5.0	0.09
PN G283.9+09.7	12.18	-0.32	12.16	0.45	2.31	-3.91	3.47	90	< 1.0	22.96
PN G285.7-14.9	14.01	-0.62	14.26	0.22	1.62	-4.77	3.81	95	2.141	2.35
PN G286.5+11.6	16.93	-0.52	17	0.43	5.64	0.34	1.77	66	< 1.0	> 100
PN G288.8-05.2	15.06	1.66	14.5	1.76	0.58	-4.81	3.82	68	1.859	2.59
PN G290.5+07.9	14.5	-0.31	14.5	0.54	2.45	-3.42	3.27	80	1.179	22.18
PN G292.6+01.2	17.6	-0.17	13.64	1.36	1.39	-7.98	5.09	260	> 5.0	0.09
PN G294.1+43.6	13.1	-0.6	13.2	0.13	3.07	-4.16	3.56	126	1.637	7.17
PN G308.6-12.2	14.61	-0.26	14.78	0.89	1.36	-2.74	3	44	1.231	22.57
PN G309.0-04.2	13.18	0.37	13.28	2.37	-2.59	-7.01	4.7	49	> 5.0	0.02
PN G309.5-02.9	15.13	1.08	20.63	4.59	5.48	-1.04	2.32	99.6	< 1.0	64.17
PN G310.3+24.7	12.93	-0.54	12.95	0.1	2.79	-3.44	3.28	90	1.155	23.08
PN G312.6-01.8	14.62	1.21	14.2	3.6	-2.46	-6.05	4.32	37	> 5.0	0.01
PN G316.1+08.4	12.68	0.23	11.98	1.08	-1.16	-5.65	4.16	50	3.335	0.29
PN G318.4+41.4	11.51	-0.5	11.53	0.09	3.26	-3.59	3.34	111	1.18	22.15
PN G322.4-02.6	17.98	0.24	13.89	0.74	2.38	-5.14	3.96	139	2.853	1.54
PN G326.6+42.2	17.27	0.89	15.63	0.27	4	-2.19	2.78	89	< 1.0	34.31
PN G327.8+10.0	13.08	-0.17	13.42	0.84	1.2	-4.2	3.58	68	1.158	15.48
PN G332.5-16.9	14.86	-0.4	14.66	0.17	3.13	-3.41	3.26	100	1.112	24.64
PN G335.5+12.4	12.35	-0.29	12.37	0.68	2.14	-3.91	3.47	85	< 1.0	22.96
PN G339.9+88.4	8.63	1.04	8.88	0.04	0.36	-6.18	4.37	100	> 5.0	0.04
PN G341.8+05.4	15.18	0.64	15.55	2.77	2.17	-4.62	3.75	109	1.797	4.53
PN G343.3-00.6	16.05	1.79	16.4	2.14	4.01	0.35	1.76	38	< 1.0	172.39
PN G345.4+00.1	12.51	0.61	12.7	1.81	0.35	-4.13	3.55	50	1.097	14.39
PN G349.3-04.2	16.06	0.8	16.14	1.81	3.11	-2.84	3.04	82	< 1.0	32.15
PN G356.5-02.3	13.91	1.39	13.9	4.52	-2.85	-5.72	4.19	29	3.841	0.07
PN G358.5-07.3	17.17	-0.4	17.49	0.22	7.37	0.22	1.81	123	2.746	39.53

Notas: Las masas y edades están estimadas mediante las trazas evolutivas de Miller Bertolami [106]

Referencias: Los valores de V , $A(V)$ y T_{eff} se han obtenido de Frew [6].

A.3 Tabla Identificación de ECNPs - Gaia EDR3

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D _{ang} (as)	G (mag)	A _V (mag)	(G _{BP} -G _{RP}) _o
PN G000.0-01.0	JaSt69	4057224264723323264	B	267.5416	-29.3183	0.4	19.65	3.22	1.86
PN G000.0-02.5	K6-36	4056266379788466304	B	268.9702	-30.2613	0.83	19.45	2.62	0.72
PN G000.0-02.9	MPAJ1757-3021	4056203849243193728	B	269.3093	-30.3645	2.52	18.42	3.57	0.11
PN G000.0-06.8	H1-62	4045771305065496832	B	273.3248	-32.3286	0.19	14.36	0.95	0.28
PN G000.1+02.6	A12-J	4061303281130808448	B	263.8977	-27.4015	0.58	17.94	3.31	0.99
PN G000.1+04.3	H1-16	4109679250049965312	A	262.3473	-26.4346	0.22	18.75	3.63	-0.57
PN G000.1+17.2	PC12	4130784921205604736	B	250.9741	-18.9533	0.08	15.17	1.13	0.03
PN G000.1-01.9	JaSt93	4056400558791818624	B	268.3492	-29.83	0.8	17.64	2.32	1.37
PN G000.1-05.6	H2-40	4049045783774253696	B	272.1281	-31.6098	0.58	18.46	1.38	0.81
PN G000.1-08.0	SB1	4045583322840954496	A	274.7019	-32.7986	0.48	20.01	0.45	-0.42
PN G000.2-01.9	M2-19	4056495151130724224	B	268.4402	-29.7297	0.72	16.88	2.53	0.07
PN G000.2-01.9a	JaSt2-14	4056495971440817408	B	268.4195	-29.7107	2.07	16.67	2.58	0.2
PN G000.3+03.2	PHRJ1733-2655	4061390245613519232	A	263.4691	-26.9242	0.46	20.36	3.15	-0.39
PN G000.3+04.5	PHRJ1729-2614	4109701927482024320	B	262.2806	-26.2455	1.31	20.69	3.44	0.56
PN G000.3+07.3	PHRJ1718-2441	4110995812169990400	B	259.6779	-24.6898	2.18	20.47	1.79	0.1
PN G000.3+12.2	IC4634	4126115570219432448	A	255.3899	-21.8259	0.28	13.85	0.71	-0.55
PN G000.3-04.2	MPAJ1803-3043	4049954873646647040	B	270.8405	-30.7265	0.33	15.38	1.83	1.89
PN G000.3-04.6	M2-28	4049886772877581696	B	271.2611	-30.9713	0.77	19.63	1.88	0.11
PN G000.4+04.4	K5-1	4109691718340733568	B	262.4682	-26.1871	0.81	19.18	3.75	-0.1
PN G000.4-02.9	M3-19	4056250956464755712	A	269.5808	-30.0109	0.68	18.34	2.7	-0.6
PN G000.5-03.1a	MPAJ1759-3007	4056239308511338240	B	269.8549	-30.1217	0.23	19.08	2.35	0.74
PN G000.6-01.0	JaSt77	4057342599736948992	B	267.798	-28.9406	0.08	16.1	1.11	1.33
PN G000.6-01.3	B13-15	4056579538679085952	B	268.1502	-29.111	0.16	19.24	4.21	-0.03
PN G000.7+08.0	MPAJ1717-2356	4114088875802922880	A	259.2877	-23.9416	0.37	18.93	1.98	-0.31
PN G000.7-03.7	M3-22	4050168629923554944	A	270.5802	-30.2405	0.51	18.35	1.61	-0.35
PN G000.7-06.1	SB3	4048968994096810880	A	273.0606	-31.3335	0.06	19.03	1.06	-0.25
PN G000.8+05.2	PBOZ5	4109999173694500992	B	261.9106	-25.3741	0.65	19.68	1.17	0.49
PN G000.8-07.6	H2-46	4045845625148544640	B	274.6561	-31.9126	0.17	18.87	0.61	0.05
PN G000.9+01.3	MGE000.9363+01.3962	4060883679948752384	B	265.612	-27.4072	0.23	19.17	5.08	-0.14
PN G000.9-02.0	B13-13	4056540677880158208	B	269.0116	-29.188	0.46	18.05	2.51	-0.67
PN G000.9-03.3	PHRJ1801-2947	4050246420409992704	B	269.3061	-29.7837	1.56	19.02	2.0	0.36
PN G000.9-04.2	PHRJ1804-3016	4049992845542438912	B	271.2006	-30.2804	0.84	19.39	1.76	0.47
PN G000.9-04.8	M3-23	4049925328633027712	A	271.7756	-30.5714	0.1	19.22	1.77	-0.29
PN G001.0+01.4	JaSt2-4	4060890513224820352	B	265.6169	-27.2255	0.5	15.99	1.66	1.05
PN G001.0+01.9	K1-4	4060952605654407232	A	265.1142	-27.0173	0.21	20.2	4.63	-1.22
PN G001.0-01.9	K6-35	4056546037855269120	B	268.9297	-29.0677	0.99	16.97	3.06	0.18
PN G001.0-02.0	MGE001.00986-02.066	4056542116661761408	B	269.0264	-29.1259	0.67	19.41	2.64	1.0
PN G001.1+02.2	MPAJ1739-2648	4060976176417193856	B	264.9571	-26.8126	0.49	19.59	4.62	0.4
PN G001.1-02.6	MPAJ1758-2915	4062332454138572416	B	269.7151	-29.2663	0.66	18.64	1.92	1.07
PN G001.1-06.4	SB4	4048986173916372608	B	273.5589	-31.1861	0.85	18.76	0.65	1.14
PN G001.2+01.3	JaSt45	4060981021062265728	B	265.847	-27.1868	1.39	19.46	4.74	1.76
PN G001.2+02.1	Hen2-262	4060978306741619968	B	265.0535	-26.7394	0.45	18.69	3.68	-0.12
PN G001.2+02.8	PPAJ1737-2621	4061796583872776576	B	264.3763	-26.3621	0.46	16.94	3.47	0.19
PN G001.2-01.2a	JaSt95	4057385514989465216	B	268.397	-28.4808	0.11	18.16	1.06	2.31
PN G001.2-01.4	JaSt2-15	406337317612812416	B	268.5985	-28.5804	1.8	18.26	4.78	0.34
PN G001.2-02.6	PHRJ1759-2915	4062333794139284096	B	269.7617	-29.2506	1.3	16.71	1.94	1.06
PN G001.2-05.6	PHRJ1811-3042	4049240298544263936	B	272.7613	-30.7033	0.1	18.61	1.0	-0.19
PN G001.3-01.0	JaSt89	4063395960932807680	B	268.2778	-28.3031	0.91	17.53	4.46	-0.59
PN G001.3-05.6	SB5	4049264242907686616	A	272.8142	-30.6306	0.1	15.5	1.02	-0.32
PN G001.4+00.5	[GKFP2010]MN66	4060739369060593152	B	266.7717	-27.4261	0.47	17.86	2.46	1.41
PN G001.4+00.7	JaSt82	4057456261747292672	B	268.022	-28.0965	1.24	20.63	25.34	-2.21
PN G001.5+00.9	[GKFP2010]MN65	4060808874483585536	B	266.4199	-27.1542	0.97	17.3	2.31	1.23
PN G001.5+01.5	JaSt46	406100926477169920	B	265.8765	-26.7924	0.57	19.97	5.47	-0.51
PN G001.5+03.1	PHRJ1737-2559	4062011744524241536	B	264.3188	-25.9941	0.74	18.58	4.52	0.68
PN G001.5+05.3	KnJ1729.1-2443	4110412899193532032	B	262.2857	-24.7194	1.27	20.23	2.85	-0.04
PN G001.5-01.0	JaSt2-12	4063398469194112128	A	268.3648	-28.1969	0.69	19.2	4.62	-0.66
PN G001.5-01.6	JaSt2-17	4062630563426969856	B	268.9029	-28.4244	0.61	19.91	3.29	0.74
PN G001.5-06.7	SwSt1	4049331244394134912	B	274.0511	-30.8689	0.24	11.84	0.39	0.66
PN G001.6+01.5	K6-10	4061013383646090624	B	265.8206	-26.7382	0.14	19.32	4.81	-0.13
PN G001.7+01.3	JaSt52	4061018988593063040	B	266.1551	-26.7904	0.32	18.13	4.97	0.26
PN G001.7+05.7	H1-14	4110479900747426944	A	262.0073	-24.4232	0.31	19.64	2.76	-0.62
PN G001.7-04.4	H1-55	4050131349653595392	B	271.8107	-29.6902	0.24	16.6	1.23	0.53
PN G001.7-04.6	H1-56	4050126711087206016	A	271.9745	-29.7429	0.12	15.98	1.27	-0.31
PN G001.8-00.4	MB4515	4063669086488636928	B	267.9773	-27.6029	0.04	19.97	2.58	0.93
PN G001.8-03.7	PHRJ1804-2913	4050381621840757760	B	271.1188	-29.2326	0.17	16.18	1.56	0.62
PN G001.9+02.3	K5-10	4061866089277230848	A	265.3522	-26.0648	0.6	20.41	4.19	-0.71
PN G001.9+08.2	PM1-139	4114675327843171456	B	259.8593	-22.8032	1.2	19.69	1.75	-0.25
PN G002.0+06.6	PHRJ1725-2338	4111350267272130560	B	261.4241	-23.642	0.86	19.02	2.48	-0.03
PN G002.0-06.2	M2-33	4049596604655713664	B	273.7773	-30.2593	0.54	14.73	0.57	-0.18
PN G002.0-13.4	IC4776	6735622632789070976	A	281.4613	-33.3428	0.48	13.02	0.26	-0.33
PN G002.1+03.3	PBOZ24	4062163301005727616	B	264.4631	-25.346	1.04	19.79	5.06	0.24
PN G002.1-00.9	K5-35	4063498834054665600	B	268.5785	-27.6099	0.68	15.86	5.75	-1.19
PN G002.1-02.2	M3-20	4062693716586525952	A	269.8305	-28.2301	0.28	17.72	2.94	-0.94
PN G002.1-02.8	PHRJ1801-2831	4062485393576880256	B	270.3846	-28.5289	0.98	18.22	1.77	1.09
PN G002.1-08.3	PPAJ1824-3107	4046186679873669504	A	276.0906	-31.1194	0.11	17.87	0.48	-0.2
PN G002.2-00.9	MGE002.2728-00.9131	4063508282975176576	A	268.6168	-27.4549	3.39	21.03	16.69	-1.94
PN G002.2-01.2	PPAJ1755-2739	4063442896370193152	B	268.9402	-27.6617	1.5	21.05	9.71	-0.89
PN G002.2-02.7	M2-23	4062488485983362944	B	270.4277	-28.4289	0.45	14.2	2.0	-0.71
PN G002.2-06.3	H1-63	4049624646596477312	B	274.0806	-30.1267	0.13	13.43	0.81	0.15
PN G002.2-09.4	Cn1-5	4046842607233523840	B	277.2985	-31.4998	0.07	15.2	0.53	0.08
PN G002.3+03.6	PPAJ1737-2501	4062219616618683776	B	264.3499	-25.0256	0.32	19.9	1.66	0.64
PN G002.3+06.2	PPAJ1727-2338	4111387680667596288	A	261.9238	-23.6481	0.45	19.66	2.78	-0.51
PN G002.3+06.5	PPAJ1726-2325	41113597848494205312	B	261.6408	-23.4199	0.41	19.36	2.16	0.65
PN G002.3+06.5a	PHRJ1726-2326	4111359406964059392	A	261.6518	-23.444	0.8	20.6	2.57	-0.25
PN G002.3-05.9	PPAJ1814-2951	4049688658764663552	A	273.6113	-29.863	0.47	17.95	0.76	-0.22
PN G002.3-07.8	M2-41	4046378407157239040	B	275.6437	-30.7248	0.96	18.81	0.62	0.31
PN G002.4+05.8	NGC6369	4111368477921050368	B	262.3352	-23.7597	0.58	15.48	2.28	0.52
PN G002.4+07.0	PHRJ1724-2302	4111575014353546240	B	261.2218	-23.043	0.71	16.22	3.27	0.51
PN G002.4+03.4	PHRJ1804-2833	4062438694311477632	A	271.2308	-28.5525	1.03	13.91	1.29	-0.25
PN G002.4-03.7	M1-38	4050798924999155456	B	271.5239	-28.675	0.15	14.09	1.79	0.01
PN G002.4-05.0	K6-41	4050459652633253376	B	272.8023	-29.3668	0.64	18.48	1.22	0.65
PN G002.4-06.4	PaJ1817.1-2959	4049533455833411328	B	274.2897	-29.9844	2.4	18.94	0.87	0.51
PN G002.5+01.9	PHRJ1744-2545	4067134609739799680	A	266.0015	-25.7602	1.13	19.52	4.0	-0.23
PN G002.5+04.9	PHRJ1732-2408	4110559855799571200	B	263.2425	-24.1459	0.11	19.71	2.69	1.0
PN G002.6+02.3	PHRJ1742-2525	4067908184848743936	B	265.7172	-25.4286	0.47	19.83	3.47	0.41
PN G002.6+04.8	PHRJ1733-2407	4110558859449807488	B	263.4074	-24.1295	0.17	15.97	2.81	0.1
PN G002.6+05.5	K5-3	4110623760607130624	A	262.6719	-23.7501	0.8	19.23	2.55	

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G002.9-03.9	H2-39	4050818097742912640	A	272.024	-28.4363	0.1	17.81	1.91	-0.25
PN G002.9-10.2	PHRJ1833-3115	4046908436166480768	B	278.4282	-31.2619	0.28	17.6	0.46	0.94
PN G003.0+01.6	MGE003.0836+01.6435	4067166834825756288	B	266.6295	-25.448	1.12	19.01	3.89	0.91
PN G003.0-01.7	PHRJ1759-2712	4063564770382530688	A	269.8882	-27.2141	0.96	18.54	2.67	1.24
PN G003.1+02.9	Hb4	4068200586367730944	A	265.47	-24.7023	0.06	17.52	2.81	-0.35
PN G003.1+03.4	H2-17	4068268859125380224	B	265.0309	-24.4285	0.03	16.53	2.53	0.23
PN G003.1+03.7	PHRJ1738-2419	4068263155407607904	B	264.7154	-24.3289	0.06	16.64	2.48	1.52
PN G003.1+04.1	K5-7	4116324247383734656	A	264.334	-24.0582	0.18	20.82	2.72	-0.57
PN G003.1-01.6	PHRJ1759-2706	4063941524916168064	A	269.8591	-27.1098	1.79	20.06	7.0	-0.92
PN G003.1-02.1	PHRJ1801-2718	4063170320596559488	B	270.3536	-27.3031	0.16	19.35	2.81	1.28
PN G003.2+01.8	MGE003.2610+01.8522	4068018067278924032	B	266.5339	-25.1883	0.98	19.51	4.3	1.35
PN G003.2-04.4	KFL12	4050866781253323264	A	272.6284	-28.3231	0.14	17.59	2.14	-0.49
PN G003.2-06.2	M2-36	4049788611227556864	B	274.4227	-29.1389	0.41	17.04	0.76	-0.16
PN G003.3+66.1	SkAc1	1227151802340968832	A	214.0914	13.8734	0.17	18.5	0.0	-0.31
PN G003.3-04.6	Ap1-12	4050854450293755136	B	272.8962	-28.3769	0.32	13.34	1.03	0.02
PN G003.3-07.5	KFL19	4050998383326315264	B	275.7872	-29.7239	0.78	17.7	0.87	-0.52
PN G003.4+01.4	PHRJ1748-2515	4067255586030985856	B	267.0648	-25.254	0.84	16.79	3.33	0.86
PN G003.5+02.7	PTB1	4068113170792152448	B	265.9134	-24.5317	0.16	19.57	2.85	-0.05
PN G003.5-01.2	PPAJ1758-2628	4064034330564300928	A	269.654	-26.4798	0.37	19.78	13.42	-1.55
PN G003.5-02.4	IC4673	4063199904342190208	A	270.8269	-27.1063	0.72	18.02	3.36	-1.06
PN G003.5-02.9	MPAJ1805-2721	4063136059789043968	B	271.3046	-27.3524	0.5	16.56	1.77	1.34
PN G003.7-01.1	MGE003.7724-01.1833	4064063738136080384	B	269.7229	-26.293	1.39	17.41	3.36	0.12
PN G003.7-04.6	M2-30	4050902790361481856	A	273.1433	-27.9696	0.06	16.87	1.23	-0.68
PN G003.8+00.5	Kn118	4067402031554765440	B	268.1034	-25.3775	1.14	20.83	17.86	-1.78
PN G003.8-03.2	PHRJ1807-2715	4063035664833519616	B	271.8126	-27.2639	1.22	18.47	1.59	0.28
PN G003.8-17.1	Hb5	6756677421471688064	B	286.3997	-33.1939	0.38	14.93	0.24	-0.66
PN G003.9+02.6	K5-14	4068334275660862976	B	266.1358	-24.2243	0.32	17.99	2.29	-0.13
PN G003.9-02.3	M1-35	4063320541318246656	A	270.9137	-26.7261	0.32	18.55	5.46	-1.2
PN G004.0-02.5	PHRJ1804-2643	4063311637847832576	B	271.2456	-26.7098	0.6	17.71	2.51	1.45
PN G004.0-02.7	PPAJ1805-2649	4063262984510013952	A	271.3593	-26.8175	0.62	18.66	2.18	0.99
PN G004.0-11.1	M3-29	4047152806963235584	A	279.8576	-30.677	0.78	15.42	0.44	-0.42
PN G004.1+01.7	PPAJ1748-2427	4068444574714528256	B	267.1344	-24.4526	0.78	17.28	3.43	0.43
PN G004.1+02.4	MGE004.1668+02.4238	4068152826285458944	B	266.5136	-24.1184	2.26	20.35	3.73	-0.17
PN G004.1+03.6	PPAJ1741-2332	4116467566158377856	B	265.3701	-23.5387	0.23	18.49	2.18	-0.01
PN G004.1+07.8	PTB2	4120900483473337216	A	261.5512	-21.2987	0.13	18.12	2.51	-0.21
PN G004.1-03.0	PHRJ1806-2652	4063268348965374976	B	271.7335	-26.8817	0.7	18.8	2.09	0.93
PN G004.2+01.5	K6-29	4067690206718112512	A	267.4155	-24.5371	0.49	20.94	7.6	-1.2
PN G004.2-02.9	MGE004.2573-02.9981	4063273807868750464	B	271.754	-26.7639	1.08	18.85	1.75	0.31
PN G004.2-05.2	SBS	4052213137471012096	B	273.9599	-27.8164	1.93	18.95	0.85	0.76
PN G004.2-05.9	M2-37	4052151663642866048	B	274.6598	-28.133	0.05	17.32	1.13	-0.16
PN G004.3+01.8a	PHRJ1748-2417	4068459968021536640	B	267.1369	-24.2934	1.97	20.77	6.86	-0.88
PN G004.3+02.1	K5-17	4068510339301899264	B	266.8832	-24.2188	0.87	19.71	4.6	-1.22
PN G004.3+06.4	G4.4+6.4	4117845078118914048	A	262.9658	-21.8218	0.06	19.31	1.86	-0.84
PN G004.3-01.4	PPAJ1801-2553	40641735590585927296	B	270.3288	-25.8892	0.13	18.72	4.62	0.52
PN G004.4+05.3	K6-27	4117508654071497216	A	263.9738	-22.334	0.65	19.57	1.79	-0.42
PN G004.4-03.1	PHRJ1807-2637	4063279447122669568	B	272.0004	-26.6274	1.45	17.31	1.86	1.16
PN G004.5-03.0	MPAJ1807-2631	4063284253314324608	B	271.9275	-26.5178	2.58	19.46	2.55	0.37
PN G004.6+06.0	H1-24	4117684244606678400	B	263.4066	-21.7736	0.24	17.6	2.12	0.21
PN G004.7-11.8	Hen2-418	6737374120482481024	A	281.0608	-30.3271	0.62	15.57	0.41	-0.51
PN G004.7-14.7	Fr2-26	67600041823976971136	A	284.0894	-31.5105	19.84	20.74	0.6	-0.47
PN G004.8-00.5	PHRJ1759-2501	4064482480276583552	A	269.7698	-25.0314	4.73	20.8	24.5	-2.05
PN G004.8-05.0	M3-26	4052445920552115200	A	274.0477	-27.2494	0.63	17.8	1.13	-0.29
PN G004.9+04.9	M1-25	4117211214062566528	B	264.6263	-22.1442	0.14	16.61	1.93	0.29
PN G004.9-04.9	M1-44	4052553741216415292	B	274.0723	-27.0763	0.06	14.98	1.22	0.05
PN G005.0-03.0	Pe1-9	4068846235848254208	B	266.4032	-23.0406	1.02	19.01	2.37	0.03
PN G005.0+04.4	H1-27	4117460975714894848	B	265.0748	-22.3217	0.59	17.03	2.26	0.19
PN G005.0-10.1	PPAJ1837-2922	4047559656289337344	B	279.3961	-29.3785	0.66	16.34	0.69	-0.44
PN G005.0-14.6	Fr2-27	6760328983651424000	A	284.1157	-31.1887	0.5	17.43	0.62	0.68
PN G005.1+01.7	MGE005.1020	4068603694671339648	B	267.6274	-23.6402	0.97	20.4	3.47	0.68
PN G005.1+02.6	PHRJ1747-2311	4068784182126661184	B	266.8776	-23.197	1.3	19.5	2.13	0.05
PN G005.1+03.2	PHRJ1745-2254	406885142844055040	B	266.3208	-22.9162	0.33	18.44	2.53	0.26
PN G005.1-03.0	H1-58	4064833759880077952	B	272.3076	-26.0414	0.11	15.36	2.29	0.68
PN G005.1-08.9	H2-2	4048497024309080064	A	278.1287	-28.7223	0.98	17.16	0.46	-0.26
PN G005.2+04.2	M3-13	4117171700355196672	B	265.4025	-22.2175	0.5	16.82	1.84	0.4
PN G005.2+05.6	M3-12	4118053199384406144	B	264.0943	-21.5201	0.19	18.74	1.56	-0.13
PN G005.2-02.4	PHRJ1806-2536	4065636417718490240	B	271.705	-25.6126	0.2	17.63	1.42	0.99
PN G005.2-02.4a	PHRJ1807-2535	4065659786723475456	B	271.7638	-25.5955	0.71	18.13	2.88	1.72
PN G005.2-10.8	PPAJ1840-2931	4047506471715127168	A	280.2112	-29.5231	1.04	19.37	0.57	-0.39
PN G005.3-02.5	MPAJ1748-2259	4068882725801334144	B	267.0525	-22.9941	0.57	18.56	2.46	0.04
PN G005.4+05.4	PHRJ1737-2126	4118012805473955968	A	264.423	-21.4413	2.57	19.19	1.52	-0.51
PN G005.4-01.9	PBOZ34	4065731289318917632	A	271.3558	-25.2266	0.16	20.38	5.38	-1.76
PN G005.4-03.4	PHRJ1811-2557	4064733138935660928	B	272.8345	-25.9566	4.2	18.97	0.96	-0.03
PN G005.4-06.1	SB12	4052306870817579520	B	275.4799	-27.163	0.43	18.29	1.06	0.11
PN G005.5+02.7	H1-34	4068940935522394240	B	267.0319	-22.7799	0.08	17.46	2.37	0.68
PN G005.5+06.1	M3-11	4118277495405157632	B	263.8393	-20.9565	0.46	16.56	1.79	0.09
PN G005.5-02.5	M3-24	4065669098214601600	B	271.9746	-25.401	0.65	19.03	1.52	0.23
PN G005.5-02.8	MGE005.5423-02.8069	4064902326296851456	B	272.2617	-25.548	1.44	19.08	2.66	-0.15
PN G005.7+04.5	PTB5	4117204612583552256	B	265.412	-21.7427	0.28	16.06	2.02	-0.59
PN G005.7-05.3	M2-38	4052583840315474560	B	274.8549	-26.5888	0.38	18.79	1.4	-0.09
PN G005.8+02.2a	MPAJ1750-2248a	40689005241477114688	B	267.5864	-22.8068	0.69	17.49	2.71	0.33
PN G005.8+02.2b	MPAJ1750-2248b	4068900631529845120	B	267.6098	-22.8143	0.44	19.73	3.13	0.82
PN G005.8-09.2	PPAJ1835-2811	4048631478276339840	A	278.8376	-28.1979	0.59	18.62	0.53	-0.38
PN G005.9-09.8	CGMW4-2031	4048380549113958272	B	279.4778	-28.4592	1.89	20.26	0.71	-0.14
PN G006.0+02.8	Th4-3	4068994601118701312	B	267.1559	-22.2803	0.47	16.07	2.51	0.28
PN G006.0+03.1	M1-28	4117036254171342208	B	266.909	-22.1051	1.75	19.96	2.28	0.0
PN G006.0+05.6	PHRJ1738-2052	4118196406426023168	B	264.6073	-20.8716	0.96	20.24	1.93	0.49
PN G006.0-02.2	StDr102	4065796160446079104	B	272.0152	-24.8499	0.41	17.99	3.28	-0.13
PN G006.0-03.6	M2-31	4064771067972273920	B	273.3169	-25.5015	0.51	17.55	2.32	-0.57
PN G006.0-41.9	PRMG1	6776041195616496256	A	316.4732	-37.1446	0.25	17.01	0.14	-0.58
PN G006.1+03.5	PHRJ1746-2150	4117103221360980608	B	266.5559	-21.8471	0.43	19.97	2.44	0.53
PN G006.1+08.3	M1-20	4121750616461170432	A	262.2401	-19.265	0.22	16.71	1.89	-0.52
PN G006.2+01.0	HaTr8	4069412793495388416	B	268.983	-22.9837	0.12	20.3	2.45	2.4
PN G006.2+06.9	PHRJ1734-2000	4121407981117238400	A	263.5571	-20.0141	0.14	19.82	1.86	-0.33
PN G006.2-09.1	CGMW4-1723	4048647245087934336	A	278.9359	-27.8556	1.05	17.06	0.57	-0.34
PN G006.3+03.3	H2-22	4117062676912301184	B	266.8914	-21.7898	0.24	18.47	2.6	0.31
PN G006.3+04.4	H2-18	4117385040014126592	A	265.8698	-21.1644	0.32	18.07	2.39	-0.67
PN G006.4+02.0	M1-31	4070421084305148928	A	268.1727	-22.3659	0.32	17.		

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D _{ang} (as)	G (mag)	A _V (mag)	(GBP-GRP) _o (mag)
PN G007.0-06.0	H1-66	4052929568083406464	B	276.2389	-25.6985	0.35	19.74	1.08	-0.08
PN G007.0-06.8	Vy2-1	4052110122599119360	B	276.9984	-26.1134	0.36	16.12	1.1	-0.12
PN G007.1+06.3	Kn120	4120037985319136384	B	264.6187	-19.5465	0.37	18.26	2.18	0.68
PN G007.1+07.4	PTB7	4121634308764755328	B	263.6263	-19.0169	0.33	19.84	1.13	0.21
PN G007.1-05.0	PHRJ1820-2510	4053197608418783616	B	275.2453	-25.1715	1.55	19.1	1.03	0.59
PN G007.2+03.4	PTB8	4118662431936461824	A	267.3074	-21.0289	0.6	20.19	2.16	-0.57
PN G007.3+01.7	PHRJ1755-2142	4070562023656796288	B	268.8948	-21.7104	0.88	17.39	3.77	0.59
PN G007.4+02.5	Th4-8	4070651775691846784	B	268.1779	-21.2601	0.28	16.62	2.94	0.35
PN G007.4+03.1	Pa80	4118707992955560448	B	267.677	-20.9928	0.6	20.97	3.72	0.85
PN G007.4-04.6	BMPJ1820-2441	4065259560117093760	B	275.0262	-24.6898	0.89	17.36	1.22	1.47
PN G007.5-05.0	BMPJ1822-2449	4053235472777660032	B	275.5434	-24.8313	1.33	19.57	1.35	0.7
PN G007.6+06.9	M1-23	4123152145849693696	B	264.3416	-18.7783	0.22	18.6	1.52	-0.15
PN G007.7+01.2	PHRJ1758-2139	4070762585760235648	B	269.602	-21.6564	16.14	20.78	8.72	-1.78
PN G007.7+03.9	PHRJ1748-2016	4118995686969542272	B	267.1143	-20.2754	0.83	20.37	2.39	0.08
PN G007.7-05.3	SB14	4077240663477110912	A	275.9272	-24.7911	0.79	16.51	0.99	-0.49
PN G007.8-03.8	Sa3-128	4065537362954637824	B	274.448	-24.0441	0.19	17.15	2.01	0.04
PN G007.8-04.4	H1-65	4065322923848085760	B	275.0368	-24.2515	0.19	14.51	1.2	0.27
PN G007.9+03.8	PHRJ1748-2009	4118998057791972480	B	267.2427	-20.1584	0.52	20.15	2.83	1.2
PN G007.9+10.1	MaC1-4	4136559350117114496	B	261.6587	-16.8084	0.42	15.55	0.6	0.79
PN G007.9-04.1	PPAJ1819-2405	4065340752368843776	B	274.8332	-24.0848	1.04	19.15	1.01	0.72
PN G007.9-12.5	PHRJ1852-2749	4071869484740939520	A	283.2123	-27.819	0.71	18.96	0.6	-0.61
PN G008.0+03.9	NGC6445	4119025030278036608	A	267.3139	-20.01	1.79	20.54	2.53	-0.62
PN G008.1-04.7	M2-39	4089299595952528832	B	275.5048	-24.1778	0.32	14.41	1.33	0.03
PN G008.2+06.8	Hen2-260	4123264059923436672	B	264.739	-18.2933	0.08	13.59	1.22	0.1
PN G008.2-04.8	M2-42	4089296950179444864	A	275.6337	-24.1577	0.12	17.23	1.31	-0.39
PN G008.3+07.1	BMPJ1738-1808	4123281583346427264	B	264.5652	-18.1411	2.28	20.48	1.22	0.8
PN G008.3+09.6	PTB26	4124562102059801216	A	262.3053	-16.7955	0.09	16.59	0.99	-0.35
PN G008.3+14.8	Kn41	4139832699312612608	B	257.7919	-13.9593	0.85	20.15	1.38	-0.13
PN G008.3-01.1	M1-40	4069732858752707040	B	272.1082	-22.2811	1.17	18.77	17.12	-1.84
PN G008.3-05.3	PHRJ1824-2416	4077291962704579584	A	276.1804	-24.2752	0.08	18.6	1.22	-0.52
PN G008.6-02.2	PPAJ1813-2233	4066661922835580288	B	273.2946	-22.5577	0.79	19.29	2.99	0.08
PN G008.6-02.6	MaC1-11	4090483254575155968	B	273.7121	-22.7321	0.29	17.85	2.81	-0.05
PN G008.7+01.8	BMPJ1758-2031	4071040624782838272	B	269.5644	-20.5274	1.96	19.99	2.92	0.61
PN G008.7-04.2	PHRJ1821-2324	4089592611531595904	B	275.2868	-23.4023	0.84	19.45	1.33	1.06
PN G008.8+02.2	MGE008.8168+02.2819	4071111096661937920	B	269.2043	-20.1933	5.09	20.66	3.81	-1.58
PN G008.8+06.2	CBF1	4123237018804802176	A	265.6352	-18.1622	0.66	15.03	1.54	-0.25
PN G008.9+03.7	PNPM1-183	4119492494479957760	B	267.9372	-19.3955	0.13	17.38	2.6	0.7
PN G009.0+00.4	GLMP707	4070868963522777856	B	271.0351	-20.9516	0.68	21.27	20.36	-1.67
PN G009.0+04.1	Th4-5	4120268165526590976	A	267.6181	-19.0526	0.39	19.91	2.65	-0.26
PN G009.0-02.4	PHRJ1814-2220	4090688343507223040	A	273.734	-22.3434	0.88	19.69	2.83	-0.89
PN G009.1-02.7	PHRJ1816-2222	409052080552022208	B	274.0824	-22.3804	0.71	18.77	2.37	0.11
PN G009.1-03.4	PHRJ1818-2239	4090444930999327872	A	274.745	-22.6613	1.92	16.32	1.72	0.64
PN G009.3+02.8	Th4-9	4119330243430068480	B	269.0025	-19.4908	0.3	17.1	2.74	-0.01
PN G009.3+04.1	Th4-6	4120281909424954240	A	267.7385	-18.7801	0.36	17.98	2.2	-0.58
PN G009.3-06.5	SB15	4077540142924415360	B	277.811	-23.9681	0.34	14.61	0.62	1.4
PN G009.4-05.5	NGC6629	4089517157442187008	B	276.4269	-23.2029	0.05	12.7	0.55	0.21
PN G009.4-06.6	PPAJ1831-2356	4077538635493652224	B	277.9848	-23.9355	0.27	18.37	0.92	-0.01
PN G009.4-09.8	M3-32	4073399588285893888	A	281.1798	-25.3594	0.39	17.49	0.94	-0.26
PN G009.6+10.5	Abell41	4136835641106850432	A	262.2584	-15.2179	1.24	16.24	1.1	-0.33
PN G009.6+14.8	NGC6309	4141505881131938560	A	258.5179	-12.9105	0.3	16.05	1.15	-0.45
PN G009.6-10.6	M3-33	4073217997070348032	A	282.0506	-25.4813	0.15	15.82	0.69	-0.61
PN G009.7-03.9	PPAJ1822-2223	40898163027689711104	B	275.5353	-22.3854	0.25	15.7	1.73	-0.1
PN G009.9-04.3	PHRJ1824-2226	4089759501046213760	B	276.0304	-22.4373	2.59	19.68	1.29	1.08
PN G010.0-02.0	MPAJ1815-2113	4090916943319936864	B	273.9041	-21.2226	0.29	19.52	3.87	0.33
PN G010.1+00.7	NGC6537	4095023378533855296	B	271.3046	-18.8433	1.16	16.8	15.34	-1.95
PN G010.1+04.4	PTB30	4120480352958055296	B	267.9436	-18.0693	0.47	18.38	1.98	-0.2
PN G010.1+07.4	Sab21	4124119475566179840	A	265.2695	-16.4137	0.3	18.35	1.33	-0.31
PN G010.2+00.3	PHRJ1806-1956	40949647212169844736	B	271.7283	-19.9364	10.18	20.91	20.4	-1.89
PN G010.4-02.4	DPV1	4144514355452503808	B	268.1362	-17.6864	2.54	20.09	1.83	0.73
PN G010.4+04.5	M2-17	414453033454246976	B	268.0201	-17.6017	0.52	18.73	1.52	-0.14
PN G010.5+02.8	PaJ1758.5-1823	4143630382478662144	A	269.6552	-18.3961	0.1	20.2	4.21	-0.25
PN G010.5-04.0	PHRJ1824-2144	4090240739301894656	B	276.0552	-21.7459	1.07	19.9	2.14	1.15
PN G010.6-02.4	MPAJ1800-1834	4143424838162995328	A	270.0344	-18.5761	0.58	19.5	3.86	-0.47
PN G010.6+03.2	Th4-10	4143700407610635904	B	269.277	-18.1114	0.49	17.41	2.12	0.03
PN G010.7-07.4	Sa2-230	4124912429604974592	A	265.5084	-15.9353	0.42	18.83	1.17	-0.32
PN G010.7-06.7	Pe1-13	4077923838119276288	A	278.7154	-22.7215	0.68	18.27	0.94	-0.35
PN G010.8-01.8	NGC6578	4094354493205707392	A	274.0688	-20.4508	0.16	15.44	2.06	-0.22
PN G011.0+06.2	M2-15	4147907448379074304	A	266.7269	-16.2903	0.18	18.44	1.7	-0.34
PN G011.0-02.9	PTB31	4091282148480443648	B	275.2243	-20.8034	0.06	19.42	3.7	0.1
PN G011.0-05.1	M1-47	4090264623539239936	B	277.2964	-21.7817	0.66	15.35	1.1	-0.83
PN G011.1+11.5	M2-13	4138416975017165440	B	262.1425	-13.4391	0.16	18.19	1.24	0.01
PN G011.1-07.9	SB17	4079151550306831488	B	280.083	-22.9082	0.01	17.27	0.5	1.82
PN G011.2-02.7	Sab86	4091353895938619392	A	275.149	-20.5074	2.09	20.55	6.52	-0.35
PN G011.3+02.6	PNPM1-199	4143751363058950144	B	270.18	-17.7553	0.14	19.28	3.26	0.53
PN G011.3+02.8	Th4-11	41437674777735296	B	270.0366	-17.6787	0.43	14.77	2.12	0.87
PN G011.3-09.1	PTB32	4078149826461265920	B	281.292	-23.3592	0.04	18.36	0.95	0.14
PN G011.3-09.4	My121	4078224382749921024	B	281.6463	-23.4468	0.09	13.21	0.99	0.27
PN G011.4-07.3	SB18	4079260195784967040	A	279.6793	-22.4041	0.51	17.54	1.03	-0.54
PN G011.5+03.7	PTB15	4144606022906904832	B	269.2735	-17.1861	1.84	17.69	2.14	0.18
PN G011.7-00.6	NGC6567	4094749870714268544	A	273.4382	-19.0762	0.05	14.22	0.87	-0.43
PN G011.7-06.6	M1-55	4079529404360162176	B	279.141	-21.8174	0.26	13.94	0.9	0.19
PN G011.7-41.3	Fr2-46	6780966389233959168	A	316.4484	-32.8312	0.17	13.44	0.24	-0.59
PN G011.8+03.7	PHRJ1757-1649	4144686669576773888	B	269.4151	-16.8221	0.02	15.6	1.02	0.71
PN G011.8-05.0	PTB34	409182431515713856	A	277.5331	-21.0849	0.66	18.62	1.66	-0.4
PN G011.9+04.2	M1-32	4144898115027496320	B	269.0833	-16.4845	0.14	15.61	2.18	-0.13
PN G011.9-07.4	Kn78	4079369008737614336	A	279.9752	-22.0529	1.52	18.79	0.78	-0.32
PN G012.0+07.4	PTB16	4149099868648020864	B	266.2808	-14.8898	0.38	19.74	0.87	-0.12
PN G012.0-11.9	Kn79	4075259652729340800	A	284.4433	-23.8277	0.1	15.43	0.46	-0.43
PN G012.1-02.1	PHRJ1820-1926	4094535397244099840	B	275.0734	-19.4432	0.25	20.28	3.86	0.29
PN G012.1-11.2	CGMW4-3783	4075514915539028224	A	283.7703	-23.4702	0.13	15.27	0.64	-0.46
PN G012.2-01.9	PHRJ1819-1916	4094587559645723648	A	274.8421	-19.2691	3.14	20.56	2.62	-0.32
PN G012.3-00.1	FBP2	4095675285854761472	B	273.3003	-18.3355	1.2	20.01	54.81	-3.07
PN G012.4+17.8	Pa12	4335757356324800512	A	257.4109	-9.0115	0.09	17.1	1.56	-0.39
PN G012.5+04.3	Sab10	4145310023878030336	B	269.2938	-15.9382	0.77	19.99	1.91	1.05
PN G012.5-09.8	M1-62	4078679481810532224	A	282.6085	-22.573	0.28	17.1	1.06	-0.85
PN G012.6-02.7	M1-45	4096032936429271296	B	275.7833	-19.2849	0.08	16.07	2.71	0.12
PN G012.8+09.6	Kn42	4161759920423904640	A	264.6863	-12.9556	0.2	19.06	1.22	-0.42
PN G012.8-04.7	MPAJ1831-2002	4092038406321878784	A	277.8456	-20.0				

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G014.0-05.5	V-V3-5	4092472408529260672	B	279.1348	-19.3242	0.07	17.12	0.99	-0.09
PN G014.1+02.7	PaJ1806.3-1520	4146705269757414272	A	271.5849	-15.3354	0.15	19.06	3.52	-0.21
PN G014.2+00.2	MSX6CG014.2361	4097646121790662784	A	273.8935	-16.4745	0.13	20.84	26.32	-1.85
PN G014.2+03.8	PM1-205	4146998736283238656	B	270.6594	-14.7011	1.09	16.43	2.88	0.23
PN G014.2-07.3	M3-31	4080221267663409408	B	281.0074	-19.9147	0.25	14.74	0.99	-0.09
PN G014.3-07.2	PTB40	4080225974947722752	B	280.9159	-19.8091	0.22	17.28	1.17	-0.4
PN G014.4+06.9	Pa81	4149764008058852352	B	267.9769	-12.9712	0.8	20.08	2.69	0.26
PN G014.4-06.1	SB19	4092512742510443136	A	279.9169	-19.2368	0.43	16.05	1.24	-0.39
PN G014.5-07.3	PNPM1-254	4080250924463314944	A	281.1222	-19.7126	0.76	17.38	1.24	-0.21
PN G014.6+01.0	PHRJ1813-1543	4145786932745283584	B	273.3708	-15.7222	1.06	18.87	4.53	1.74
PN G014.7+04.8	PHRJ1759-1350	4150150211508171648	B	269.9387	-13.8387	4.72	20.88	2.65	0.06
PN G014.7-11.8	SaWe4	4081863628798972032	B	285.5735	-21.4478	0.92	18.8	0.35	0.27
PN G014.8-08.4	SB20	4085994773196437888	A	282.3508	-19.8704	0.11	14.99	0.62	-0.38
PN G014.8-25.6	HaWe14	6754240246564390784	A	299.5545	-26.4712	0.29	18.51	0.32	-0.57
PN G014.9+06.4	K2-5	4151221445057926784	B	268.6101	-12.8086	3.29	20.77	2.05	-0.18
PN G014.9-03.1	SaSt3-166	4096653198454533888	B	277.2969	-17.4537	0.14	17.41	2.07	0.07
PN G015.1+02.8	MPAJ1807-1425	4146916238566202368	B	271.9132	-14.4249	0.49	19.89	3.36	-0.22
PN G015.3-11.0	Kn80	4084972983264857344	A	284.9675	-20.5802	0.71	19.0	0.51	-0.61
PN G015.4+05.6	Pa44	4150564551275781120	B	269.5668	-12.7991	0.17	14.99	2.35	0.18
PN G015.4-04.5	M1-53	4093677434572665216	A	278.9515	-17.6024	0.36	15.43	1.45	-0.46
PN G015.5+02.8	BMPJ1808-1406	4146962654265880064	A	272.1462	-14.1119	0.31	19.12	3.4	-1.36
PN G015.5-00.0	PHRJ1818-1526	4098119397123945856	B	274.7454	-15.4396	4.45	20.75	29.03	-2.17
PN G015.9+01.6	StDn31	4146520380019680256	A	273.4781	-14.2854	2.86	20.7	8.48	-0.95
PN G015.9+03.3	M1-39	4147559379838377344	B	271.878	-13.48	0.26	16.46	3.22	0.29
PN G016.0+13.5	Abell42	4167707586821183360	A	262.8711	-8.3194	0.25	19.76	1.93	-0.38
PN G016.0-07.6	SB21	4098431349179300224	A	282.0461	-18.4935	0.01	18.07	0.57	-0.32
PN G016.1+07.7	PTB20	4163729038353275520	A	268.0626	-11.1769	0.06	19.58	2.89	-0.65
PN G016.1-04.7	M1-56	4099723653388696320	A	279.4428	-17.0963	0.38	16.19	1.5	-0.47
PN G016.3-02.3	PHRJ1828-1549	4103148941329438208	A	277.2324	-15.8216	0.57	18.78	2.23	-0.23
PN G016.4-00.9	PHRJ1824-1505	4098184714982081536	B	276.0086	-15.092	1.94	20.26	2.96	0.94
PN G016.4-01.9	M1-46	4103910524954236928	B	276.9847	-15.5485	0.29	12.84	1.34	0.07
PN G016.6+07.0	PTB21	4152060956537250048	B	268.9704	-11.0945	5.75	20.14	2.25	1.0
PN G016.7-01.8	MPAJ1828-1516	4103933580261453568	A	277.0108	-15.2732	1.8	19.35	6.41	-0.91
PN G016.7-02.9	Pa107	4103116535737265280	B	278.0227	-15.7227	3.0	19.67	2.92	0.2
PN G016.7-07.3	SB22	4098926576110700160	B	282.1268	-17.7321	0.78	19.47	0.85	0.0
PN G016.8+07.0	PHRJ1756-1057	4152110709452698240	A	269.0895	-10.9602	1.26	20.88	2.25	-0.27
PN G016.8-01.7	BMPJ1827-1504	4103988212315867008	B	276.9615	-15.0734	0.31	19.14	1.69	1.7
PN G016.9-02.0	Sa3-134	4103960690161695232	A	277.3326	-15.1278	0.18	18.07	6.1	-1.42
PN G016.9-09.7	PTB44	4086522779285431680	B	284.4167	-18.6046	0.09	16.32	0.51	0.74
PN G017.2-01.7	MPAJ1828-1441	4104039335228566528	B	277.1274	-14.6896	0.38	18.83	2.09	0.85
PN G017.3-21.9	Abell65	6864617817991978624	B	296.6425	-23.137	0.13	15.48	0.25	0.11
PN G017.5+01.0	MPAJ1819-1307	4152688193573412096	B	274.7595	-13.1178	0.63	20.86	9.68	-1.01
PN G017.5-09.2	SB24	4086888981052416768	A	284.3189	-17.847	0.09	18.5	0.74	-0.38
PN G017.6-10.2	Abell51	4086643583803222400	A	285.2558	-18.2043	0.2	15.35	0.51	-0.38
PN G017.9-04.8	M3-30	4100345805124045696	B	280.312	-15.5616	0.23	17.84	1.36	-0.12
PN G018.0+00.8	IRAS18179-1249	4152816355413325440	B	275.1848	-12.798	0.14	18.24	4.81	0.17
PN G018.0+20.1	Na1	4366642333006411264	A	258.2162	-3.2667	0.41	16.59	1.36	-0.65
PN G018.0-02.2	PHRJ1831-1415	4104100904382751616	B	277.9594	-14.2562	2.74	16.27	1.95	-0.08
PN G018.2+01.6	DeGaPe28	4153656760260335744	A	274.5832	-12.2468	0.67	20.85	6.43	-1.15
PN G018.6-02.2	M3-54	4104555933892707456	A	278.2656	-13.7389	0.28	18.41	1.86	-0.48
PN G018.9+03.6	M4-8	4157058752294046848	B	273.04	-10.7163	0.27	16.1	3.33	0.21
PN G019.2-01.6	MPAJ1831-1256	4104867439280324864	A	277.9709	-12.9372	0.69	19.88	3.06	-0.27
PN G019.2-04.4	PM1-251	4103595858442901888	A	280.6033	-14.2531	0.81	17.21	2.21	-0.26
PN G019.4-01.6	Mul14	4104964814776705280	B	278.152	-12.7672	0.18	18.49	3.75	0.88
PN G019.4-13.6	DeHt3	4084551148755614720	A	289.2671	-18.0266	0.03	20.36	0.32	-0.36
PN G019.4-19.6	K2-7	6868431267910764160	A	295.125	-20.452	0.06	19.21	0.39	-0.36
PN G019.7-10.7	MPAJ1906-1634	4088731114003376512	A	286.6366	-16.5668	0.17	18.41	0.39	-0.66
PN G019.8-01.9	PHRJ1820-1042	4154350105388429696	B	275.0655	-10.7141	3.28	20.71	5.2	-0.37
PN G019.8-05.6	CTS-7	4158432626439950464	A	271.7492	-8.9258	0.29	19.92	3.06	-0.32
PN G019.8-23.7	Abell66	6864496115795567488	A	299.3813	-21.6129	0.1	18.08	0.51	-0.57
PN G019.9-02.8	PHRJ1837-1249	4106229326198155520	B	279.4587	-12.828	1.84	20.46	2.85	0.78
PN G020.1-02.8	Pa110	4106235614037850112	B	279.5023	-12.6851	1.77	20.68	2.97	0.8
PN G020.2-00.6	Abell45	415315396988050832	B	277.5659	-11.6176	8.43	19.53	3.47	0.29
PN G020.3-06.9	Pa120	4101903087213994496	B	283.4311	-14.3328	0.13	14.29	1.11	-0.12
PN G020.4-02.0	MPAJ1820-1009	4154521904099495296	B	275.212	-10.1619	0.13	20.58	4.22	0.06
PN G020.4-02.9	Pa111	4106270248674345216	B	279.8058	-12.4277	0.2	20.96	2.86	0.75
PN G020.4-07.0	MPAJ1854-1420	4101861447517419392	A	283.5614	-14.3387	0.19	20.64	1.06	-0.41
PN G020.6+01.9	PHRJ1821-1001	4154529875548363520	A	275.422	-10.0313	3.95	20.71	5.84	-0.53
PN G020.7-05.9	Sa1-8	4102207686291028864	B	282.6848	-13.5173	0.5	14.29	0.87	-0.13
PN G020.7-08.0	MPAJ1858-1430	4101453112078146432	A	284.5803	-14.5072	0.08	16.36	0.78	-0.32
PN G020.9+00.8	PHR1826-1013	4155787201457128960	A	276.5807	-10.2224	2.84	20.66	8.49	-1.32
PN G020.9-01.1	M1-51	4154696829542155392	B	278.3708	-11.124	0.03	17.99	3.77	0.39
PN G020.9-11.3	PHRJ1911-1546	4088900713689049728	A	287.7686	-15.7687	1.19	17.5	0.32	-0.6
PN G021.0-04.1	PHRJ1844-1226	4105553298336857600	B	281.0317	-12.4473	0.08	18.09	2.25	-0.08
PN G021.1+00.4	GLMP781	4155731538695389312	A	277.0055	-10.2359	0.15	21.17	15.25	-1.21
PN G021.2+00.9	PHRJ1826-0953	4155989953972490112	B	276.6097	-9.8992	5.86	19.44	9.8	-0.41
PN G021.2+02.9	MPAJ1819-0901	4157853420013987072	B	274.7778	-9.0307	0.34	18.68	3.56	0.98
PN G021.2-03.9	We1-7	4106335257245281408	B	281.0254	-12.2157	1.45	20.34	2.03	1.14
PN G021.3+02.2	MPAJ1822-0914	4159096181688213760	A	275.5238	-9.2359	0.51	20.8	5.66	-1.08
PN G021.4+02.5	PaJ1820.9-0901	4159153218883234176	B	275.2473	-9.0281	0.06	15.5	3.68	1.89
PN G022.0-03.1	M1-58	4107013823419786624	A	280.7375	-11.1148	0.41	18.74	1.59	-0.31
PN G022.1-02.4	M1-57	410710377208876928	B	280.0844	-10.6631	0.09	15.5	2.39	0.1
PN G022.5+01.0	MaCl-13	4156237687681900288	B	277.147	-8.723	0.48	18.47	3.47	0.52
PN G022.5+04.8	MA2	4160551209235451904	B	273.8057	-6.9535	0.51	18.54	2.69	-0.12
PN G022.9+22.7	Alves5	4387775530611235200	A	258.1735	1.9259	0.54	17.29	0.48	-0.41
PN G023.0+04.3	MA3	4160638521643128448	B	274.4558	-6.806	0.35	16.79	2.76	-0.06
PN G023.1-02.5	Pre48	4155290114832089728	B	280.6947	-9.8467	0.28	19.84	2.74	0.16
PN G023.2-02.6	MPAJ1842-0949	415529056585726112	B	280.7404	-9.8307	0.04	18.57	2.74	-0.13
PN G023.5-00.1	PHRJ1834-0824	4156491541724904448	B	278.6717	-8.4066	6.77	20.64	102.42	-5.0
PN G023.8-01.7	K3-11	4155606331827457408	B	280.2806	-8.9332	0.52	16.28	2.76	0.81
PN G023.8-06.2	BMPJ1857-1054	4202075953819742080	A	284.2909	-10.9142	0.3	19.0	0.74	-0.36
PN G023.9+01.2	MA13	4159799662991309696	B	277.6266	-7.4606	0.15	18.4	4.69	0.37
PN G023.9-06.5	MPAJ1858-1054	4202078904419339904	A	284.6366	-10.9082	0.1	18.24	1.08	-0.51
PN G024.1+03.8	M2-40	4161093027951979776	B	275.3494	-6.0322	0.14	16.14	2.51	0.25
PN G024.2-05.2	M4-11	4202377048194457344	B	283.5736	-10.0869	1.33	18.04	0.69	-0.06
PN G024.3-03.3	Pe1-17	4203399937651147520	B	281.9531	-9.1522	1.21	20.73	1.94	-0.05
PN G024.4+00.9	MPAJ1832-0706	4159840031367633024	B	278.0953	-7.116	0.37	19.29	4.42	0.95
PN G024.4-03.3	PHRJ1848-0903	4203498996752125696	B	282.032					

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G025.6+02.8	MPAJ1827-0510	4257140836167961984	B	276.9891	-5.1731	0.22	18.73	3.56	0.29
PN G025.8-17.9	NGC6818	4182562817846811904	A	295.9905	-14.1533	0.16	16.32	0.55	-0.59
PN G025.9+02.7	PaJ1828.6-0457	4257162242283481088	B	277.1715	-4.96	0.22	19.64	3.96	0.03
PN G025.9+10.3	MCS1	4178943603525569280	A	270.467	-1.4385	0.87	16.47	1.1	-0.34
PN G025.9-02.1	Pe1-15	4252320192669536000	A	281.6025	-7.2429	0.18	17.7	2.05	-0.29
PN G026.0+46.6	WPS4	1192780832638095872	B	237.728	14.9927	0.91	14.87	0.02	-0.19
PN G026.1-17.6	Pa161	4183333506776770688	B	295.8691	-13.7498	0.15	13.31	0.44	0.86
PN G026.2-03.4	PHRJ1851-0732	4252076348209607296	B	282.8803	-7.5415	0.48	18.34	1.05	0.35
PN G026.3-02.2	Pe1-16	4252368268565393920	A	281.8844	-6.9011	0.56	19.27	1.79	-0.51
PN G026.5+02.0	Mul13	4257218175601609984	A	278.1329	-4.7698	0.12	18.03	4.15	-0.34
PN G026.5-03.0	Pe1-19	4252307211263954688	A	282.4361	-7.0265	0.38	15.88	0.9	-0.22
PN G026.6-01.5	K4-5	4253203278927003648	A	281.4025	-6.3096	0.91	18.5	1.48	-0.85
PN G026.7-01.2	PHRJ1844-0603	4253413010753012736	B	281.121	-6.0571	0.98	18.46	3.3	1.16
PN G026.8-00.5	PHRJ1842-0539	4253500456269815296	A	280.5753	-5.6518	2.53	20.84	12.77	-1.62
PN G026.8-08.5	Kn65	4201133736742954880	A	287.7141	-9.2803	0.88	18.59	0.92	-0.41
PN G026.9+04.4	FPJ1824-0319	4269681144201350016	B	276.0674	-3.3077	7.54	19.11	7.18	1.04
PN G026.9-00.7	PHRJ1843-0541	4253485406696238464	B	280.7948	-5.6984	5.53	20.01	9.11	-1.18
PN G027.0+01.5	PHRJ1835-0429	4256875063578183808	A	278.7987	-4.4847	1.89	18.97	4.03	-0.78
PN G027.3-03.4	Abell49	4253933010964747904	B	283.3687	-6.4786	2.85	20.09	1.43	0.71
PN G027.4-00.9	PHRJ1844-0517	4253616008070016896	A	281.2271	-5.2908	4.59	20.78	8.86	-1.09
PN G027.4-03.5	Vy1-4	4253934209252777344	A	283.5079	-6.439	0.41	15.7	1.12	-0.78
PN G027.6+08.4	PNPM1-217	4274355099417395072	B	272.9164	-0.8173	0.18	17.32	2.48	0.1
PN G027.6+10.5	Pre21	4275388365469550720	B	271.0816	0.1346	0.36	19.96	0.94	-0.06
PN G027.6+16.9	DeHt2	4376331092036268032	A	265.4204	3.1159	3.39	14.98	0.51	-0.56
PN G027.6-00.8	PHRJ1844-0503	42536354900809186176	A	281.1898	-5.0652	0.36	19.46	8.56	-1.64
PN G027.6-09.6	IC4846	4201385082534035200	A	289.1176	-9.0435	0.16	15.24	0.71	-0.61
PN G027.7+00.7	M2-45	4256918322511326336	B	279.841	-4.3309	0.22	19.73	2.73	1.23
PN G027.8+02.3	MPAJ1833-0325	4258017864153209856	B	278.4097	-3.4322	0.05	17.5	3.7	0.79
PN G027.8+02.7	PHRJ1832-0317	4258035907324442240	B	278.1303	-3.2961	1.75	19.71	3.96	1.55
PN G027.9-01.4	PHRJ1847-0507	4255077224604477312	B	281.8727	-5.1235	14.23	20.14	3.66	-1.19
PN G028.0+10.2	WeSb3	4275480995019447552	A	271.5032	0.3774	0.12	17.37	4.94	-0.47
PN G028.2-04.0	Pe1-20	4253881230894735616	A	284.3224	-5.9978	0.45	20.38	1.06	-0.3
PN G028.5+01.6	M2-44	4259355871048895232	B	279.404	-3.0992	1.29	18.74	2.67	-0.18
PN G028.5+05.1	K3-2	4271262276290004864	B	276.2523	-1.5146	0.24	17.09	3.38	0.3
PN G028.5-01.4	PHRJ1848-0435	4255124812904736256	B	282.1686	-4.5978	2.6	17.34	3.45	0.4
PN G028.7+00.7	MGE028.7440+00.7076	4258535704082088704	B	280.3157	-3.4022	4.64	20.96	13.96	-1.72
PN G028.7-02.7	K3-7	4259650192241859840	B	278.5567	-2.4602	0.26	19.0	2.6	0.11
PN G028.7-03.9	Pe1-21	4254114494800691328	A	284.4571	-5.4613	0.34	18.17	1.66	-0.43
PN G029.0+00.4	Abell48	4258557110213184896	B	280.6955	-3.2215	0.12	16.75	3.01	1.49
PN G029.0+02.2	MPAJ1836-0227	4259642190765140992	A	279.0446	-2.4539	0.35	20.05	3.39	-0.51
PN G029.2-05.9	NGC6751	4206136209740612352	A	286.4814	-5.9923	0.73	13.69	0.81	-0.66
PN G029.3-01.2	PHRJ1849-0347	4258331057475279616	B	282.313	-3.7831	1.08	16.59	2.45	1.02
PN G029.5-00.2	IPHASJ184616.33	4258616312027640448	B	281.568	-3.1072	0.64	20.23	46.76	-2.76
PN G029.8+00.5	PHRJ1843-0232	4259458366129445632	B	280.989	-2.5374	9.6	20.56	19.34	-1.88
PN G029.9+03.7	IPHASXJ183249.6	4272105636060191232	B	278.207	-0.944	0.13	20.28	4.05	-0.04
PN G029.9+05.8	Pa34	4273177483801926272	A	276.3137	0.0348	0.61	19.25	2.39	-0.27
PN G030.0-04.2	PHRJ1901-0429	4254656180365848448	A	285.311	-4.4926	0.92	19.91	1.48	-0.51
PN G030.0-08.0	Pa159	4211173239978256128	B	288.7795	-6.1792	7.06	19.07	0.96	1.2
PN G030.5+01.5	IRAS18390-0128	4260148618930827008	A	280.4185	-1.4216	0.05	20.69	4.96	-0.82
PN G030.5-18.4	Fr2-42	419049986125543168	A	298.4	-10.3255	2.52	16.32	0.0	-0.23
PN G030.6-16.4	Fe4	4193856211011004672	A	296.6285	-9.3556	0.2	16.07	0.44	-0.47
PN G030.8+03.4	Abell47	4272579796149993728	B	278.844	-0.2309	1.44	18.35	4.79	-0.19
PN G030.8+03.4a	IPHASJ183531.31	4272532521447280384	B	278.8805	-0.264	0.09	17.72	1.64	1.42
PN G031.0-10.8	M3-34	4207957000957467392	A	291.7579	-6.5847	0.11	15.96	0.87	-0.79
PN G031.2+05.9	K3-3	427635885197975168	B	276.7888	1.2408	0.42	19.88	3.59	-0.04
PN G031.3-00.5	HaTr10	425924873763244032	B	282.6015	-1.6724	5.26	20.64	23.49	-2.02
PN G032.1+07.0	PG19	4277008585391308800	A	276.1855	2.4911	0.1	16.88	1.73	-0.84
PN G032.1-06.2	FPJ1912-0331	42650597185313614976	A	285.131	-3.5257	0.5	13.99	0.0	-0.29
PN G032.2-01.4	PHRJ1855-0116	4265235681271315840	B	283.8211	-1.282	3.08	20.62	3.19	0.93
PN G032.3-04.5	IPHASXJ190631.5	4261710097262961248	B	286.6317	-2.5431	1.03	19.64	1.84	1.76
PN G032.5-00.4	MPAJ1852-0033	4266084985277747200	B	283.1064	-0.5573	0.4	19.82	2.85	1.76
PN G032.5-03.2	K3-20	4262011019866089856	B	285.5423	-1.8126	0.12	15.7	1.95	0.36
PN G032.5-05.2	MPAJ1909-0242	4261269291843584000	A	287.3818	-2.7082	0.36	19.26	1.47	-0.3
PN G032.7-00.5	IPHASXJ185312.9	4266180917652732672	B	283.3047	-0.4255	3.59	20.9	11.07	-1.46
PN G032.9+07.8	K3-1	4278089212706036736	A	275.8405	3.6077	0.15	18.52	1.2	-0.29
PN G033.0-05.3	Abell55	4261355470375324672	A	287.6074	-2.3396	0.77	19.7	1.37	-0.67
PN G033.1-06.3	NGC6772	4261038467432411776	B	288.6514	-2.7068	0.85	18.4	1.17	-0.12
PN G033.2-01.9	Sa3-151	4265754375870414592	A	284.7156	-0.5493	0.07	18.92	2.94	-0.92
PN G033.2-04.0	PHRJ1906-0133	4262198413530027520	A	286.5637	-1.556	0.16	19.4	2.36	-0.27
PN G033.3-05.0	Pa36	4261389417811016064	A	287.5379	-1.8749	0.6	19.3	1.86	-0.46
PN G033.4-06.9	PHRJ1917-0240	4261120724620894720	A	289.319	-2.6739	0.47	20.37	1.77	-0.25
PN G033.6+06.6	Pa17	4283305879985226240	A	277.2924	3.6639	0.1	19.46	1.4	-0.47
PN G033.7-02.0	CBSS1	4265789624655994624	B	285.0673	-0.2425	0.39	19.47	2.55	-0.14
PN G033.7-02.0a	PHRJ1900-0014	4265769356705057792	A	285.014	-0.2339	1.03	20.19	2.81	-0.49
PN G033.8+00.1	IPHASXJ185225.8	4266901613164235904	B	283.1107	0.8822	12.63	19.04	3.17	0.94
PN G033.8+01.5	PHRJ1847-0132	4278692805923570048	B	281.9392	1.5464	0.46	18.98	5.02	0.29
PN G033.9+01.2	IPHASJ184853.00	4278677447120276096	B	282.2208	1.4811	0.11	19.87	5.31	0.42
PN G033.9-07.3	Pa37	4214612993377735552	B	289.8721	-2.5003	1.44	18.52	1.77	0.57
PN G034.1-10.5	HaWe13	4213334746695211888	A	292.7801	-3.709	0.87	16.68	0.94	-0.35
PN G034.3+06.2	K3-5	4283434037501295744	B	277.9409	4.0859	0.21	17.69	2.09	0.34
PN G034.5+07.7	Pa16	4284399924112532608	A	276.6457	4.9849	0.06	19.65	1.27	-0.41
PN G034.5-06.7	NGC6778	4262769064373735296	B	289.604	-1.5965	0.06	16.69	0.87	-0.03
PN G034.6+11.8	NGC6572	4472051344537031808	A	273.0263	6.8536	0.16	12.65	0.6	-0.57
PN G034.7-06.2	PHRJ1917-0112	4262994116345873024	B	289.2812	-1.2072	0.79	14.85	1.22	0.0
PN G035.1+03.4	PaJ1843.0+0334	4280446153312965376	B	280.7655	3.5746	0.54	19.1	2.47	0.59
PN G035.2+05.2	Pa10	4283781551897115072	B	279.2943	4.4718	0.09	18.62	2.18	0.85
PN G035.6-04.2	MPAJ1911+0027	4264281610117661056	B	287.8527	0.4625	1.82	18.28	1.33	0.68
PN G035.7+19.2	Pa157	4489876627044035456	A	266.7854	11.0058	0.07	16.3	0.32	-0.45
PN G035.7-05.0	K3-26	4264027902125405056	A	288.6632	0.2267	0.3	19.55	1.3	-0.25
PN G035.9-01.1	Sh2-71	4268419317167114240	A	285.4998	2.1545	0.08	19.94	8.52	-1.82
PN G035.9-02.9	Pa50	4267584719119811968	B	286.881	1.306	0.61	20.36	2.19	-0.05
PN G036.0+17.6	Abell43	4488953930631143168	A	268.3845	10.6234	0.48	14.66	0.46	-0.47
PN G036.0-01.4	IPHASXJ190227.3	4268407836720173568	B	285.6106	2.1325	13.96	20.65	9.93	-1.37
PN G036.1-57.1	NGC7293	6628874205642084224	A	337.4108	-20.8372	0.17	13.46	0.09	-0.64
PN G037.3-07.1	MPAJ1924+0038	4263701961311861760	A	291.2405	0.6442	0.48	19.11	1.1	-0.34
PN G037.5-05.1	Abell58	4264850714784262272	A	289.5856	1.783	1.2	20.97	1.23	-0.73
PN G037.6-04.7	BMPJ1917+0200	4264872636281775488	B	289.2805	2.0028	0.51	20.57	1.17	1.08
PN G037.7-01.3	IPHASXJ190503.1	4269239140569604608	B	286.2621	3.7074	3.92</			

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G039.7+06.0	Pa18	4287278827831316864	A	280.5049	8.7736	0.55	20.82	1.4	-0.67
PN G039.8-06.9	PHRJ1928+0253	4289193352436323072	B	292.2138	2.8982	1.59	20.32	0.62	0.58
PN G040.1+03.2	IPHASXJ185309.4	4310230750781889920	B	283.2893	7.878	0.13	19.96	4.28	0.0
PN G040.4-02.0	Pa129	4293609094235062528	B	288.1788	5.7628	0.36	17.69	3.06	0.51
PN G040.4-03.1	K3-30	4293331879884359680	A	289.1154	5.222	0.08	17.95	2.16	-0.36
PN G040.7+03.4	IPHASXJ185322.1	4310333898714839936	B	283.3422	8.5052	1.09	19.64	4.21	1.17
PN G040.8-09.7	WHTZ1	4289684146940013184	A	295.1826	2.5088	0.14	16.89	0.74	-0.51
PN G040.9-08.3	Kn1	4480747347648736384	A	278.9642	10.9554	0.11	20.01	0.76	-0.72
PN G041.2-00.6	HaTr14	4306360401133813888	B	287.3071	7.0956	1.01	20.42	4.58	0.12
PN G041.4-09.6	Pa13	4289787771600957824	A	295.3376	3.1216	0.11	16.64	0.85	-0.33
PN G041.8+04.4	K3-15	4311505638850116096	B	282.9231	9.9145	0.0	15.85	1.36	0.55
PN G041.8-02.9	NGC6781	4294123077230164736	B	289.617	6.5387	0.24	16.74	1.06	-0.2
PN G042.0+05.4	K3-14	4503757445981896832	B	282.1367	10.5974	0.13	15.04	1.01	0.18
PN G042.0-02.2	PaJ1916.3+0702	4306174446223256960	B	289.0982	7.0399	0.29	17.48	3.43	0.65
PN G042.2+01.1	IPHASXJ190417.9	4307548389086262656	B	286.0746	8.8211	0.21	19.72	5.05	0.79
PN G042.5-14.5	NGC6852	4237745794618477440	A	300.1634	1.728	0.02	17.91	0.28	-0.37
PN G042.6+01.3	IPHASXJ190432.9	4310668974884821248	B	286.1375	9.2822	0.97	19.92	4.44	-0.01
PN G042.7+00.8	[GKFP2010]MN102	4307651880622158208	A	286.6403	9.1224	1.25	19.88	7.54	-0.85
PN G043.0+01.7	IPHASXJ190340.7	4310749346635888640	B	285.9198	9.7775	0.41	17.5	3.5	0.26
PN G043.1+03.8	M1-65	4311868924367555200	B	284.1401	10.8693	0.48	14.5	1.75	0.16
PN G043.1+37.7	NGC6210	1299564195037054592	A	251.123	23.7998	0.15	12.46	0.16	-0.56
PN G043.2-02.0	PM2-40	4308012932750878720	B	289.4607	8.2523	0.09	15.5	2.23	1.03
PN G043.3+02.2	PM1-276	4311037792327567744	B	285.5742	10.2924	0.6	17.29	2.69	0.0
PN G043.3+03.5	IPHASXJ185744.4	4311871432611124608	B	284.4319	10.85	12.98	21.09	2.6	-1.19
PN G043.3+10.4	Kn2	4508624498600685440	A	278.1667	13.9673	0.14	17.3	0.55	-0.42
PN G043.3+11.6	M3-27	4509558434941251584	B	276.9511	14.485	0.14	13.11	0.64	0.56
PN G043.5-13.4	Abell67	4241183550857632896	A	299.6126	3.05	1.69	19.48	0.37	-0.57
PN G043.8+02.1	IPHASXJ190333	4312552751859040512	B	285.9111	10.7067	3.92	20.33	2.56	0.66
PN G044.0+05.2	K3-16	4504427250399940864	B	283.2566	12.2666	0.55	18.2	0.78	0.01
PN G044.3+10.4	We3-1	4509807233807831936	B	278.5111	14.8221	0.16	15.24	0.6	0.67
PN G044.3-04.1	IPHASJ192717.94	4296182638654046592	B	291.8248	8.2415	0.12	17.58	0.87	0.04
PN G044.3-05.6	K3-36	4295152602412852480	A	293.1647	7.4644	0.67	17.11	0.67	-0.34
PN G044.6+00.4	IRAS19089+1032	4312377345401979008	B	287.8214	10.6262	0.14	19.09	3.82	2.09
PN G044.9+00.0	AGP2	4309376159667160192	B	288.4061	10.6607	6.62	20.94	14.96	-2.01
PN G045.0-12.4	WHTZ3	4248349003725092608	B	299.4972	4.7921	1.26	20.13	0.21	0.24
PN G045.1-20.9	DSHJ2027.7+0042	4230632362398259712	B	306.9327	0.7117	0.4	12.97	0.21	0.99
PN G045.4-02.7	Vy2-2	4308704598615929728	A	301.0926	9.8989	0.13	12.78	4.05	-0.9
PN G045.6+24.3	K1-14	4556040392088374912	A	265.6528	21.4501	2.44	16.09	0.3	-0.23
PN G045.7-03.8	Fe1	4308446247710760576	B	292.1962	9.5768	3.83	20.46	1.6	0.61
PN G045.7-04.5	NGC6804	4296362443149857920	B	292.8964	9.2253	0.13	13.98	0.33	0.33
PN G045.9-01.9	K3-33	4309563832565090432	B	290.6111	10.6892	0.11	18.77	3.7	0.8
PN G046.0-05.9	Pa38	4302106562442047616	B	294.2294	8.9033	9.4	18.0	0.69	-0.4
PN G046.3-03.1	PB9	4314739847970750976	A	291.9367	10.4057	0.13	17.33	2.58	-0.62
PN G046.4-04.1	NGC6803	4314488781356419456	A	292.8187	10.056	0.13	16.77	1.29	-0.53
PN G046.6-01.4	Pa131	4315858566694277504	B	290.525	11.5447	0.09	18.36	3.59	1.94
PN G046.7-13.7	PaJ2005.8+0535	4248742109181848704	B	301.4553	5.5845	0.9	18.8	0.35	0.77
PN G046.8+03.8	Sh2-78	4506484097383382272	A	285.792	14.1163	0.27	17.61	0.82	-0.46
PN G047.0+42.4	Abell39	1305573511415857536	A	246.8905	27.9093	1.19	15.57	0.21	-0.58
PN G047.0-02.0	IPHASXJ192510.5	4315641726680561920	B	291.2949	11.5653	0.75	20.44	3.18	0.81
PN G047.1+03.9	IPHASXJ190319.0	4506633764087096704	A	285.8293	14.4235	0.07	20.64	1.94	-0.43
PN G047.1-02.6	Fr2-28	4314870419308920576	A	291.7852	11.3804	2.59	20.17	2.74	-0.24
PN G047.1-04.2	Abell62	4314617943916816384	A	293.3245	10.6166	0.08	18.57	0.98	-0.56
PN G047.2+01.7	PM1-286	4314096397510483456	B	287.8993	13.5198	0.22	18.25	3.43	0.27
PN G048.0+04.1	IPHASXJ190419.4	4512908200193607424	A	286.0787	15.36	12.14	20.87	1.8	-0.72
PN G048.0-02.3	PB10	4315832144050466304	B	292.06	12.3267	0.28	18.99	2.46	-0.19
PN G048.0-04.4	IPHASJ193532.1	4315045722790510528	B	288.8874	11.3543	0.18	19.38	0.85	-0.18
PN G048.1+01.1	K3-29	43202251096832166784	B	288.8774	14.0639	0.25	19.38	5.75	-1.11
PN G048.1-03.2	IPHASXJ193127.0	4315370731432156160	B	292.8626	11.9401	1.35	20.29	1.14	-0.19
PN G048.1-01.9	M4-13	4320554035406988672	B	288.4101	14.9886	0.05	17.66	2.97	0.05
PN G048.7-01.5	DeHt4	4316505805395758848	B	291.6159	13.3264	8.59	16.28	1.69	0.5
PN G048.9+04.3	IPHASXJ190512.4	4513118103860843392	A	286.3021	16.2298	0.11	20.11	1.56	-0.35
PN G048.9+04.3a	Pa19	4513118413125457792	A	286.286	16.2557	0.09	16.95	1.63	-0.38
PN G049.3-04.0	IPHASXJ193636.3	4315489852332938112	B	294.1518	12.6329	3.96	17.78	0.96	0.94
PN G049.4+02.4	Hen2-428	4513170261953875840	B	288.2727	15.7777	0.58	15.48	2.5	-0.12
PN G049.6-02.8	IPHASXJ193305.9	4316390975195628032	B	293.2755	13.4897	3.71	15.96	2.55	0.22
PN G049.6-07.7	Pa54	4303586921715070592	A	297.6019	11.044	1.1	19.91	0.53	-0.38
PN G049.7-00.7	IPHASXJ192543.2	4319754445624777600	B	291.432	14.5943	9.38	18.7	4.75	0.27
PN G050.2+11.9	Pa144	4299561781443125504	A	301.6325	9.4391	0.05	18.42	0.35	-0.57
PN G050.4+05.2	Abell52	4514604677947726976	A	286.1347	17.9521	0.07	17.68	0.78	-0.28
PN G050.8+02.3	IPHASJ191621.43	4513368517631376128	A	289.0893	16.9441	0.16	21.28	6.52	-0.97
PN G051.0-04.5	PC22	4317178603426318720	A	295.5145	13.8437	0.08	18.02	0.76	-0.35
PN G051.3+01.8	PM1-295	4514868732516293760	B	289.8279	17.1969	1.09	14.36	3.43	0.29
PN G051.4+09.6	Hu2-1	4530814090658118656	B	282.4482	20.8442	0.06	12.82	0.48	0.03
PN G051.5+05.1	Kn4	4514801073882782336	A	286.816	18.8779	0.08	18.03	1.36	-0.29
PN G051.5+06.1	K1-17	4517888747357117312	B	285.9055	19.3563	0.48	18.28	1.35	0.36
PN G051.8+01.7	IRAS19183+1727	4514907211117285504	A	290.1317	17.5469	0.18	21.12	7.86	-1.02
PN G051.9-02.5	IPHASXJ193633.5	4318746644455494528	A	294.139	15.5606	7.34	19.63	1.27	-0.5
PN G051.9-03.8	M1-73	4318420669299100288	B	295.2887	14.9497	0.6	14.49	1.21	0.11
PN G052.2+07.6	K4-10	4518973106345424000	A	284.7656	20.617	0.24	16.9	0.85	-0.57
PN G052.4-09.9	Kn5	1805970255468857728	A	300.9344	12.3738	0.16	20.18	0.18	-0.29
PN G052.5-02.9	Me1-1	4318785810234714752	B	294.7909	15.9467	0.18	12.52	1.06	0.76
PN G052.9+02.7	K3-31	4515390553873264896	A	289.761	19.0392	0.06	19.64	5.26	-0.93
PN G052.9-02.7	K3-41	4318903049992391552	A	294.8161	16.3468	0.03	18.12	1.99	-0.34
PN G053.1-02.1	WOW1	4321991131474701312	B	294.3648	16.8989	2.17	20.5	2.28	0.9
PN G053.8-03.0	Abell63	1820963913284517504	B	295.5429	17.0873	0.17	14.97	0.81	-0.15
PN G053.9-33.2	Fr2-21	2691081097260836480	A	321.5882	0.9761	0.2	14.22	0.14	-0.57
PN G054.1-12.1	NGC6891	1803234906762692736	A	303.7869	12.7043	0.07	12.29	0.3	-0.38
PN G054.2-03.4	IPHASXJ194359.5	1820974088126464384	B	295.998	17.1503	0.15	17.69	1.08	0.22
PN G054.3-03.8	StDr26	1820914366568717312	A	296.5455	17.1025	0.32	19.19	0.73	-0.25
PN G054.4+00.5	IPHASXJ193009.3	4323453997342946176	A	292.54	19.3562	7.9	21.04	7.79	-1.25
PN G054.4+03.9	StDr28	4516892418037504768	B	289.3555	20.8771	7.03	20.96	3.42	0.13
PN G054.4-02.5	M1-72	1824067323576290304	B	295.3915	17.7548	0.07	14.98	1.46	0.51
PN G054.5+01.8	IPHASXJ192534.9	4515887189511585792	B	291.3954	20.0596	1.26	18.64	2.97	-0.12
PN G055.0-15.1	Fr2-15	1755635540865117568	A	306.802	11.8855	0.16	13.75	0.14	-0.31
PN G055.2+02.8	Hen2-432	2018764096614237440	B	290.8534	21.1334	0.22	18.15	2.11	0.25
PN G055.2-01.7	PaJ1940.3+1855	1824467305255529088	B	295.0742	18.9225	1.4	20.65	2.21	0.64
PN G055.4+16.0	Abell46	4585381817643702528	A	277.8275	26.9367	4.1	14.96	0.28	-0.38
PN G055.5-00.5	M1-71	1825515616543459584	A	294.1122	19.7067	0.1	17.45		

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G057.9+01.7	K4-30	2019455895594998784	B	293.2876	22.976	0.11	20.09	2.99	1.21
PN G057.9-00.7	Kn7	1827688560762404480	B	295.6087	21.7562	1.61	20.19	4.09	0.97
PN G057.9-01.5	Hen2-447	1827414443108647168	B	296.3423	21.3344	0.1	17.75	2.27	0.48
PN G057.9-09.8	Alves6	1809885066631267072	B	303.7916	17.0503	0.26	13.39	0.35	0.26
PN G058.1-03.7	IPHASXJ195343.7	1826327227947840512	B	298.4322	20.443	0.86	20.44	0.75	0.77
PN G058.2+04.5	Kn8	2023015633218874880	A	290.6613	24.5506	2.01	20.7	1.06	-0.55
PN G058.3-02.9	IPHASJ195116.18	1826560255678412672	B	297.8174	20.9984	0.06	20.24	1.56	0.08
PN G058.3-08.2	Pa23	1810256976445430656	B	302.5894	18.1972	0.03	18.68	0.64	-0.2
PN G058.3-10.9	IC4997	1808888702934248704	B	305.0365	16.7316	0.11	11.75	0.32	-0.08
PN G058.5-13.3	Pa146	1805554841937332096	A	307.2892	15.6168	0.07	17.16	0.28	-0.52
PN G058.6+00.9	PM1-309	2020219403339189760	A	294.3722	23.1629	0.08	21.26	7.97	-1.36
PN G058.6+06.1	Abell57	2024098484670541952	B	289.2736	25.6258	1.2	17.54	0.62	0.09
PN G058.6-03.6	V458Vul	1826449965231860608	B	298.6026	20.8811	0.18	18.1	1.03	-0.05
PN G058.6-05.5	WeSB5	1823095492701560704	B	300.425	19.9111	0.04	18.11	1.12	-0.15
PN G058.8-16.9	Kn121	1762118192700900736	A	310.5081	13.8542	0.58	15.57	0.3	-0.62
PN G058.9+01.3	K3-40	2021005760309552256	A	294.091	23.6632	0.24	17.61	3.38	-0.46
PN G058.9+09.0	Si1-2	2036937138334923648	A	286.5299	27.2162	0.38	19.07	0.43	-0.5
PN G059.0-01.7	Hen1-3	1827574864387670400	A	297.11	22.1437	0.02	19.07	3.27	-0.46
PN G059.1+03.3	IPHASXJ192902.5	2022884520783629312	A	292.2606	24.7796	0.13	19.94	1.43	-0.23
PN G059.1-00.7	Kn9	1827853320031235712	A	296.2464	22.7632	1.34	16.17	0.29	-0.6
PN G059.1-07.1	Kn10	1822599612929731584	B	302.1364	19.4762	3.52	21.03	0.78	0.39
PN G059.2+01.0	Ou3	2020279846435035904	A	294.5711	23.7626	7.17	21.18	6.89	-0.73
PN G059.4+02.3	K3-37	2021325275814159360	A	293.4448	24.5408	0.1	19.76	2.76	-0.25
PN G059.7-00.8	IPHASXJ194633.0	2020051560320985856	B	296.6375	23.2832	0.17	15.53	4.08	2.0
PN G059.7-01.0	IPHASXJ194727.5	1827892485806779776	B	296.8648	23.1378	0.4	19.21	3.33	0.97
PN G059.7-18.7	Abell72	1761341417799128320	A	312.5086	13.5582	0.14	16.01	0.18	-0.58
PN G059.8-00.5	2MASSJ19453289	2020070320738847232	A	296.3871	23.4696	0.14	20.75	6.86	-0.75
PN G059.8-00.6	IPHASXJ194556.2	2020069805330883072	A	296.4848	23.4751	3.47	21.02	6.25	-1.02
PN G059.9+02.0	K3-39	2021426048629219072	B	293.9768	24.9139	0.23	16.69	2.52	0.8
PN G060.0-04.3	Abell68	1826936121144576896	B	300.0442	21.7155	0.03	18.83	0.88	0.16
PN G060.3-01.4	IPHASJ194957.59	1828288000756444672	A	297.4899	23.4335	0.18	20.87	7.11	-0.78
PN G060.3-02.0	IPHASJ195224.67	182803552540444416	B	298.1028	23.1489	0.19	20.49	2.37	0.03
PN G060.3-05.0	Kn12	1823929193070538624	A	300.8439	21.5979	0.36	18.44	0.69	-0.41
PN G060.3-07.3	Hen1-5	1828750899461025408	B	302.9836	20.3345	0.01	19.34	0.48	2.01
PN G060.5+01.8	Hen2-440	2021459171418312832	B	294.5348	25.2613	0.22	17.59	2.49	0.4
PN G060.5-05.8	Kn13	1829680085557106176	A	301.7048	21.357	2.81	20.03	0.81	-0.59
PN G060.8-03.6	NGC6853	1827256624493300096	A	299.9016	22.7212	0.39	14.04	0.0	-0.54
PN G060.8-07.9	Pa25	1828581643391652992	A	303.7573	20.4226	0.11	18.35	0.74	-0.23
PN G061.0+08.0	K3-27	2038257376937231488	A	288.6248	28.6792	0.24	17.31	0.48	-0.42
PN G061.4-09.5	NGC6905	1816547660416810880	A	305.5958	20.1045	0.91	14.6	0.22	-0.32
PN G061.5-02.6	Pa134	1834171384397003264	A	299.3468	23.8801	0.65	18.1	3.12	-0.32
PN G061.8+03.0	CGMW5-11005	2025050524351107584	B	294.0639	26.9591	1.23	20.23	1.47	0.66
PN G061.9+02.9	DdDm1	2025146800299621888	A	294.1496	27.0692	0.45	21.1	2.55	-0.44
PN G061.9+41.3	IPHASXJ193827.8	1331566790929938432	B	250.0756	38.7056	0.14	15.17	0.09	-0.07
PN G062.0+02.5	IPHASXJ193617.5	2025098146936552576	A	294.6161	26.9645	0.31	18.25	1.79	-0.43
PN G062.1+03.1	IPHASXJ194645.3	2025166763313254400	A	294.0733	27.3478	0.33	20.19	1.47	-0.39
PN G062.4+00.6	NGC6765	2027773464831143168	A	296.6888	26.3704	2.0	21.04	11.68	-1.58
PN G062.4+09.5	M2-48	2039515046435901440	A	287.7773	30.5454	0.11	17.6	0.39	-0.39
PN G062.4-00.2	Fr2-16	2026955977938203264	A	297.6189	25.9085	0.39	22.05	9.22	-1.7
PN G062.7-00.7	IPHASXJ195248.8	2026853242333963904	A	298.2034	25.9001	1.06	20.97	9.06	-1.47
PN G062.9-25.2	Fr2-16	1746496503290277888	A	319.578	12.0256	0.23	16.44	0.12	-0.59
PN G063.1+00.8	IPHASXJ194745.5	2027867644892678400	A	296.9389	27.0298	3.9	21.02	6.74	-1.4
PN G063.1+13.9	NGC6720	2090486618786534784	A	283.3962	33.0291	0.29	15.65	0.14	-0.62
PN G063.2+02.3	Pa53	2031177518533766016	B	295.455	27.8673	0.53	17.08	2.23	-0.08
PN G063.2-04.9	Kn14	1833636265835954048	B	302.4258	24.1275	0.21	20.04	2.52	-0.17
PN G063.3+02.2	IPHASXJ194240.5	2031165660089336192	B	295.6701	27.8526	3.38	20.82	1.85	-0.07
PN G063.7+00.7	IPHASXJ194930.9	20279997237931804672	B	297.3784	27.5094	5.95	21.02	6.8	-2.3
PN G063.8-03.3	K3-54	1834720521736114816	B	301.2443	25.4437	0.09	17.93	3.04	0.94
PN G063.9-01.2	Te1	2027268853416275456	A	299.3429	26.6523	0.15	20.05	4.62	-1.28
PN G064.1-04.9	IPHASJ201144.3	183378071847939264	A	302.9347	24.8351	0.76	19.81	1.68	-0.27
PN G064.5+03.4	Kn15	2031657180462828288	A	295.1681	29.5029	0.23	17.69	1.1	-0.21
PN G064.5-06.9	Kn16	1831949378782925952	B	305.0481	24.077	0.81	20.65	0.78	-0.08
PN G064.6+48.2	NGC6058	138019049219990784	A	241.1106	40.683	0.1	13.73	0.09	-0.57
PN G064.6-04.7	Pa145	1835499250845571712	B	303.0657	25.3705	0.03	20.61	2.25	-0.09
PN G064.7+05.0	BD+303639	2032744769234150016	B	293.6885	30.5163	0.03	10.34	0.3	0.35
PN G064.8-03.8	StDr42	1836342992876819072	A	302.3644	25.9932	4.01	21.14	3.68	-0.83
PN G064.9+15.5	M1-64	2093171999835941504	B	282.5087	35.2432	0.4	19.35	0.18	0.12
PN G064.9-02.1	K3-53	1835203619659154688	A	300.8435	27.0152	0.15	18.37	4.11	-0.75
PN G064.9-09.1a	Pa15	1830887113098897920	A	307.2816	23.186	0.69	16.67	0.35	-0.39
PN G065.2-05.6	Hen1-6	1835268185902868992	B	304.339	25.3631	0.77	20.64	0.99	0.1
PN G065.4+03.1	TaWe2	2032079697828332544	B	295.9496	30.2354	1.19	20.9	1.2	0.06
PN G065.4+20.2	StDr29	2096246444804803328	A	277.2587	37.3349	0.42	17.8	0.02	-0.51
PN G065.7-04.8	Kn17	2033168076901487744	B	294.3451	31.2494	1.07	19.18	0.48	0.69
PN G065.8+05.1	IPHASXJ193630.2	2033188971938317952	B	294.127	31.4689	3.5	20.62	0.48	1.14
PN G065.9+00.5	NGC6842	2028777318992611072	A	298.7596	29.2883	0.04	16.08	1.14	-0.24
PN G066.1+04.7	IPHASXJ193849.6	2033203609193896064	B	294.7075	31.6311	7.44	20.54	0.74	0.22
PN G066.2+01.9	Pre7	2031942125768335104	A	297.6396	30.2568	2.66	20.96	4.29	-0.63
PN G066.5+15.1	Ra1	2093708870751911040	A	283.6912	36.5033	0.37	18.74	0.3	-0.58
PN G066.5-14.8	Kn45	1814597642173959168	A	313.2664	21.003	0.06	18.46	0.32	-0.59
PN G066.7-28.2	NGC7094	1770058865674512896	A	324.2207	12.7886	0.24	13.52	0.3	-0.56
PN G066.8+02.9	IPHASXJ194751.9	2033745393571783808	B	296.9663	31.305	0.1	16.48	1.79	0.24
PN G066.9-05.2	Hen1-7	1835909441720893952	A	304.9089	27.0031	0.01	17.79	1.27	-0.41
PN G066.9-07.8	Kn19	1832550223218972800	A	307.3358	25.5442	0.78	19.93	1.17	-0.42
PN G067.5+01.8	MVP1	2033594829188744832	A	298.4931	31.3562	2.54	21.04	3.84	-0.22
PN G067.6+01.4	IPHASJ195549.80	2033545522920043904	B	298.9574	31.2278	0.13	19.66	2.76	1.01
PN G067.9+02.4	IPHASXJ195221.6	2033831567750197376	A	298.0911	31.9835	2.16	20.76	3.67	-0.68
PN G068.1+11.0	ETHOS1	2050526964622031744	B	289.1312	36.1632	0.6	17.2	0.21	-0.17
PN G068.2+00.9	IPHASXJ195919.0	2030933937990031232	B	299.8295	31.4261	0.32	19.66	2.69	1.62
PN G068.2-16.0	Kn44	1837961057377917056	A	315.3353	21.6684	0.35	18.24	0.35	-0.45
PN G068.3-02.7	Hen2-459	1837452503203933184	B	303.4912	29.5655	0.11	15.78	2.9	0.46
PN G068.6+01.1	Hen1-4	2033978627428592000	A	299.826	31.9106	0.39	20.39	2.53	-0.69
PN G068.6-00.2	IPHASXJ200457.3	2030777017063842176	B	301.2408	31.2382	0.11	18.98	2.55	0.76
PN G068.7-01.9	K4-41	2034043051976038400	A	299.1418	32.3703	0.05	18.72	2.51	-0.4
PN G068.8-00.0	M1-75	2030793514041787264	B	301.1842	31.4566	1.73	20.02	3.15	0.41
PN G069.2+02.8	K3-49	2035106004835235712	B	298.5026	33.3701	0.09	16.47	2.44	0.27
PN G069.2+03.8	K3-46	2035349890218513280	B	297.5004	33.7647	2.36	20.55	1.74	0.52
PN G069.4+-3.8	StDr11	1861247992106454400	B	305.2107	29.8317	4.69	20.63	2.34	0.92
PN G069.4-02.6	NGC6894	2053683628140774528	A	304.0998	30.565	0.99	18.19	1.27	-0.43

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G072.5+04.9	IPHASXJ195328.9	2071887997346367616	B	298.3715	37.1639	8.15	18.41	0.69	0.8
PN G072.7-17.1	Abell74	1840395547924993152	A	319.2181	24.1475	1.18	17.02	0.16	-0.54
PN G073.0+03.6	NeVe2	2060147622645380224	A	300.0778	36.9928	0.16	20.07	1.17	-0.62
PN G073.0-02.4	K3-76	2055990571034870016	B	306.2703	33.5807	0.25	18.01	2.44	-0.02
PN G073.4+01.5	IRAS20084+3604	2059170912744153216	B	302.5749	36.2192	0.79	16.61	2.85	1.01
PN G074.0+13.5	Fr2-41	2102652096467273856	B	289.3584	42.5311	13.71	20.91	0.24	-0.02
PN G075.0-07.2	Pa27	1859955657931121536	B	312.2432	32.3041	0.17	12.27	0.67	0.93
PN G075.3+05.5	Pa22	2072773550888053888	B	299.5545	39.9113	0.11	20.06	0.67	0.17
PN G075.5+01.7	Ju1	2060926897208561280	A	303.8394	38.0455	0.14	19.33	0.83	-0.34
PN G075.6+04.3	ARO342	2074015556666641664	B	301.0661	39.593	3.23	21.11	1.54	0.04
PN G075.7+35.8	Sa4-1	1414294114523211904	A	258.4598	49.2697	0.22	13.71	0.07	-0.51
PN G075.9+11.6	AMU1	2125895669204184832	A	292.787	43.416	0.37	13.57	0.25	-0.54
PN G076.3+14.1	Pa5	2127040806264002944	A	289.8771	44.7618	0.55	15.69	0.16	-0.44
PN G076.3-02.5	MaCCo2	2056719860792120192	B	308.8167	36.1973	0.03	12.65	2.06	0.53
PN G076.4+01.8	KJpN3	2061352305127905280	A	304.3144	38.8399	0.07	17.5	2.74	-0.67
PN G076.6+05.7	DSHJ2000.7+4109	2075178839957515264	B	300.1739	41.1576	0.8	19.64	0.99	0.58
PN G076.8-08.1	Pa28	1865874672618774656	A	314.5456	33.1425	0.21	18.83	0.51	-0.63
PN G077.5+03.7	KJpN1	2062501642691193984	A	303.1001	40.7581	0.17	19.67	2.48	-0.31
PN G077.6+14.7	Abell61	2127684982639844224	A	289.7925	46.2478	0.23	17.25	0.21	-0.65
PN G078.3-02.7	K4-53	2063237383468307584	B	310.5672	37.6746	2.24	20.34	3.13	0.11
PN G078.5+18.7	NGC6742	2131594128728400128	A	284.8327	48.4654	0.12	19.56	0.14	-0.64
PN G079.1-02.1	StDr27	2063541643232593408	B	310.5317	38.6357	0.3	20.5	2.79	-0.19
PN G079.6+05.8	Ma4-17	2081048892007659648	A	302.258	43.7287	0.15	20.49	2.09	-0.3
PN G079.8-10.2	Alves1	1866922365452388768	A	318.7777	33.9719	1.03	18.28	0.26	-0.51
PN G079.9+06.4	K3-56	2081894618310233856	A	301.7307	44.2386	0.26	20.38	2.09	-0.29
PN G080.2+05.8	PM1-320	2081178325141115648	A	302.6393	44.198	4.76	20.55	2.5	1.01
PN G080.3-10.4	MWP1	1855295171732158080	A	319.2845	34.2077	0.24	13.02	0.02	-0.55
PN G081.2-14.9	Abell78	1850685091269441792	A	323.8724	31.696	1.77	13.13	0.28	-0.46
PN G082.1+07.0	NGC6884	208249165742734835	A	302.5985	46.461	0.31	16.53	1.38	-0.77
PN G082.1-07.8	Kn24	1868658082001121664	A	318.4071	37.2605	0.4	19.3	0.38	-0.4
PN G082.5-06.2	Kn25	1872003075545516032	B	317.3344	38.6018	1.16	20.85	0.91	-0.13
PN G083.3+02.9	IPHASJ203346.47	2070731860869105920	B	308.4437	45.1444	0.15	20.92	4.24	0.06
PN G083.5+12.7	NGC6826	2135352396915239808	A	296.2006	50.525	0.15	10.6	0.18	-0.44
PN G083.9-08.4	K3-81	1964102533181902088	A	320.564	38.1209	0.11	15.72	0.39	-0.44
PN G084.2-04.2	K3-80	1969244880344005884	A	316.9153	40.9645	0.18	17.72	2.71	-0.28
PN G084.6-07.9	Kn26	1965268354805776896	B	320.7889	38.97	0.89	17.14	0.39	-0.13
PN G084.9+04.4	Abell71	2071605220993676544	A	308.0967	47.3473	3.32	19.24	0.64	-0.38
PN G084.9-03.4	NGC7027	1969656406922355072	B	316.7574	42.236	0.07	15.83	0.67	0.19
PN G085.3+52.3	Jacoby1	1595941441250636672	A	230.444	52.3678	0.25	15.55	0.05	-0.62
PN G086.1+05.4	We1-10	2179832585761932032	A	307.9682	48.8805	0.15	17.98	0.99	-0.75
PN G086.5+01.8	IPHASXJ205013.6	2166497919218123648	B	312.5556	46.9206	3.5	19.64	2.05	0.46
PN G086.5-08.8	Hu1-2	1965932567203447296	B	323.2846	39.636	0.45	17.42	0.69	-0.08
PN G086.9-03.4	Ou5	1970016153397634048	B	318.5835	43.6933	0.08	18.57	1.45	0.04
PN G088.0+00.4	TeJ2102.1+4710	2163877198882885376	B	315.5216	47.17	4.87	17.84	3.45	0.41
PN G088.7+04.6	K3-78	2168422854828955776	B	311.3445	50.3777	0.24	20.43	1.75	0.54
PN G088.7-01.6	NGC7048	2164192930525717248	A	318.5633	46.2881	0.59	18.97	0.82	-0.5
PN G089.0+00.3	NGC7026	2165238733564304768	A	316.5774	47.8519	0.08	15.49	2.44	-0.65
PN G089.1+08.7	Pa39	2181841672689968128	A	306.394	53.2124	1.03	14.68	0.53	-0.34
PN G089.3+12.8	Pa4	2233942718358029824	B	300.612	55.5617	4.13	16.55	0.55	0.79
PN G089.3-02.2	M1-77	1971995510535755648	B	319.7807	46.3131	0.11	11.94	1.95	-0.04
PN G089.8-00.6	Sh1-89	2164519416761365248	A	318.5315	47.7725	0.06	20.05	3.86	-1.42
PN G090.8+06.1	Pa3	2182418607053195776	A	311.5443	52.9515	1.01	15.9	1.45	-0.63
PN G091.0+20.0	WPS28	2239709863001566848	A	289.5996	59.9982	2.92	14.78	0.0	-0.45
PN G091.0-06.3	Sh2-123	1973817302524302080	A	325.5646	44.4679	0.21	18.05	0.46	-0.28
PN G091.6-04.8	K3-84	1977145043182913408	B	324.7042	46.0077	0.1	19.42	0.7	0.11
PN G091.6-00.9	K3-82	217099162333531264	B	322.7145	50.0023	0.46	19.18	2.62	0.1
PN G093.3-02.4	M1-79	1978860762361597312	B	324.2554	48.9344	0.07	19.1	0.81	-0.03
PN G093.4+05.4	NGC7008	2188752549939971200	B	315.1369	54.532	0.15	13.74	1.06	0.25
PN G093.4-03.2	StDr2	1978028088466446848	A	325.0921	48.3645	0.37	17.87	0.87	-0.75
PN G094.0+27.4	K1-16	2160562927224840576	A	275.4671	64.3648	0.02	14.98	0.09	-0.61
PN G094.5-00.8a	LDu1	2171509218320989440	A	324.024	50.9026	0.04	21.11	3.79	-0.61
PN G095.1+00.9	KKR62	217264223069221312	B	322.6884	52.6971	3.14	20.42	2.3	1.44
PN G095.2+00.7	K3-62	2172595604536445184	B	322.9591	52.5643	0.15	18.66	2.96	0.2
PN G095.2+07.8	Abell73	2190074983250182400	A	314.1123	57.4341	0.7	20.75	1.91	-0.28
PN G095.2+25.4	Kn59	2256870662532650624	B	280.4246	65.1995	0.23	20.88	0.1	0.44
PN G095.7-00.7	PaJ2141.2+5146	2173012693091458304	B	325.3112	51.7664	0.41	17.75	1.2	0.95
PN G095.9+03.5	Kn28	2176305013164879488	B	320.5024	55.0752	3.38	20.71	1.95	0.66
PN G096.3+02.3	K3-61	2177492137825896576	A	322.5031	54.4575	0.49	18.11	2.78	-0.29
PN G096.4+29.9	NGC6543	1633325248915154176	A	269.6392	66.633	0.05	11.24	0.14	-0.39
PN G097.4+12.3	KnFe1	2195278765626033024	A	309.5383	61.9175	0.09	20.43	0.9	-0.76
PN G097.6-02.4	M2-50	1981056379700822144	A	329.4241	51.6942	0.38	18.35	1.16	-0.58
PN G098.1-28.5	Fr2-18	1885477727979280888	A	347.8671	29.4927	0.18	15.42	0.14	-0.58
PN G098.3-04.9	Pa41	1976783887984709120	A	332.5568	50.0759	0.08	17.36	0.37	-0.3
PN G099.1+05.7	KTC1	2179544655458448512	B	322.0457	58.8764	0.58	17.38	2.18	0.16
PN G099.7-08.8	HaWe15	1986574557983855104	A	337.6393	47.5231	0.15	18.25	0.28	-0.5
PN G100.0-08.7	Me2-2	1986956260321582720	B	337.932	47.8011	0.19	14.1	0.42	-0.18
PN G100.3+02.8	Cr1	2202260634408052224	B	327.2987	57.4555	0.08	17.18	2.21	0.34
PN G100.4+04.6	PM1-333	2179381824658713856	A	325.2461	58.9785	0.07	18.91	1.56	-0.22
PN G100.6-05.4	IC5217	2000514441288746752	A	335.9821	50.9668	0.05	15.58	0.44	-0.58
PN G101.4-01.9	StDr43	2005036900103208704	A	334.076	54.3117	0.03	18.9	0.67	-0.5
PN G101.8+04.3	Pa57	2202763076866529024	B	327.7569	59.5904	0.74	16.49	1.86	1.15
PN G101.8+08.7	NGC7076	2216998964996270208	B	321.5981	62.8924	0.93	17.07	1.27	-0.09
PN G102.5+02.6	Pa57	2199751926810942144	B	330.7746	58.6531	0.83	20.62	3.15	-0.12
PN G102.7+03.7	IPHASJ215919.15	2202908173733325312	B	329.8298	59.6694	0.1	20.07	1.55	1.64
PN G102.8-05.0	Abell80	2002155050070646912	A	338.69	52.4349	0.41	19.59	0.28	-0.53
PN G102.9-02.3	Abell79	2004936573978252672	B	336.5719	54.8273	0.21	16.63	1.18	0.69
PN G103.2+00.6	M2-51	2198557685406698368	B	334.0167	57.4758	1.15	19.78	2.32	0.01
PN G103.7+00.4	M2-52	2198525593413124992	B	335.129	57.6065	2.32	21.94	6.26	-1.48
PN G103.7+07.2	Kn30	2216463232261024896	B	326.8512	63.086	1.19	20.15	0.92	-0.04
PN G103.9+05.5	Dr5	2204179277897545856	B	329.398	61.858	0.02	20.37	1.5	-0.02
PN G104.1+07.9	NGC7139	221673466989916800	B	326.5356	63.7914	0.43	18.66	0.9	0.0
PN G104.2-29.6	Ju1	2871119705335735552	A	353.9722	30.4684	0.12	16.0	0.23	-0.61
PN G104.4-01.6	M2-53	2006751661516849536	A	338.0738	56.1738	0.31	20.79	2.15	-0.39
PN G105.4-14.0	Kn130	1941078175572093696	A	348.272	45.4384	0.43	16.54	0.37	-0.52
PN G105.7+02.2	FsMv1	2201292308249970688	B	336.4926	60.1955	10.88	18.88	2.71	-0.39
PN G105.9-20.0	Fr1-6	1923253820774422272	A	351.8164	40.0232	0.19	14.77	0.35	-0.5
PN G106.5-17.6	NGC7662	1924818288379268736	A	351.4743	42.5349	1.67	13.93	0.28	-0.58
PN G107.0+21.3	K1-6	2288467186442571008	B	301.0595	74.4266	0.37	12.3	0.02	1.34
PN G107.2+14.9	Dr21	1938255660503776000	A	350.9579	45.2817	0.3	17.49	0.41	-0.58
PN G107.4-02.6									

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G112.5-00.1	KJpN8	2015433160502141312	B	351.0453	60.9608	8.77	19.09	1.87	0.87
PN G112.9-10.2	Abell84	1944244047502655232	A	356.9336	51.3992	2.43	18.49	0.25	-0.79
PN G113.3+06.4	Kn32	2212362019520749312	A	347.4317	67.394	0.86	20.29	3.36	-0.44
PN G114.0-04.6	Abell82	1998212476247082880	B	356.4489	57.0662	0.93	14.42	0.75	1.22
PN G114.4+00.0	IPHASXJ233841.2	2012536875076571776	B	354.6716	61.6961	0.34	19.98	2.58	0.58
PN G114.7-01.2	IPHASXJ234403.8	2011797217286839168	B	356.0166	60.5449	1.6	15.45	1.84	1.06
PN G116.0-04.8	IPHASXJ000021.4	422587471554771968	B	0.0891	57.3688	0.03	16.66	1.06	0.61
PN G116.2+08.5	M2-55	2215132685747021056	B	352.9645	70.3704	0.95	19.74	1.36	0.04
PN G117.5+18.9	IC1454	2286089355109979008	A	340.6025	80.442	0.62	18.82	0.23	-0.64
PN G118.0-08.6	PNV2	419326659366027968	A	4.6757	53.8722	0.25	14.14	0.62	-0.49
PN G118.7+08.2	Abell86	530858099521703808	B	0.3792	70.7094	3.89	20.63	1.24	0.79
PN G118.8-74.7	NGC246	2376592910265354368	A	11.7638	-11.872	0.12	11.8	0.14	-0.65
PN G119.1+12.4	Kn50	2229266628545001984	A	358.5473	74.9261	0.07	19.27	0.53	-0.44
PN G119.6-06.1	Hu1-1	421287436486020608	B	7.0649	55.9652	0.26	19.27	0.38	-0.1
PN G120.0+09.8	NGC40	537481007814722688	B	3.2541	72.5219	0.06	11.46	0.78	-0.08
PN G120.2-05.3	Sh2-176	421836402032359936	B	7.9501	57.3839	5.46	17.47	0.81	0.88
PN G120.4-01.3	Ou2	430204780732841600	B	7.7364	61.4095	0.09	19.27	0.94	-0.15
PN G121.6+00.0	BV5-2	427802970592981504	B	10.0879	62.8587	2.7	19.43	1.49	0.46
PN G121.7+11.4	Hu2	538591274040363520	A	8.4896	74.3109	0.8	20.19	0.71	-0.37
PN G122.1-04.9	Abell2	425100439735384192	A	11.3948	57.9598	0.76	19.91	0.91	-0.28
PN G123.0+04.6	Pa30	526287189172936320	B	13.2967	67.5007	0.04	15.41	1.83	-0.03
PN G123.6+09.9	Pa154	535212951548319616	B	15.3545	72.7648	1.01	20.88	1.46	-0.14
PN G123.6+34.5	IC3568	1720138697015345024	A	188.2786	82.5639	0.1	12.87	0.32	-0.47
PN G124.0+02.9	KLSS2-7	525857348844254208	A	15.6019	65.7757	0.37	21.16	5.64	-0.99
PN G124.3-07.7	We5b1	423384961080344960	B	15.2254	55.0667	0.05	14.77	0.62	0.88
PN G125.4+8.9	Dr36	411078093067339136	A	16.9169	53.8733	0.13	18.81	0.74	-0.29
PN G126.3+02.9	K3-90	525275913347840512	B	21.2442	65.6434	0.08	18.81	1.56	-0.03
PN G126.6+01.3	IPHASXJ012507.9	512781539949346816	B	21.2831	63.948	0.06	18.88	1.86	0.76
PN G127.6-01.1	IPHASXJ013108.9	510742396851462400	B	22.7875	61.383	0.26	20.48	1.38	-0.05
PN G127.6-13.5	PaStDr3	400211958948711552	A	19.8703	49.0193	0.02	13.35	0.3	-0.47
PN G128.0-04.1	Sh2-188	509206727271525619	A	22.5815	58.4412	3.61	19.65	0.9	0.81
PN G129.2-02.0	We2-5	509636112062310016	A	25.6578	60.1631	0.01	20.29	0.81	-0.43
PN G129.6+03.4	IPHASXJ015624.9	518353624360945152	A	29.1045	65.4751	0.81	18.84	1.24	-0.25
PN G129.6-05.6	KLSS2-8	409721566300550656	A	25.0243	56.5818	0.06	19.78	0.85	-0.35
PN G130.2+01.3	IC1747	511904404556131200	A	29.3987	63.3218	0.57	15.8	1.45	-0.43
PN G130.3-11.7	M1-1	405830570741274752	B	24.3307	50.4698	0.67	17.72	0.39	-0.08
PN G130.9-10.5	NGC650/1	406328443354164480	B	25.5819	51.5754	2.76	17.42	0.3	1.1
PN G131.0+03.7	Fe8	515511318086256768	B	32.5436	65.4206	0.05	19.27	2.23	1.32
PN G131.4-05.4	BV5-3	504819018483991168	A	28.2625	56.4054	0.88	20.51	0.51	-0.55
PN G131.5+02.6	Abell3	515007024509005440	B	33.0278	64.1506	1.47	17.17	1.33	0.92
PN G132.8+02.0	IPHASXJ022045.0	513965507818493312	B	35.1881	63.1928	0.89	20.24	1.2	0.14
PN G134.1+03.0	IPHASXJ023538.6	514222660399569024	B	38.9137	63.6414	5.26	21.14	1.69	-0.14
PN G134.3-43.2	Pre8	2786087079519147520	A	21.6502	18.8551	1.67	18.1	0.09	-0.39
PN G135.6+01.0	WeBo1	465640807845756160	B	40.0599	61.1546	0.09	13.8	1.54	1.26
PN G135.9+55.9	TS1	846615127231002880	A	178.3531	59.6658	0.22	18.03	0.14	-0.37
PN G136.1+04.9	Abell6	467936205865972352	B	44.6745	64.5017	0.06	18.4	2.01	-0.07
PN G136.3+05.5	HFG1	468033345145186816	B	45.946	64.9098	0.18	13.99	1.07	0.12
PN G136.6+61.9	PNG136.7+61.9	1573011744729727104	A	181.8684	54.0247	0.05	15.93	0.0	-0.57
PN G136.8-13.2	Kn58	354941216942517504	A	33.116	47.4528	0.02	19.45	0.39	-0.58
PN G137.6-30.0	Fr2-22	304311150320629376	A	27.7262	31.1296	0.73	14.31	0.18	-0.45
PN G138.1+04.1	Sh2-200	466746538582576640	B	47.7452	62.7986	0.09	16.2	1.56	0.17
PN G138.8+02.8	IC289	463228376251556224	B	47.5804	61.3109	0.21	16.4	1.36	-0.1
PN G138.8-06.2	KnJ0240.0+5311	453022223985513856	B	40.0063	53.191	1.14	20.07	0.69	0.54
PN G139.0+03.2	IPHASXJ031345.5	463616778732230064	B	48.4328	61.6183	0.06	20.63	1.15	0.08
PN G139.3+04.8	KK26	440314343470162304	B	50.7721	62.7851	5.8	16.33	1.82	0.91
PN G141.7-07.8	Abell5	440314343470162304	B	43.0629	50.5983	0.25	19.73	0.85	1.06
PN G142.1+03.4	K3-94	450339621774878736	A	54.0337	60.0627	0.07	20.88	1.9	-0.39
PN G143.5+38.4	WPS46	1071088328781771392	B	141.964	69.2391	1.44	10.71	0.55	-0.19
PN G144.1+06.1	NGC1501	47371287245684544	B	61.7475	60.9206	0.1	14.24	1.43	-0.16
PN G144.3-15.5	Abell4	337112571475961344	A	41.3485	42.5513	0.38	19.66	0.14	-0.23
PN G144.8+65.8	LTNF1	786919754746647424	B	179.4369	48.9384	0.09	15.1	0.23	0.29
PN G145.4+5.7	Dr26	470580325172742912	A	61.7066	59.7294	0.34	19.01	0.92	-0.5
PN G146.1+08.1	Fr2-23	435527383380748416	A	48.6913	48.2016	0.34	14.3	0.75	-0.71
PN G146.7+07.6	M4-18	4171908436438311680	B	66.4618	60.1202	0.07	13.66	0.97	0.29
PN G147.1-09.0	HaWe3	434853485833190528	B	49.1418	46.8937	0.09	17.87	0.6	0.79
PN G147.4-02.3	M1-4	443728125217394688	A	55.4309	52.2834	0.08	18.1	2.37	-0.56
PN G147.8+04.1	M2-2	469056092819323392	B	63.3126	56.9496	0.34	15.83	1.88	-0.09
PN G148.4+57.0	NGC3587	843950873117830528	A	168.6988	55.019	0.21	15.72	0.0	-0.57
PN G149.0+04.4	K4-47	276843494433439872	B	65.1884	56.3034	0.6	21.83	1.85	0.0
PN G149.1+08.7	Kn34	278903974927958684	B	71.3267	59.1576	3.32	19.34	1.52	1.57
PN G149.4-09.2	HaWe4	241918950690107264	A	51.8142	45.4057	0.27	17.12	0.55	-0.45
PN G149.7-03.3	IsWe1	250358801943821952	A	57.2747	50.0041	0.19	16.47	0.53	-0.53
PN G150.0-00.3	Te5	251042010983671936	B	60.873	52.1406	0.11	21.04	3.38	0.47
PN G150.1-04.5	IPHASXJ034659.8	248726366476289280	B	56.7486	48.8168	1.6	16.6	1.65	0.87
PN G150.9-10.1	Bode1	238540495056450048	B	52.8	43.9042	0.11	12.56	0.55	1.15
PN G151.0-00.4	Ou1	25071964791734232	A	61.8399	51.4062	0.05	19.32	1.5	-0.93
PN G153.7+22.8	Abell116	1004051581576523008	A	100.9809	61.7902	0.31	18.62	0.41	-0.41
PN G155.9+07.7	Pa153	266157955103568256	A	77.2818	53.1745	0.0	17.93	1.15	-0.24
PN G156.3+12.5	HaWe6	268129413812162816	A	84.4845	55.5376	0.33	16.48	0.43	-0.61
PN G156.4+01.1	IPHASXJ043826.1	257707417969093376	B	69.6086	48.6506	5.65	18.28	2.34	0.66
PN G157.1+04.4	IPHASXJ045627.6	259560266863447808	B	74.1153	50.2887	1.14	18.25	2.05	0.83
PN G157.3+10.3		263363241360588288	B	82.0889	53.5218	3.19	18.57	0.05	0.96
PN G158.3-05.6a	Pa167	229214265628948040	B	64.3602	42.5992	0.18	15.3	1.06	0.1
PN G158.6+00.7	Sh2-216	254092090595748096	A	70.8387	46.7016	0.06	12.61	0.0	-0.5
PN G158.8+37.1	Abell28	1040417211407001984	A	130.3982	58.2301	0.1	16.5	0.41	-0.67
PN G158.9+17.8	PuWe1	997854527884948992	A	94.8914	55.6121	0.11	15.51	0.3	-0.56
PN G159.0-15.1	IC351	219833434282576000	A	56.8874	35.0468	0.24	16.39	0.46	-0.59
PN G160.5-00.5	We1-2	204885577998383872	A	71.6793	44.4671	0.19	20.75	2.11	-0.91
PN G161.2-14.8	IC2003	218544737933650944	A	59.0916	33.8752	0.19	16.07	0.39	-0.37
PN G161.9-44.0	Fr2-2	24913597751278976	B	40.1973	10.3507	0.05	9.15	0.35	-0.12
PN G162.1+47.9	WPS54	1020641700210987520	A	147.8583	53.1585	0.43	15.25	0.0	-0.55
PN G162.9-01.6	Weinberger92	203426487411436160	B	72.5737	41.9147	12.61	19.74	0.59	-0.05
PN G163.1-00.8	We1-3	204926805386682752	B	73.6292	42.278	0.18	20.95	1.56	-0.16
PN G164.8+31.1	JeEr1	936605992140011392	A	119.4651	53.4214	0.11	17.06	0.12	-0.62
PN G164.8-09.8	Kn51	176269718435866112	B	66.3619	35.1022	0.15	18.21	1.01	1.32
PN G165.4-05.2	Kn37	175340665471792000	B	71.1573	37.6542	0.01	19.04	1.61	-0.13
PN G165.5-06.5	K3-67	175182924208301824	B	69.9497	36.7619	0.21	17.41	1.86	-0.5
PN G165.5-15.2	NGC1514	168937010969340160	B	62.3207	30.776	0.06	9.28	1.4	0.08
PN G165.5-27.6	Kn67	58511404626001152	B	53.0623	21.6619	0.7	20.29	0.44	-0.25
PN G166.1+10.4	IC2149	196996680850087936	A	89.0995	46.1047	0.14	11.26	0.39	-0.23
PN G167.0-00.9	Abell8	18843914749							

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_o$ (mag)
PN G174.2-14.6	H3-29	147952487953283712	B	69.3476	25.0441	0.19	18.22	1.47	-0.07
PN G174.5-03.0	IPHASJ052015.87	180731845860251264	B	80.0661	31.8274	0.13	19.21	0.91	0.86
PN G174.6-05.2	IPHASXJ051152.2	156214321404677376	B	77.9676	30.4642	0.11	17.29	1.06	0.47
PN G175.6+11.4	Kn62	955255358615209856	A	95.9809	38.254	0.03	18.55	0.3	-0.33
PN G176.7-33.8	Alves3	36321786805002880	A	55.8099	10.4939	0.62	16.52	0.21	-0.52
PN G177.0+00.5	Te2	3447765931507028864	A	85.1865	31.742	0.08	20.94	2.76	-1.3
PN G177.5+03.1	IPHASXJ055226.2	3451205783698632704	A	88.1091	32.6236	0.07	19.15	0.51	-0.54
PN G178.3-02.5	K3-68	3445837383814681472	A	82.8994	28.9781	0.29	19.35	1.33	-0.31
PN G181.5+00.9	Pu1	3431140972097482368	A	88.2019	28.0998	0.09	20.82	1.71	-0.32
PN G181.7+01.9	IPHASXJ055711.7	3431489482924959232	B	89.3042	28.3882	17.77	20.75	1.49	0.72
PN G182.3-03.7	IPHASXJ053650.8	3440771285206498688	B	84.2136	24.9397	8.38	20.95	2.28	1.23
PN G183.0+00.0	IPHASXJ055242.8	3430688759283627776	B	88.1784	26.3545	0.09	17.12	3.02	0.1
PN G184.0-02.1	M1-5	3428522004121565568	B	86.7084	24.3675	0.19	15.9	1.83	0.21
PN G184.6+00.6	K3-70	3429576298334956800	A	89.689	25.3122	0.09	20.85	2.59	-0.38
PN G185.1+00.9	StDr1	3427888681126503296	B	88.4634	24.0451	15.99	16.26	0.92	0.59
PN G185.1-03.8	IPHASXJ054310.5	3403487704903666048	A	85.7935	22.5195	1.52	20.93	2.25	-2.07
PN G188.6+04.4	HoCr1	3377578125711130752	A	95.4208	23.5872	1.09	20.7	1.89	-0.47
PN G189.0-00.3	Ra30	3422942188768395264	A	91.1333	20.9502	0.18	20.46	1.93	-0.59
PN G189.1+19.8	NGC2371-72	885587110718845568	A	111.3945	29.4906	0.11	14.78	0.09	-0.49
PN G189.1-07.6	Pa9	3397405992554648900	A	84.4915	17.1051	0.86	20.42	0.73	-0.26
PN G189.8+07.7	M1-7	3382861038566672009	B	99.3372	24.0098	0.31	19.79	0.25	0.03
PN G190.3-17.7	J320	3291783576991686784	A	76.3928	10.7064	0.56	14.45	0.39	-0.64
PN G191.0+18.3	Kn68	872908298540811520	A	110.513	27.2258	0.7	19.62	0.09	-0.36
PN G191.4+33.1	TK1	708990321934310784	A	126.773	31.5023	0.3	15.66	0.09	-0.59
PN G192.5+07.2	HaWe8	3378885131503804544	B	100.0404	21.4171	0.11	18.85	0.12	0.54
PN G192.8-24.7	WPS62	3281864642080410112	A	71.7688	4.978	0.26	16.23	0.14	-0.59
PN G192.9+00.6	IPHASXJ061602.5	3370371926501630464	B	94.0072	17.9905	12.87	21.03	2.75	0.63
PN G193.0-04.5	KLSS1-5	3348734254928894208	A	89.2833	15.4253	0.24	20.04	0.36	-0.25
PN G193.6-09.5	H3-75	3340384082588168960	B	85.1874	12.3563	1.16	13.81	0.6	1.13
PN G194.2+02.5	J900	3370531286968467200	A	96.4886	17.7909	0.1	17.06	0.78	-0.44
PN G195.4-04.0	IPHASXJ060416.2	3345072060869540352	B	91.0678	13.5473	0.08	15.03	1.24	0.13
PN G196.6-10.9	NGC2022	3336140414380977664	A	85.5258	9.0863	0.09	15.7	0.41	-0.4
PN G197.0+05.8	KLSS1-6	3358740704094434176	A	100.8589	16.8143	0.52	18.54	0.09	-0.53
PN G197.2-14.2	Abell10	333922699432278656	B	82.9404	6.9339	0.05	18.71	0.39	0.23
PN G197.4-06.4	WeDe1	3341996555048041856	A	89.8536	10.6946	0.06	17.17	0.18	-0.52
PN G197.8+17.3	NGC2392	86503716967723904	A	112.2949	20.9118	0.04	15.68	0.09	-0.32
PN G197.8-03.3	Abell14	3330404266518636416	B	92.7861	11.7788	0.55	10.08	1.17	0.16
PN G198.6-06.3	Abell12	3329653849828221696	A	90.5833	9.6538	0.79	18.65	0.31	-0.3
PN G198.6-06.7	Kn40	332965597880433536	A	90.1966	9.4778	0.28	17.46	0.46	-0.36
PN G198.9+00.7	PM1-20	3331504774574698752	A	97.0165	12.7725	1.65	19.06	2.2	-1.39
PN G199.4+14.3	PaJy1	3362175922014398720	B	110.0064	18.2905	1.11	12.79	0.12	-0.09
PN G200.5-13.1	Kn63	3320608713128049280	A	85.528	4.7174	0.06	17.47	0.74	-0.42
PN G200.7+08.4	Abell19	3353841417717450112	B	104.9874	14.6095	1.27	12.51	0.0	1.02
PN G202.9+07.4	Kn60	3160750653143994880	B	105.0276	12.2448	0.05	19.67	0.32	-0.01
PN G204.0-08.5	Abell13	3318052348593263488	A	91.1996	3.9432	0.24	19.57	1.06	-0.37
PN G204.4-00.4	StDr13	3325917503163188096	A	98.5944	7.3722	0.13	18.08	0.51	-0.35
PN G204.8+02.7	R11	3134181641850717568	B	101.6019	8.4839	3.74	20.49	1.5	0.43
PN G205.0+04.4	CaVa1	3158200782602417152	B	103.2206	9.0723	5.57	17.52	0.24	1.09
PN G205.1+14.2	Abell21	3163546505053645056	A	112.2613	13.2468	0.18	15.93	0.05	-0.53
PN G205.8-26.7	MaC2-1	3211200438511961088	A	75.9244	-6.1675	0.07	15.81	0.12	-0.45
PN G206.4+40.5	NGC1535	3189152962633165056	A	63.5657	-12.7394	0.15	12.06	0.09	-0.47
PN G208.5+33.2	Abell30	660071056749861888	A	131.7227	17.8795	1.15	14.35	0.14	-0.26
PN G208.9-07.8	Tea10	3121886520577421568	A	94.0641	-0.0069	0.08	18.57	0.53	-0.5
PN G209.1-08.2	PHRJ0615-0025	3121659647518519552	B	93.8348	-0.4304	0.08	20.18	0.64	0.04
PN G209.5-04.0		3120747877505716608	B	97.7617	1.1527	4.94	20.14	1.29	1.65
PN G210.0+03.9	We2-34	3128416245256791496	B	105.1183	4.3418	0.12	19.98	0.67	0.06
PN G210.8-02.7	IPHASJ063750.80	3119819065057501056	B	99.4617	0.6122	0.08	20.17	1.03	1.5
PN G211.2-03.5	M1-6	3119667469890795008	B	98.938	-0.0937	0.23	15.47	2.23	0.35
PN G211.4+18.4	HaWe10	3147206692815926528	A	118.7971	9.5526	0.12	17.84	0.0	-0.53
PN G212.0+04.3	M1-9	3115628448289044992	B	106.33	2.7832	0.3	15.51	0.81	-0.01
PN G212.6-00.0	PHRJ0650+0013	3113542949610601216	B	102.6684	0.2283	2.12	16.55	1.33	0.22
PN G214.9+07.8	Abell20	3135710272253699584	A	110.7403	1.7594	1.51	16.42	0.25	-0.52
PN G215.2-24.2	IC418	2985789113026163584	B	81.8675	-12.6973	0.04	10.12	0.46	-0.18
PN G215.3-30.8	Abell7	2986220396462236032	A	75.7814	-15.6063	0.22	15.43	0.24	-0.6
PN G215.6+03.6	NGC2346	3109444657456300288	B	107.3438	-0.8066	0.76	11.19	0.21	0.27
PN G215.6+11.1	Abell22	3135504732298169600	A	114.033	2.7076	0.35	19.45	0.18	-0.61
PN G215.7-03.9	BMPJ0642-0417	3103822540968315264	B	100.5767	-4.2969	0.19	18.76	0.28	0.19
PN G216.0+07.4	PHRJ0723+0036	3110803653827201280	A	110.952	6.0689	3.3	13.83	0.83	-0.45
PN G216.0-00.2	Abell18	3102946711233947008	B	104.0609	-2.8866	4.71	19.1	1.93	1.15
PN G216.2-19.9	Pa155	3009232453276290944	A	86.3496	-11.7636	0.05	15.44	0.44	-0.53
PN G216.3-04.4	We1-5	3103708191756172160	B	100.3941	-5.0432	0.06	18.63	0.51	-0.14
PN G216.9-05.2	MPAJ0639-0554	3100542667721862912	B	99.9922	-5.9159	0.63	18.91	0.69	-0.15
PN G217.1+14.7	Abell24	3088991026757468800	A	117.9065	3.0059	1.03	17.37	0.09	-0.64
PN G217.2+00.9	PHRJ0702-0324	3108618546269112448	B	105.6443	-3.4094	3.61	16.53	2.0	0.11
PN G217.4+02.0	St3-1	3107985566868370432	A	106.7121	-3.0859	0.63	20.82	0.94	-0.21
PN G218.9-10.7	HaWe7	3001563840710096512	A	95.9048	-10.2233	0.27	16.1	0.92	-0.23
PN G219.1+03.0	MPAJ0713-0405	3059553355268835712	B	108.4509	-4.0861	4.7	20.52	0.39	1.11
PN G219.1+31.2	Abell31	310335548	A	133.5548	8.898	0.13	15.47	0.14	-0.55
PN G219.2+07.5	RWT152	3061893528332536192	A	112.4937	-2.1104	1.27	12.97	0.11	-0.34
PN G219.3+01.1	K1-9	3053413132594418688	B	106.815	-5.1688	0.49	19.92	0.12	1.01
PN G219.5+02.8	BMPJ0713-0432	3059502709018185856	A	108.4625	-4.5476	7.07	20.69	1.19	-1.36
PN G220.3-53.9	NGC1360	5084896688945791232	A	53.311	-25.8715	0.05	11.25	0.0	-0.56
PN G221.0-01.4	PHRJ0701-0749	3052395775097859072	B	105.2892	-7.8233	0.04	13.14	1.24	1.55
PN G221.3-12.3	IC2165	2999839084924027776	A	95.4283	-12.9872	0.16	17.5	0.67	-0.53
PN G221.6+46.4	EGB6	615161122059724800	B	148.2551	13.7447	11.73	19.85	0.02	2.13
PN G221.8-04.2	PHRJ0652-0951	3050227533864322688	B	103.0813	-9.8611	4.29	20.07	1.74	1.05
PN G222.5+02.9	WHIB0717-07	3054938425794291072	B	109.9178	-7.2198	0.97	20.6	0.44	-0.03
PN G222.5+07.6	BMPJ0736-0500	3056940091011171456	B	114.096	-5.0057	0.27	20.86	0.5	0.06
PN G222.8-04.2	PM1-23	3049278041153797760	B	103.556	-10.7606	0.07	13.86	1.79	0.24
PN G224.3+15.3	Abell25	3070613063558890240	A	121.6937	-2.8764	0.09	18.38	0.02	-0.55
PN G224.3-05.5	PHRJ0652-1240	2952721193446226432	A	103.0823	-12.6781	0.1	19.72	1.17	-0.49
PN G224.9+01.0	We1-6	30470024259149524480	A	109.3585	-10.1769	4.09	15.78	0.64	-0.4
PN G225.2+00.1	PHRJ0714-1051	3047045306696310912	B	108.6202	-10.8622	0.65	20.97	2.95	-0.49
PN G225.4+00.4	We2-37	3047000364157035648	A	109.034	-10.8836	0.19	21.04	2.79	-0.28
PN G225.5-02.5	MPAJ0705-1224	3045709473089381120	A	106.4051	-12.4144	0.42	17.46	1.31	-0.33
PN G226.4-01.3	PHRJ0711-1238	304508130835307392	B	107.9355	-12.6344	2.15	21.21	2.36	-0.18
PN G226.4-03.7	PB1	2948658394900229504	A	105.6948	-13.7099	0.04	16.42	1.06	-0.46
PN G226.4-15.1	IRAS06178-1836	2943388096370398720	A	95.0105	-18.6257	0.66	17.37	0.28	-0.5
PN G227.1+00.5	PHRJ0719-1222	3033150262858953984	B	109.9458	-12.3798	4.44	19.47	1.01	

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D _{ang} (as)	G (mag)	A _V (mag)	(G _{BP} -G _{RP}) _o (mag)
PN G232.4-01.8	M1-13	2931504604759238912	A	110.3122	-18.1434	0.86	19.53	1.29	-0.53
PN G232.6-01.0	PHRJ0724-1757	3027558047942245376	A	111.1805	-17.9614	0.05	20.88	2.57	-0.28
PN G232.8-04.7	M1-11	2931008523160833280	B	107.8196	-19.8508	0.02	13.79	1.73	0.46
PN G233.0-10.1	SaWe1	2925763887047836416	A	102.6696	-22.4365	0.31	20.61	0.32	-0.33
PN G233.5-16.3	Abell15	2924036760440812160	A	96.7585	-25.3804	0.1	15.86	0.14	-0.56
PN G234.3-07.2	MPA.J0704-2221	2928626633072247680	B	106.0958	-22.3644	0.28	19.42	0.57	0.35
PN G234.8+02.4	NGC2440	5176990599321529216	A	115.481	-18.2087	1.03	17.43	1.41	-0.62
PN G234.9-01.4	M1-14	5620439768860185856	B	111.9855	-20.2229	0.22	14.26	1.5	-0.15
PN G234.9-09.7	MPA.J0656-2356	2922355602864621568	A	103.9998	-23.9471	0.33	19.11	0.32	-0.52
PN G235.3-03.9	M1-12	2929602385226601344	B	109.8394	-21.7321	0.06	14.04	0.95	0.44
PN G235.7+07.1	PHRJ0800-1635	5718155802460841472	A	120.2463	-16.5937	0.15	19.61	0.07	-0.47
PN G235.9+23.2	Pa156	5756008831004996864	A	134.2199	-8.065	0.06	16.68	0.07	-0.57
PN G236.0-10.6	HaWe9	2921083334772992896	A	103.5867	-25.4093	0.05	19.63	0.32	-0.49
PN G236.5+02.0	PHRJ0743-1951	5715920259105555968	A	115.9841	-19.8641	16.29	20.99	1.79	0.66
PN G236.9+08.6	PHRJ0809-1650	5721124453798128640	A	122.2561	-16.8339	0.64	17.57	0.14	-0.41
PN G237.0+00.7	PHRJ0740-2055	5715387335262528640	A	115.0954	-20.9318	6.7	18.09	0.23	-0.49
PN G237.3-08.4	BMP.J0705-2528	5611419577328099840	A	106.4397	-25.4804	0.2	18.67	0.02	-0.52
PN G237.4-09.6	BMP.J0700-2607	2920762925913505024	A	105.2159	-26.1218	0.3	18.99	0.21	-0.44
PN G237.9-07.2	FP.J0711-2531	5617186417032664704	B	107.8788	-25.5255	15.91	18.14	0.83	0.68
PN G238.0+34.8	Abell33	3827045525522912128	A	144.788	-2.8084	1.04	15.93	0.16	-0.23
PN G238.4-01.8	KLSS1-8	5618434427152146688	B	113.3521	-23.426	11.88	19.49	2.25	1.1
PN G238.5+01.7	PHRJ0747-2146	5712122717736651264	B	116.8281	-21.7792	4.37	20.93	1.56	0.48
PN G238.9+07.3	Sa2-21	5713819779576751488	A	122.1844	-19.2338	0.63	19.53	0.22	-0.4
PN G239.6+13.9	NGC2610	5709928951521751168	A	128.3476	-16.1494	0.07	15.89	0.02	-0.51
PN G239.6-12.0	ESO427-19	5608770995551017600	A	103.801	-29.1247	0.39	20.2	0.21	-0.44
PN G240.1-01.0	Pa60	5615067658135032960	A	115.0436	-24.4976	0.8	16.29	0.85	-0.42
PN G240.3+07.0	Y-C2-5	5701379385324474240	A	122.6735	-20.5256	0.24	15.63	0.09	-0.44
PN G240.6-07.7	BMP.J0715-2805	5609834734391604736	A	108.7595	-28.0956	0.4	18.09	0.16	-0.22
PN G241.0+02.3	M3-4	5710725616423348352	B	118.7975	-23.6368	0.03	15.22	0.32	1.32
PN G242.3-02.4	FP.J0739-2709	5612254965642151808	A	114.9088	-27.1584	0.01	18.85	1.47	-1.03
PN G242.6-04.4	PHRJ0732-2825	5611737443573911168	B	113.0731	-28.4216	0.83	18.44	0.91	0.49
PN G242.6-11.6	M3-1	5604523410329326720	A	105.7079	-31.5914	0.98	15.59	0.35	-0.36
PN G243.0+36.5	WPS75	3822583947855569280	A	148.5955	-5.0361	1.38	18.24	0.07	-0.38
PN G243.3-01.0	NGC2452	5601582285451511040	A	116.8594	-27.3352	0.4	17.18	0.81	-0.27
PN G243.8-37.1	PRTM1	4814231938760137856	A	75.7572	-39.7624	0.08	15.52	0.06	-0.54
PN G244.2+06.2	PHRJ0816-2410	5699342883632418432	B	124.2217	-24.1819	1.54	20.8	0.09	0.18
PN G244.5+12.5	Abell29	5703415268543295744	A	130.0788	-20.9102	0.36	18.23	0.18	-0.59
PN G245.0+02.2	BMP.J0803-2706	5697057243772021120	A	120.976	-27.1005	0.11	20.58	0.35	-0.36
PN G245.1-05.5	BMP.J0733-3108	5593164110894267904	A	113.3504	-31.1346	0.32	18.36	0.1	-0.6
PN G246.8-20.2	Fr2-34	5574015467351717376	B	97.753	-38.5638	9.66	19.83	0.25	1.43
PN G247.5-04.7	HFG2	5594969135329315072	A	115.599	-32.7975	0.05	17.0	2.17	-1.21
PN G247.8+04.9	FP.J0821-2755	5693172325603777408	B	125.3264	-27.9267	0.49	17.37	0.39	0.73
PN G248.0-05.3	Dr2	5588907974395422720	A	115.2294	-33.5566	1.28	20.42	2.21	-0.83
PN G248.5+10.5	PHRJ0843-2514	5653202604024938880	A	130.8325	-25.2412	1.67	19.41	0.28	-0.44
PN G248.7+29.5	Abell34	5690534730341025408	A	146.3973	-13.1711	0.42	16.39	0.02	-0.57
PN G248.8-08.5	M4-2	5589719276543497216	A	112.2243	-35.7539	0.23	18.77	0.83	-0.4
PN G249.3-05.4	Abell23	5588562590306924416	A	115.8259	-34.7531	0.5	20.47	3.15	-1.05
PN G249.8+07.1	PHRJ0834-2819	5645669433248890496	B	128.5753	-28.3176	0.11	18.77	0.16	0.14
PN G249.8-02.7	PHRJ0755-3346	5593733765296469504	B	118.987	-33.768	5.95	11.96	3.46	0.23
PN G250.3-05.4	PHRJ0745-3535	5587622095546270080	B	116.4203	-35.5888	2.23	20.14	2.89	0.13
PN G250.4-01.3	NeVe3-3	5546124774737275632	B	120.8013	-33.518	5.13	19.82	2.28	0.56
PN G250.5+01.9	BMP.J0816-3150	5547940441729900800	B	124.0869	-31.8499	0.62	19.69	1.32	0.41
PN G250.6+09.3	BMP.J0844-2737	5645989184974881536	A	131.1577	-27.6207	0.33	19.3	0.21	-0.7
PN G252.0-04.7	Sa2-18	5539301892405179904	A	118.240	-36.7318	0.08	17.94	2.91	-0.53
PN G252.3-01.2	PHRJ0808-3504	554496568061309312	B	122.1289	-35.0788	3.85	19.23	2.45	0.68
PN G252.5-01.6	Pre50	5544800332054286208	A	121.8158	-35.4441	0.12	17.76	3.61	-0.72
PN G253.5+10.7	K1-2	5647809392112960000	B	134.4415	-28.9602	0.66	17.01	0.28	0.07
PN G253.9+05.7	M3-6	5639472001599302528	A	130.1676	-32.7564	0.46	13.17	0.69	-0.39
PN G254.5-02.7	PHRJ0808-3745	5541075228563752576	B	122.1039	-37.7564	7.88	17.76	3.08	0.04
PN G254.7-18.2	Fr2-24	5558802624472329298	B	103.6187	-44.9757	0.15	15.28	0.19	0.6
PN G255.3-03.6	WRAY15-158	5540866394373375384	A	121.618	-38.8901	0.45	17.01	2.45	-0.3
PN G255.3-09.6	Lo1	4755520010701141504	A	44.2436	-44.1716	0.34	15.15	0.06	-0.59
PN G255.7+03.3	Wray16-22	5638577690630389888	A	129.0688	-35.2505	0.77	20.93	0.85	-0.53
PN G255.8+10.9	FP.J0905-3033	5635216925960408448	B	136.2155	-30.541	6.46	19.5	0.44	1.67
PN G257.5+00.6	RCW21	5529739508497435648	A	127.7292	-38.3014	9.68	21.02	4.26	-0.6
PN G257.8-05.4	KLSS1-10	553359686586854144	A	121.3903	-41.9379	0.89	20.47	2.01	-0.28
PN G258.0-03.2	BMP.J0815-4053	5539487911728155520	A	123.9868	-40.8855	0.21	20.03	5.42	-1.67
PN G258.0-15.7	Lo3	550900452576699904	A	108.7059	-46.9609	0.84	16.74	0.4	-0.22
PN G258.1-00.3	Hen2-9	5528078623162786688	A	127.1165	-39.3944	0.07	16.29	5.58	-1.23
PN G258.4+02.3	PHRJ0840-3801	5529152158833401216	B	130.124	-38.0244	2.55	19.18	1.66	1.0
PN G258.5-01.3	RCW24	5527934587141415168	A	126.4481	-40.2194	0.42	18.16	5.82	-1.86
PN G259.1+00.9	Hen2-11	5528673875570999680	A	129.2848	-39.419	0.07	17.54	8.67	-1.47
PN G259.2+2.9	St45	5528999017473732736	A	131.3245	-38.3031	0.19	19.66	1.64	-1.0
PN G259.6+13.2	Pa163	5631349393807930752	A	141.23	-31.7505	1.16	17.77	0.33	-0.49
PN G260.9-08.5	Dr1	5519032361187182848	A	119.9546	-46.1795	0.94	19.63	0.61	-0.59
PN G261.0+32.0	NGC3242	5668874905325843456	A	156.1922	-18.6423	0.11	12.24	0.12	-0.56
PN G261.2-04.6	PHRJ0819-4423	5520199316680704128	B	124.8318	-44.3849	1.37	19.55	2.51	0.46
PN G261.6+03.0	Hen2-15	552555890406420224	A	133.3787	-40.0619	0.88	21.31	3.51	-0.63
PN G261.9+08.5	NGC2818	5623380240906854656	B	139.0062	-36.6271	2.35	19.0	0.43	-0.01
PN G261.9-05.3	BMP.J0818-4517	5519846442169441408	A	124.5701	-45.2991	0.31	19.94	1.99	-1.28
PN G262.6-04.6	Wray17-18	551687589711567360	A	125.9742	-45.5193	0.06	20.16	2.87	-0.62
PN G263.0-05.5	PB2	5516695417937365376	B	125.1674	-46.3829	0.33	15.79	1.78	-0.53
PN G263.1+04.3	FP.J0904-4023	5620673724317890176	A	136.0032	-40.3871	17.93	20.88	1.68	-0.62
PN G264.1-08.1	Hen2-7	5516068971190925184	A	122.8829	-48.7214	0.3	17.19	0.98	-0.76
PN G264.4-12.7	Hen2-5	5492948986137201664	A	116.8335	-51.2509	0.05	14.73	0.65	-0.31
PN G264.5+05.0	FP.J0911-4051	5428634329076290944	A	137.9401	-40.8662	0.14	18.9	1.43	-1.03
PN G264.6+03.8	BMP.J0907-4146	5428189503611241984	A	136.8512	-41.7705	0.22	18.87	1.72	-1.11
PN G265.1-02.2	Hen2-13	532985829325834448	A	130.8671	-46.1111	0.18	18.26	6.94	-1.5
PN G265.1-04.2	LoTr3	5521499734004192256	A	128.5282	-47.2768	1.86	20.32	1.6	-0.69
PN G265.4+04.2	PHRJ0911-4205	5427382290279252736	B	137.9524	-42.0863	1.24	19.88	1.39	1.04
PN G265.6+09.5	MPA.J0932-3827	5429861276680613248	A	143.0744	-38.458	0.42	18.96	0.77	-0.3
PN G265.7+04.1	NGC2792	5427326253844953216	A	138.1109	-42.4277	0.08	16.74	1.94	-0.79
PN G268.2+03.1	PHRJ0918-4454	5423882510410003328	B	139.5058	-44.9104	1.75	19.37	2.28	0.36
PN G268.9-00.4	BRAN229	5327072405662519808	A	136.421	-47.9014	1.01	12.14	3.7	-0.34
PN G269.7-03.6	PB3	532485671793777792	A	133.5765	-50.5396	0.43	20.07	3.13	-0.74
PN G270.1+24.8	K1-28	5455506530699796608	A	158.6275	-29.1876	0.3	16.46	0.09	-0.55
PN G270.1-02.9	Wray17-23	5325030612573630464	A	134.7622	-50.3945	0.68	20.31	4.31	-0.67
PN G272.1+12.3	NGC3132								

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(G_{BP}-G_{RP})_0$ (mag)
PN G274.6+03.5	Hen2-37	5409429846673479424	A	146.8533	-48.9707	0.05	20.6	1.31	-0.56
PN G274.8-04.2	MPAJ0913-5445	5310271421338065024	A	138.336	-54.7602	0.48	20.03	2.57	-0.67
PN G274.8-05.7	PHRJ0905-5548	5304880103502584192	B	136.4247	-55.8158	3.28	17.12	0.81	0.73
PN G275.0-01.5	PHRJ0940-5042	5408854179319430016	B	145.1718	-50.7066	3.5	17.5	2.98	0.76
PN G275.0-04.1	PB4	5310278598198854016	A	138.7822	-54.8788	0.09	16.28	1.87	-0.88
PN G275.1-03.5	PHRJ0918-5431	5310620069579969664	B	139.6106	-54.5265	1.64	18.02	1.48	-0.01
PN G275.2-02.9	Hen2-28	5310734178295067008	A	140.5282	-54.1609	0.95	16.52	2.01	-0.35
PN G275.3-00.4	PHRJ0934-5223	5312582457327075456	B	143.5731	-52.3894	3.91	20.38	3.91	-0.08
PN G275.5-01.3	Pe2-4	5312206939763090304	A	142.7016	-53.1665	0.26	20.03	4.28	-1.19
PN G275.6-00.5	PHRJ0935-5239	5312188935254978432	B	143.7529	-52.6566	7.95	18.27	3.76	-0.38
PN G275.7-04.9	PHRJ0914-5555	5310074162075205248	A	138.5147	-55.9223	1.7	16.5	1.23	-0.56
PN G275.9-01.0	NeVe3-1	5312148730040600320	B	143.5061	-53.2005	4.27	19.35	5.09	-0.31
PN G276.1-11.9	MPAJ0835-6039	5302075627283541760	A	128.7804	-60.6619	0.55	17.01	0.56	-0.47
PN G276.2+00.4	PHRJ0942-5220	5309627966490922240	A	145.5064	-52.347	7.85	20.71	5.02	-0.28
PN G276.2-06.6	PHRJ0907-5722	5303880196458455808	A	136.9625	-57.3813	16.54	18.71	0.8	-0.77
PN G276.5+03.1	MPAJ0954-5026	5406067501454862592	A	148.6561	-50.4491	0.21	19.61	1.19	-0.42
PN G277.1-03.8	NGC2899	5307241785763662720	A	141.7613	-56.1064	3.8	19.99	1.92	-0.9
PN G277.2-03.0	PHRJ0931-5535	5307358711931763456	A	142.8586	-55.5953	1.32	21.01	3.81	-0.51
PN G277.5-01.9	PHRJ0938-5501	5308724850835357696	B	144.5173	-55.0291	1.65	17.35	5.11	-0.64
PN G277.7-03.5	Wray17-31	5307054800062198400	A	142.8355	-56.2943	0.36	17.9	3.86	-1.78
PN G278.1-05.9	NGC2867	5300450617836957312	A	140.3557	-58.3113	0.35	15.84	0.97	-0.84
PN G278.3-04.3	PHRJ0930-5716	5306569636249042944	A	142.7051	-57.2724	1.99	19.03	2.35	-0.71
PN G278.5-04.5	Hen2-32	5306544283058417408	B	142.7269	-57.6146	2.67	20.07	2.07	0.78
PN G278.8-04.9	PB6	5358679035649615232	A	153.3165	-50.3332	0.33	17.12	0.76	-0.32
PN G279.0+00.6	PHRJ0957-5357	5308313122421945472	A	149.3598	-53.9524	0.55	16.36	3.33	-0.6
PN G279.1-00.4	IRAS09517-5438	5308167437119835136	B	148.3627	-54.8777	0.31	20.37	4.11	-0.78
PN G279.1-03.1	VBR3C	5306240680405974144	B	145.2168	-56.9662	4.14	20.56	2.65	0.03
PN G279.2+03.5	PHRJ1010-5146	5357003551724271488	B	152.5174	-51.7794	2.4	19.77	1.89	0.78
PN G279.6+02.2	PHRJ1007-5304	5356821582547892352	B	151.8008	-53.079	0.34	18.62	2.17	-0.13
PN G279.6-03.1	Hen2-36	5306043043221261568	A	145.8568	-57.2821	0.11	11.19	2.27	-0.27
PN G280.0+02.9	Sa2-56	5356894356478901760	A	152.9903	-52.6381	0.23	17.69	1.82	-0.73
PN G280.1-05.1	BMPJ0936-5905	5305458103016583552	A	144.1817	-59.088	0.36	20.83	1.49	-0.23
PN G281.0-05.6	IC2501	5257233312554459392	A	144.6966	-60.0919	0.2	14.35	1.05	-0.55
PN G282.9+03.8	Hen2-48	5357078902646466432	A	157.8833	-53.5585	0.57	19.59	0.92	-0.6
PN G283.4+01.1	PHRJ1024-5600	5354962720694112768	A	156.1409	-56.0088	0.35	20.33	3.99	-1.01
PN G283.4+02.8	PHRJ1030-5437	5352520220035609600	A	157.7322	-54.6329	0.09	20.33	1.69	-0.52
PN G283.4-01.3	MeWe1-2	5258596741332679040	A	153.6003	-58.1978	0.17	18.83	8.55	-2.13
PN G283.6+25.3	K1-22	5399388969045865344	B	171.6824	-34.3697	0.04	16.68	0.16	0.31
PN G283.7-05.1	PHRJ0958-6126	5256159162714165376	B	149.6339	-61.4452	2.91	17.62	0.95	-0.47
PN G283.8+02.2	My60	5352413567402723328	A	157.8893	-55.3474	0.12	17.89	2.05	-0.93
PN G283.8-04.2	Hen2-39	5256396485463285504	B	150.955	-60.7301	0.3	15.69	1.06	1.11
PN G283.9+09.7	DS1	5362804330246457344	A	163.6689	-48.7841	0.12	12.14	0.53	-0.57
PN G283.9-01.8	Hf4	5258145052514126848	A	153.8964	-58.8522	2.39	18.75	4.29	-0.29
PN G284.0-03.2	PHRJ1009-6000	5257976964670230400	B	152.4928	-60.0053	3.62	20.81	1.91	0.72
PN G284.2-05.3	PHRJ1001-6152	5255947536784791936	A	150.3282	-61.8677	0.15	16.75	0.84	-0.69
PN G284.4+07.8	PHRJ1052-5042	5360264943724607360	B	163.1109	-50.6995	2.8	16.29	1.2	0.37
PN G284.5+03.8	PHRJ1040-5417	5353877945092382336	A	160.1882	-54.3035	0.11	16.6	1.49	-0.75
PN G284.6-04.5	PHRJ1007-6124	5256301476452488320	B	151.9639	-61.4067	0.42	19.78	0.86	0.78
PN G285.4+01.2	Pe1-2	5351224996677708880	B	159.8862	-57.1039	0.44	19.16	4.55	-1.33
PN G285.4-05.3	IC2553	5252805514840414592	A	152.3369	-62.6135	0.13	16.17	0.61	-0.62
PN G285.4-12.2	Kn70	5246931889329817344	A	141.7824	-67.8569	0.04	20.36	0.32	-0.55
PN G285.5-03.3	BRAN303	5254677360351364096	A	154.8672	-60.9859	4.16	19.87	1.79	-0.31
PN G285.6-02.7	My59	5254793942926363392	A	155.788	-60.545	0.12	12.9	3.28	-0.79
PN G285.6-23.0	Fr2-36	5262659028775101056	B	113.7189	-73.8134	13.13	15.5	0.46	1.13
PN G285.7-14.9	IC2448	5222772389050179840	A	136.7763	-69.9418	0.3	14.21	0.23	-0.6
PN G285.8-03.5	PHRJ1021-6120	5254652110273499488	A	155.2535	-61.3375	4.05	17.76	1.17	-0.07
PN G286.0-06.5	Hen2-41	52252614990078889216	A	151.8484	-63.9084	0.06	15.46	0.66	-0.34
PN G286.0-19.9	Kn71	5220864014824048384	A	124.1777	-72.9934	0.14	17.93	0.31	-0.59
PN G286.1-02.0	MPAJ1029-6014	5255143179642882304	B	157.2816	-60.2343	0.09	18.49	2.93	-0.07
PN G286.2-06.9	Wray17-40	5246408689299887488	A	151.7483	-64.3638	0.18	16.49	0.5	-0.59
PN G286.3+02.8	Hen2-55	5254556933782078080	B	162.1801	-56.0527	0.1	17.03	1.72	-0.66
PN G286.3-00.7	PHRJ1036-5909	5254556933782078080	B	159.037	-59.1558	2.38	20.55	3.8	0.62
PN G286.3-03.1	PHRJ1025-6115	5254617681813177472	B	156.4426	-61.2565	0.59	17.19	1.79	-0.23
PN G286.3-04.8	NGC3211	5252991607174388736	A	154.4596	-62.6707	0.28	17.51	0.89	-0.82
PN G286.5+03.1	PHRJ1050-5547	5352761150519624576	B	162.7155	-55.8071	3.66	19.46	2.02	0.6
PN G286.5+11.6	Lo5	5374348102823679744	A	168.4757	-47.9501	0.52	16.89	0.32	-0.65
PN G286.8-29.5	K1-27	4648434175230114048	A	89.2591	-75.6729	0.15	16.03	0.19	-0.58
PN G287.9-04.4	PHRJ1032-6310	5252025445684582912	B	158.0613	-63.1723	2.73	19.21	1.32	0.83
PN G288.2+00.4	MPAJ1053-5903	5338812711647438848	A	163.3831	-59.0507	0.53	19.46	3.19	-0.44
PN G288.4-01.8	PHRJ1046-6109	5242142657219375104	B	161.7125	-61.1565	0.62	17.58	2.75	-0.17
PN G288.7-08.1	ES0216-2	5348444781415074432	A	169.5407	-52.1674	0.44	15.63	0.51	-0.6
PN G288.8-05.2	Hen2-51	5251802141752703360	B	158.9404	-64.3199	0.67	15.07	1.79	0.88
PN G289.0+03.3	PHRJ1107-5642	5340787645002807424	A	166.9285	-56.7075	0.96	19.95	1.05	-0.68
PN G289.2+00.1	PHRJ1059-5944	5338543915414175360	B	164.9236	-59.7455	3.18	18.03	6.82	-1.43
PN G289.5-00.8	PHRJ1058-6042	5338024125629250688	A	164.6513	-60.7137	1.73	19.27	6.98	-1.32
PN G289.5-03.8	MPAJ1046-6328	5241401655115772800	A	161.6905	-63.4698	0.24	17.17	1.65	-0.64
PN G289.6-02.1	PHRJ1054-6200	5241860151461087872	A	163.6504	-62.005	3.76	21.08	2.61	-0.87
PN G289.8-00.5	BMPJ1104-5937	5338516363218743552	A	166.2028	-59.6194	2.96	16.69	2.6	-0.26
PN G289.8-01.2	PHRJ1107-5857	5338641192147242496	B	166.9183	-58.9532	1.27	20.63	1.57	0.45
PN G289.8+01.3	PHRJ1107-5855	5338642734027663488	B	166.9166	-58.9205	3.74	18.21	1.46	0.56
PN G290.1+00.7	PHRJ1108-5934	5337846932443168640	B	167.0043	-59.5754	1.63	20.89	2.44	-0.08
PN G290.1-00.4	Hf48	5338073466184125568	B	165.9831	-60.602	2.7	21.72	4.47	-1.07
PN G290.1-02.5	MPAJ1057-6233	5241688387109076608	A	164.2904	-62.5613	0.69	19.89	2.18	-0.21
PN G290.5+07.9	Fg1	5348195948185156736	A	172.1508	-52.9344	0.21	14.51	0.54	-0.57
PN G290.7-01.7	PHRJ1104-6200	5337136922817297792	A	166.1193	-62.0073	2.53	15.76	3.47	-0.62
PN G290.8+00.5	Pre43	533772681029635840	A	168.1138	-59.9773	0.35	20.81	4.18	-1.42
PN G290.9-00.6	DeGaPe27	5337295660486717568	B	167.3572	-61.0693	0.52	19.89	3.07	-0.1
PN G291.3+08.4	PHRJ1134-5243	5345597458614614400	B	173.6606	-52.7256	1.09	12.99	0.63	-0.13
PN G291.4+08.5	PHRJ1136-5235	5345556604884548096	A	174.0016	-52.5897	10.63	21.21	0.51	-0.31
PN G291.4+19.2	LoTr4	5380413425574962944	A	178.1219	-42.2942	0.39	16.53	0.43	-0.52
PN G291.6-04.8	IC2621	5240291148370061952	B	165.0837	-65.2495	0.42	14.5	1.59	-0.64
PN G291.7+03.7	Hen2-64	53427253838389824	B	171.8511	-57.2997	0.04	15.48	0.94	-0.11
PN G291.9-04.0	PHRJ1105-6436	5240374058384364032	B	166.4867	-64.6076	2.11	18.91	1.7	0.59
PN G292.2-00.9	PHRJ1118-6150	5336966395423877504	A	169.6391	-61.8491	9.98	19.76	7.94	-1.07
PN G292.3+00.5	PHRJ1123-6030	5337515429678393984	A	170.9631	-60.5141	0.87	14.3	2.14	-0.38
PN G292.5+00.9	NeVe3-6	5336021399560928640	B	171.4273	-60.2425	1.12	20.05	2.68	0.14
PN G292.6+01.2	NGC3699	53361							

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G294.6+04.7	NGC3918	5342260406474812416	A	177.574	-57.1825	0.36	15.37	1.07	-0.9
PN G294.9-00.6	Hf69	5333350548355207168	A	175.4053	-62.4819	0.11	19.39	15.92	-2.19
PN G295.3-09.3	Hen2-62	5228539671146215552	A	169.4298	-70.8256	0.25	14.92	0.53	-0.3
PN G295.4-04.0	PHRJ1137-6548	5237168775846157696	A	174.2581	-65.8018	16.79	20.76	2.51	-0.25
PN G295.5-03.0	PHRJ1140-6454	5332635384758534656	B	175.1848	-64.9157	2.72	20.17	3.09	0.08
PN G296.0-06.2	MPAJ1137-6806	5234306472200493568	A	174.3149	-68.1124	0.34	20.32	0.85	-0.54
PN G296.2-00.4	PHRJ1152-6234	5334601448998815488	A	178.2329	-62.5694	1.39	19.07	8.68	-1.58
PN G296.2-01.9	PaMo1	5333115321569621760	B	177.4315	-63.9808	0.88	20.86	5.65	-1.2
PN G296.3+03.1	KFR1	6071221875354726528	B	180.0695	-59.0791	3.13	20.3	1.88	0.8
PN G296.4-06.9	Hen2-71	5234243559525347968	B	174.7966	-68.8692	0.17	13.76	0.91	0.2
PN G296.6-20.0	NGC3195	51986687896083997312	B	152.3368	-80.8584	0.16	17.66	0.33	-0.1
PN G297.0+06.5	BMPJ1209-5553	6075587378880414976	A	182.3714	-55.8928	0.22	19.11	0.98	-0.31
PN G297.0-04.9	PHRJ1150-6704	5236095927378048384	B	177.6128	-67.0823	2.97	19.63	1.25	0.64
PN G297.4+03.7	Hen2-78	6071280561769960576	B	182.2925	-58.7104	0.18	15.52	1.66	0.1
PN G297.6-01.6	PHRJ1203-6403	6054062553301241216	B	180.8026	-64.0616	1.68	19.51	5.31	-0.71
PN G298.2-03.5	PHRJ1205-6600	6052874183076891136	B	181.4079	-66.0061	1.61	18.57	1.73	0.37
PN G298.3+06.6	Po1	6072903883317795968	A	184.6364	-55.9013	0.11	17.96	0.97	-0.25
PN G298.3-04.8	NGC4071	5860341901722274688	A	181.0611	-67.3101	0.13	18.46	1.1	-0.95
PN G298.5+02.3	KFR2	6058716889105195904	B	183.8766	-60.2233	3.34	20.08	4.09	-0.09
PN G298.6-01.5	PHRJ1212-6407	6053355322493659648	B	183.117	-64.1188	3.34	19.05	4.37	0.25
PN G298.7-07.5	PHRJ1202-7001	5855901833224660864	B	180.7373	-70.0231	6.27	20.82	0.66	0.07
PN G299.0+03.5	PHRJ1221-5907	6059340861962763008	B	185.253	-59.1266	2.83	16.24	1.67	0.36
PN G299.0+18.4	KI-23	6133278036730727296	A	187.719	-44.2378	0.93	18.68	0.19	-0.51
PN G299.0-02.3	PHRJ1214-6454	6053064540356815232	B	183.7496	-64.9106	2.16	19.47	2.86	-0.61
PN G299.1-00.1	PHRJ1218-6245	6054431783044587648	B	184.5043	-62.7621	5.58	21.05	11.88	-1.74
PN G299.1-08.4	MPAJ1205-7101	5854994461239756800	A	181.4167	-71.0324	0.49	17.47	0.71	-0.56
PN G299.2+01.0	PHRJ1220-6134	6057925446869129600	B	185.0367	-61.5713	0.78	20.87	4.05	0.02
PN G299.2-04.1	PHRJ1213-6643	5860474835237734144	B	183.399	-66.7202	0.26	18.73	1.14	0.69
PN G299.3-02.0	PHRJ1217-6443	6053088351666738944	A	184.4694	-64.725	3.84	19.23	3.4	-0.76
PN G299.4-04.1	HaTr1	5860462740585624448	B	184.1272	-66.7629	4.25	17.64	1.23	0.56
PN G299.5+02.3	PHRJ1224-6023	6058242896507642496	A	186.06	-60.3916	3.3	19.77	2.87	-0.62
PN G299.5+02.4	Hen2-82	6058295295126423936	A	185.9731	-60.2203	0.62	20.94	2.87	-0.97
PN G299.7+00.1	PHRJ1223-6236	6054613271184095232	A	185.9897	-62.6061	2.67	21.09	13.34	-2.08
PN G299.7-01.5	MPAJ1221-6413	6053490910387217920	A	185.4661	-64.2182	0.46	20.7	5.72	-0.95
PN G299.8-01.3	Hen2-81	6053503382938739584	B	185.7558	-64.0294	1.07	21.16	6.53	-1.57
PN G300.1+04.1	BMPJ1229-5839	6059295438380078592	A	187.49	-58.6517	0.3	19.87	1.63	-0.8
PN G300.2+00.6	Hen2-83	6054755761030163328	A	187.1832	-62.0931	0.1	17.19	7.79	-1.33
PN G300.4-00.9	Hen2-84	6053533482078258304	A	187.1952	-63.7436	0.07	19.25	5.91	-1.39
PN G300.5-01.1	Hen2-85	6053470775539684736	A	187.5319	-63.8835	0.79	18.04	5.03	-1.09
PN G300.7-02.0	He2-86	5861205190154456192	A	187.6268	-64.8682	0.12	17.41	3.66	-0.35
PN G300.8-03.4	ESO95-12	5860136258689477632	A	187.6022	-66.2405	0.39	20.14	1.62	-0.58
PN G301.1-01.4	PM1-68	5861374033935241088	B	188.6501	-64.3047	0.29	18.65	4.34	-0.93
PN G301.3+09.0	MPAJ1240-5347	6074692891815161728	A	190.1847	-53.7907	0.45	19.54	1.72	-0.42
PN G301.8-00.1	MGE301.8797-00.1036	6055117672125402368	A	190.5452	-62.9567	1.6	20.58	12.4	-1.75
PN G301.9-02.1	MPAJ1242-6459	5860308641513003776	B	190.6002	-64.9904	1.14	18.08	3.1	-0.71
PN G302.0-01.6	MPAJ1243-6428	5862586520319889920	A	190.8309	-64.467	0.3	18.4	4.26	-0.24
PN G302.1+00.3	RCW69	6055200341668022400	A	191.1143	-62.5219	0.15	19.41	12.63	-2.1
PN G302.2+02.5	Wray16-120	6056638537222985472	A	191.4773	-60.3377	0.21	20.46	2.44	-0.21
PN G302.2-03.1	PHRJ1244-6601	5861458902488176256	B	191.2481	-66.0178	1.96	14.66	2.27	0.71
PN G302.3-00.5	WRAY17-56	5862901770945929472	A	191.6121	-63.4078	0.27	16.8	14.17	-1.79
PN G302.4-00.1	[GKF2010]MN6	5862974471824621568	A	191.8237	-63.0095	1.43	19.31	25.38	-1.99
PN G302.6-00.9	VBR4	5862680872211893504	A	192.13	-63.8326	3.15	17.37	8.55	-0.74
PN G302.7-00.9	PHRJ1250-6346	5862679360366551808	A	192.5193	-63.7806	2.45	20.89	11.96	-1.75
PN G302.8-04.7	PHRJ1250-6736	5858070688615845376	B	192.6044	-67.6117	3.42	19.73	1.33	-0.27
PN G303.1+01.3	PHRJ1252-6130	6055360625530708864	A	193.2463	-61.5018	5.28	15.38	9.73	-1.51
PN G303.3-00.0	PHRJ1255-6251	5863024916224118688	A	193.8232	-62.8502	1.86	21.1	16.98	-1.96
PN G303.6+01.9	PHRJ1257-6216	5863475819079016576	A	194.4632	-62.27	0.98	16.89	13.36	-1.7
PN G303.6+01.9	PHRJ1257-6052	605594759724804288	B	194.2911	-60.8762	2.87	20.49	5.62	-0.36
PN G303.7-01.9	Pr22	5861683164163760896	B	194.7114	-64.8096	0.97	20.24	3.88	-1.03
PN G304.2+05.9	Wra16-122	6060618082125746816	B	195.1717	-56.8946	0.14	18.87	1.05	-0.01
PN G304.5+02.4	PHRJ1304-6024	6055887948785984896	B	196.0544	-60.4147	4.25	16.31	4.06	-0.8
PN G304.5-04.8	IC4191	5857187746464509696	A	197.1971	-67.6438	0.25	17.22	1.18	-0.63
PN G304.7-02.1	PHRJ1309-6457	5858960227979564800	A	197.2586	-64.9538	4.79	15.67	2.98	-0.61
PN G305.1-03.8	PHRJ1313-6639	5857793165012010624	B	198.337	-66.6619	1.89	19.33	1.6	0.7
PN G305.3+03.0	Wray17-58	6055932925675151616	A	197.582	-59.7531	0.79	17.44	2.91	-0.46
PN G305.6-13.1	ESO40-11	5790663302917359872	A	203.5595	-75.7754	0.75	15.71	0.45	-0.59
PN G305.7-03.4	Wray17-59	5857924556722638208	A	199.8746	-66.1523	0.04	15.92	1.85	-0.73
PN G305.9+04.6	PHRJ1314-5806	6063021270982325248	A	198.5181	-58.1079	1.43	17.33	1.48	-0.37
PN G305.9-01.2	PHRJ1318-6358	5859151160662602752	B	199.7114	-63.9818	0.84	19.32	5.1	0.61
PN G305.9-01.6	MPAJ1319-6418	5859084610246081280	A	199.8502	-64.3148	0.25	20.97	4.12	-0.92
PN G306.4-00.6	Th2-A	5865192362963086592	A	200.6407	-63.3504	1.35	15.95	5.28	-0.78
PN G306.4-01.6	PHRJ1324-6418	5864890787579637632	A	201.0494	-64.3029	1.51	18.75	5.01	-0.9
PN G306.4-02.1	PHRJ1324-6448	5864817326434763392	B	201.134	-64.8034	0.91	15.59	3.19	-0.52
PN G306.5-31.1	Frl-4	6343834891409105664	A	335.4611	-84.9107	0.32	16.04	0.42	-0.35
PN G306.7+06.6	PHRJ1318-5601	6063529314064047616	A	199.5766	-56.0196	2.86	20.46	1.7	-0.27
PN G306.9-00.7	[GKF2010]MN12	5865160167856247040	A	201.8237	-63.3247	1.34	18.33	6.12	-1.14
PN G307.2-03.4	NGC5189	5863702868275424384	A	203.3869	-65.9742	0.68	14.45	2.38	-1.16
PN G307.2-05.3	MPAJ1337-6751	5850553155864892032	A	204.3433	-67.8518	0.28	19.98	1.47	-0.85
PN G307.2-09.0	Hen2-97	5840002203581948160	A	206.3432	-71.4823	0.15	13.88	0.84	-0.22
PN G307.3+02.0	PHRJ1327-6032	5869500043300991232	A	201.8085	-60.5352	3.25	20.77	2.51	-1.12
PN G307.3+02.0a	MPAJ1327-6031	5869499631021413936	A	201.8769	-60.533	0.37	18.95	2.68	-0.6
PN G307.3+05.0	Wray16-128	6062769826395293440	A	201.0913	-57.5221	0.31	18.24	1.76	-0.39
PN G307.3-01.6	PHRJ1332-6412	5864859623191472384	A	203.0232	-64.2079	0.65	19.83	3.86	-0.62
PN G307.3-09.6	PHRJ1348-7159	5839917545483688960	B	207.0717	-71.9989	3.95	20.72	0.76	0.72
PN G307.4+00.6	BMPJ1329-6150	5868438086871113984	A	202.4601	-61.8438	1.19	20.84	6.57	-1.29
PN G307.5-03.6	WKG1	5851699121855468416	B	204.3855	-66.1445	2.41	20.63	1.85	0.31
PN G307.5-04.9	MyCn18	5851324841411810304	B	204.896	-67.381	0.13	14.19	1.29	0.15
PN G307.7-01.3	PHRJ1335-6349	5864968749721029760	A	203.7871	-63.8154	1.73	19.85	6.91	-1.1
PN G307.7-03.1	PHRJ1337-6535	5868331854666599424	A	204.463	-65.5884	0.15	19.76	2.27	-1.12
PN G307.8-02.5	NAMEPKPJ1338-6456	5863912359619754624	A	204.6089	-64.9451	0.33	18.66	3.35	-0.72
PN G308.2+03.5	PHRJ1332-5851	587022594291491840	A	203.0585	-58.8609	1.16	19.59	2.47	-0.37
PN G308.2+07.7	MeWe1-3	6064085976171245444	A	202.0205	-54.6997	0.11	17.15	0.96	-0.53
PN G308.2-02.1	PHRJ1341-6427	5863958161112598912	A	205.2814	-64.4652	0.56	19.46	4.47	-0.31
PN G308.3+02.1	PHRJ1335-6015	5869142392792252160	B	203.7646	-60.2631	3.95	18.46	3.29	-0.08
PN G308.4+00.4	WRAY17-62	5865739954055580672	A	204.6772	-61.9294	1.55	17.16	12.63	-1.71
PN G308.4+02.4	PHRJ1335-5956	5869171117546506368	A	203.8478	-59.9423	1.57	21.1	3.29</	

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G310.7-02.9	Hen2-103	5852071439644421504	A	211.4032	-64.6837	0.89	20.55	2.06	-0.58
PN G310.8-05.9	LoTr7	5847795443251442304	A	213.8505	-67.5318	0.38	19.38	1.04	-0.54
PN G311.0-02.4	SuWt2	5870592987893097984	A	208.9301	-59.3777	0.2	11.89	3.32	-1.03
PN G311.2-02.7	PHRJ1409-6421	5853606465328528384	B	212.3695	-64.3656	2.87	18.0	3.31	-0.14
PN G311.4-02.8	Hen2-102	5870632570311652608	A	209.5579	-58.9088	0.34	17.07	2.44	-0.9
PN G311.5-01.2	PHRJ1408-6250	5854053141869322368	B	212.1046	-62.8368	9.62	19.98	9.95	-1.45
PN G311.7-07.3	PHRJ1351-5429	6064797940000480512	A	207.9435	-54.4948	0.82	17.7	1.05	-0.37
PN G311.7-00.9	Wray17-64	5854077915246916608	A	212.1968	-62.5	1.97	20.9	11.89	-1.8
PN G312.0-04.1	PHRJ1359-5728	5871340243484051456	A	209.9158	-57.4805	0.71	18.77	1.66	-0.41
PN G312.1+00.3	PHRJ1408-6106	5866409071269504512	A	212.2001	-61.1094	0.15	16.78	43.71	-2.69
PN G312.3+05.7	BMPJ1358-5552	5872363137226865536	B	209.6903	-55.8797	0.45	18.39	0.98	0.15
PN G312.3+10.5	NGC5307	6093370471935953152	A	207.7635	-51.2058	0.25	14.65	0.72	-0.44
PN G312.6-01.8	Hen2-107	5854138766383247232	A	214.6805	-63.1195	0.61	14.64	5.99	-1.36
PN G313.0+03.2	MPAJ1408-5804	5868135858621005440	A	212.206	-58.0735	0.55	19.16	2.28	-0.71
PN G313.1+02.1	PM1-79	5867815316585092608	A	214.2158	-58.8861	0.17	19.55	5.14	-0.6
PN G313.3+00.3	CGR1	5866663749945999360	A	214.6144	-60.7864	1.09	21.12	26.61	-2.09
PN G313.3+01.1	WRAJ17-66	5866938490411910528	A	213.972	-60.0271	0.09	20.49	10.69	-0.77
PN G313.4+06.2	MPAJ1405-5507	5896420348552980608	A	211.3844	-55.1292	0.58	16.5	0.88	-0.4
PN G313.5+02.2	PHRJ1414-5857	5867823631675830656	B	213.6705	-58.9507	1.58	18.93	4.29	0.63
PN G313.7-37.1	Pa162	6357229863612184448	A	333.0647	-76.4343	1.02	15.12	0.25	-0.39
PN G313.8+10.3	Fr2-8	6090256513264898816	A	210.1737	-51.0411	0.56	16.06	0.82	-0.47
PN G313.8-01.0		5854339594699008896	A	216.6008	-61.9342	4.15	20.24	12.74	-1.62
PN G313.8-01.7	MPAJ1428-6234	5853510704716141184	B	217.2119	-62.5704	0.66	19.51	6.24	-0.12
PN G313.8-05.7	BMPJ1442-6615	5848879424277154176	B	220.6939	-66.2507	0.36	20.32	1.0	0.39
PN G313.8-12.6	LoTr11	5795257990207545984	A	230.2935	-72.2239	0.42	18.27	0.27	-0.57
PN G313.9+01.4	PHRJ1420-5933	5890994189923792384	A	215.0281	-59.5649	2.02	20.58	6.14	-0.72
PN G313.9+02.8	PHRJ1416-5809	5891918673080594176	B	214.157	-58.1589	0.12	16.21	4.37	-0.11
PN G314.0+10.6	MeWe2-4	6090271154808162048	A	210.3142	-50.6693	0.63	17.87	0.61	-0.55
PN G314.3+00.4	MGE314.3603+00.4880	5878707181851301248	B	216.4119	-60.2756	3.77	20.08	29.34	-2.18
PN G314.3-03.4	PHRJ1437-6356	5850136234803671552	B	219.4501	-63.9344	2.1	19.6	1.87	0.9
PN G314.4+02.2	PM1-81	5891103385192215288	A	215.3329	-58.6394	0.38	16.24	5.98	-1.23
PN G314.5+00.1	MB4001	5878686497297523200	B	217.0037	-60.4746	3.47	15.77	32.66	-2.31
PN G314.5+01.5		58910273121716984320	A	216.0002	-59.1724	3.27	20.49	6.32	-1.09
PN G314.5-01.0	PHRJ1432-6138	5878330977097132544	A	218.039	-61.647	1.75	18.45	9.99	-1.42
PN G314.6-00.1	PHRJ1429-6043	5878618052702285056	A	217.4712	-60.7323	2.25	17.13	32.24	-2.29
PN G314.9+00.5	PHRJ1429-6003	5878724499167087616	A	217.4299	-60.0565	8.4	20.9	21.26	-1.99
PN G315.0-00.3	Hen2-111	5878442989838460416	A	218.327	-60.8268	0.28	16.52	23.4	-2.09
PN G315.1-13.0	Hen2-131	5794858077215766656	B	234.2966	-71.9147	0.01	10.87	0.41	0.14
PN G315.2-01.3	PHRJ1438-6140	5877547128421062016	A	219.5761	-61.6679	2.56	20.94	5.79	-1.2
PN G315.3-02.1	PFBJ1441-6219	5877316986894947456	A	220.4765	-62.3157	12.25	20.48	3.04	-0.38
PN G315.4-08.4	PHRJ1510-6754	5800264758167606614	B	227.5917	-67.9067	0.05	15.54	0.44	0.43
PN G315.7+05.5	LoTr8	5895881038094691200	B	215.4997	-55.038	0.13	18.12	1.59	0.66
PN G315.7+02.1	St58	5890988417518712064	A	217.6846	-58.2607	0.37	19.22	5.94	-0.77
PN G315.7+42.0	EC13290-1933	6292958495525136768	A	202.9428	-19.8072	0.1	14.41	0.23	-0.52
PN G315.7-01.2	LoTr9	5877653059438534528	A	220.3238	-61.3324	2.35	19.36	6.54	-1.09
PN G315.7-04.2	Wray16-158	5873884758268306176	A	223.1509	-64.0395	0.52	18.05	2.31	-0.54
PN G315.9+00.3	PHRJ1437-5949	5878603003135867520	A	219.473	-59.8232	2.99	20.42	21.53	-1.95
PN G315.9+08.2	MeWe1-4	5897337302564816384	B	214.3768	-52.4392	15.38	18.55	1.06	-0.75
PN G316.0+02.9	MPAJ1430-5721	5891638606833232640	B	217.6043	-57.3628	0.56	19.79	4.02	0.92
PN G316.1+08.4	Hen2-108	5897352631316651264	A	214.537	-52.1776	0.24	12.67	1.0	-0.28
PN G316.2+00.8	GLMP387	5879195502480164864	A	219.5833	-59.1962	0.17	19.78	8.94	-0.73
PN G316.3+08.8	PHRJ1418-5144	5897438771177986432	A	214.6074	-51.7441	0.58	17.25	0.88	-0.65
PN G316.3-01.3	LoTr10	5877478679467413760	B	221.5831	-61.2276	4.34	17.94	6.94	-0.91
PN G316.3-01.6	PHRJ1447-6127	587745992085074304	B	221.9082	-61.4556	3.0	19.39	5.57	0.54
PN G316.7+01.6	MPAJ1439-5816	5879307068557653120	B	219.8543	-58.2671	1.44	21.09	4.04	-0.19
PN G316.7-05.8	MPAJ1508-6455	5872884511895152768	B	227.027	-64.9533	0.03	13.46	1.4	0.01
PN G316.9+04.1	PHRJ1433-5557	5892592020849979136	A	218.3611	-55.9553	0.37	18.87	1.83	-0.49
PN G317.0-04.0	PHRJ1502-6315	5873638776863197952	B	225.6706	-63.2506	1.61	19.85	3.8	0.53
PN G317.1-05.7	NGC5844	5873264285765311292	A	227.6699	-64.6739	0.1	17.89	1.46	-0.5
PN G317.2-08.6	PHRJ1424-5138	5898716231900175616	A	216.1348	-51.6442	2.38	13.9	0.9	-0.39
PN G317.3-03.8	PHRJ1503-6257	5873669043473542016	B	225.995	-62.962	0.7	19.06	2.81	0.76
PN G317.5+00.8	PHRJ1447-5838	5879139938458141696	A	221.9245	-58.646	4.43	17.16	5.9	-0.95
PN G317.8+03.3	WRAJ17-68	5893253858168863744	B	220.4002	-56.2537	6.6	17.28	2.18	0.53
PN G318.2+02.3	PHRJ1504-6113	5874664140219303808	A	226.1653	-61.2196	0.77	20.06	3.2	-0.23
PN G318.3-02.0	Hen2-114	5876361167674415104	A	226.0359	-60.8889	0.11	20.58	3.45	-1.38
PN G318.3-02.5	Hen2-116	5876147965487613056	A	226.5078	-61.3557	0.2	19.88	2.81	-0.96
PN G318.4+41.4	Abell36	6292074655679874688	A	205.1724	-19.882	0.08	11.49	0.23	-0.6
PN G318.4+03.0	ES0135-04	5876077734131404768	A	227.1815	-61.737	0.37	20.72	2.42	-0.59
PN G318.5-02.3	Pre37	5876172841955547392	A	226.5776	-61.0727	0.43	20.47	3.19	-0.45
PN G318.6+00.1	MGE318.6864+00.1018	5879792979637969408	B	224.512	-58.8409	3.65	19.03	21.29	-1.95
PN G318.8+01.8	PHRJ1453-5714	5880817522630953344	A	223.3539	-57.2471	1.21	20.46	4.79	-0.35
PN G319.0+02.7	MPAJ1511-6108	587613346567024864	A	227.8373	-61.148	0.19	18.07	2.39	-0.32
PN G319.1+02.1	Pa63	5881036394197872384	A	223.5388	-56.8047	0.05	11.33	4.3	-1.27
PN G319.2+06.8	Hen2-112	5895030978161528192	A	220.1289	-52.5825	0.25	18.32	1.7	-0.26
PN G319.3-02.6	BMPJ1513-6052	5876220911242751488	B	228.4018	-60.8677	1.02	21.15	2.33	-0.34
PN G319.5-01.0	PHRJ1507-5925	5876617594378351616	A	226.9592	-59.4209	1.81	19.93	9.62	-1.4
PN G319.5-01.1	PrePa3	5876600410193992960	A	227.2351	-59.5545	0.24	20.9	9.25	-1.44
PN G319.6+15.7	IC4406	6102472263541814272	A	215.6089	-44.1506	0.28	17.22	0.27	-0.21
PN G320.0+03.9	PHRJ1453-5448	5893638201857294464	A	223.4211	-54.8026	0.7	19.11	1.9	-0.43
PN G320.1-09.6	Hen2-138	5822458022416453120	B	239.007	-66.1526	0.11	10.92	0.32	-0.05
PN G320.3-28.8	Hen2-434	6367469439307095936	A	293.4556	-74.5496	0.2	14.14	0.19	-0.57
PN G320.6-04.8	PHRJ1532-6203	5827410630783549312	A	233.2474	-62.051	1.01	16.56	1.2	-0.25
PN G320.7+04.2	BMPJ1457-5413	5893724513518808832	B	224.2595	-54.2328	0.13	18.66	2.07	0.88
PN G320.7-11.4	Kn72	5821376785848327552	A	243.303	-67.0831	0.42	17.6	0.21	-0.54
PN G320.8-01.6	Pa65	5880534364018604672	B	226.6365	-56.4347	0.22	20.85	5.55	-0.15
PN G320.9+02.0	Hen2-117	5881321133340445696	A	226.4966	-55.988	0.11	17.81	5.36	-0.73
PN G321.0+01.4	Pa179	5880493815227788160	B	227.1294	-56.5504	0.54	19.43	8.21	-0.57
PN G321.0+08.3	MeWe1-5	5904325489235726464	B	221.6463	-50.3902	0.06	19.41	0.91	0.58
PN G321.0-03.8	HaTr2	5875572813518489856	A	232.5774	-61.0276	0.13	18.3	2.09	-0.29
PN G321.1-05.1	PHRJ1537-6159	5827235503541282432	B	234.4391	-61.9961	4.06	16.3	1.39	0.65
PN G321.2-01.9	MPAJ1522-5917	5876787705124856320	A	230.7425	-59.2957	0.25	19.75	3.34	-0.4
PN G321.3+02.8	Hen2-115	5887420772835970944	A	226.32	-55.1862	0.24	16.75	3.29	-0.23
PN G321.3-16.7	He2-185	5808014459690304000	A	255.3218	-70.1009	0.17	16.03	0.21	-0.59
PN G321.4-05.1	MPAJ1539-6147	5827334493954740992	A	234.9681	-61.7896	0.52	17.07	1.35	-0.23
PN G321.6+02.2	CVMMP1	5886591161255356416	A	227.3548	-55.5516	0.1	20.24	4.79	-1.8
PN G321.8+01.9	Hen2-120	5886595490588171392	A	227.9843	-55.663	0.09	20.19	6.04	-1.63
PN G322.1-01.6	PHRJ1528-5831	5882111063770983936	B	232					

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G324.0-01.6	PHRJ1539-5727	5882594058567764224	A	234.895	-57.4506	0.15	16.35	6.53	-0.87
PN G324.1-09.0	ESO223-10	5903448633025639936	A	225.4196	-48.3508	0.79	16.69	0.56	-0.45
PN G324.2-02.5	Hen2-125	5887229462174068608	B	230.9014	-53.8578	0.27	15.85	2.66	0.0
PN G324.3-11.9	Kn73	5816227639772060032	A	249.8814	-64.8027	0.47	16.37	0.32	-0.5
PN G324.4-00.9	[GKF2010]MN25	5882772042000687616	B	234.7365	-56.6231	2.18	17.09	13.26	-1.74
PN G324.8-01.1	Hen2-133	5882747955832834944	A	235.495	-56.6071	0.07	18.93	9.03	-1.35
PN G324.9+06.5	BMPJ1513-5010	5902086097608448640	B	228.4928	-50.1681	1.56	20.47	1.02	0.75
PN G325.0+03.2	Hen2-129	5888795544644516608	A	231.386	-52.8439	0.18	17.61	2.91	-0.47
PN G325.3-02.9	PHRJ1553-5738	5835851723298840576	A	238.2911	-57.6351	11.79	16.68	1.88	-0.54
PN G325.4-04.0	Hen2-141	5835567460898896128	A	239.7865	-58.3977	0.14	18.06	1.49	-0.6
PN G325.5+03.3	PaJ1528.1-5231	5888885292258896512	A	232.0348	-52.5268	7.78	20.75	2.69	-0.28
PN G325.5-01.6	PHRJ1548-5629	5884060875767301248	B	237.0893	-56.4994	2.09	19.44	5.09	-0.18
PN G325.6-02.1	PHRJ1551-5653	5835952156893844096	B	237.8358	-56.8974	2.67	18.64	2.93	-0.02
PN G325.7+02.2	BMPJ1533-5319	5888601549601893632	B	233.3361	-53.3169	0.26	16.81	4.42	1.18
PN G325.8+04.5	Hen2-128	5889777649042432256	B	231.2826	-51.3284	0.15	15.79	1.61	-0.11
PN G325.8-05.4	BMPJ1608-5913	5834543476289552768	A	242.0395	-59.2286	0.62	18.7	0.86	-0.49
PN G325.8-12.8	Hen2-182	581759661117922688	B	253.6464	-64.2413	0.28	13.12	0.36	0.03
PN G325.9+09.4	BMPJ1509-4707	5903941763984739072	A	227.4351	-47.1188	0.36	15.8	0.6	-0.38
PN G325.9-01.7	vBe2	5884101454628163072	B	237.8285	-56.3551	1.77	20.33	3.43	0.91
PN G326.0-06.5	Hen2-151	5831451649598626560	B	243.9262	-59.9003	0.17	12.73	0.56	0.19
PN G326.1-01.9	vBe3	5836064513277457664	A	238.2459	-56.4072	0.14	20.1	2.77	-0.54
PN G326.1-03.3	WRAY16-197	5835757577647289856	B	239.9478	-57.5016	0.22	17.36	1.6	0.15
PN G326.4+01.5	PHRJ1539-5325	5885927846499087360	A	234.9553	-53.4236	1.03	20.09	5.69	-0.76
PN G326.4+07.0	NeVe3-2	5902564934924665984	A	229.9328	-48.9986	0.11	15.26	0.94	-0.3
PN G326.5-03.4	PHRJ1602-5714	5835747059266833664	B	240.6152	-57.2354	1.56	20.41	1.4	-0.15
PN G326.6+05.7	BMPJ1525-4957	5890463813006531840	B	231.3086	-49.9612	0.36	19.86	1.44	0.11
PN G327.1-01.8	He2-140	5836494250511506432	B	239.5337	-55.6973	0.4	16.1	3.38	-0.16
PN G327.1-02.2	Hen2-142	5836438239720535040	A	239.9901	-55.9259	0.1	14.79	2.99	-0.3
PN G327.2-02.5	MPAJ1601-5608	5836233490046582912	B	240.4483	-56.1405	0.06	17.8	2.65	0.67
PN G327.5+13.3	Hen2-118	6004438325045425664	B	226.5571	-42.999	0.18	14.47	0.31	-0.51
PN G327.5-02.2	MPAJ1602-5543	5836526376829511808	B	240.5466	-55.7252	0.13	15.87	2.72	1.04
PN G327.7-05.4	KoRe1	5835120578152346240	A	244.7933	-57.982	0.4	18.82	0.78	-0.38
PN G327.8+10.0	NGC5882	6000019147299399936	A	229.2081	-45.6496	0.18	13.33	0.68	-0.46
PN G327.8-01.6	He2-143	5836606709883180160	A	240.2465	-55.0944	0.29	18.24	5.22	-0.75
PN G327.8-07.2	Hen2-163	5831765457042662528	A	247.3799	-59.1571	0.94	20.2	0.57	-0.6
PN G328.0+01.8	PHRJ1547-5214	5981982144378708352	B	236.7916	-52.2414	14.1	19.83	11.54	-1.5
PN G328.1-01.9	MPAJ1603-5505	5836573758913807872	B	240.9824	-55.0887	1.15	17.34	3.94	-0.14
PN G328.2+01.3	Lo10	5981924591832069888	A	237.3709	-52.5049	1.28	20.09	13.87	-2.08
PN G328.2+14.3	Mu1	6004659807917992320	A	226.5713	-41.7552	0.06	18.08	0.25	-0.61
PN G328.2-03.9	BMPJ1613-5633	5835460572057022592	B	243.4649	-56.5545	0.6	18.21	1.05	0.49
PN G328.5+06.0	PHRJ1533-4834	5986526735217715456	A	233.3916	-48.5735	0.15	18.67	0.89	-0.29
PN G328.5+06.2	PHRJ1533-4824	5986532468951904128	A	233.2786	-48.4124	0.1	19.25	0.81	-0.38
PN G328.7-04.6	MPAJ1619-5638	5931322799003585024	A	244.9787	-56.6374	0.61	20.47	1.11	-0.36
PN G328.8+13.5	Pa33	6003852732024802816	A	227.8048	-42.1731	0.34	18.13	0.2	-0.55
PN G329.0+01.9	Sp1	5982072132545824128	A	237.9206	-51.5246	0.23	13.73	8.54	-1.84
PN G329.1-01.4	MPAJ1606-5407	5932794976387644288	A	241.6615	-54.1225	0.13	19.9	6.72	-1.09
PN G329.3-02.8	Mz2	5931762981704430464	A	243.6359	-54.9518	2.53	20.93	1.85	-0.74
PN G329.4-02.7	Hen2-149	5931790744348033792	B	243.6007	-54.7941	0.34	18.29	2.02	-0.45
PN G329.4-03.5	PHRJ1618-5524	5931678972017114624	A	244.6061	-55.4023	5.61	21.03	1.56	-1.57
PN G329.5+01.7	VBRc7	5982091545782770944	A	238.7118	-51.3764	0.67	19.35	11.8	-1.9
PN G329.5-02.2	HeFa1	5932562670265887616	A	243.1411	-54.3946	0.86	15.27	3.17	-1.32
PN G329.6-02.7	PHRJ1615-5437	5931796379368641792	A	243.8347	-54.6232	0.81	17.84	2.14	-0.62
PN G329.7-01.4	PHRJ1557-5128	5981700325824912128	B	239.2777	-51.4672	6.87	17.46	11.77	-1.73
PN G329.7+06.9	PHRJ1536-4711	5987071543201574784	B	234.0156	-47.1926	0.31	20.84	1.98	-0.1
PN G329.8-00.4	[GKF2010]MN38	5933300889151778688	A	243.0594	-52.8429	0.94	20.32	13.95	-1.58
PN G329.8-02.1	BMPJ1613-5406	5932573046828712256	A	243.2585	-54.109	0.02	20.02	3.4	-1.45
PN G329.9+03.7	BMPJ1548-4936	5982837598830926048	A	237.2173	-49.6134	0.32	19.65	2.41	-0.59
PN G330.1+02.6	MPAJ1554-5022	5982575983753257344	B	238.5372	-50.3777	0.51	18.84	3.97	-0.02
PN G330.2+04.2	PHRJ1548-4903	598589125182728320	B	237.1103	-49.0592	0.82	20.82	2.38	-0.01
PN G330.2+05.9	Lo9	5986249726990491520	B	235.5542	-47.6792	0.96	20.44	1.26	-0.04
PN G330.2+12.3	BMPJ1521-4228	6001004309717026688	B	230.3585	-42.4672	5.98	18.96	0.4	0.91
PN G330.6-02.1	Hen2-153	5933070468426290944	A	244.3098	-53.5349	0.64	20.19	3.4	-1.26
PN G330.6-03.6	Hen2-159	5931925601916493312	A	246.0891	-54.6009	0.54	16.14	1.35	-0.43
PN G330.7+02.7	FPJ1556-4955	598264112983114752	A	239.1382	-49.9199	3.37	17.2	3.73	-0.2
PN G330.7-02.0	Wray17-75	5933072190757008128	B	244.2252	-53.411	1.49	18.39	3.34	0.08
PN G330.9+04.3	Wray16-189	5983021831411466240	A	237.8327	-48.4354	0.12	18.47	2.68	-0.56
PN G331.0-02.7	Hen2-157	5932279305469535360	B	245.5597	-53.6817	0.09	16.84	2.59	0.05
PN G331.1-05.7	PC11	5928675582970903376	B	249.4279	-55.7074	0.11	11.82	0.85	-0.09
PN G331.2+00.0	PHRJ1610-5130	5933474337064583168	B	242.5879	-51.5156	2.2	20.16	44.35	-2.7
PN G331.3+16.8	NGC5873	6119924377361421440	A	228.2119	-38.1255	0.31	16.2	0.25	-0.58
PN G331.3-12.1	Hen3-1357	5915762510400725760	B	259.0878	-59.4899	0.14	15.35	0.25	0.19
PN G331.4+00.5	Pe1-4	5983038839485182592	A	242.2451	-51.0323	1.44	18.66	32.01	-2.29
PN G331.4-03.5	Hen2-162	5933514606761839872	B	246.9622	-54.0246	0.17	12.75	1.39	-0.13
PN G331.5-02.7	Hen2-161	5933777110776156928	A	246.1577	-53.3761	0.09	16.7	2.42	-0.45
PN G331.5-03.9	Hen2-165	5933495227888260352	B	247.4988	-54.1574	0.31	19.0	1.22	-0.13
PN G331.7-01.0	Mz3	5934701559547878144	A	244.3058	-51.9863	0.08	13.19	4.48	-0.49
PN G332.0+04.2	PHRJ1556-4753	5984598157441661952	A	239.1504	-47.8947	0.92	20.27	3.56	-0.36
PN G332.0-03.3	Hen2-164	593355751770091872	A	247.472	-53.3874	0.4	17.8	1.84	-0.52
PN G332.0-04.3	PHRJ1634-5405	5930511221989592448	B	248.5856	-54.0845	0.45	19.23	1.1	0.53
PN G332.2+03.5	Wra16-199	5984378392554625280	A	240.0918	-48.2599	0.46	17.65	3.79	-0.39
PN G332.3+07.0	PHRJ1547-4533	5988081337237556608	B	236.937	-45.5474	0.17	17.08	0.95	0.43
PN G332.3-04.2	Hen2-170	5930562899068086272	B	248.8385	-53.8365	0.05	14.55	1.09	-0.18
PN G332.4-01.4	BMPJ1622-5144	5934018728455510528	A	245.6418	-51.7488	0.29	18.58	4.51	-0.93
PN G332.5-02.2	PHRJ1626-5216	5933931184144429184	B	246.6013	-52.2821	2.42	18.47	2.67	0.08
PN G332.5-16.9	HaTr7	5911656865276078080	A	268.5393	-60.8327	0.09	14.83	0.22	-0.43
PN G332.8-16.4	HaTr6	591172863745103872	A	267.9701	-60.3894	0.05	19.82	0.2	-0.72
PN G333.0+05.0	PHRJ1558-4637	5985083351292314112	A	239.5611	-46.6279	1.83	19.5	2.88	-0.32
PN G333.4-04.0	HaTr3	5931008441740553984	A	249.9053	-52.82	2.26	20.15	1.44	-0.27
PN G333.4-04.3	PHRJ1641-5302	5930814309267559552	B	250.2683	-53.0402	0.07	16.45	1.3	0.04
PN G333.7-05.9	PHRJ1650-5350	5929992926203805056	B	252.5494	-53.8397	1.61	18.06	0.88	0.14
PN G333.8-11.2	Fr2-12	5916314671421243648	B	260.3168	-56.9071	9.08	20.37	0.45	0.42
PN G334.0+00.7	PHRJ1619-4907	5935644635595213952	B	244.9566	-49.113	7.11	18.39	16.97	-1.81
PN G334.2-06.2	PHRJ1654-5338	5929832131772573440	A	253.6044	-53.6456	0.35	18.65	0.81	-0.35
PN G334.3-09.3	IC4642	5923374773032038528	A	257.9883	-55.4005	0.17	15.9	0.44	-0.48
PN G334.3-13.4	PHRJ1736-5736	5918991329378786840	B	264.1402	-57.6059	3.63	18.38	0.22	-0.05
PN G334.4+02.3	BMPJ1614-4742	5989858079305553152	A	243.7175	-47.703	1.02	19.84	4.71	-0.46
PN G334.6+01.3	Kn82	5941689643134631424	B						

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G335.8-01.6	MPAJ1638-4927	5940454414906570624	A	249.5075	-49.4553	0.19	20.13	5.57	-0.74
PN G335.9-01.3	MPAJ1637-4911	5940883018248096640	A	249.3091	-49.1878	0.03	17.18	6.62	-0.87
PN G335.9-03.6	MeWe1-7	5937506104459267840	A	251.9878	-50.7133	0.08	18.37	2.28	-0.34
PN G336.0-00.4	PHR1633-4831	5941113533392568192	A	248.3588	-48.5331	0.67	18.54	22.33	-1.99
PN G336.0-02.3	VRMF104	5937798510171668480	B	250.5261	-49.7516	0.26	18.3	4.22	-0.42
PN G336.1+03.2	MPAJ1618-4551	5990431204071731328	A	244.6071	-45.8568	0.04	17.06	3.67	-0.04
PN G336.2+01.9	Pe1-6	5942251600953774208	A	245.9774	-46.7039	0.38	19.61	3.36	-0.54
PN G336.2-06.9	PC14	5924318978646258304	A	256.5615	-52.5002	0.1	16.93	0.95	-0.54
PN G336.3+08.0	PHR1601-4209	5995171263094143360	A	240.2577	-42.15	0.52	19.02	2.12	-0.25
PN G336.3+21.4	PaJ1519.5-3138	6207958343963986176	A	229.8969	-31.6323	10.45	20.0	0.51	-0.3
PN G336.3-05.6	Hen2-186	5936426147869801216	A	254.9005	-51.7017	0.62	17.38	1.15	-0.43
PN G336.5+05.5	MPAJ1611-4356	5991591150152485376	A	242.8037	-43.9394	0.25	17.64	2.45	-0.53
PN G336.5-05.8	MPAJ1700-5136	593647167447724160	A	255.2447	-51.6119	0.12	19.01	1.17	-0.48
PN G336.8-07.2	K2-17	5924383368793138560	B	257.3994	-52.2173	0.61	17.15	0.84	0.12
PN G336.9+08.3	WRAY15-1407	5995280428294970880	A	240.5543	-41.56	0.19	15.44	1.69	-0.51
PN G336.9-11.5	MeWe1-10	5921422315225774336	A	263.6175	-54.4827	0.15	18.77	0.44	-0.62
PN G337.0+08.4	PHR1602-4127	5995289705424137472	B	240.5756	-41.4471	0.13	16.73	1.67	0.01
PN G337.1-05.2	PHR1700-5047	5936569462322610688	B	255.1573	-50.79	0.4	17.32	1.08	0.23
PN G337.3+00.6	PHR1633-4650	5941367284392465664	B	248.4917	-46.8348	1.73	20.27	9.79	-0.71
PN G337.3+47.4	Fr2-9	6328952378754074368	A	215.668	-9.2896	0.13	12.02	0.16	-0.55
PN G337.3-02.3	MPAJ1647-4846	5939408092078163712	A	251.8206	-48.7799	0.46	19.93	3.81	-0.63
PN G337.4+00.3	PHR1635-4654	5942805067608606592	A	248.9657	-46.9032	1.99	21.29	23.3	-2.15
PN G337.4+01.6	Pe1-7	5943697901113034368	B	247.6078	-46.0475	0.29	15.57	5.37	-0.82
PN G337.4+02.6	PHR1625-4523	5942477172662058240	A	246.465	-45.3766	8.26	20.59	4.14	-0.21
PN G337.4-09.1	Wray16-266	5924816851223108864	A	260.6541	-52.7763	0.45	17.82	0.5	-0.29
PN G337.5-05.1	Hen2-187	5938103104921060224	A	255.4042	-50.3827	0.2	12.51	1.17	-0.32
PN G337.6+00.7	PHR1634-4628	5942868388311348352	A	248.7136	-46.4746	0.86	17.83	9.85	-1.62
PN G337.8+01.5	MPAJ1632-4547	5943683435665172352	A	248.0311	-45.7995	0.49	18.0	5.02	-0.36
PN G337.8-04.1	PHR1657-4933	5938341016059360896	B	254.4972	-49.5584	3.59	20.76	2.02	1.14
PN G337.9+01.4	PHR1632-4549	5943681137918533632	A	248.2372	-45.8252	4.42	19.6	5.03	-0.27
PN G337.9+43.5	Fr1-5	6324298665725984512	A	218.0864	-12.3801	0.54	16.01	0.23	-0.59
PN G338.1-04.8	PHR1702-4943	5938219382596554240	B	255.6748	-49.7226	0.43	20.5	1.66	0.11
PN G338.1-08.3	NGC6326	5925023250182476416	A	260.1934	-51.7543	0.25	16.61	0.53	-0.55
PN G338.4-02.0	MPAJ1650-4747	5939391388953453696	A	252.5409	-47.7847	0.15	20.59	8.36	-0.84
PN G338.5-02.1	Kn87	5939388502731608704	B	252.7933	-47.7785	0.54	20.17	8.97	-1.19
PN G338.8+05.6	IC4599	5992575625377163264	A	244.8467	-42.2602	0.03	16.46	2.09	-0.79
PN G338.8+07.8	PHR1611-4038	5996695259247232520	B	242.8779	-40.6434	2.27	19.04	1.64	1.2
PN G338.9+04.6	PHR1624-4252	5992302744664872064	B	246.0034	-42.8801	1.17	20.45	3.06	0.23
PN G339.1+00.9	PHR1639-4516	5943372033364334336	B	249.8419	-45.2758	3.38	19.93	8.52	-1.0
PN G339.2+03.9	PHR1627-4309	5944573151050162816	B	246.9217	-43.1508	0.19	20.69	3.26	0.21
PN G339.4+03.7	PHR1701-4803	5938982512368905344	B	255.455	-48.064	0.24	19.51	3.32	0.08
PN G339.4-06.5	PHR1715-4939	5926400285450634112	B	258.8601	-49.6577	1.96	18.73	0.89	0.55
PN G339.4-09.5	PHR1721-5122	5925231470186212224	A	262.8286	-51.3669	2.12	19.28	0.49	-0.41
PN G339.9+88.4	LoTr5	3958428334589607552	B	193.8905	25.8918	0.11	8.64	0.0	1.03
PN G340.0+02.9	PM1-112	5944416569412103424	A	248.68	-43.2999	1.04	18.6	3.76	-0.72
PN G340.2+06.4	PHR1621-4040	5993876558082591104	B	245.4325	-40.6733	0.25	19.74	2.88	-0.15
PN G340.4-07.6	PHR1724-4930	5949601561341432064	B	261.1446	-49.5146	0.22	18.9	0.73	1.64
PN G340.4-14.1	Sal-6	6701733382321164928	B	270.2478	-52.7389	0.81	15.97	0.31	0.2
PN G340.8+00.8	PHR1646-4402	5967377808174184576	A	251.614	-44.0395	3.63	21.09	18.0	-1.67
PN G340.8+10.8	Lo12	5998464201638224640	A	242.1097	-37.1465	0.05	19.63	1.67	-0.64
PN G340.8+12.3	Lo11	6010827896356669824	A	240.8426	-36.0149	0.19	18.56	1.08	-0.41
PN G341.0-02.6	Kn89	5963209701330219136	A	255.6647	-46.1337	0.46	18.49	6.8	-0.73
PN G341.2-24.6	Lo18	6643159820922279936	A	287.4491	-55.5862	0.5	20.77	0.18	-0.66
PN G341.5-12.1	Sand3	6010805807350513920	A	241.6186	-35.7535	0.37	13.9	1.23	-0.41
PN G341.5-01.1	MPAJ1657-4447	5964146897562582528	A	254.3081	-44.7902	4.2	20.24	11.5	-1.62
PN G341.5-09.1	Hen2-248	5946831685377207576	A	264.3289	-49.4233	0.06	15.39	0.45	-0.55
PN G341.6+13.7	NGC6026	6011169161583903488	A	260.2622	-46.2827	1.1	13.13	0.8	-0.36
PN G341.6-03.8	Kn91	5963338962666591104	B	257.5405	-46.2827	0.73	15.93	4.25	-0.36
PN G341.7-06.0	Si26	5950984089819027200	A	260.2623	-47.591	0.31	17.61	1.36	-0.52
PN G341.8+05.4	NGC6153	6017034570775817984	A	247.8774	-40.2535	1.04	15.31	3.16	-0.88
PN G342.0-01.7	Kn93	5951003846646334464	B	259.858	-47.2634	0.41	18.55	1.18	0.26
PN G342.0+10.8	PHR1702-4443	5963723654320289152	A	255.5179	-44.7221	0.5	20.55	6.22	-2.17
PN G342.1+10.8	NGC6072	6022549519257057280	A	243.2432	-36.2298	0.08	18.55	1.79	-0.5
PN G342.1+27.5	Me2-1	6251122593490273792	A	230.5803	-23.6254	0.12	18.35	0.28	-0.7
PN G342.2-02.0	Kn94	5963673901427848320	A	255.9873	-44.8366	0.75	17.44	4.0	-0.23
PN G342.5+05.4	PHR1720-4628	5951141186824828032	B	260.1468	-46.5552	0.81	19.59	1.25	0.55
PN G342.5-14.3	Sp3	6702910375160462720	A	271.8158	-51.0195	0.02	13.1	0.3	-0.43
PN G342.7-02.3	MPAJ1706-4434	5963598821057669760	A	256.7057	-44.5762	0.45	19.99	5.79	-0.47
PN G342.8-06.6	Cn1-4	5951803883085737216	A	261.9532	-46.9282	0.24	17.02	1.04	-0.8
PN G342.9+05.6	Kn96	6017471287373503616	A	248.6263	-39.3171	0.61	18.66	2.85	-0.87
PN G342.9-02.0	Pe1-8	5963798451140343936	A	256.594	-44.2197	0.97	19.61	6.87	-1.59
PN G342.9-02.3	WRAY16-251	5963605319383850624	A	256.8775	-44.3807	0.35	21.08	5.62	-1.04
PN G342.9-04.9	Hen2-207	5952713419747721600	B	259.8856	-45.8878	0.95	19.41	1.28	1.06
PN G343.0-01.7	Vd1-9	5965317327666432768	B	256.4122	-43.9389	0.23	20.04	6.18	-0.96
PN G343.2-10.8	BMP1749-4848	5947532001244332032	A	267.4574	-48.8089	0.29	15.35	0.33	-0.45
PN G343.3+05.9	PHR1634-3848	6017697919880338432	A	248.7252	-38.8086	0.61	16.6	1.72	-0.43
PN G343.3-00.6	HaTr5	5966150998003866368	A	255.367	-43.0987	6.29	16.04	27.88	-2.16
PN G343.3-07.5	BMP1733-4657	5951662286640985216	B	263.3657	-46.9663	0.86	16.28	0.78	0.39
PN G343.4+11.9	H1-1	6022980081133498368	A	243.3674	-34.5943	0.25	17.06	0.73	-0.89
PN G343.6+01.1	PHR1654-4143	5966511431669118848	A	253.7122	-41.7306	0.81	14.61	15.12	-1.96
PN G343.6+03.7	SuWt3	5969207331126400384	B	251.1006	-40.0557	0.17	18.78	2.79	0.42
PN G343.6+03.7a	MPAJ1644-4002	5969208087047630848	A	251.0851	-40.037	0.48	20.35	2.74	-1.19
PN G343.9+00.8	H1-5	5966477793490248960	A	254.349	-41.6328	0.38	20.04	18.4	-1.74
PN G343.9-05.8	SB30	5951996155887850496	A	261.7594	-45.5441	0.35	18.86	0.86	-0.5
PN G344.0-02.5	MPAJ1650-4030	5969819892206749312	A	252.5842	-40.501	0.51	19.4	3.01	-0.51
PN G344.2+04.7	Vd1-1	5971001081288748032	B	250.6393	-38.9089	0.29	15.33	1.93	-0.09
PN G344.2-01.2	H1-6	5965494928876093824	A	256.7462	-42.6857	0.82	18.59	11.15	-1.7
PN G344.4+02.8	Vd1-5	5969867381677383552	A	252.8901	-40.0486	0.93	20.39	2.14	-0.48
PN G344.4-03.5	MPAJ1717-4351	595348489892538272	B	259.4718	-43.8662	0.46	21.12	4.84	0.04
PN G344.4-06.1	Wray16-278	5952198676546036096	B	262.5161	-45.3808	0.23	16.62	0.99	-0.41
PN G344.5-12.5	Kn99	6707279971809736960	B	270.7578	-48.4946	0.44	13.39	0.41	-0.29
PN G344.6-04.5	MPAJ1723-4419	5953237508824133376	B	260.7752	-44.3213	0.16	18.74	1.96	-0.07
PN G344.8+06.2	PKP1638-3731	6019357224689844096	A	249.6917	-37.5286	0.14	18.49	1.81	-0.57
PN G344.8-02.6	MPAJ1715-4303	5953602718496619776	A	258.8165	-43.0651	0.46	19.9	5.45	-0.82
PN G344.8-03.5	MPAJ1719-4336	5953333539982068736	A	259.8069	-43.6096	0.43	19.16	4.31	-0.81
PN G344.9+03.0	BMP1651-3930	5970024611844351616	A	252.9221	-39.5077	0.38	18.98	2.15	-0.88
PN G345.0+03.4	Vd1-4	5970798427549713792	A	252.6056	-39.1386	0.39			

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G346.1+02.8	MPAJ1656-3841	5970420676566203392	A	254.0073	-38.6974	0.29	20.02	3.54	-0.87
PN G346.2-02.6	PHRJ1719-4153	5959712498469143424	B	259.8799	-41.8856	1.73	19.42	3.45	0.36
PN G346.2-05.5	Kn103	5958481320307081472	A	263.1392	-43.4948	0.14	18.86	1.14	-0.51
PN G346.2-08.2	IC4663	5955085238132418048	A	266.3693	-44.905	0.74	16.63	0.69	-0.32
PN G346.5+13.5	PHRJ1618-3119	6037404849053055488	B	244.626	-31.331	0.59	14.84	0.66	-0.18
PN G346.7-04.4	Sa2-202	59587441336656575232	A	262.2915	-42.546	0.28	16.26	1.53	-0.49
PN G346.8-00.7	MPAJ1713-4015	5972109938708943360	A	258.2952	-40.2656	0.47	20.83	8.63	-1.12
PN G346.9+12.4	Abell38	6025240677023518336	B	245.8292	-31.7496	0.34	19.74	0.71	-0.77
PN G346.9-08.9	PHRJ1750-4438	5954720062822377216	A	267.6906	-44.6394	0.59	17.8	0.66	-0.49
PN G347.0+00.3	PHRJ1709-3931	5972933576009223936	B	257.2929	-39.5192	3.32	21.15	25.22	-1.97
PN G347.0+12.9	BMPJ1621-3121	6037321732830715264	B	245.4079	-31.3579	0.92	19.92	0.83	1.06
PN G347.2-00.3	MGE347.2495-00.3759	5972175943782525184	A	258.2221	-39.7732	1.37	18.11	10.45	-0.99
PN G347.2-00.8	PHRJ1714-4006	5972196937609960320	B	258.705	-40.1021	2.06	20.22	8.09	-0.64
PN G347.3+05.0	PHRJ1651-3621	5971717997197736704	A	252.8617	-36.36	0.45	19.23	2.15	-0.31
PN G347.4+01.6	PPAJ1704-3824	5973285041764508032	A	256.2464	-38.4012	0.54	20.81	6.53	-1.01
PN G347.4+01.8	PHRJ1704-3819	5976290453712202368	A	256.0702	-38.3327	1.37	19.58	6.52	-0.81
PN G347.4+05.8	HI-2	6019844995543616256	B	252.2254	-35.7858	0.23	14.74	2.55	-0.52
PN G347.6-14.5	Kn105	6707772449939066240	A	275.3348	-46.5616	0.62	16.18	0.23	0.27
PN G347.7+02.0	Vd1-8	5976336220892300032	A	256.1408	-37.8875	0.17	19.14	5.46	-1.14
PN G347.7-00.7	RPZM8	5972248958264210944	B	258.9651	-39.5523	0.23	20.47	8.4	-0.88
PN G347.8-03.9	Kn106	5959225105593657856	B	262.5664	-41.3603	0.5	18.68	2.11	0.89
PN G347.8-03.9a	Kn107	5959228404128753408	B	262.5124	-41.3144	1.18	19.35	2.12	0.8
PN G347.9-06.0	SB31	5955984123273721984	B	265.0141	-42.4016	0.57	18.48	1.16	0.24
PN G348.0+06.3	WRAY15-1537	6020091664096478976	B	252.2022	-35.0162	0.82	19.64	1.93	0.06
PN G348.0-00.3	MPAJ1715-3903	5972315341261059072	A	258.8181	-39.0647	5.18	20.05	13.97	-1.38
PN G348.0-13.8	IC4699	6708047083020633472	A	274.6335	-45.9838	0.25	15.31	0.2	-0.66
PN G348.3-01.3	PHRJ1720-3927	5972417939427069952	A	260.0603	-39.4638	1.82	20.51	4.83	-0.94
PN G348.3-03.6	MPAJ1729-4043	5960101347680074240	A	262.4888	-40.7283	5.79	20.63	2.21	-0.38
PN G348.4+04.9	MPAJ1655-3535	5977790526875496064	B	253.8419	-35.59	0.07	16.33	1.9	0.11
PN G348.4-04.1	HI-21	5959304437876436224	B	263.1992	-40.9747	0.23	16.92	2.23	-0.15
PN G348.7+01.3	PHRJ1710-3732	5973439179559200128	A	257.5517	-37.5479	1.91	20.39	7.16	-0.72
PN G348.8-09.0	Hen2-306	5956267659817411712	B	269.1404	-43.0553	0.24	15.48	0.44	-0.03
PN G348.9+04.6	KLSS1-15	5977832621856619392	B	254.488	-35.4149	0.48	20.27	2.22	0.18
PN G349.1-01.7	PHRJ1724-3859	5972489884397064960	A	261.1247	-38.9951	8.99	16.29	4.09	-0.42
PN G349.2-03.5	H2-14	5961654029849113728	A	263.0837	-39.8563	0.5	18.17	2.43	-0.5
PN G349.3+07.4	PHRJ1648-3318	6027007008100377856	A	252.1883	-33.3157	0.04	19.6	1.46	-0.56
PN G349.3-00.5	Pre68	5972784416074384640	A	259.9643	-38.1609	0.31	17.44	12.09	-1.62
PN G349.3-01.1	NGC6337	5972577055062637056	A	260.5653	-38.4838	1.62	15.62	12.04	-2.04
PN G349.3-04.2	Lo16	5960852520245103744	A	263.9245	-40.1907	0.98	15.96	2.67	-0.57
PN G349.5+01.0	NGC6302	5973805626181381504	A	258.4353	-37.1038	2.24	17.9	12.48	-1.93
PN G349.5+02.0	PHRJ1709-3629	5976873641579623680	A	257.391	-36.4898	2.06	20.78	4.9	-0.59
PN G349.6+03.1	PHRJ1706-3544	5977201364758715136	A	256.5078	-35.7435	0.74	20.56	3.27	-0.99
PN G349.7+06.2	PPAJ1654-3343	6026276240884866432	A	253.5344	-33.733	1.18	19.2	1.15	-0.43
PN G349.8+04.4	M2-4	5978248095516721280	B	255.2759	-34.8274	0.1	16.7	1.67	-0.11
PN G349.9+02.6	WRAY15-1624	5977166249135940096	A	257.1425	-35.8019	0.66	20.59	4.58	-0.64
PN G350.1-03.9	HI-26	5961023459912201088	A	264.1246	-39.3658	0.26	16.84	2.87	-0.42
PN G350.3+06.4	MPAJ1655-3310	6026680968535085440	A	253.7553	-33.1698	0.97	18.61	1.26	-0.37
PN G350.4+07.6	PM1-115	6027575936660117888	A	252.7764	-32.3835	0.19	18.04	1.32	-0.03
PN G350.5+03.0	K5-24	5977294509695487104	A	257.2679	-35.0881	0.51	20.19	3.1	-0.28
PN G350.8-02.4	HI-22	5962119947915694976	A	263.0923	-37.9566	0.16	18.02	3.61	-0.3
PN G350.8-03.6	MPAJ1737-3837	5961828950941856896	A	264.2718	-38.6216	0.36	19.14	3.73	-0.53
PN G350.8-07.4	Kn110	5957121808565782144	B	268.5723	-40.6172	0.08	19.57	0.51	0.05
PN G350.9+04.4	H2-1	5978397113707361536	B	256.151	-33.9886	0.04	13.02	1.41	0.19
PN G350.9+07.8	PHRJ1651-3148	6027630018002399840	B	252.9441	-31.8063	2.26	20.49	1.39	1.22
PN G350.9-02.9	Wray16-287	5961917500332919424	B	263.5838	-38.1515	1.43	19.03	3.1	0.46
PN G350.9-03.7	PHRJ1738-3839	5961451925866334720	B	264.5022	-38.654	0.35	20.44	3.95	0.85
PN G351.0+03.1	PHRJ1709-3436	5977381512934200320	B	257.442	-34.6008	1.82	20.1	3.14	-0.42
PN G351.0+05.8	PHRJ1659-3258	6026595515973923712	A	254.8566	-32.9762	2.62	20.92	1.2	-0.77
PN G351.0-10.4	HaTr9	6725198815882935168	A	272.2453	-41.8104	0.22	18.23	0.29	-0.5
PN G351.1+02.6	PHRJ1712-3452	5978810843677667840	B	258.0793	-34.8687	0.47	18.17	2.84	0.3
PN G351.1+04.8	MI-19	5978493325390055296	B	255.9452	-33.4957	0.03	16.13	1.41	0.05
PN G351.1+04.8a	Fr1-3	5978470407379181824	A	255.8348	-33.5121	10.23	20.82	1.38	-1.27
PN G351.1-03.9	PHRJ1739-3829	5961458385497229440	B	264.8202	-38.4951	0.45	20.83	3.72	-0.09
PN G351.2+05.2	M2-5	5978493286612599424	B	255.5795	-33.168	0.31	15.89	1.55	0.09
PN G351.2-06.3	SB33	5958159438268492032	B	267.6145	-39.6713	1.53	19.39	0.92	1.02
PN G351.3+07.6	HI-4	6027623799797947776	A	253.4045	-31.6759	0.16	15.61	1.0	-0.38
PN G351.5-06.5	SB34	4036440466993936640	A	268.0392	-39.5375	0.55	17.95	0.78	-0.2
PN G351.6-06.2	HI-37	5958174178599344768	B	267.6858	-39.2907	0.7	19.27	1.08	0.0
PN G351.7-06.6	SB35	4036448129216710272	B	268.262	-39.4025	0.85	15.62	0.88	-0.11
PN G351.7-10.9	Wray16-385	6724822782927554176	A	273.2206	-41.5074	0.38	16.2	0.24	-0.63
PN G351.9+02.4	K5-26	5978668800481153792	A	258.7502	-34.2938	0.68	20.53	4.02	-0.48
PN G351.9+09.0	PC13	6031037577201941888	A	252.5711	-30.332	0.48	16.62	0.87	-0.59
PN G351.9-05.6	PHRJ1748-3844	5958261860382414208	B	267.1871	-38.7363	3.88	20.14	0.96	0.44
PN G352.0+05.7	PHRJ1702-3219	6028140776511260288	B	255.6797	-32.3194	0.82	20.96	1.08	1.78
PN G352.1-02.6	PHRJ1736-3659	5962549410293600128	B	264.0719	-36.9965	0.64	15.57	3.89	-0.01
PN G352.2-04.3	PHRJ1743-3749	5961559158294341760	A	265.9542	-37.83	1.13	19.08	1.69	-0.39
PN G352.3+12.2	MPAJ1640-2757	6032515045967171072	A	250.0438	-27.9593	0.17	18.61	1.4	-0.71
PN G352.3-00.9	MGE352.3117-00.9711	5974885685875765248	B	262.492	-35.9491	2.99	18.7	20.96	-1.8
PN G352.4+04.0	WRAY16-255	5979871322676296192	B	257.5572	-32.9808	0.05	14.75	1.76	0.06
PN G352.4-02.7	PPAJ1737-3650	596263358728907504	B	264.4069	-36.8384	0.61	18.31	3.99	-0.43
PN G352.6+00.1	HI-12	5975747702989704064	A	261.6012	-35.0282	0.3	19.08	36.29	-2.35
PN G352.6+02.2	PPAJ1717-3349	5978801356020553344	B	259.4844	-33.8241	0.81	19.49	6.66	-0.91
PN G352.6-04.9	SB37	4039816242659008256	A	266.9696	-37.8008	0.42	19.45	1.52	-0.31
PN G352.7-01.7	PPAJ1734-3600	5974750244145839744	A	263.5928	-36.0132	0.28	19.19	5.59	-0.83
PN G352.7-02.5	PPAJ1737-3627	5962683516372855424	A	264.4026	-36.4516	0.31	17.73	3.72	-0.44
PN G352.7-08.4	SB38	4035884049752727808	B	270.8717	-39.3578	0.56	17.15	0.31	-0.18
PN G352.8+03.0	PPAJ1715-3313	5979063834398849024	B	258.7934	-33.2299	0.57	21.04	3.52	-0.05
PN G352.8-08.4	MPAJ1654-3000	6029558076932364672	A	253.7192	-30.0145	0.82	18.19	0.83	-0.54
PN G352.8-00.2	HI-13	5975007147549090432	A	262.1149	-35.1255	0.09	18.33	27.49	-2.1
PN G352.8-04.6	PPAJ1746-3725	4040049957552482560	B	266.7487	-37.4268	0.32	17.11	1.59	1.14
PN G352.9+11.4	K2-16	6033785806546839936	B	251.2044	-28.068	0.02	14.09	0.74	0.09
PN G352.9-07.5	Fg3	4035783611879028736	B	270.0492	-38.8313	0.04	12.07	0.58	0.17
PN G352.9-09.8	WRAY16-376	672600475794446848	A	272.6565	-39.8874	0.14	15.0	0.29	-0.34
PN G353.0+08.3	MyCn26	6029584057264295168	A	253.947	-29.8385	0.38	15.67	0.71	-0.86
PN G353.2-10.4	Kn74	6725816913248112128	A	273.5452	-39.9232	0.6	16.87	0.29	-0.42
PN G353.3+06.3	M2-6	6028519485121240832	A	256.0764	-30.8914	0.15	16.27	1.84	-0.44
PN G353.3-08.3	SB39	4036109209068689024	A	271.1326	-38.7938	3			

Tabla A.3 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G354.0-00.8	PHRJ1734-3426	4053553064114573056	A	263.5568	-34.433	1.44	19.11	8.79	-1.2
PN G354.0-01.3	PPAJ1736-3444	4053343121809563904	B	264.0238	-34.7352	0.45	18.12	6.33	0.22
PN G354.0-05.8	BMPJ1755-3701	403729705965530496	B	268.8548	-37.0305	4.74	20.22	1.1	-0.08
PN G354.1-01.1	MGE354.1474-01.1141	4053537460487078656	A	263.8661	-34.4886	3.2	16.48	7.64	-1.34
PN G354.2+04.3	M2-10	5980550511636230656	B	258.5293	-31.3286	0.38	17.22	2.33	-0.13
PN G354.4-07.8	H1-52	4036334471597172352	B	271.24	-37.6354	0.49	19.46	0.43	-0.06
PN G354.5+03.3	Th3-4	5980371256845517056	A	259.7164	-31.6518	0.36	18.21	4.6	-0.48
PN G354.5-02.0	PPAJ1740-3438	4053388996355025024	B	265.0368	-34.6374	0.8	20.03	4.64	0.1
PN G354.5-03.9	Sab41	4041043675655024128	B	267.0681	-35.6418	0.8	17.68	1.42	0.1
PN G354.6+04.9	TerzN139	5980734233101949696	A	258.2228	-30.669	1.11	20.13	2.32	-0.22
PN G354.6-11.4	Pa48	6726675833653416832	B	275.3743	-39.1382	0.05	14.93	0.26	-0.07
PN G354.7+02.8a	MGE354.7174+02.8360	5979629292619929216	B	260.3151	-31.8247	0.81	20.64	6.09	0.93
PN G354.7-03.9	MPAJ1748-3530	4041421362193585152	B	267.2026	-35.5081	0.91	19.44	1.68	0.17
PN G354.7-10.0	SB41	6727598809253337088	B	273.9127	-38.4657	0.09	18.37	0.3	-0.15
PN G354.8+01.6	PHRJ1726-3221	4057770309694460032	A	261.6075	-32.3639	0.26	15.16	12.18	-1.73
PN G354.8-00.5	PHRJ1735-3333	4053754343496410496	B	263.7601	-33.5567	5.23	20.9	18.28	-2.11
PN G354.9-05.7	K5-36	4040437604099840896	A	269.2526	-36.2545	0.37	18.5	1.22	-0.48
PN G355.0+05.8	PHRJ1710-2946	6028875559456445056	B	257.6988	-29.7773	0.68	18.69	1.7	1.12
PN G355.0-03.7	K5-18	4041450327354434304	A	267.1233	-35.0913	1.36	19.62	1.79	-1.73
PN G355.0-06.1	PNPM11-196	4037422026077765376	B	269.7265	-36.3546	0.08	17.86	0.95	1.11
PN G355.1+02.3	Th3-11	4058037456681232512	A	261.1097	-31.7222	0.37	19.47	7.68	-1.09
PN G355.1+04.7	TerzN140	5980759762410203264	B	258.7615	-30.3422	1.66	20.27	2.16	-0.2
PN G355.2-02.0	PPAJ1741-3405	4053444556158195712	B	265.4961	-34.0929	0.43	20.01	3.28	0.33
PN G355.3+03.1	PPAJ1721-3110	4058127852814158208	B	260.4121	-31.1763	0.24	18.16	4.8	0.4
PN G355.3+03.8	MPAJ1719-3043	4058948024160146176	A	259.8336	-30.7279	0.02	15.47	3.01	-1.03
PN G355.3+05.2	PHRJ1713-2957	6028833468753007104	B	258.3963	-29.9603	2.21	20.11	1.75	0.75
PN G355.3-03.2	PPAJ1747-3435	4041711044735017856	A	266.7847	-34.5953	0.22	18.78	2.14	-0.27
PN G355.3-07.5	SB42	4038618088434289664	A	271.469	-36.7601	0.34	18.14	0.45	-0.25
PN G355.3-12.9	PaKn1	6726848525705542016	A	277.5203	-39.1698	0.45	17.98	0.18	-0.56
PN G355.4-02.4	M3-14	4041797566848828288	A	266.086	-34.1113	0.55	18.91	2.72	-0.24
PN G355.4-04.0	H2-1	4041465647722562688	B	267.8007	-34.9231	0.44	17.4	1.19	0.15
PN G355.5+03.6	PHRJ1720-3041	4058951288267950080	B	260.1257	-30.6962	0.4	18.5	3.31	1.38
PN G355.5-02.1	[GKF2010]MN63	4053829041534822912	B	265.789	-33.8538	3.47	20.8	4.2	-0.39
PN G355.5-02.8	MPAJ1746-3412	4041758053185606656	B	266.577	-34.2103	0.03	15.54	2.46	-0.06
PN G355.6+03.6	PHRJ1720-3038	4058974962180576640	B	260.1792	-30.6432	1.28	20.21	3.2	0.2
PN G355.6+05.1	MPAJ1714-2946	4107290561090116224	A	258.7014	-29.7797	0.46	17.47	1.5	-0.3
PN G355.6-02.3	PHRJ1744-3355	4041804473208281088	B	266.1163	-33.9222	0.49	16.64	3.18	0.03
PN G355.7-03.4	H2-23	4041553853231641728	A	267.2417	-34.3648	0.22	18.53	2.0	-0.65
PN G355.7-03.5	H1-35	4041552891219095552	B	267.308	-34.3813	0.16	14.53	1.93	-0.02
PN G355.8-08.7	SB43	4037722639347789056	B	273.0983	-36.8806	1.7	20.53	0.32	0.23
PN G355.9+00.7	PPAJ1732-3201	4054847803471988608	A	263.1854	-32.0188	0.06	18.69	27.57	-2.08
PN G355.9+02.7	Th3-10	4058241003761354112	B	261.1702	-30.8664	0.37	20.45	5.66	-0.27
PN G355.9+03.6	H1-9	4058987022459300096	B	260.3829	-30.3469	0.34	14.78	2.99	0.05
PN G355.9+06.1	TerzN7	4107592338352252544	B	257.9978	-28.8595	0.24	17.73	1.38	-0.11
PN G355.9-04.2	M1-30	4040819138994544384	B	268.2456	-34.6397	0.25	16.32	1.52	0.32
PN G356.0+02.8	PNPBOZ3	4058250212203025792	A	261.2432	-30.7178	0.21	20.11	5.46	-0.2
PN G356.0-07.4a	SB44	4038767175336290560	B	271.7826	-36.0459	0.66	18.9	0.45	-0.06
PN G356.0-07.4b	SB45	4038672754819227264	A	271.7188	-36.1113	0.9	17.44	0.47	-0.52
PN G356.1-08.6	SB46	4037941579558523776	B	273.1661	-36.5304	0.22	18.15	0.31	-0.16
PN G356.2-00.3	Th3-34	4054958446132297960	A	264.437	-32.2583	0.1	19.57	33.61	-2.25
PN G356.2-03.2	PHRJ1749-3347	4041855806575405696	B	267.349	-33.7948	0.42	17.84	3.57	0.78
PN G356.2-08.9	PHRJ1814-3635	4037753460036201088	A	273.5567	-36.5932	0.57	15.14	0.28	-0.45
PN G356.3-02.0	MGE356.3082-02.0001	4054013759512045440	B	266.1485	-33.129	2.25	18.88	4.97	-0.03
PN G356.4+04.8	PHRJ1718-2914	4059385831579454336	B	259.5507	-29.2496	0.58	18.49	2.05	1.19
PN G356.4-06.8	SB47	40390313330038460736	A	271.31	-35.4688	0.21	17.53	0.61	-0.48
PN G356.5+01.5	Th3-55	4058329259618656896	B	262.7452	-31.0183	0.31	18.64	10.26	-1.53
PN G356.5+05.1	Th3-3	4107444527139217920	B	259.3353	-28.9914	1.19	19.48	1.77	0.62
PN G356.5+19.1	Pa43	6052674037595540440	A	247.1026	-20.3857	0.06	18.93	2.0	-0.53
PN G356.5-01.3	[GKF2010]MN62	4054422698413968768	A	265.5821	-32.5922	3.13	20.06	9.24	-0.8
PN G356.5-01.8	PPAJ1744-3252	4054021662258469248	B	266.1167	-32.8690	0.54	19.87	5.6	-0.19
PN G356.5-02.3	M1-27	4053955824662571648	A	266.6895	-33.1431	0.38	13.95	4.46	-0.77
PN G356.5-03.9	H1-39	4043128594411861120	B	268.3376	-33.9329	0.2	15.47	1.99	0.06
PN G356.5-04.1	PPAJ1754-3358	4043113059511396480	A	268.5122	-33.9811	0.61	17.78	1.78	-0.48
PN G356.6+05.9	Kn124	4107710952444522496	B	258.5934	-28.4576	0.39	17.42	1.31	-0.15
PN G356.6+07.5	K6-20	4108539434533747840	A	257.1873	-27.5174	1.08	18.0	1.03	-0.24
PN G356.6-01.9	TerzN23	4054029388868023168	A	266.2901	-32.7707	3.1	19.27	7.62	-1.38
PN G356.7-02.6	MGE356.72746-02.631	4041970220238068608	B	267.0531	-33.0977	0.5	19.77	4.14	0.53
PN G356.7-04.7	MPAJ1757-3410	4042368797554199936	B	269.2523	-34.1781	0.2	18.85	1.23	-0.04
PN G356.7-04.8	H1-41	4042368312133298816	A	269.3296	-34.1636	0.55	16.26	1.19	-0.5
PN G356.8-03.0	K5-20	4041908991157987072	A	267.5448	-33.2384	0.29	18.43	3.1	-0.64
PN G356.8-03.6	PHRJ1752-3330	4043198031104721664	A	268.1217	-33.5012	0.09	14.82	2.27	-0.23
PN G356.8-11.7	Lo17	6727251191784579072	A	276.9622	-37.2653	3.05	18.26	0.25	-0.57
PN G356.9+00.9	PPAJ1734-3102	4055336089712420480	A	263.6432	-31.0355	0.41	20.46	21.39	-1.86
PN G356.9+04.5	M2-11	4059405489712017280	A	260.1385	-29.0109	0.48	17.38	2.29	-0.74
PN G357.0-04.4	PHRJ1756-3342	4042399682594893056	B	269.1651	-33.7091	2.34	18.42	1.63	-0.54
PN G357.1+03.6	M3-7	4059510458668468992	B	261.1435	-29.4055	0.44	16.19	2.39	-0.08
PN G357.1-04.7	H1-43	404238085782632176	B	269.5602	-33.7938	0.18	14.99	1.51	0.24
PN G357.1-05.3	BMP1800-3407	4042217438615964800	B	270.111	-34.13	2.35	19.81	1.37	0.89
PN G357.1-06.1	M3-50	4042158138029882752	B	271.0217	-34.4769	0.5	20.72	0.96	0.18
PN G357.2+01.4	A12-H	4058374899352518784	A	263.3209	-30.4415	0.37	19.86	10.07	-1.71
PN G357.2+01.5	MGE357.2013+01.5550	4058420739614294784	B	263.1723	-30.4759	2.22	14.91	9.44	-1.25
PN G357.2+07.2	TerzN5	4108636668226400384	B	257.8119	-27.1921	0.88	20.02	1.91	0.33
PN G357.2-02.6	MGE357.2784-02.6349	4043490608600754944	B	267.3926	-32.627	1.16	19.53	5.25	0.77
PN G357.2-04.5	H1-42	4042401439317575168	A	269.3549	-33.5953	0.23	16.5	1.61	-0.75
PN G357.2-09.8	SB49	4038191134317113856	B	275.0385	-36.1226	1.23	16.94	0.3	0.04
PN G357.3+01.3	PHRJ1733-3029	4058464612620788736	A	263.4925	-30.4959	0.7	19.11	11.59	-0.91
PN G357.3+02.8	PHRJ1728-2936	4058717053628807424	A	262.0372	-29.615	0.51	20.21	3.43	-0.27
PN G357.3+03.3	M3-41	4059513619827242496	B	261.4992	-29.3639	0.16	15.6	2.71	0.09
PN G357.3+04.0	H2-7	4059722355127320080	A	260.8539	-28.985	0.15	18.73	2.62	-0.36
PN G357.3+05.7	PHRJ1717-2759	4107751084656945408	B	259.2567	-27.9915	0.08	20.01	2.16	0.01
PN G357.3-02.0	PPAJ1747-3215	4055565445282016512	A	266.8688	-32.2629	0.28	19.34	8.82	-0.86
PN G357.3-06.5	SB50	4039144990809866880	A	271.5343	-34.5583	1.19	18.87	0.81	-0.37
PN G357.4+22.8	KnPa2	6246462897568952192	A	244.6546	-17.4042	0.09	16.77	0.51	-0.63
PN G357.4-03.2	M2-16	4043444738420202880	A	268.1432	-32.7643	0.44	18.64	2.44	-0.24
PN G357.4-03.5	M2-18	4043426149764410240	B	268.4077	-32.98	0.09	16.73	2.18	-0.13
PN G357.4-04.6	M2-22	4042499910043679232	B	269.6357	-33.4769	0.49	17.07	2.1	0.13
PN G357.4-07.2	SB51	4039268243468439168	B	272.3198	-34.7971	0.5	18.95	0.62	0.97

Tabla A.3 – *Continuación de la página anterior*

Nombre PNG	Nombre Simbad	Gaia EDR3 ID	Calidad grupo	RA (°)	Dec (°)	D_{ang} (as)	G (mag)	A_V (mag)	$(GBP-GRP)_0$ (mag)
PN G358.0-04.6	Sa3-107	4042539909060351104	B	269.9792	-32.9866	0.48	16.75	1.97	0.0
PN G358.2+001.0	KnJ1737.3-2952	4059999638214891392	B	264.3305	-29.8713	0.18	19.68	3.63	1.45
PN G358.2+01.4	MGE358.2600	4058565153580197760	B	263.9316	-29.6395	0.23	18.92	4.12	1.53
PN G358.2+03.5	H2-10	4059671537243938944	A	261.8869	-28.5186	0.22	19.1	2.85	-0.46
PN G358.2+04.2	M3-8	4059931331159092736	B	261.2171	-28.0985	0.61	18.08	2.65	0.02
PN G358.3+03.0	H1-17	4059627659823489024	A	262.4191	-28.6729	0.25	16.66	3.47	-0.39
PN G358.3-07.3	SB52	4039592182712537728	B	272.9166	-34.0064	1.38	18.8	0.64	0.1
PN G358.3-21.6	IC1297	6714803311390242048	A	289.3477	-39.6129	0.21	15.71	0.27	-0.49
PN G358.4+02.5	MGE358.4694+02.5544	4058861403256669312	B	263.005	-28.8672	3.26	20.44	3.63	-1.24
PN G358.4+02.7	PHRJ1731-2850	4058860024479453184	B	262.8095	-28.8437	0.54	17.33	1.36	0.94
PN G358.4-04.5	K6-38	4043676185562267520	B	269.996	-32.5995	0.06	16.43	1.8	-0.01
PN G358.5+02.6	M3-57	4058868309558781952	B	262.9474	-28.7007	0.05	18.25	3.54	-0.02
PN G358.5+02.9	A12-F	4059634527341796480	B	262.6268	-28.5986	0.18	19.01	0.95	0.57
PN G358.5-01.7	JaSt64	4055921240421711744	A	267.2334	-31.1119	0.22	19.98	8.42	-0.98
PN G358.5-02.5	PNM4-7	4055661893097358208	B	267.9362	-31.6003	0.89	18.89	5.34	-0.97
PN G358.5-04.2	H1-46	4043695079072981248	B	269.7605	-32.3621	0.17	15.13	1.84	0.05
PN G358.5-07.3	NGC6563	4039600536544395392	A	273.0108	-33.8685	2.23	17.28	0.61	-1.02
PN G358.6+07.8	M3-36	4109362831302119552	A	258.1632	-25.7271	0.17	16.83	1.43	-0.37
PN G358.6-01.1	JaSt58	4056008823359403904	A	266.7174	-30.6282	1.24	21.07	10.88	-1.68
PN G358.6-02.4	K6-16	4055693053035857152	B	268.0015	-31.2974	0.6	19.15	4.28	-0.07
PN G358.6-03.6	PHRJ1756-3157	4043955732093696256	B	269.1813	-31.9597	2.96	19.59	2.42	0.83
PN G358.7+05.2	M3-40	4108085748534671744	B	260.6179	-27.1451	0.25	16.93	4.14	-0.3
PN G358.7-05.0	H1-50	4042891061192838400	A	270.973	-32.695	0.62	15.6	1.46	-0.67
PN G358.7-08.8	Pa46	4044593693643693312	A	274.797	-34.3385	0.49	18.75	0.34	-0.68
PN G358.8+01.7	JaSt5	4060288397548604160	B	263.9679	-28.9743	0.49	20.44	4.51	0.26
PN G358.8+04.0	Th3-15	4059922328851552768	B	261.7944	-27.7327	0.05	19.1	1.05	0.8
PN G358.8-07.6	PHRJ1814-3340	4039445191760518400	B	273.5127	-33.6814	3.0	17.13	0.53	0.96
PN G358.9+03.2	H1-20	4061195563412585344	B	262.6825	-28.0686	0.21	19.96	3.36	-0.15
PN G358.9+04.7	PHRJ1724-2716	4108036407947330176	A	261.2275	-27.2731	0.52	20.35	3.35	-0.41
PN G358.9-00.7	M1-26	4056786556015410816	B	266.4903	-30.2002	0.25	12.61	1.86	0.46
PN G358.9-01.5	JaSt65	4055974360527366272	B	267.3334	-30.6017	0.38	17.69	4.16	0.48
PN G358.9-03.7	H1-44	4043963707852231808	B	269.5443	-31.7156	0.12	18.64	2.74	0.11
PN G359.0+03.9	Kn126	4061424669711218304	B	262.025	-27.6548	0.16	17.34	3.13	0.12
PN G359.1+15.1	Abell40	4127291600965496320	A	252.1437	-21.014	0.14	18.84	1.56	-0.26
PN G359.1-02.3	M3-16	4056131006637615488	A	268.1919	-30.8264	0.59	17.07	4.31	-1.0
PN G359.2-33.5	Hen3-1863	6680314483486887552	A	304.8696	-41.5243	0.05	10.74	0.11	-0.28
PN G359.3+02.4	V972Oph	4060410237177118976	A	263.6821	-28.1759	3.99	20.41	3.96	-1.13
PN G359.3+03.6	A12-E	4061439208263407616	B	262.5602	-27.5057	1.09	20.43	3.79	-0.41
PN G359.3-00.9	Hb5	4056807274938145024	A	266.984	-29.9942	0.64	17.7	10.46	-1.88
PN G359.3-01.8	M3-44	4056355822397882880	B	267.8288	-30.3981	0.38	16.03	3.96	0.18
PN G359.3-02.8	MPAJ1755-3058	4056070426251181568	A	268.805	-30.9698	2.24	18.44	4.3	-0.24
PN G359.4-03.3	PHRJ1757-3106	4044067061987628032	B	269.4654	-31.103	0.21	17.45	2.71	0.91
PN G359.4-03.4	H2-33	4044019130131217408	A	269.5523	-31.1351	0.43	18.85	2.83	-0.43
PN G359.4-05.6	BMPJ1807-3215	4043004693207939584	B	271.7794	-32.2561	0.6	17.61	1.43	0.59
PN G359.4-06.3	PPAJ1809-3233	4042752973769893504	B	272.4701	-32.5623	0.57	17.1	1.12	-0.08
PN G359.4-08.5	SB55	4044653651432842752	B	274.8608	-33.6186	0.1	15.82	0.43	0.27
PN G359.6+02.2	A12-K	4060495277524149504	B	264.0591	-28.0129	0.21	19.22	4.69	0.04
PN G359.6-04.8	H2-36	4043846678596007168	B	271.0323	-31.653	0.81	19.11	1.73	0.06
PN G359.7+06.0	BMPJ1721-2554	410991320556555072	A	260.4919	-25.9068	0.48	19.32	1.52	-0.68
PN G359.7-01.8	M3-45	4056389975989346816	A	268.0248	-30.0873	0.6	17.66	3.27	-0.36
PN G359.7-02.2	PPAJ1753-3021	4056180244160376832	B	268.4976	-30.3639	1.1	18.48	4.27	0.41
PN G359.7-05.0	PHRJ1805-3140	4043098907643388928	B	271.3758	-31.6712	0.19	17.08	1.53	0.77
PN G359.7-05.7	PHRJ1808-3201	4043014107780093056	B	272.0429	-32.0237	6.34	16.1	1.14	0.56
PN G359.8+02.4	Th3-33	4060520527559308800	B	263.9505	-27.7223	0.09	19.27	3.74	0.29
PN G359.8+05.2	TerrN19	4109665712365779968	B	261.3484	-26.1981	0.49	19.04	2.18	0.03
PN G359.8+05.6	M2-12	4109870908774509184	B	261.0061	-25.9898	0.36	14.25	1.61	0.12
PN G359.8-07.2	M2-32	4045707288433971072	A	273.7108	-32.6154	0.17	15.6	0.67	-0.79
PN G359.9+03.7	Th3-28	4061565338478409088	B	262.7367	-26.9864	0.1	17.56	3.93	0.62
PN G359.9+05.1	M3-9	4109665059557150592	B	261.4307	-26.1987	0.1	17.68	1.86	0.26
PN G359.9-05.4	KFL9	4049041248260620800	B	271.8306	-31.7156	0.85	18.02	1.33	-0.12

Referencias: valores de extinción obtenidos de Cahn et al. [53], Frew [6], Frew et al. [32], Green et al. [54], Schlegel et al. [73], y Tylenda et al. [52].

A.4 Tabla Datos Astrométricos - Gaia EDR3

Nombre PNG	Paralaje (mas)	ER paral. (mas)	Distancia (pc)	Dist. baja (pc)	Dist. alta (pc)	$\langle z \rangle$ (pc)	$\langle R \rangle_\phi$ (as)	$\langle R \rangle_{f_i}$ (pc)	V_{elrad} (km/h)	Morf.	Tipo esp.
PN G000.3+12.2	0.414	0.053	2456	2224	2735	520	6.8	0.081	-34	B	OH3 If
PN G000.3-04.2	0.207	0.047	5676	4518	7107	-418	18	0.495	...	R	...
PN G001.0+01.4	0.749	0.067	1342	1228	1468	35	16.1	0.105	...	E	...
PN G002.0-06.2	0.283	0.051	3852	3251	4559	-418	2.6	0.049	-119	E	O5f(H)
PN G002.4+05.8	0.963	0.06	1053	1005	1116	107	14.8	0.075	-106	E	[WO 3]
PN G002.4-03.4	0.256	0.033	4084	3624	4701	-247	7.8	0.153	...	E	...
PN G002.4-03.7	0.163	0.031	6067	5181	6819	-396	1.8	0.051	-92	S	OH7-8
PN G002.7-52.4	0.862	0.056	1167	1104	1236	-925	65.1	0.368	-26	R	hgOH
PN G002.9+06.5	0.238	0.048	4803	3896	5714	549	2.5	0.058	70	R	...
PN G003.3+66.1	1.482	0.242	729	603	905	667	23.8	0.084	-17	R	DAO
PN G003.3-04.6	0.157	0.025	6586	5595	7376	-535	5.3	0.168	157	E	B0I-III
PN G003.4+01.4	0.508	0.078	2131	1870	2477	52	7.5	0.077	...	E	...
PN G006.4-03.4	0.204	0.049	5473	4484	6638	-331	13.5	0.358	...	E	...
PN G006.9-30.2	2.916	0.048	342	337	346	-172	7650	12.691	...	...	...
PN G007.0+06.3	0.219	0.05	4761	4147	5761	525	3.2	0.074	-26	E	...
PN G007.9+10.1	0.269	0.047	3954	3432	4742	697	3.6	0.069	-45	S	...
PN G009.1-03.4	0.28	0.062	4099	3446	5172	-245	44.5	0.884	...	I	...
PN G009.4-05.5	0.523	0.024	1943	1873	2043	-171	8	0.076	13	E	[WC5/6]
PN G009.6+14.8	0.408	0.078	2580	2195	3030	660	8.8	0.11	-40	B	O(He)
PN G010.8-01.8	0.412	0.049	2484	2255	2728	-79	6	0.072	5	E	Of
PN G011.3+02.8	0.293	0.053	3668	3103	4321	182	2.5	0.044	-62	...	...
PN G011.7-00.6	0.392	0.043	2568	2362	2798	-29	3.6	0.045	120	E	[WC5/6]
PN G011.7-41.3	2.34	0.048	428	420	437	-283	600	1.245	...	...	sdO
PN G011.8+03.7	0.606	0.036	1662	1572	1750	110	19	0.153	...	E	...
PN G012.1-11.2	0.183	0.036	5605	4588	7160	-1091	9.6	0.262	...	E	OH6IV
PN G013.8-02.8	0.572	0.077	1913	1676	2214	-94	47.5	0.441	...	B	...
PN G014.0-02.5	0.277	0.07	3924	3181	4828	-173	3	0.057	...	E	...
PN G014.4-06.1	0.185	0.054	5610	4558	7251	-601	5.4	0.146	72	S	wels
PN G014.8-08.4	0.395	0.055	2654	2378	3050	-392	9	0.116	-24	E	OH3-4
PN G014.8-25.6	1.512	0.245	731	612	877	-316	32.3	0.114	...	E	...
PN G015.4+05.6	0.11	0.031	7808	6529	9766	769	4.5	0.17	...	R	...
PN G015.4-04.5	0.225	0.053	4957	4173	6409	-397	3	0.072	46	R	OH3 If
PN G016.4-01.9	0.449	0.017	2226	2154	2309	-77	5.9	0.063	29	R	OH7I(fc)
PN G016.9-09.7	0.368	0.058	2896	2465	3428	-488	29	0.407	...	...	...
PN G017.3-21.9	0.699	0.039	1424	1360	1494	-533	59.5	0.411	13	E	OH+?
PN G017.6-10.2	0.584	0.032	1761	1662	1865	-313	29.6	0.252	3	R	OH3-5V
PN G019.8-23.7	0.863	0.19	1184	985	1420	-477	139.5	0.8	...	R	...
PN G020.3-06.9	0.228	0.022	4471	4118	4973	-543	11	0.238	...	...	...
PN G020.7-05.9	0.294	0.028	3538	3268	4071	-368	3.5	0.06	46	R	OH4-8III
PN G020.7-08.0	0.754	0.066	1364	1253	1487	-191	105	0.694	...	B	OH3-5V
PN G021.4+02.5	0.161	0.035	6018	4973	6929	270	30	0.875	...	R	...
PN G022.9+22.7	1.125	0.131	906	800	1050	351	180	0.791	...	A	...
PN G025.3+40.8	0.434	0.048	2294	2074	2595	1500	7.5	0.083	22	E	OH5f
PN G025.4-04.7	0.649	0.068	1639	1449	1853	-135	49.8	0.395	-13	E	hgOH
PN G026.0+46.6	0.338	0.04	2949	2617	3537	2144	60	0.858	...	...	...
PN G026.1-17.6	1.018	0.015	983	970	999	-298	247.5	1.179	...	A	...
PN G026.5-03.0	0.264	0.078	4464	3528	5498	-220	2.2	0.048	...	...	...
PN G027.4-03.5	0.209	0.058	4873	4077	5859	-298	7.5	0.177	47	R	...
PN G027.6+16.9	0.593	0.044	1692	1568	1804	492	55	0.451	...	R	sdO
PN G029.2-05.9	0.33	0.047	3077	2716	3509	-419	11.8	0.176	-43	E	[WO 4]
PN G029.3-01.2	0.781	0.061	1303	1203	1399	-28	29.3	0.185	...	B	...
PN G030.5-18.4	7.763	0.064	129	128	130	-41	1350	0.844	...	...	DA
PN G030.8+03.4a	1.921	0.268	546	493	628	33	...	...	...	S	...
PN G031.0-10.8	0.254	0.076	4216	3425	5268	-797	3.5	0.071	48	E	...
PN G032.1-06.2	8.06	0.038	124	124	125	-14	600	0.361	...	...	...
PN G033.1-06.3	1.13	0.193	1001	835	1249	-111	37.9	0.184	0	B	...
PN G034.1-10.5	0.553	0.072	1821	1618	2045	-332	39.5	0.349	...	R	hgOH
PN G034.6+11.8	0.572	0.071	1788	1609	1991	367	7	0.061	-9	B	Of-WR(H)
PN G034.7-06.2	0.209	0.027	4765	4335	5238	-520	7.8	0.179	...	R	...
PN G035.7+19.2	0.313	0.057	3299	2807	4026	1085	26.3	0.42	...	E	...
PN G036.0+17.6	0.478	0.034	2091	1984	2206	633	40	0.405	-42	R	O7fk
PN G036.1-57.1	5.036	0.046	199	197	200	-157	426.3	0.41	-15	B	DAO.5
PN G037.7-34.5	0.852	0.069	1182	1116	1262	-671	12.5	0.072	-47	B	OH
PN G038.2+12.0	0.173	0.042	5594	4592	7246	1171	2.6	0.07	-11	E	OH7 Ib
PN G039.0-04.0	0.285	0.02	3529	3325	3798	-252	16	0.274	...	E	OHIII-V
PN G039.5-02.7	0.233	0.062	4960	3997	6425	-242	3	0.071	23	E	O3-6
PN G040.8-09.7	0.563	0.074	1833	1622	2099	-311	80	0.711	...	...	...
PN G041.8-02.9	2.032	0.071	494	475	514	-26	62.5	0.15	4	B	DAO
PN G043.1+03.8	0.187	0.023	5464	4889	6308	363	2.1	0.054	4	E	EL
PN G043.1+37.7	0.517	0.039	1923	1836	2058	1177	7	0.065	-36	B	OH3
PN G044.3-04.1	0.374	0.098	3137	2402	3998	-226	...	...	...	...	...
PN G045.1-20.9	1.478	0.019	677	669	686	-242	90	0.296	...	...	...
PN G046.8+03.8	1.438	0.109	696	652	755	47	297.5	1.004	...	I	PG1159
PN G047.0+42.4	0.853	0.044	1158	1104	1210	782	81	0.455	...	R	DAO.7
PN G048.7-01.5	0.912	0.044	1100	1046	1157	-30	47	0.251	...	B	...
PN G051.3+01.8	0.447	0.02	2230	2143	2332	71	10	0.108	13	R	OH9I
PN G051.9-03.8	0.256	0.031	4013	3631	4433	-271	3.7	0.072	-14	B	OH3.5If
PN G052.5-02.9	0.277	0.025	3639	3361	3868	-188	2.2	0.039	-6	B	K1-2II+?
PN G053.8-03.0	0.398	0.027	2495	2332	2707	-132	22.5	0.272	...	B	sdO+?
PN G053.9-33.2	0.63	0.059	1605	1484	1734	-881	270	2.101	...	...	sdO2VI
PN G054.1-12.1	0.423	0.039	2424	2254	2593	-509	6.6	0.077	42	E	OH3 Ib
PN G055.0-15.1	0.677	0.031	1482	1422	1551	-385	600	4.311	...	...	...
PN G055.4+16.0	0.416	0.03	2538	2325	2757	701	45.3	0.557	...	E	O9k
PN G055.6+02.1	0.134	0.032	7037	6133	8501	265	2.5	0.085	...	E	O9-B0I
PN G056.1-03.8	0.14	0.037	6386	5390	7459	-426	16	0.495	...	R	...
PN G057.0+07.8	0.627	0.015	1597	1564	1630	217	8.5	0.066	-14	R	...
PN G057.9-09.8	0.632	0.02	1593	1540	1637	-271	140	1.081	...	B	...
PN G058.6+06.1	0.495	0.078	2091	1820	2450	225	18.5	0.188	...	B	OH
PN G058.8-16.9	0.792	0.045	1261	1195	1326	-368	172.5	1.055	...	E	sd
PN G059.1-00.7	2.548	0.047	393	386	399	-5	121.3	0.231	...	E	DA1
PN G059.7-00.8	0.371	0.035	2700	2546	2964	-39	6.3	0.082	...	E	...
PN G059.7-18.7	0.551	0.067	1843	1632	2027	-592	68	0.608	32	E	PG1159
PN G060.8-03.6	2.579	0.039	387	381	394	-25	203.8	0.382	-42	B	DAO.6
PN G061.4-09.5	0.385	0.029	2603	2462	2781	-433	19.7	0.249	-4	B	[WO 2]
PN G062.9-25.2	1.913	0.071	521	504	540	-222	675	1.704	...	...	DAOZ.8
PN G063.1+13.9	1.29	0.053	783	751	811	189	38.8	0.147	-19	E	hgOH
PN G064.6+48.2	0.366	0.031	2717	2511	2966	2029	16	0.211	1	B	OH3
PN G064.7+05.0	0.641	0.04	1562	1491	1630	137	2.9	0.022	-30	E	[WC9]
PN G064.9-09.1a	0.265	0.076	3961	3158	5059	-629	6	0.115	...	R	...
PN G065.4+20.2	1.335	0.092	750	708	819	259	150	0.546	...	E	...
PN G065.9+00.5	0.481	0.04	2145	2001	2315	22	27	0.281	...	R	...
PN G066.7-28.2	0.626	0.035	1607	1531	1700	-760	50.4	0.393	-101	E	hybrid
PN G069.4-02.6	0.691	0.138	1524	1329	1795	-70	27.4	0.203	-58	E	WD?
PN G069.6+15.7	0.45	0.039	2255	2083	2464	612	75	0.82	...	...	...

Continúa en la próxima página

Tabla A.4 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Paralaje (mas)	ER paral. (mas)	Distancia (pc)	Dist. baja (pc)	Dist. alta (pc)	$\langle z \rangle$ (pc)	$\langle R \rangle_\phi$ (as)	$\langle R \rangle_{fi}$ (pc)	Vel _{rad} (km/h)	Morf.	Tipo esp.
PN G071.3-00.6	0.265	0.04	3935	3428	4915	-44	4.2	0.079	...	B	...
PN G072.0-24.6	0.733	0.042	1374	1301	1451	-573	87.5	0.583	...	I	sdO
PN G072.7-17.1	1.5	0.091	672	639	705	-198	401	1.307	18	R	DAO
PN G075.0-07.2	0.698	0.012	1437	1413	1459	-180	33	0.23	-51	E	...
PN G075.7-35.8	0.187	0.029	5353	4670	6077	3134	7.5	0.195	...	R	OH3V
PN G075.9-11.6	0.639	0.028	1568	1497	1633	317	99.8	0.758	...	...	OH3+?
PN G076.3+14.1	0.431	0.044	2321	2126	2620	566	77.8	0.875	...	E	OH+?
PN G076.3-02.5	0.324	0.011	3097	2992	3210	-140	...	...	...	...	...
PN G077.6+14.7	0.61	0.064	1631	1501	1822	416	99.8	0.789	-48	R	DAO.57
PN G080.3-10.4	2.01	0.037	499	489	507	-90	336.3	0.813	...	B	PG1159
PN G081.2-14.9	0.607	0.029	1637	1561	1723	-421	59	0.468	17	E	[WC5]
PN G083.5+12.7	0.778	0.038	1275	1224	1336	282	12.8	0.079	-6	E	OH3f+?
PN G083.9-08.4	0.193	0.048	4964	4232	6063	-728	5	0.12	...	R	...
PN G084.6-07.9	0.456	0.066	2234	1986	2691	-310	40.3	0.436	...	B	...
PN G084.9+04.4	1.036	0.219	1116	898	1385	87	78.8	0.426	...	R	...
PN G085.3+52.3	1.286	0.043	783	752	809	620	330	1.252	...	...	PG1159
PN G086.1+05.4	0.48	0.086	2389	1979	2932	227	95	1.1	...	R	...
PN G089.0+00.3	0.337	0.037	2925	2713	3223	19	14.3	0.202	-40	B	[WO 3]
PN G089.1+08.7	0.175	0.021	6057	5231	7213	923	13.8	0.404	...	E	sdB
PN G089.3+12.8	0.259	0.044	3941	3383	4685	877	89.8	1.715	...	E	...
PN G089.3-02.2	0.377	0.011	2636	2565	2733	-104	3.9	0.05	...	S	B1
PN G090.8+06.1	1.007	0.03	1003	977	1030	107	32.5	0.158	...	E	...
PN G091.0+20.0	9.439	0.035	106	106	106	36	1800	0.924	...	...	DA
PN G091.0-06.3	1.5	0.113	688	640	746	-77	417.8	1.394	...	B	...
PN G093.4-03.2	1.536	0.094	655	619	691	-37	18	0.057	...	E	...
PN G094.0+27.4	0.581	0.037	1737	1645	1828	800	56.5	0.476	...	B	PG1159
PN G096.4+29.9	0.764	0.035	1317	1274	1372	658	12.2	0.078	-66	B	Of-WR(H)
PN G098.1-28.5	3.956	0.047	253	250	255	-121	825	1.011	...	...	...
PN G098.3-04.9	0.459	0.075	2199	1934	2519	-189	46	0.49	...	E	...
PN G099.1+05.7	0.224	0.064	4854	3783	6082	484	9.5	0.224	...	...	...
PN G099.7-08.8	0.803	0.128	1302	1159	1526	-202	118.8	0.75	...	E	...
PN G100.3+02.8	0.761	0.066	1339	1241	1438	66	56.5	0.367	...	E	...
PN G101.8+08.7	0.318	0.054	3245	2713	4133	494	28.5	0.448	...	E	...
PN G102.9-02.3	0.251	0.049	4023	3411	4759	-163	27	0.527	...	B	F0 V+?
PN G104.2-29.6	1.016	0.068	982	923	1053	-486	163	0.776	-67	E	PG1159
PN G105.4-14.0	0.493	0.057	2115	1845	2388	-514	112.5	1.153	...	E	...
PN G105.9-20.0	0.718	0.035	1400	1345	1474	-480	117.5	0.797	...	...	DO
PN G106.5-17.6	0.603	0.041	1643	1556	1735	-497	14.6	0.117	...	E	OH
PN G107.2+14.9	0.628	0.1	1655	1442	1988	-425	225	1.806	...	R	...
PN G107.6-13.3	0.191	0.038	4942	4404	5773	-1139	2.3	0.055	-50	R	OH3-4I
PN G107.7+07.8	1.221	0.1	816	759	885	111	432.5	1.711	-8	E	DA
PN G107.8+02.3	0.502	0.084	2110	1857	2502	85	16	0.164	-43	B	cont.
PN G114.0-04.6	0.553	0.017	1823	1765	1870	-149	56.8	0.502	-31	B	K0-IV+?
PN G114.7-01.2	0.624	0.027	1599	1539	1678	-35	11.1	0.086	...	R	...
PN G118.0-08.6	0.227	0.038	4216	3808	4916	-637	2.6	0.053	-50	E	OH
PN G120.0+09.8	0.618	0.018	1619	1574	1668	278	22.5	0.177	-21	B	[WC8]
PN G123.0+04.6	0.434	0.027	2297	2183	2340	185	81.8	0.911	...	E	...
PN G123.6+34.5	0.467	0.045	2131	1975	2340	1209	8.9	0.092	...	R	OH3
PN G124.3-07.7	0.304	0.025	3339	3029	3593	-452	90	1.457	...	...	...
PN G127.6-13.5	1.261	0.034	791	770	808	-186	360	1.338	-1	...	sdOHe
PN G130.2+01.3	0.289	0.046	3569	3148	4042	87	6.5	0.112	-63	E	[WO 4]
PN G131.5+02.6	0.465	0.07	2366	2045	2731	109	30	0.344	...	E	...
PN G135.6+01.0	0.672	0.024	1500	1450	1541	26	21.3	0.155	-12	B	K0-III+?
PN G136.1+04.9	0.889	0.15	1270	1074	1504	109	92	0.566	...	R	...
PN G136.3+05.5	1.445	0.016	692	685	700	67	240	0.805	-26	...	sdO+?
PN G136.6+61.9	0.87	0.057	1173	1087	1246	1035	193.8	1.102	...	...	sdOC
PN G137.6-30.0	1.395	0.039	724	703	744	-362	30	0.105	76	...	sdB
PN G138.8+02.8	0.661	0.051	1530	1438	1652	75	22.5	0.167	-13	E	OH
PN G139.3+04.8	0.592	0.065	1706	1546	1901	144	40	0.331	...	R	...
PN G143.5+08.7	1.042	0.018	958	943	973	599	1150	5.342	...	...	...
PN G144.1+06.1	0.613	0.02	1645	1598	1699	188	26.8	0.213	37	E	[WC4]
PN G144.8+65.8	0.739	0.027	1351	1310	1394	1233	111.3	0.729	-9	B	sdO+?
PN G146.1-08.1	4.342	0.041	230	228	233	-33	800	0.893	...	...	DA.5
PN G146.7+07.6	0.188	0.017	5232	4793	5907	692	1.8	0.046	-17	E	[WC11]
PN G147.8+04.1	0.245	0.065	4275	3429	5270	313	3	0.062	-7	R	cont.
PN G148.4+57.0	1.233	0.048	816	788	840	685	102.5	0.405	0	R	DAO
PN G149.4-09.2	1.096	0.074	914	858	973	-147	275	1.219	...	E	DAO.6
PN G149.7-03.3	2.356	0.06	424	415	435	-25	362.5	0.746	-2	R	PG1159
PN G150.1-04.5	0.481	0.065	2178	1860	2501	-172	31	0.327	...	R	...
PN G156.3+12.5	3.409	0.07	294	289	300	64	83.8	0.12	...	...	DA1.0
PN G158.6+00.7	7.877	0.05	127	126	128	1	2985	1.835	14	R	DAO.6
PN G158.8+37.1	2.597	0.075	386	374	398	233	161.5	0.302	-2	R	DAH:
PN G158.9+17.8	2.547	0.062	394	385	404	121	605	1.156	...	R	DAO.5
PN G162.1+47.9	3.183	0.047	315	311	319	234	1800	2.75	...	...	DA.4
PN G164.8+31.1	1.035	0.082	985	908	1060	510	184.8	0.882	-84	B	PG1159
PN G164.8-09.8	1.066	0.194	953	845	1150	-163	36	0.166	...	I	...
PN G165.5-15.2	2.237	0.018	446	443	450	-118	92.5	0.2	60	E	sdO+A0
PN G166.1+10.4	0.594	0.039	1697	1594	1823	309	5.1	0.042	-34	B	OH4f
PN G168.4+01.6	0.246	0.038	4278	3760	4944	123	6	0.124	...	B	...
PN G170.3+15.8	0.332	0.079	2978	2511	3693	814	10	0.144	38	R	OH
PN G171.3-25.8	0.751	0.207	1327	1129	1724	-578	26.8	0.172	-17	E	[WO]?
PN G176.7-33.8	6.888	0.074	146	144	147	-1	234	0.165	...	E	DAH
PN G183.0+00.0	0.391	0.107	2804	2309	3581	81	8.1	0.109	...	R	...
PN G185.1+00.9	0.425	0.062	2402	2121	2898	-39	144	1.677	...	R	...
PN G189.1+19.8	0.603	0.048	1692	1570	1835	574	19.9	0.163	21	B	[WO 1]
PN G190.3-17.7	0.349	0.071	2740	2374	3114	-836	3.9	0.052	-23	B	OH3 Vf
PN G191.4+33.1	1.828	0.061	552	536	569	301	1012.5	2.708	42	...	DAO.7
PN G192.8-24.7	2.272	0.065	441	427	451	-184	1800	3.844	...	...	DQZO.5
PN G193.6-09.5	0.292	0.02	3454	3227	3747	-575	15.3	0.255	7	R	G-K+?
PN G195.4-04.0	0.21	0.031	4734	4199	5297	-331	11.3	0.259	...	B	...
PN G196.6-10.9	0.476	0.065	2144	1894	2450	-407	13.4	0.139	14	E	OH
PN G197.0+05.8	1.421	0.224	771	662	914	79	17.5	0.065	...	E	...
PN G197.4-06.4	1.711	0.106	593	557	629	-67	465	1.338	16	E	DA.3
PN G197.8+17.3	0.572	0.049	1732	1609	1880	518	22.5	0.189	84	E	OH6f+?
PN G197.8-03.3	0.262	0.031	3778	3419	4138	-224	16.4	0.3	...	B	B8-9
PN G200.5-13.1	0.784	0.099	1324	1181	1521	-300	163.5	1.049	...	E	...
PN G200.7+08.4	4.159	0.019	241	240	241	35	31.8	0.037	...	E	...
PN G204.4-00.4	0.845	0.17	1460	1138	1841	-10	225	1.593	...	R	...
PN G205.1+14.2	1.704	0.072	584	563	608	144	316.3	0.896	29	E	PG1159
PN G206.4-40.5	0.779	0.062	1292	1206	1379	-840	16.3	0.102	-1	E	OH5+?
PN G208.5+33.2	0.484	0.035	2082	1944	2203	1143	63.5	0.641	...	R	PG1159+?
PN G211.4+18.4	0.67	0.157	1606	1350	1932	509	52.5	0.409	...	R	hgOH
PN G214.9+07.8	0.547	0.06	1852	1680	2034	252	32	0.287	...	R	OH
PN G215.2-24.2	0.754	0.03	1321	1269	1384	-543	6.3	0.04	62	E	O7fp
PN G215.5-30.8	1.951	0.048	512	501	523	-263	391.5	0.972	18	E	DAO.6
PN G215.6+03.6	0.765	0.019	1310	1275	1338	83	45.8	0.291	47	B	A5IV+sdO
PN G215.7-03.9	1.481	0.286	730	616	866	-51	310	1.097	...	E	Blue
PN G216.0+07.4	0.236	0.023	4262	3842	4949	555	35	0.723			

Tabla A.4 – *Continuación de la página anterior*

Nombre PNG	Paralaje (mas)	ER paral. (mas)	Distancia (pc)	Dist. baja (pc)	Dist. alta (pc)	$\langle z \rangle$ (pc)	$\langle R \rangle_\phi$ (as)	$\langle R \rangle_{f_i}$ (pc)	V_{elrad} (km/h)	Morf.	Tipo esp.
PN G217.1+14.7	1.364	0.102	750	692	793	191	189	0.687	13	B	...
PN G218.9-10.7	0.963	0.047	1051	1004	1111	-197	47	0.239	...	A	hgOH
PN G219.1+31.2	1.86	0.058	533	518	549	277	465	1.202	41	E	DAO
PN G219.2+07.5	0.303	0.041	3365	2960	3861	444	12.4	0.202	...	S	sdO
PN G219.3+01.1	0.635	0.074	1625	1484	1753	33	19	0.15	60	B	...
PN G221.0-01.4	0.362	0.016	2767	2645	2880	-68	33.3	0.446	46	E	wels
PN G222.8-04.2	0.084	0.017	10756	9159	12586	-801	10.8	0.561	...	B	[WC7/8]
PN G224.9+01.0	0.739	0.043	1376	1290	1476	26	39.3	0.262	...	E	hgOH
PN G227.3+12.9	1.219	0.081	818	773	871	183	462.5	1.834	...	E	...
PN G228.2-22.1	0.56	0.017	1791	1744	1845	-675	71	0.617	19	R	sdO+Ke
PN G231.1+03.9	0.491	0.044	2098	1912	2278	143	75.8	0.771	...	R	Blue
PN G232.0+05.7	0.125	0.023	7536	6571	8420	752	1.1	0.041	166	S	B
PN G232.8-04.7	0.255	0.034	3983	3564	4421	-329	2.6	0.05	16	E	WC10-11
PN G233.5-16.3	0.18	0.044	4869	4276	6207	-1368	17.8	0.421	35	R	OH
PN G235.3-03.9	0.259	0.03	3944	3578	4527	-270	0.9	0.017	96	B	O
PN G235.9+23.2	1.159	0.068	869	829	913	343	150	0.632	...	...	...
PN G237.0+00.7	0.647	0.128	1746	1411	2099	23	120	1.016	...	R	DAO
PN G237.3-08.4	0.536	0.156	2109	1653	2671	-308	42.3	0.432	...	E	Blue
PN G238.0+34.8	1.019	0.062	997	952	1044	570	135	0.653	60	R	DAO
PN G239.6+13.9	0.594	0.063	1719	1543	1913	414	24.3	0.203	88	E	WD?+?
PN G240.1-01.0	0.245	0.048	4202	3580	5093	-76	37.8	0.769	...	...	...
PN G240.3+07.0	0.189	0.056	4867	4025	6052	597	4	0.094	...	R	wels
PN G241.0+02.3	0.309	0.03	3252	2967	3582	134	15.8	0.248	25	E	cont.
PN G243.0+36.5	2.482	0.164	405	381	428	241	1800	3.531	...	...	...
PN G243.3-01.0	0.355	0.096	3055	2452	3859	-55	7.7	0.114	68	E	[WO1]
PN G243.8-37.1	0.143	0.037	6255	5094	8111	-3774	10.5	0.317	...	R	OH3-4+?
PN G244.5+12.5	0.913	0.133	1149	1022	1316	250	210	1.17	...	E	...
PN G245.1-05.5	0.825	0.123	1288	1105	1507	-125	297.3	1.856	...	B	Blue
PN G247.5-04.7	0.539	0.054	1897	1741	2085	-156	83.4	0.767	...	E	...
PN G248.7+29.5	0.841	0.069	1187	1103	1296	585	143.5	0.826	...	R	hgOH
PN G253.5+10.7	0.381	0.077	2730	2216	3473	511	40	0.529	66	B	OH+K2V
PN G253.9+05.7	0.385	0.04	2575	2379	2790	259	4.8	0.06	31	E	OH3I(4*)
PN G254.7-18.2	0.435	0.02	2296	2204	2395	-721	373.8	4.16	...	E	...
PN G255.3-59.6	1.251	0.041	803	781	827	-693	209	0.813	...	B	hgOH
PN G258.0-15.7	0.485	0.077	2096	1826	2394	-569	47	0.478	...	E	PG1159
PN G258.5-01.3	1.204	0.107	863	785	937	-19	271.3	1.135	...	B	DA
PN G259.1+00.9	0.646	0.087	1596	1436	1780	26	46.4	0.359	...	B	O+?
PN G259.6+13.2	0.475	0.107	2240	1861	2764	515	109	1.184	...	E	OH?
PN G261.0+32.0	0.783	0.061	1279	1218	1343	679	15.6	0.096	5	B	OH+?
PN G264.5+05.0	1.011	0.168	1093	936	1311	97	67.5	0.358	...	E	Blue
PN G264.6+03.8	1.121	0.163	913	805	1077	62	140	0.62	...	E	Blue
PN G265.7+04.1	0.412	0.071	2603	2221	3132	186	8.6	0.108	14	E	...
PN G268.2+03.1	2.323	0.487	445	376	546	24	19	0.041	...	E	...
PN G268.9-00.4	0.649	0.011	1547	1514	1574	-13	67.8	0.508	...	E	AS?
PN G270.1+24.8	0.488	0.07	2086	1859	2331	876	25.3	0.255	...	E	...
PN G272.8+01.0	0.44	0.058	2387	2098	2722	43	42.8	0.495	...	E	[WC9-10]
PN G273.6+06.1	1.582	0.044	725	706	748	78	64	0.225	...	E	OH3 Vz
PN G274.3+09.1	0.329	0.054	3056	2654	3652	484	20.1	0.298	33	E	PG1159
PN G274.8-05.7	0.334	0.059	3177	2659	3851	-320	23.3	0.358	...	E	...
PN G275.0+01.5	0.553	0.083	1889	1646	2231	50	30.5	0.279	...	B	...
PN G275.0-04.1	0.206	0.055	5424	4269	6887	-394	5.6	0.147	...	E	wels?
PN G275.2-02.9	0.208	0.054	5271	4308	6568	-270	5.2	0.133	...	E	...
PN G275.7-04.9	0.135	0.039	7878	6267	10209	-686	14	0.535	...	R	...
PN G277.5-01.9	0.396	0.093	2712	2264	3165	-94	6.4	0.084	...	E	...
PN G277.7-03.5	0.729	0.088	1407	1258	1621	-87	73.3	0.5	...	E	DAO
PN G278.1+05.9	0.374	0.068	2811	2474	3380	-291	7.1	0.096	18	E	[WO2]
PN G279.0+00.6	0.291	0.042	3469	3051	4029	39	17.3	0.29	...	E	...
PN G279.6-03.1	0.267	0.013	3730	3580	3900	-207	10	0.181	12	B	A2III+sdO
PN G283.9+09.7	1.273	0.033	789	772	810	133	167.3	0.64	-25	I	sdO
PN G284.2+05.3	0.274	0.051	3874	3243	4612	-360	39.5	0.742	...	R	[WO 3]
PN G284.4+07.8	0.501	0.04	2039	1880	2222	279	45.2	0.446	...	A	...
PN G284.5+03.8	0.43	0.049	2393	2173	2635	160	87	1.009	...	B	...
PN G285.6-02.7	0.239	0.028	4195	3828	4551	-201	2.3	0.047	-18	E	OH7-9I
PN G285.6-23.0	0.214	0.022	4559	4119	5181	-1783	1350	29.838	...	...	...
PN G285.7-14.9	0.311	0.039	3155	2900	3407	-814	11	0.168	-24	E	OH3III-V
PN G286.2-06.9	0.393	0.046	2681	2405	2961	-324	36.5	0.474	57	E	...
PN G286.3+02.8	0.262	0.062	4160	3284	5337	205	9	0.182	-21	R	[WO3]
PN G286.3-03.1	0.316	0.059	3297	2825	4075	-183	24.5	0.392	...	B	...
PN G286.5+11.6	0.685	0.067	1481	1368	1665	303	75.5	0.542	...	E	...
PN G286.8-29.5	0.258	0.036	3763	3333	4211	-1858	27	0.493	-52	E	sdO(He)
PN G288.7-08.1	0.3	0.038	3433	3075	3918	485	16	0.266	...	E	OH4-5V
PN G288.8-05.2	0.313	0.033	3327	3017	3723	-302	4.5	0.073	8	B	...
PN G290.5+07.9	0.415	0.028	2493	2326	2718	344	23.8	0.287	28	B	OH3-4+?
PN G290.7-01.7	0.451	0.03	2252	2133	2389	-67	30	0.328	...	B	...
PN G291.3+08.4	0.076	0.019	10725	9047	12403	1568	19.5	1.014	-66	E	[WO4-WC4]
PN G292.3+00.5	0.371	0.02	2717	2570	2855	26	17.5	0.231	...	I	...
PN G292.6+01.2	0.737	0.099	1446	1282	1644	31	21	0.147	-16	B	...
PN G292.6-00.1	0.369	0.063	3010	2613	3676	-9	22.3	0.325	...	R	...
PN G292.9+01.0	0.374	0.066	3055	2572	3652	58	9.5	0.141	...	E	...
PN G293.6+01.2	0.16	0.047	6233	5231	7581	131	12	0.364	...	B	...
PN G293.6+10.9	0.747	0.156	1443	1219	1860	275	47	0.329	-10	R	OH
PN G294.1+43.6	0.992	0.046	1005	963	1041	693	58.5	0.285	10	E	OH6
PN G298.3+06.6	0.657	0.163	1756	1327	2226	204	11	0.094	-38	E	...
PN G299.0+03.5	0.464	0.043	2206	2037	2380	135	22.3	0.238	...	B	...
PN G300.5-01.1	0.951	0.244	1279	1067	1643	-25	4.3	0.027	...	B	...
PN G302.2-03.1	0.401	0.02	2521	2406	2668	-139	10.8	0.131	...	R	H-rich
PN G302.3-00.5	0.3	0.059	3596	3076	4231	-34	12.2	0.212	...	B	...
PN G303.1+01.3	0.326	0.03	3101	2864	3421	74	41.3	0.62	...	E	...
PN G303.6+00.5	0.397	0.068	2625	2289	3095	27	7.9	0.1	...	E	...
PN G304.5+02.4	0.38	0.048	2730	2431	3052	115	22	0.291	...	I	...
PN G304.7-02.1	0.233	0.033	4406	3871	5340	-165	31.3	0.667	...	B	...
PN G305.6-13.1	0.452	0.041	2295	2119	2501	-521	32.5	0.362	-16	R	...
PN G305.7-03.4	0.252	0.035	4177	3729	4734	-250	12	0.243	...	E	...
PN G306.5-31.1	0.659	0.052	1548	1450	1654	-800	100	0.751	...	...	sdB
PN G307.2-03.4	0.713	0.019	1412	1380	1446	-85	67.8	0.464	-8	B	[WO1]+?
PN G308.2+03.5	-1.614	0.422	7284	5391	9370	457	16	0.565	...	E	...
PN G308.4+00.4	0.275	0.063	3813	3248	4756	29	17.5	0.323	...	E	H-rich
PN G308.6-12.2	0.296	0.033	3467	3129	4097	-737	20.6	0.345	...	E	O
PN G309.0-04.2	0.246	0.013	4079	3899	4287	-302	12.8	0.254	-95	E	[WC9]
PN G310.3+24.7	0.709	0.064	1460	1348	1583	612	60.5	0.428	-3	E	OH3 Vz
PN G310.6+01.4	0.543	0.118	2148	1748	2625	55	28.1	0.292	...	B	...
PN G311.0+02.4	0.48	0.015	2090	2033	2152	90	32.5	0.329	-40	E	A+A+?
PN G312.1+00.3	0.518	0.058	2024	1862	2278	13	142.8	1.401	...	E	...
PN G312.3+10.5	0.326	0.068	3156	2657	3964	579	7.9	0.121	42	B	OH3.5V
PN G312.6-01.8	0.296	0.026	3365	3154	3585	-112	4.8	0.077	...	E	OH4Ife
PN G313.7-37.1	0.316	0.033	3120	2836	3449	-1884	150	2.269	...	...	sdB
PN G313.8+10.3	0.488	0.048	2075	1911	2271	373	56.3	0.566	...	...	...
PN G313.8-12.6	0.645	0.122	1758	1465	2126</						

Tabla A.4 – Continuación de la página anterior

Nombre PNG	Paralaje (mas)	ER paral. (mas)	Distancia (pc)	Dist. baja (pc)	Dist. alta (pc)	$\langle z \rangle$ (pc)	$\langle R \rangle_\phi$ (as)	$\langle R \rangle_{f_i}$ (pc)	Vel_{rad} (km/h)	Morf.	Tipo esp.
PN G314.4+02.2	0.73	0.055	1367	1290	1452	53	2.4	0.016	...	E	...
PN G314.5+00.1	0.406	0.034	2477	2313	2669	9	8	0.096	...	...	...
PN G314.6-00.1	0.522	0.083	2177	1824	2620	-5	74.5	0.786	...	E	...
PN G315.0-00.3	0.391	0.066	2639	2327	3042	-17	11	0.14	-10	B	...
PN G315.1-13.0	0.39	0.036	2578	2409	2799	-584	4.9	0.061	-1	E	OH
PN G315.4-08.4	0.929	0.028	1082	1052	1112	-160	106.3	0.557	...	E	OHe+?
PN G315.7+42.0	0.83	0.042	1206	1160	1256	808	330	1.93	...	...	sdBHe
PN G316.1+08.4	0.278	0.023	3642	3409	3944	535	6.5	0.114	-11	R	OH
PN G316.3+08.8	0.857	0.085	1234	1119	1345	190	194.8	1.165	...	E	...
PN G316.7-05.8	0.255	0.018	3969	3734	4245	-401	6	0.115	...	E	Blue+?
PN G317.1-05.7	0.726	0.128	1398	1243	1596	-139	45.3	0.307	60	B	...
PN G317.5+00.8	1.217	0.078	836	781	886	13	30.5	0.124	...	I	...
PN G318.4+41.4	2.45	0.064	408	399	416	270	191.3	0.378	37	B	sdO7
PN G319.1+02.1	0.769	0.026	1304	1269	1344	49	41	0.259	...	R	OB+
PN G319.6+15.7	0.885	0.143	1183	1019	1400	321	19.1	0.109	-22	B	[WR]
PN G320.1-09.6	0.227	0.028	4425	3925	5050	-742	3.2	0.068	-70	E	OH7-9f
PN G320.3-28.8	0.179	0.049	5458	4475	6910	-2637	3.1	0.083	18890	B	O
PN G321.1-05.1	0.335	0.047	2986	2625	3282	-269	57.5	0.833	...	E	...
PN G322.4-02.6	0.802	0.156	1368	1153	1609	-62	21.2	0.14	-32	B	...
PN G322.5-05.2	0.281	0.062	3900	3282	4708	-281	9.8	0.186	23	E	OH3-4
PN G324.0+03.5	0.345	0.026	2891	2682	3093	178	13.5	0.189	-81	E	[WO4]pec
PN G324.0-01.6	0.39	0.05	2713	2394	3141	-78	9.5	0.125	...	B	...
PN G324.4-00.9	0.392	0.076	2832	2342	3527	-46	10	0.137	...	...	...
PN G326.4+07.0	0.289	0.032	3558	3237	3880	433	16.5	0.285	...	B	OH4 Vz
PN G327.1-02.2	0.313	0.049	3451	3086	3936	-133	1.8	0.031	-95	E	[WC 9]
PN G327.5-02.2	0.236	0.04	4399	3857	4989	-173	16	0.341	...	R	[WR]
PN G327.8+10.0	0.506	0.036	1999	1889	2113	350	7.1	0.069	8	B	OH f
PN G328.1-01.9	0.322	0.087	3730	2909	4776	-127	45	0.814	...	R	...
PN G329.0+01.9	0.76	0.018	1324	1301	1347	45	36	0.231	-32	R	OH3-5
PN G329.5-02.2	0.354	0.04	2923	2613	3281	-116	11	0.156	...	E	OH
PN G329.7+01.4	1.082	0.105	971	883	1079	25	27.8	0.131	...	E	...
PN G330.7+02.7	0.719	0.086	1513	1341	1775	71	367.5	2.695	...	E	...
PN G332.5-16.9	0.612	0.036	1613	1545	1718	-469	92	0.719	...	...	DAO+?
PN G334.3-09.3	0.278	0.074	4042	3222	5066	-656	11.5	0.224	44	R	abs.lines.
PN G335.2-03.6	0.334	0.064	3193	2722	3837	-202	12.3	0.19	-97	B	...
PN G335.5+12.4	1.262	0.05	796	762	833	172	93	0.359	...	R	OH
PN G335.6+01.7	0.35	0.035	2938	2637	3189	92	2.8	0.039	...	...	...
PN G336.9+08.3	0.188	0.046	5303	4539	6671	773	...	...	-159	S	[WC2/3]
PN G337.0+08.4	1.53	0.085	666	630	704	98	93.8	0.303	...	E	O+?
PN G337.3+47.4	2.992	0.063	333	327	341	245	2400	3.875	42	...	sdOB
PN G337.5-05.1	0.244	0.022	4095	3736	4435	-367	5.5	0.109	52	B	OH7-9
PN G337.6+00.7	0.627	0.144	1807	1554	2211	24	9.8	0.085	...	E	...
PN G337.9+43.5	0.451	0.057	2163	1939	2388	1490	127.5	1.337	...	...	PG1159
PN G341.5+12.1	0.862	0.025	1169	1137	1199	245	180	1.021	-93	...	[WO 1]
PN G341.6+13.7	0.387	0.02	2620	2498	2764	621	24.6	0.313	-87	E	OH7V+?
PN G341.6-03.8	0.173	0.044	5990	4948	7692	-399	2.8	0.08	...	...	...
PN G341.8+05.4	0.76	0.056	1334	1252	1416	126	12.8	0.083	39	E	wels
PN G341.8-05.6	-0.836	0.229	9168	6879	11730	-907	5	0.222	...	E	...
PN G342.1+10.8	1.098	0.243	1051	875	1323	198	34.9	0.178	7	B	...
PN G343.3-00.6	0.92	0.047	1094	1048	1141	-13	52	0.276	...	R	...
PN G343.3-07.5	0.483	0.027	2195	1852	2567	-287	7	0.074	...	S	...
PN G343.6+01.1	0.705	0.023	1411	1365	1454	28	24	0.164	...	E	...
PN G344.5-12.5	0.163	0.031	6477	5520	7573	-1411	2	0.063	...	S	...
PN G345.2-01.2	0.989	0.116	1050	963	1158	-23	4.8	0.025	...	B	...
PN G345.2-08.8	0.317	0.036	3265	2954	3735	-501	6.3	0.099	-94	R	OH5-9f
PN G345.4+00.1	0.725	0.016	1384	1355	1416	-3	8.1	0.054	15	E	OH+?
PN G346.2-08.2	0.402	0.097	2750	2279	3404	-393	8.9	0.18	-74	E	[WN 3]
PN G346.5+13.5	0.271	0.031	3738	3389	4210	872	6.3	0.113	...	E	...
PN G347.6-14.5	0.388	0.051	2604	2305	3017	-654	5	0.063	...	...	...
PN G349.1-01.7	0.427	0.055	2420	2135	2833	-75	60.5	0.71	...	B	...
PN G349.3-01.1	0.639	0.041	1583	1485	1689	-31	23.5	0.181	-71	B	wels
PN G349.3-04.2	0.591	0.047	1756	1620	1902	-129	42	0.357	13	B	OH3-4V
PN G350.9+04.4	0.379	0.026	2664	2507	2821	205	2	0.026	-25	B	OH5-9
PN G351.0-10.4	1.171	0.203	948	814	1142	-172	78	0.359	-38	E	...
PN G351.7-06.6	0.151	0.039	6525	5455	7735	-758	6.6	0.209	-120	E	wels
PN G352.1-02.6	0.271	0.04	3850	3280	4702	-175	8	0.149	...	E	OH8 If
PN G352.9+11.4	0.218	0.025	4820	4376	5357	952	12.7	0.297	-2	E	[WC11]
PN G354.1-01.1	0.699	0.085	1491	1322	1667	-29	20	0.145	...	...	...
PN G354.5-03.9	0.804	0.16	1371	1139	1649	-94	29.8	0.198	...	B	H-rich+?
PN G355.3-03.8	0.684	0.042	1477	1392	1596	98	32.5	0.233	...	E	Blue
PN G356.5-02.3	0.314	0.027	3212	3021	3491	-134	3.3	0.051	-48	...	[WC11]?
PN G357.1-04.7	0.613	0.074	1664	1531	1826	-139	1	0.008	31	B	[WC11]
PN G357.2+01.5	0.369	0.031	2741	2491	2946	74	8	0.106	...	E	...
PN G357.5+04.5	0.505	0.092	2248	1824	2791	178	5	0.054	...	E	...
PN G357.7-04.8	1.144	0.168	933	819	1073	-79	287.5	1.3	...	E	Blue
PN G358.4+02.7	0.82	0.132	1294	1086	1528	61	9	0.056	...	E	...
PN G358.5-07.3	1.081	0.157	987	857	1138	-126	25.5	0.122	-31	B	...
PN G358.8-07.6	0.434	0.085	2926	2298	3661	-388	20.8	0.295	...	B	...
PN G358.9-00.7	0.444	0.036	2277	2141	2489	-29	3.7	0.041	-7	B	OH f
PN G359.2-33.5	0.36	0.042	2756	2488	3060	-1521	7.5	0.1	-87	S	B0 III
PN G359.7-05.7	0.655	0.051	1613	1477	1781	-162	105.8	0.827	...	A	...
PN G359.8+05.6	0.214	0.034	5101	4388	6029	500	2.2	0.054	76	E	O7-8
PN G359.9+05.1	0.677	0.16	1602	1297	2030	145	8.1	0.063	-77	E	...

Referencias: radios angulares $\langle R \rangle_{ang}$ y tipos morfológicos obtenidos de la base de datos HASH. Velocidades Radiales obtenidas de la base de datos Simbad. Tipos espectrales obtenidos de Weidmann et al. [70].

A.5 Tabla Datos Fotométricos y Evolutivos - Gaia EDR3

Nombre	Radio (pc)	G (mag)	V (mag)	A_V (mag)	$(G_{BP} - G_{RP})_o$ (mag)	$\log(\frac{L}{L_\odot})$	$\log(T_{eff})$	Masa (M_\odot)	Edad $_{evo}$ (kyr)	Tipo esp.
Abell 15	0.421	15.86	15.73	0.12	-0.56	3.76	5.04	1.988	6.59	O(H)
Abell 20	0.287	16.42	16.47	0.27	-0.54	2.78	5.08	1.065	64.04	O(H)
Abell 24	0.687	17.37	17.36	0.19	-0.7	1.77	5.14	>3.00	5.92	...
Abell 28	0.302	16.5	16.57	0.38	-0.65	0.81	4.85	2.355	395.41	DAH:
Abell 29	1.17	18.23	18.33	0.38	-0.71	1.48	5.01	2.856	41.24	...
Abell 31	1.202	15.47	15.54	0.12	-0.54	1.69	4.96	1.621	70.16	DAO
Abell 33	0.653	15.93	16.03	0.16	-0.23	2.17	5	1.054	76.99	DAO
Abell 34	0.826	16.39	16.4	0.13	-0.63	2.13	4.99	<1.00	114.75	hgO(H)
Abell 36	0.378	11.49	11.55	0.09	-0.53	3.28	5.05	1.054	58.43	sdO7
Abell 39	0.455	15.57	15.62	0.06	-0.5	2.51	5.03	<1.00	102.70	DAO.7
Abell 43	0.405	14.66	14.74	0.53	-0.51	3.55	5.03	1.495	8.62	O7fk
Abell 61	0.789	17.25	17.41	0.15	-0.62	1.98	4.98	1.019	120.62	DAO.57
Abell 66	0.8	18.08	18.17	0.54	-0.59	1.53	4.97	2.219	33.22	...
Abell 7	0.972	15.43	15.5	0.08	-0.52	1.73	4.99	1.642	62.68	DAO.6
Abell 74	1.307	17.02	17.05	0.25	-0.6	1.54	5.03	2.928	29.48	DAO
BMPJ0642-0417	1.097	18.76	18.5	0.86	-0.13	0.58	4.78	1.823	838.06	Blue
BIDz 1	0.329	18.27	18.4	0.42	-0.52	1.94	5.11	>3.00	3.21	O(H)
DS 2	0.359	12.33	12.37	0.68	-0.63	3.45	4.93	1.061	52.54	O(H)
DeHt 2	0.451	14.98	15.04	0.52	-0.57	3.35	5.07	1.113	53.94	sdO
H 2-1	0.026	13.02	12.82	2.31	-0.31	3.73	4.48	1.345	4.86	O(H)5-9
HaWe 13	0.349	16.68	16.9	1.52	-0.66	2.43	4.83	<1.00	108.43	hgO(H)
HaWe 4	1.219	17.12	17.19	0.61	-0.49	1.9	5.03	1.98	10.20	DAO.6
HaWe 6	0.12	16.48	16.6	0.38	-0.58	0.07	4.67	1.983	2136.29	DA1.0
HbDs 1	0.225	12.44	12.5	0.39	-0.51	3.52	5.05	1.501	8.76	O(H)3 Vz
Hen 2-107	0.077	14.64	14.69	4.14	-0.85	4.17	4.57	>3.00	1.04	O(H)4Ifc
Hen 2-108	0.114	12.67	12.42	1.32	-0.46	4.37	4.7	>3.00	1.06	O(H)
Hen 2-138	0.068	10.92	10.71	0.37	-0.08	4.2	4.46	>3.00	1.03	O(H)7-9 f
Hen 2-187	0.109	12.51	12.49	3.08	-1.21	4.01	4.28	2.601	1.26	O(H)7-9 f
Hen 2-51	0.073	15.07	15.69	1.83	0.86	3.56	4.83	1.108	47.19	...
IC 1295	0.395	16.82	16.9	1.11	-0.81	2.61	4.99	<1.00	102.12	hgO(H)
IC 2149	0.042	11.26	11.34	0.77	-0.44	3.63	4.59	1.146	40.50	O(H)4f
IC 2448	0.168	14.21	14.26	0.22	-0.59	3.84	4.98	1.977	5.84	O(H)3III-V
IC 3568	0.092	12.87	12.83	0.42	-0.52	3.38	4.7	<1.00	78.04	O(H)3
IC 418	0.04	10.12	10.23	0.62	-0.27	3.77	4.58	1.49	5.41	O7fp
IC 4593	0.083	11.22	11.33	0.21	-0.41	3.73	4.61	1.395	5.61	O(H)5f
IC 4642	0.224	15.9	15.66	0.79	-0.66	3.92	5.05	2.449	3.03	abs. lines
IC 5148/50	0.368	16.07	16.16	0.02	-0.6	2.31	5.04	1.122	71.59	hgO(H)
K 1-27	0.493	16.03	16.11	0.15	-0.56	3.64	5.13	1.995	7.53	sdO(He)
Lo 1	0.813	15.15	15.21	0.01	-0.56	2.36	5.04	1.095	71.17	hgO(H)
Lo 8	0.428	12.9	12.97	0.1	-0.53	3.57	4.95	1.533	7.81	O(H)3 Vz
M 1-26	0.041	12.61	12.61	3.24	-0.3	4.17	4.52	>3.00	1.04	O(H) f
M 1-46	0.063	12.84	12.76	2.44	-0.52	4.26	4.7	>3.00	1.06	O(H)7I(fc)
M 1-53	0.072	15.43	15.52	2.44	-0.95	3.9	4.72	2.182	2.41	O(H)3 If
M 2-12	0.054	14.25	14.19	2.6	-0.41	3.49	4.34	1.03	33.92	O7-8
NGC 2022	0.139	15.7	15.75	0.99	-0.72	3.27	5	<1.00	91.75	O(H)
NGC 2792	0.108	16.74	16.89	1.24	-0.43	3.36	5.1	1.163	50.86	...
NGC 3587	0.405	15.72	15.74	0.04	-0.59	1.98	4.97	<1.00	154.48	DAO
NGC 4361	0.285	13.09	13.26	0.13	-0.61	3.54	5.1	1.312	9.90	O(H)6
NGC 5882	0.069	13.33	13.42	0.84	-0.55	3.63	4.83	1.53	6.86	O(H) f
NGC 5979	0.186	16.28	16.37	1.02	-0.57	3.74	5.06	1.993	6.95	O(H)3-4
NGC 6058	0.211	13.73	13.94	0.57	-0.84	3.73	4.89	1.412	7.48	O(H)3
NGC 6072	0.178	18.55	18.47	1.83	-0.53	2.31	5.15	2.409	3.94	...
NGC 6153	0.083	15.31	15.55	2.77	-0.72	3.76	5.04	1.991	6.74	wels
NGC 6210	0.065	12.46	12.43	0.09	-0.52	3.81	4.88	1.99	6.02	O(H)3
NGC 6543	0.078	11.24	11.29	0.26	-0.46	3.47	4.68	1.015	45.40	Of-WR(H)
NGC 6563	0.122	17.28	17.49	0.22	-0.81	1.84	5.09	2.932	6.35	...
NGC 6572	0.061	12.65	13	0.67	-0.61	3.65	4.84	1.509	6.96	Of-WR(H)
NGC 6720	0.147	15.65	15.78	0.44	-0.79	2.3	5.05	1.537	23.86	hgO(H)

Continúa en la próxima página

Tabla A.5 – *Continuación de la página anterior*

Nombre	Radio (pc)	G (mag)	V (mag)	A_V (mag)	$(G_{BP} - G_{RP})_o$ (mag)	$\log(\frac{L}{L_\odot})$	$\log(T_{eff})$	Masa (M_\odot)	Edad _{evo} (kyr)	Tipo esp.
NGC 6772	0.184	18.4	18.61	1.96	-0.55	2.21	5.13	2.384	4.03	...
NGC 6781	0.15	16.74	16.88	1.64	-0.51	1.94	5.05	2.205	5.19	DAO
NGC 6853	0.382	14.04	14.09	0.14	-0.62	2.27	5.06	1.491	25.29	DAO.6
NGC 6891	0.077	12.29	12.43	0.59	-0.54	3.73	4.7	1.361	6.15	O(H)3 Ib(f)
NGC 7009	0.072	12.77	12.87	0.25	-0.55	3.45	4.94	1.066	52.68	O(H)
NGC 7094	0.393	13.52	13.59	0.25	-0.53	3.71	5.04	1.791	7.77	hybrid
NGC 7293	0.41	13.46	13.52	0.02	-0.6	1.79	5.03	2.355	8.94	DAO.5
NGC 7662	0.117	13.93	14	0.35	-0.62	3.61	5.05	1.362	9.08	O(H)
PB 4	0.147	16.28	15.96	1.67	-0.78	3.97	4.89	2.408	2.79	wels?
PuWe 1	1.156	15.51	15.55	0.35	-0.59	1.73	5.04	2.627	11.94	DAO.5
RWT 152	0.202	12.97	13.02	0.37	-0.49	3.56	4.65	1.089	43.00	sdO
Sh 2-216	1.835	12.61	12.67	0.12	-0.57	1.59	4.96	1.578	95.47	DAO.6
TK1	2.708	15.66	15.74	0.11	-0.6	1.57	4.93	1.109	205.85	DAO.7
Vy 2-3	0.055	14.6	14.55	3.3	-1.67	4.12	4.53	>3.00	1.04	O(H)3-4 I
WeDe 1	1.338	17.17	17.24	0.28	-0.58	1.56	5.1	>3.00	17.12	DA.3
Wray 17-31	0.5	17.9	17.94	0.75	-0.7	2.15	5.08	1.981	8.04	DAO

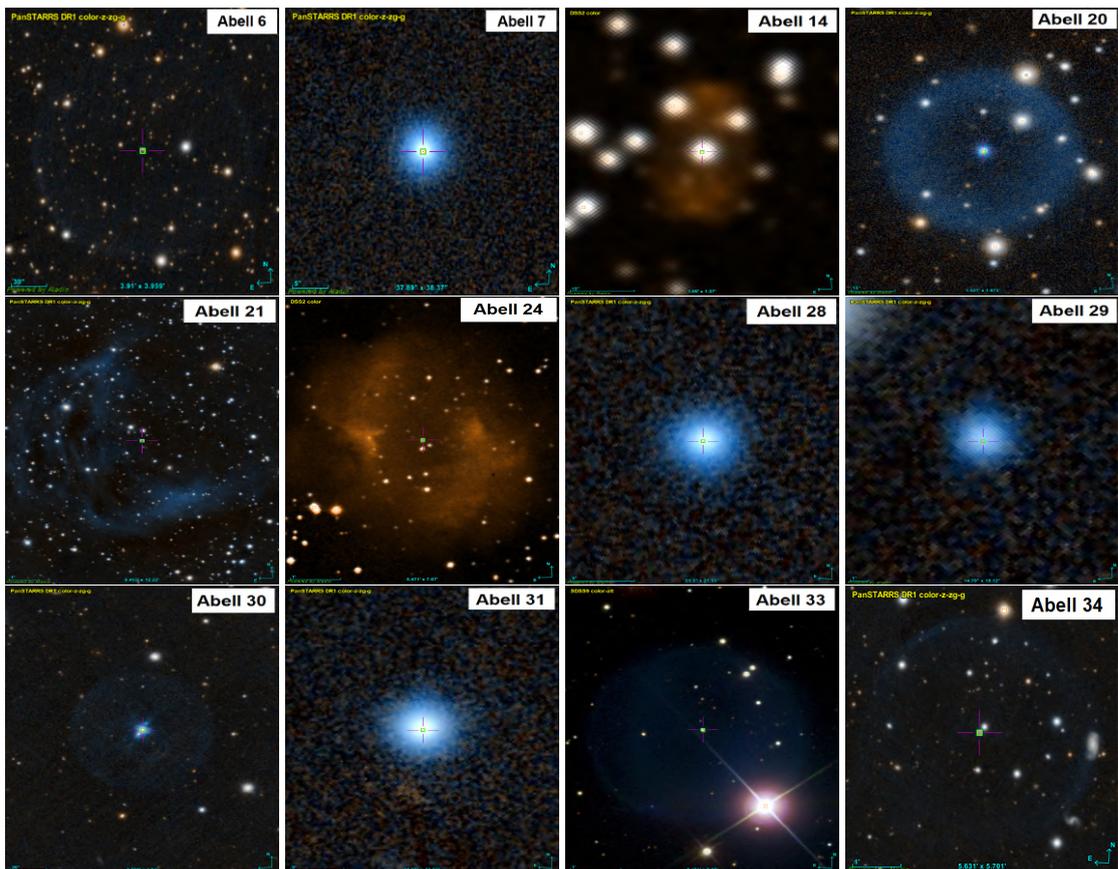
Notas: Las masas y edades evolutivas están estimadas mediante las trazas evolutivas de Miller Bertolami [7].

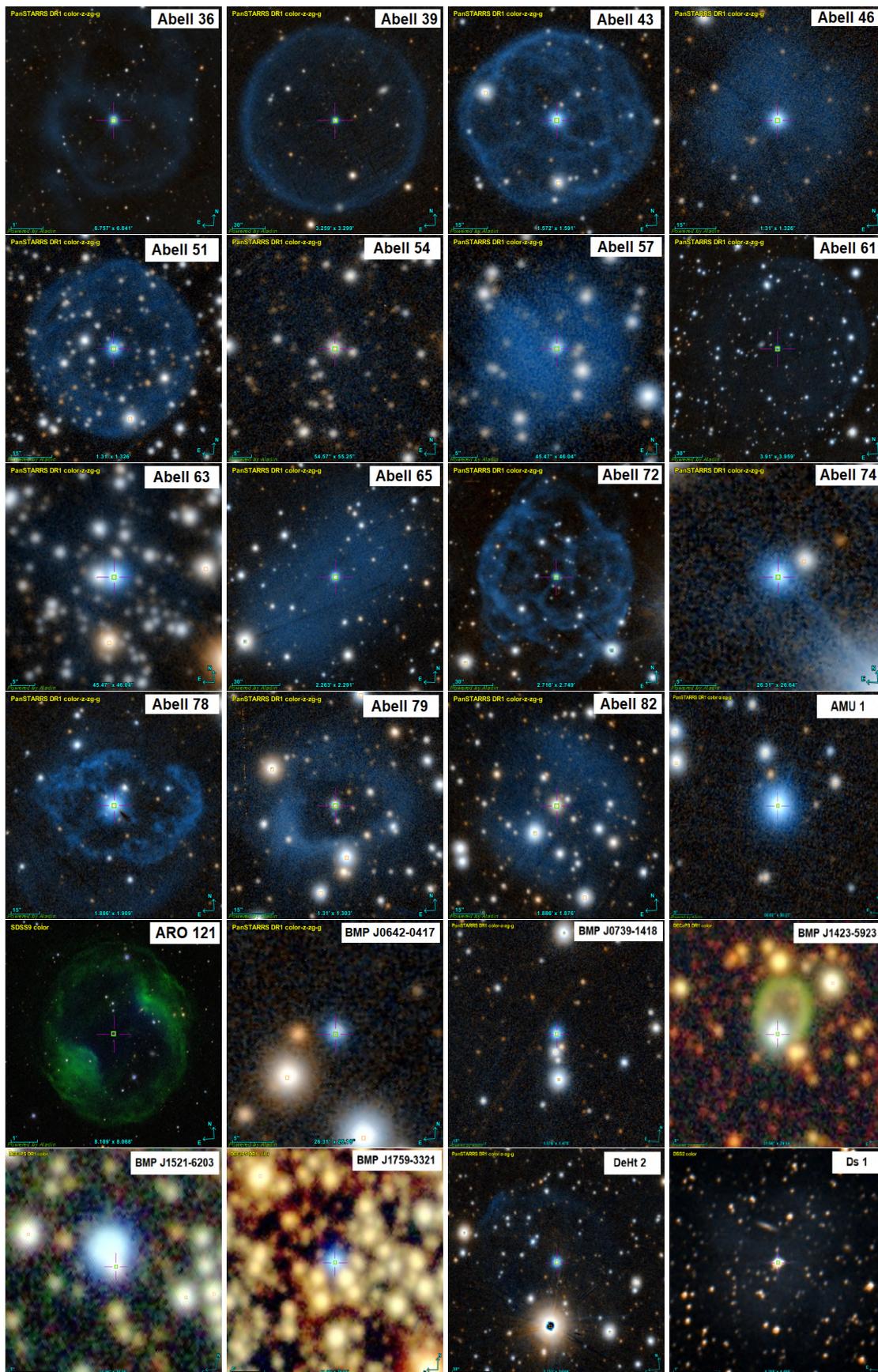
Referencias: Las magnitudes V se han extraído de la base de datos APASS, Frew [6], Frew et al. [32], Tylanda et al. [49] y Weidmann et al. [70]. Las temperaturas se han obtenido de Frew [6], Frew et al. [32], Gleizes et al. [45] y Guerrero and De Marco [47]. Los tipos espectrales se han obtenido de Weidmann et al. [70].

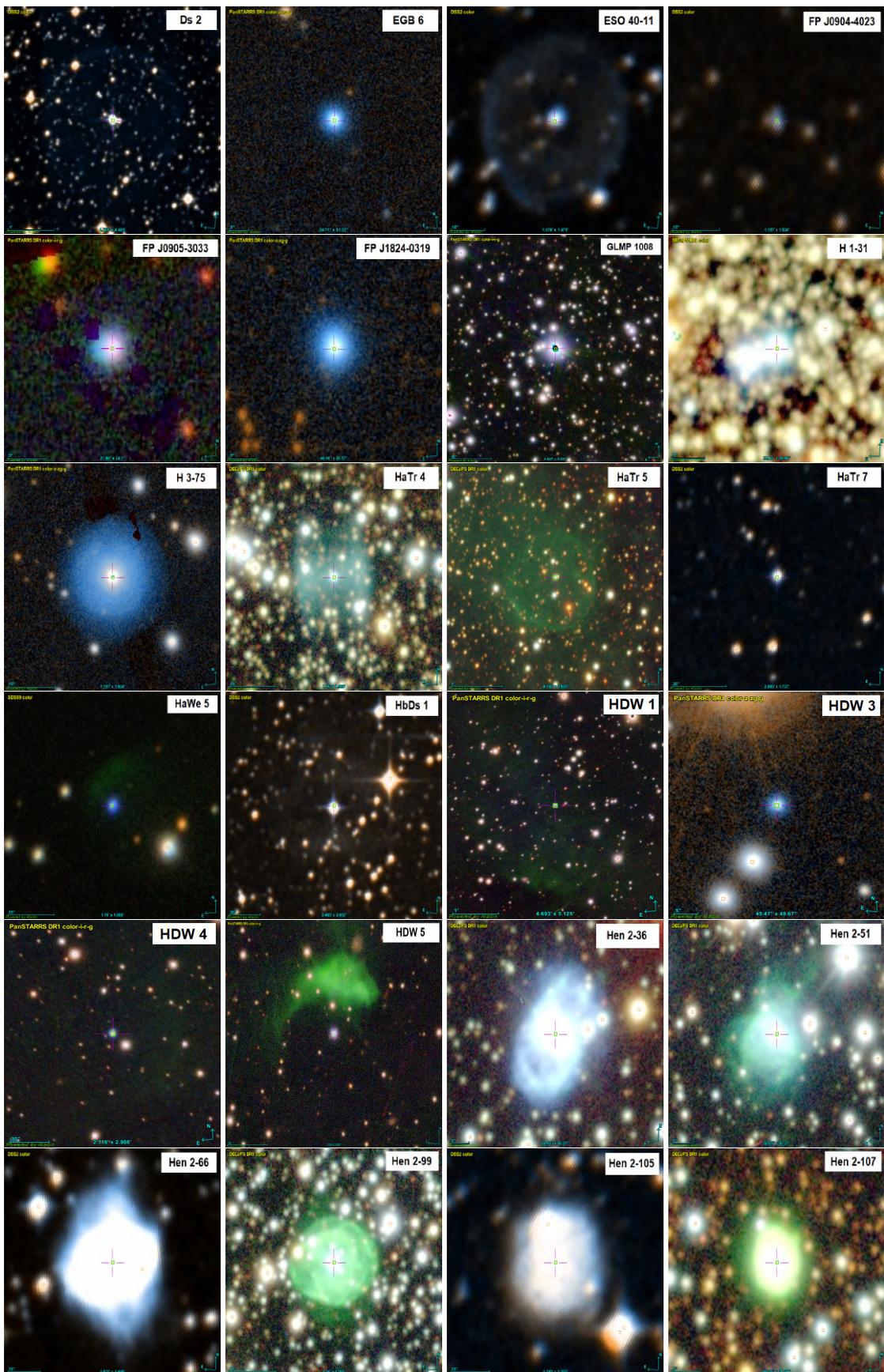
Anexo B

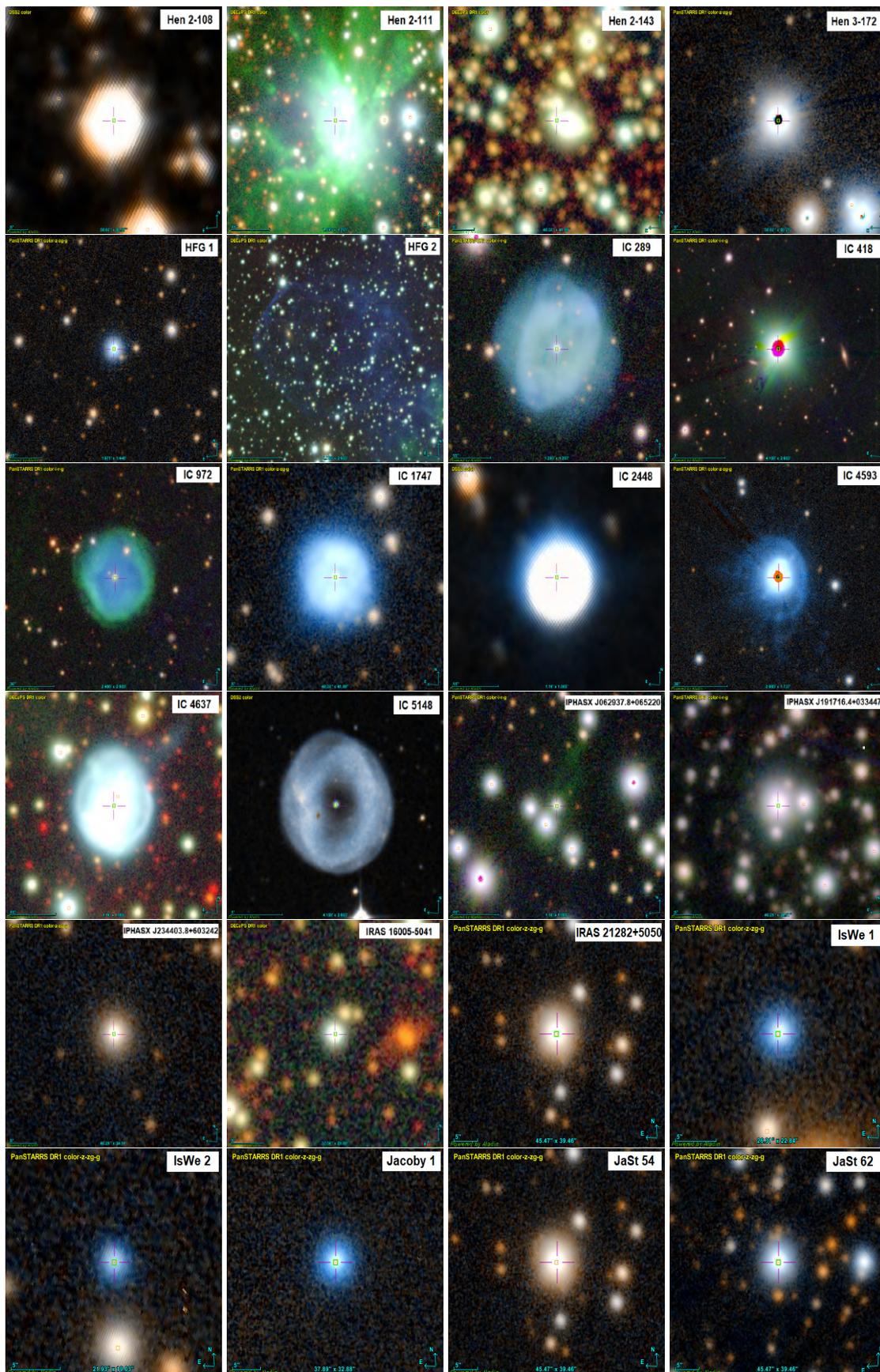
Imágenes

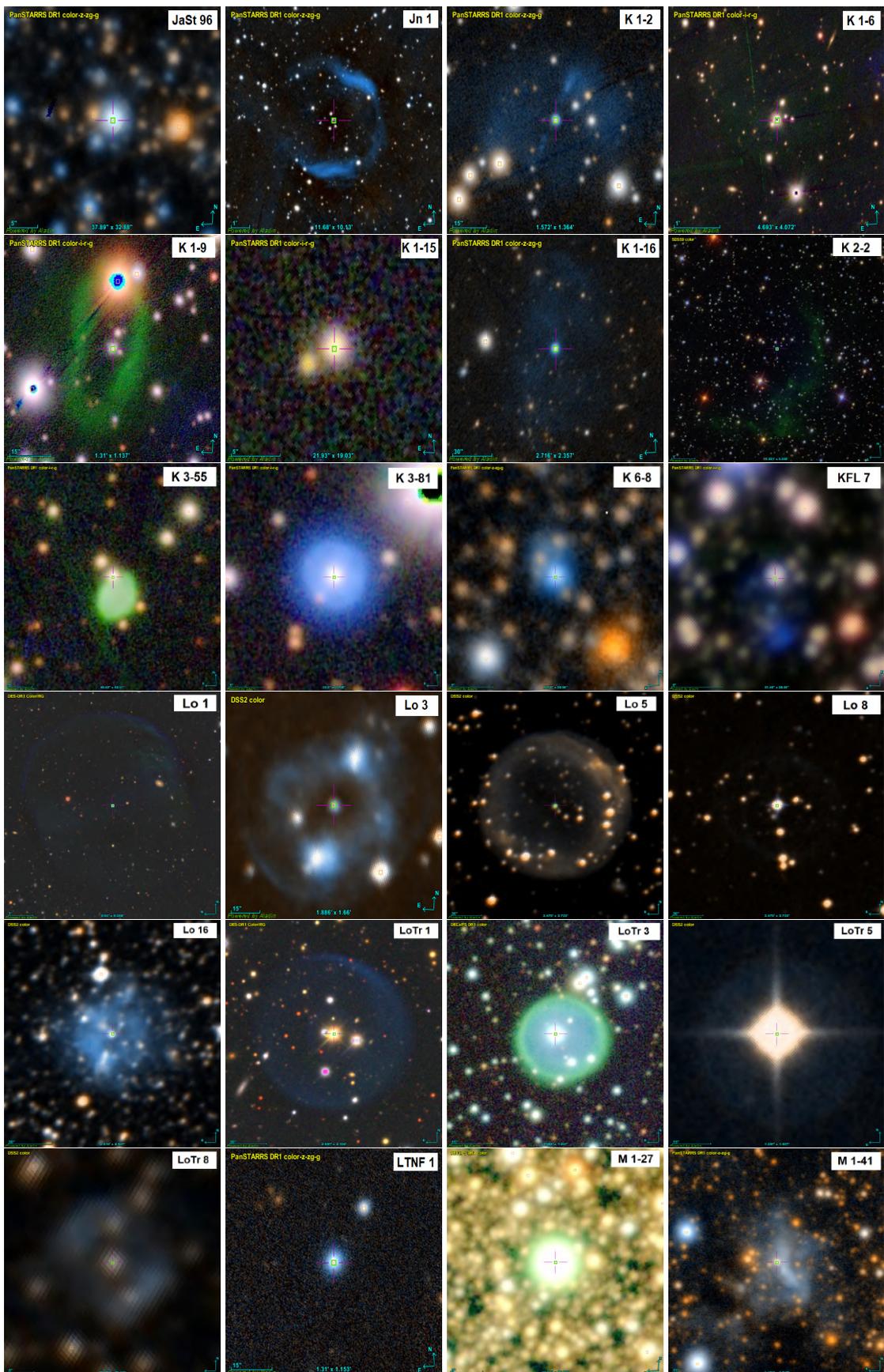
B.1 Nebulosas Planetarias de la muestra GAPN

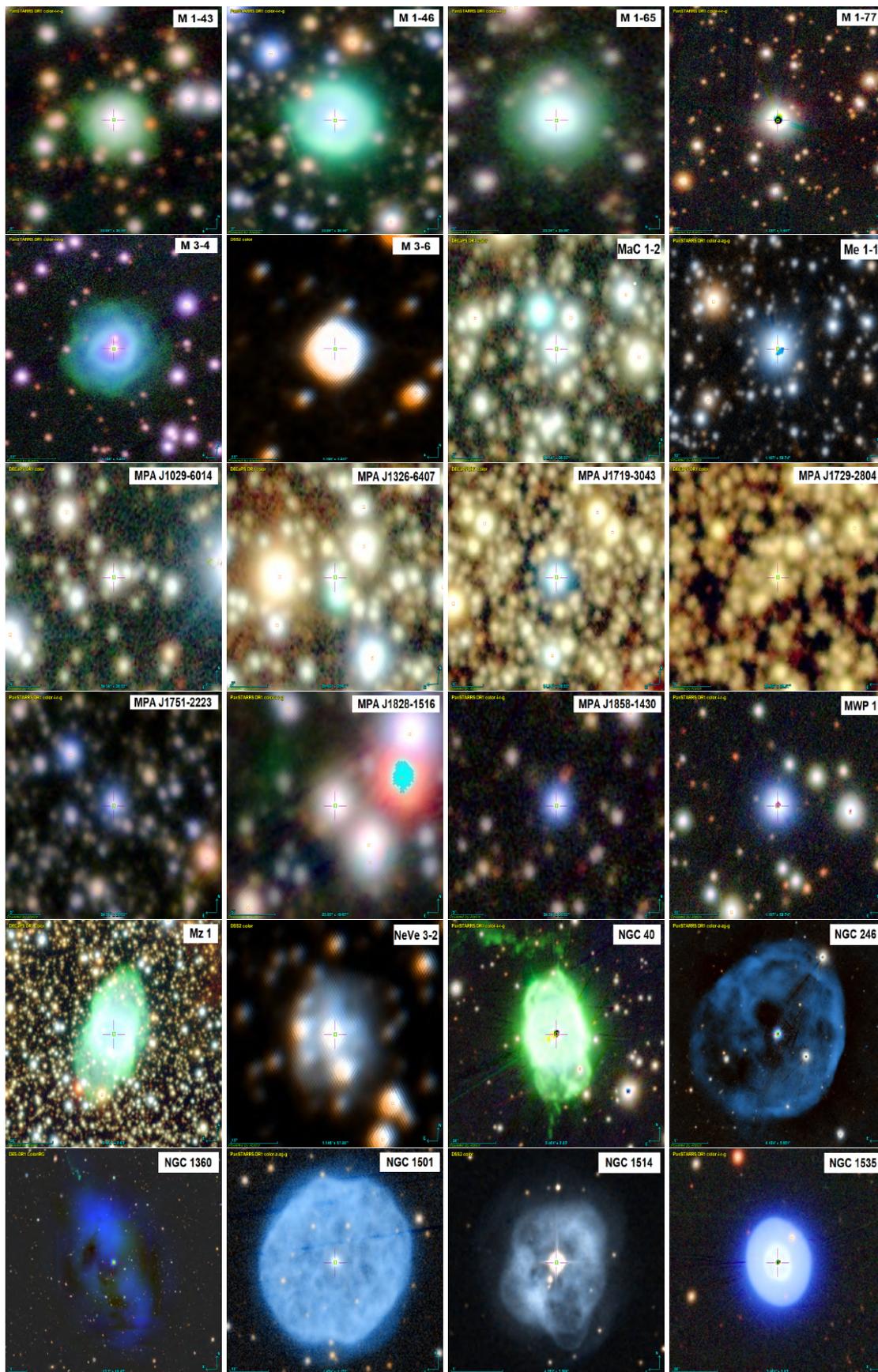


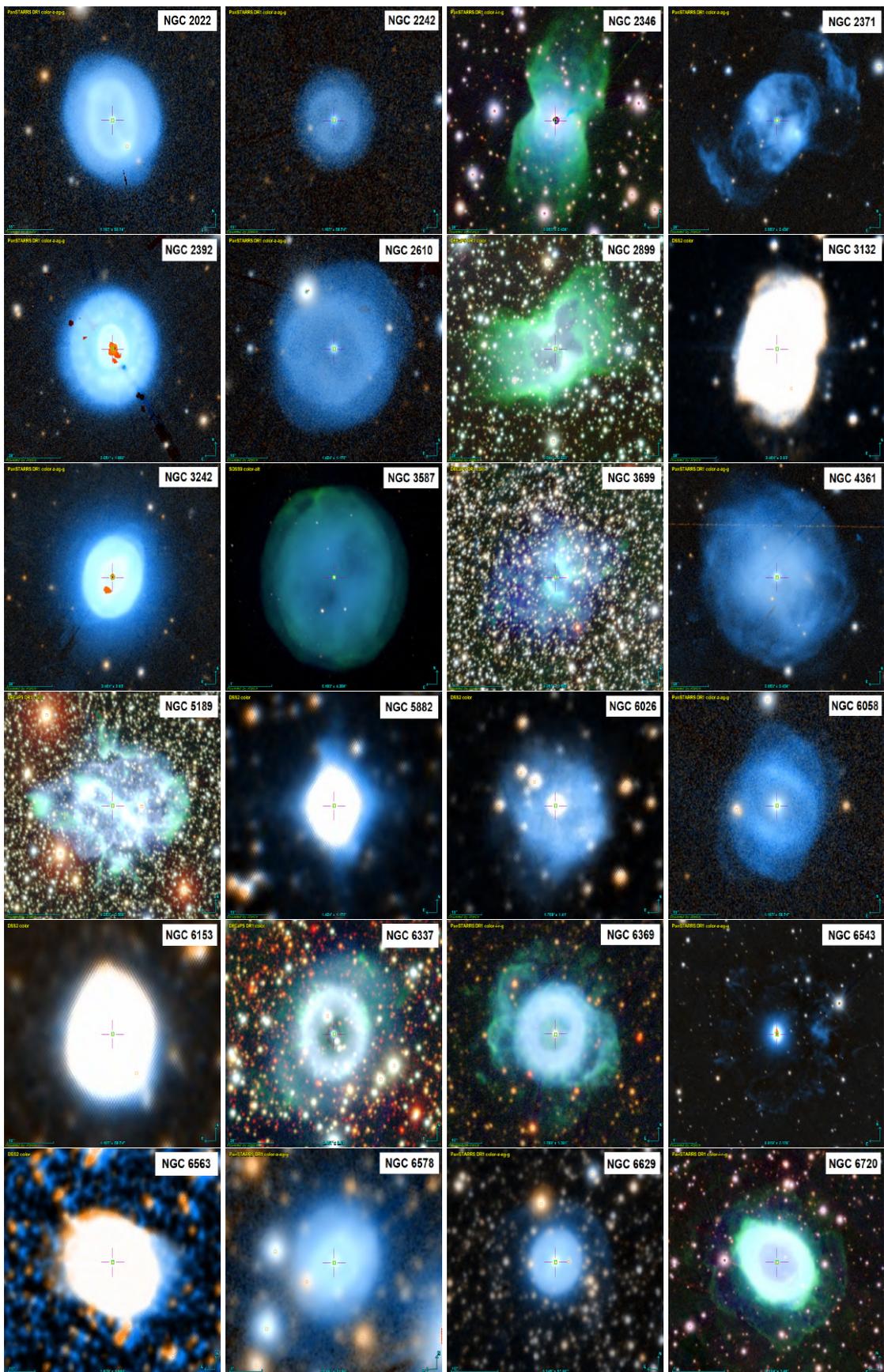


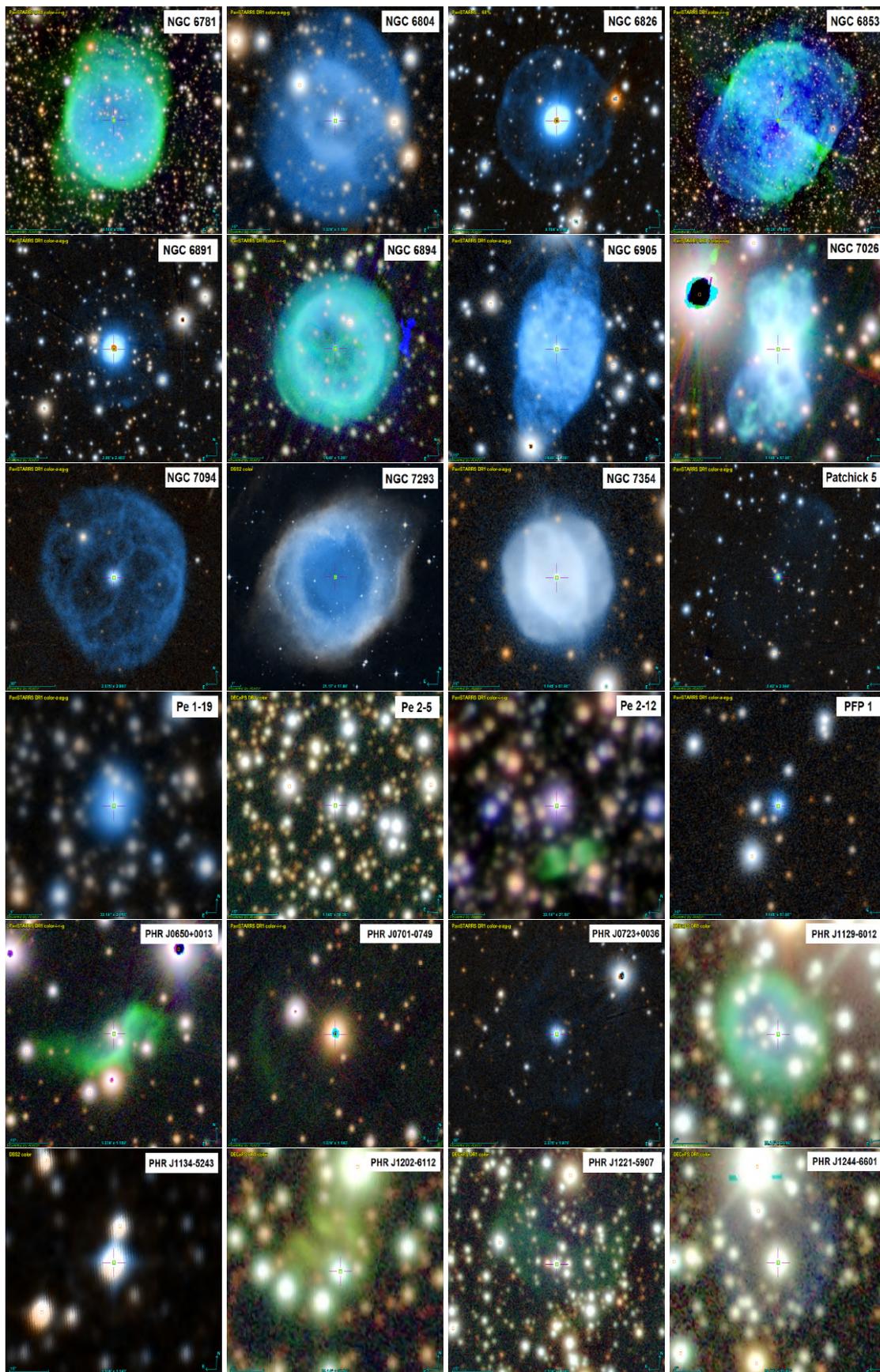


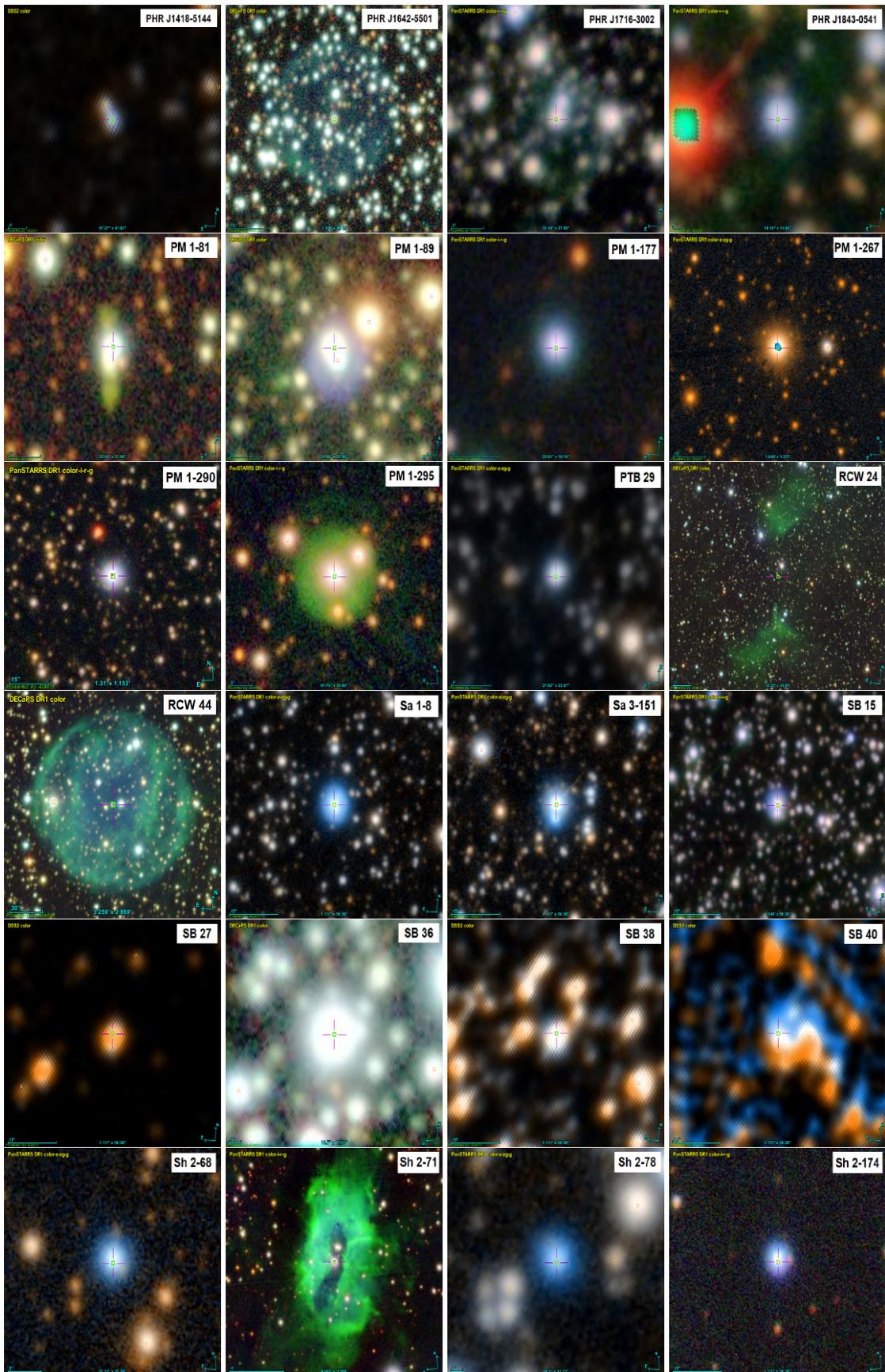












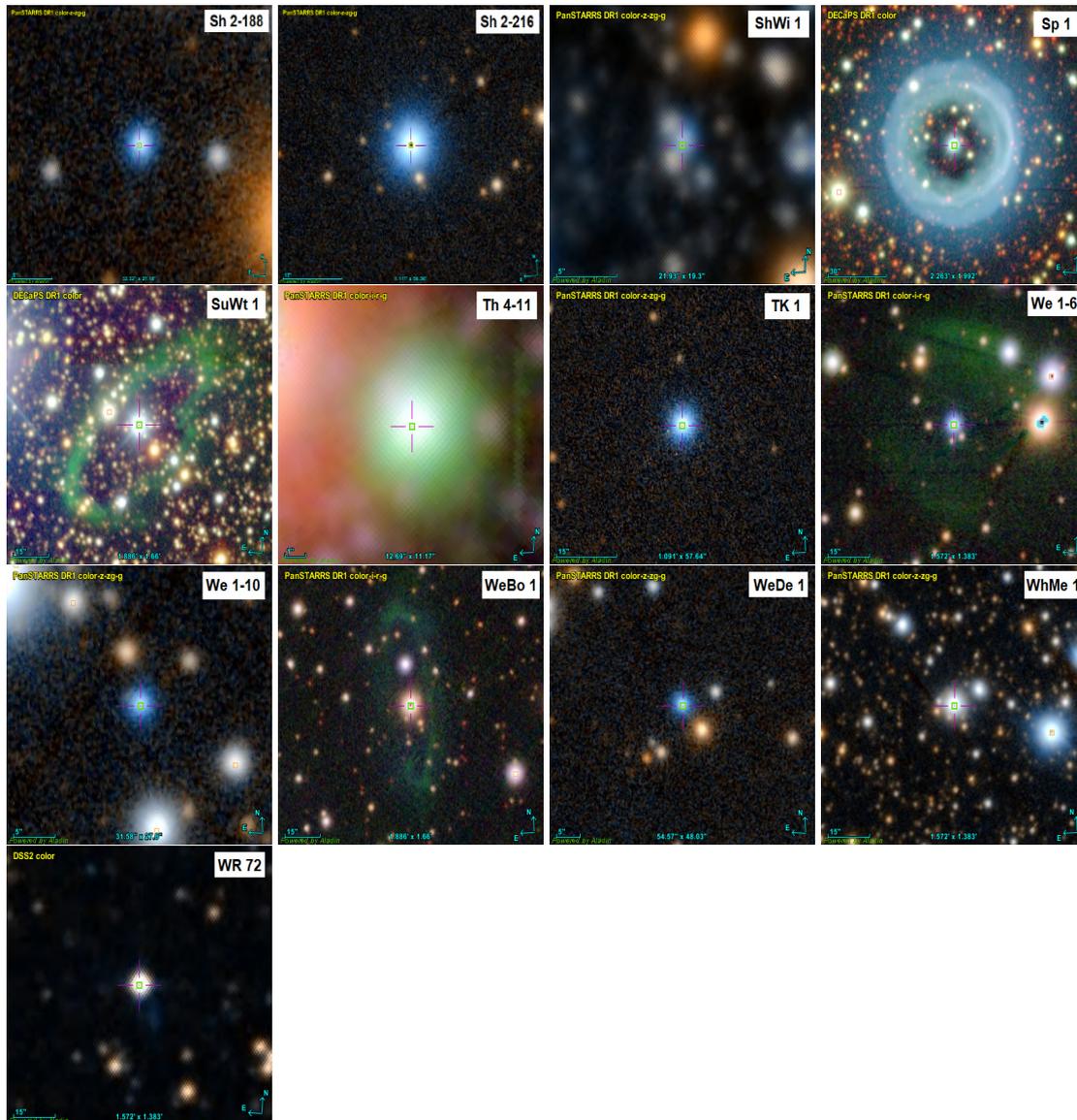


FIGURA B.1: Nebulasas de la muestra GAPN (Tabla A.1). Ordenadas alfabéticamente por su Nombre de Simbad.

B.2 Sistemas Binarios en Nebulosas Planetarias

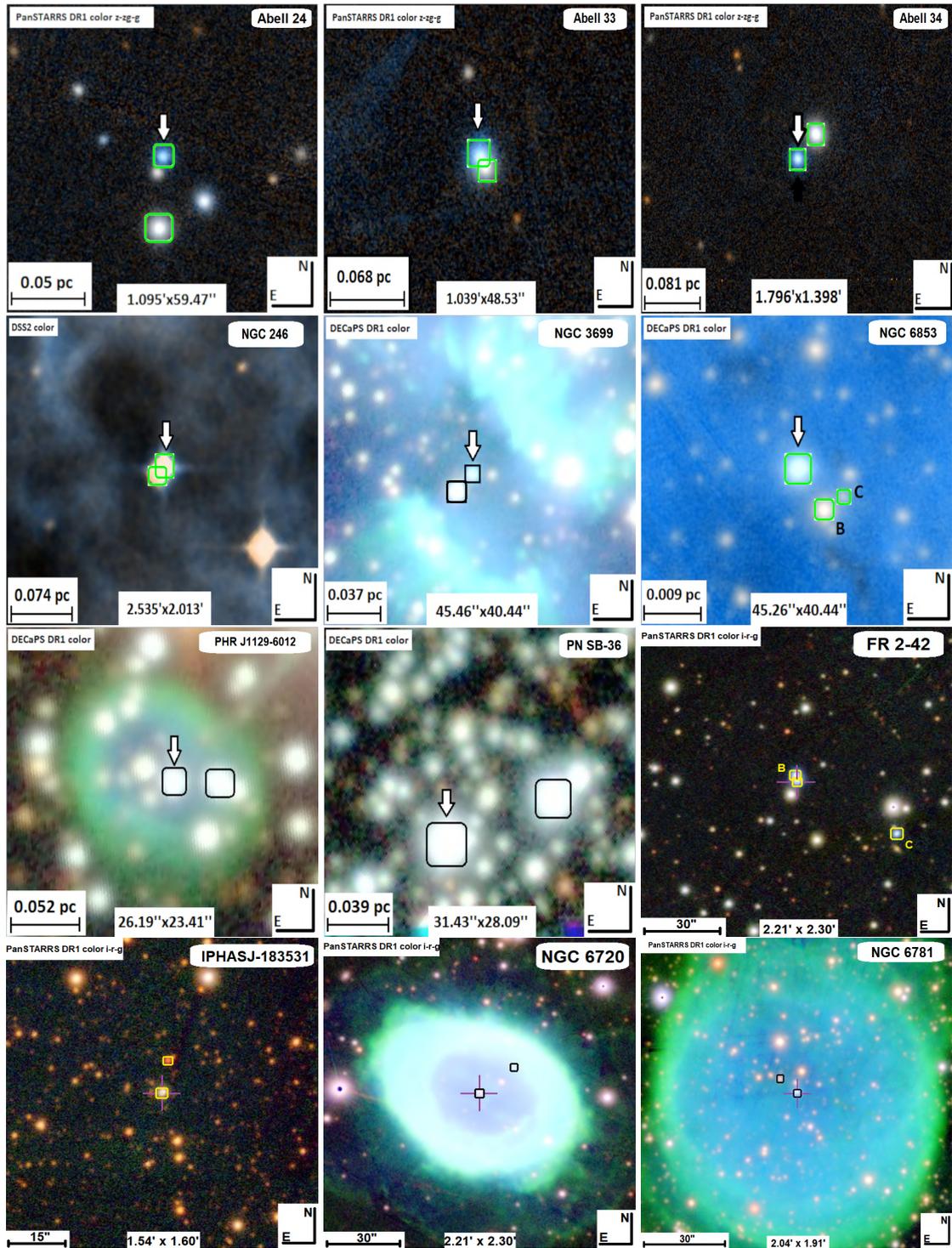


FIGURA B.2: Los recuadros indican las estrellas de los sistemas binarios, mientras que la flecha o la cruz magenta señala la estrella central.

Bibliografía

- [1] D. Schönberner, B. Balick, and R. Jacob. Expansion patterns and parallaxes for planetary nebulae. , 609:A126, Feb 2018. doi: 10.1051/0004-6361/201731788.
- [2] E. Vassiliadis and P. R. Wood. Post-Asymptotic Giant Branch Evolution of Low- to Intermediate-Mass Stars. , 92:125, May 1994. doi: 10.1086/191962.
- [3] Hugh C. Harris, Conard C. Dahn, Blaise Canzian, Harry H. Guetter, S. K. Leggett, Stephen E. Levine, Christian B. Luginbuhl, Alice K. B. Monet, David G. Monet, Jeffrey R. Pier, Ronald C. Stone, Trudy Tilleman, Frederick J. Vrba, and Richard L. Walker. Trigonometric Parallaxes of Central Stars of Planetary Nebulae. , 133:631–638, Feb 2007. doi: 10.1086/510348.
- [4] Letizia Stanghellini and Misha Haywood. The Galactic Structure and Chemical Evolution Traced by the Population of Planetary Nebulae. , 714:1096–1107, May 2010. doi: 10.1088/0004-637X/714/2/1096.
- [5] R. Napiwotzki. Spectroscopic investigation of old planetaries. V. Distance scales. , 367:973–982, Mar 2001. doi: 10.1051/0004-6361:20000431.
- [6] David J. Frew. *Planetary Nebulae in the Solar Neighbourhood: Statistics, Distance Scale and Luminosity Function*. PhD thesis, Department of Physics, Macquarie University, NSW 2109, Australia, Jul 2008.
- [7] Marcelo Miguel Miller Bertolami. New models for the evolution of post-asymptotic giant branch stars and central stars of planetary nebulae. , 588:A25, April 2016. doi: 10.1051/0004-6361/201526577.
- [8] O. Suárez, P. García-Lario, A. Machado, M. Manteiga, A. Ulla, and S. R. Pottasch. A spectroscopic atlas of post-AGB stars and planetary nebulae selected from the IRAS point source catalogue. , 458(1):173–180, October 2006. doi: 10.1051/0004-6361:20054108.
- [9] R. Szczerba, N. Siódmiak, G. Stasińska, and J. Borkowski. An evolutionary catalogue of galactic post-AGB and related objects. , 469(2):799–806, July 2007. doi: 10.1051/0004-6361:20067035.
- [10] Ryszard Szczerba, Natasza Siódmiak, Grazyna Stasińska, Jozef Borkowski, Pedro García-Lario, Olga Suárez, Marcin Hajduk, and D. Anibal García-Hernández. The second release of the Toruń catalogue of Galactic post-AGB objects: New classification scheme. *IAU Symposium*, 283:506–507, August 2012. doi: 10.1017/S174392131201215X.
- [11] D. Kamath, P. R. Wood, and H. Van Winckel. Optically visible post-AGB stars, post-RGB stars and young stellar objects in the Large Magellanic Cloud. , 454(2):1468–1502, December 2015. doi: 10.1093/mnras/stv1202.
- [12] Mudumba Parthasarathy, Tadafumi Matsuno, and Wako Aoki. Gaia DR2 data and the evolutionary status of eight high-velocity hot post-AGB candidates. , 72(6):99, December 2020. doi: 10.1093/pasj/psaa097.
- [13] René D. Oudmaijer, Emma R. M. Jones, and Miguel Vioque. A census of post-AGB stars in Gaia DR3: evidence for a substantial population of Galactic post-RGB stars. , 516(1):L61–L65, October 2022. doi: 10.1093/mnras/slac088.
- [14] Henri M. J. Boffin and David Jones. *The Importance of Binaries in the Formation and Evolution of Planetary Nebulae*. SpringerBriefs in Astronomy. 2019.
- [15] Noam Soker. Collimated Fast Winds in Wide Binary Progenitors of Planetary Nebulae. , 558(1):157–164, September 2001. doi: 10.1086/322458.
- [16] I. González-Santamaría, M. Manteiga, A. Machado, A. Ulla, and C. Dafonte. Properties of central stars of planetary nebulae with distances in Gaia DR2. , 630:A150, October 2019. doi: 10.1051/0004-6361/201936162.

- [17] I. González-Santamaría, M. Manteiga, A. Manchado, M. A. Gómez-Muñoz, A. Ulla, and C. Dafonte. Wide binaries in planetary nebulae with Gaia DR2. , 644:A173, December 2020. doi: 10.1051/0004-6361/202039422.
- [18] I. González-Santamaría, M. Manteiga, A. Manchado, A. Ulla, C. Dafonte, and P. López Varela. Planetary nebulae in Gaia EDR3: Central star identification, properties, and binarity. , 656:A51, December 2021. doi: 10.1051/0004-6361/202141916.
- [19] F. Kerber, R. P. Mignani, F. Guglielmetti, and A. Wicenc. Galactic Planetary Nebulae and their central stars. I. An accurate and homogeneous set of coordinates. , 408:1029–1035, Sep 2003. doi: 10.1051/0004-6361:20031046.
- [20] W. A. Weidmann and R. Gamen. Central stars of planetary nebulae: New spectral classifications and catalogue. , 526:A6, Feb 2011. doi: 10.1051/0004-6361/200913984.
- [21] Quentin A. Parker, Ivan S. Bojičić, and David J. Frew. HASH: the Hong Kong/AAO/Strasbourg H α planetary nebula database. In *Journal of Physics Conference Series*, volume 728 of *Journal of Physics Conference Series*, page 032008, Jul 2016. doi: 10.1088/1742-6596/728/3/032008.
- [22] N. Chornay and N. A. Walton. Searching for central stars of planetary nebulae in Gaia DR2. , 638:A103, June 2020. doi: 10.1051/0004-6361/202037554.
- [23] L. Lindegren, J. Hernández, A. Bombrun, S. Klioner, U. Bastian, M. Ramos-Lerate, A. de Torres, H. Steidelmüller, C. Stephenson, D. Hobbs, U. Lammers, M. Biermann, R. Geyer, T. Hilger, D. Michalik, U. Stampa, P. J. McMillan, J. Castañeda, M. Clotet, G. Comoretto, M. Davidson, C. Fabricius, G. Gracia, N. C. Hambly, A. Hutton, A. Mora, J. Portell, F. van Leeuwen, U. Abbas, A. Abreu, M. Altmann, A. Andrei, E. Anglada, L. Balaguer-Núñez, C. Barache, U. Becciani, S. Bertone, L. Bianchi, S. Bouquillon, G. Bourda, T. Brüsemeister, B. Bucciarelli, D. Busonero, R. Buzzzi, R. Cancelliere, T. Carlucci, P. Charlot, N. Cheek, M. Crosta, C. Crowley, J. de Bruijne, F. de Felice, R. Drimmel, P. Esquej, A. Fienga, E. Fraile, M. Gai, N. Garralda, J. J. González-Vidal, R. Guerra, M. Hauser, W. Hofmann, B. Holl, S. Jordan, M. G. Lattanzi, H. Lenhardt, S. Liao, E. Licata, T. Lister, W. Löffler, J. Marchant, J. M. Martin-Fleitas, R. Messineo, F. Mignard, R. Morbidelli, E. Poggio, A. Riva, N. Rowell, E. Salguero, M. Sarasso, E. Sciacca, H. Siddiqui, R. L. Smart, A. Spagna, I. Steele, F. Taris, J. Torra, A. van Elteren, W. van Reeveen, and A. Vecchiato. Gaia Data Release 2. The astrometric solution. , 616:A2, Aug 2018. doi: 10.1051/0004-6361/201832727.
- [24] C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau, G. Mantelet, and R. Andrae. Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in Gaia Data Release 2. , 156:58, Aug 2018. doi: 10.3847/1538-3881/aac21.
- [25] Tri L. Astraatmadja and Coryn A. L. Bailer-Jones. Estimating Distances from Parallaxes. II. Performance of Bayesian Distance Estimators on a Gaia-like Catalogue. , 832:137, Dec 2016. doi: 10.3847/0004-637X/832/2/137.
- [26] Coryn A. L. Bailer-Jones. Estimating Distances from Parallaxes. , 127:994, Oct 2015. doi: 10.1086/683116.
- [27] S. R. Pottasch. Local space density and formation rate of planetary nebulae. , 307:561–578, Mar 1996.
- [28] A. A. Zijlstra and S. R. Pottasch. On the scale height of planetary nebulae. , 243:478, Mar 1991.
- [29] Alan E. J. Peyaud. *The Galactic Bulge traced by Planetary Nebulae*. PhD thesis, Department of Physics, Macquarie University, Sydney; University Louis Pasteur, Strasbourg, France, Dec 2005.
- [30] X. Luri, A. G. A. Brown, L. M. Sarro, F. Arenou, C. A. L. Bailer-Jones, A. Castro-Ginard, J. de Bruijne, T. Prusti, C. Babusiaux, and H. E. Delgado. Gaia Data Release 2. Using Gaia parallaxes. , 616:A9, Aug 2018. doi: 10.1051/0004-6361/201832964.
- [31] R. H. Mendez, R. P. Kudritzki, A. Herrero, D. Husfeld, and H. G. Groth. High resolution spectroscopy of central stars of planetary nebulae. I. Basic atmospheric parameters and their interpretation. , 190:113–136, Jan 1988.
- [32] David J. Frew, Q. A. Parker, and I. S. Bojičić. The H α surface brightness-radius relation: a robust statistical distance indicator for planetary nebulae. , 455:1459–1488, Jan 2016. doi: 10.1093/mnras/stv1516.
- [33] A. Manchado. *Correlation of PN Morphologies and Nebular Parameters*, volume 313 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 3. 2004.
- [34] D. E. Osterbrock and G. J. Ferland. *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei*. 2006.
- [35] *Planetary nebulae. A study of late stages of stellar evolution*, volume 107, Jan 1984. doi: 10.1007/978-94-009-7233-9.
- [36] Eva Villaver, Arturo Manchado, and Guillermo García-Segura. The Dynamical Evolution of the Circumstellar Gas around Low- and Intermediate-Mass Stars. II. The Planetary Nebula Formation. , 581(2):1204–1224, Dec 2002. doi: 10.1086/344250.
- [37] D. Schönberner, R. Jacob, and M. Steffen. The evolution of planetary nebulae. III. Internal kinematics and expansion parallaxes. , 441:573–588, Oct 2005. doi: 10.1051/0004-6361:20053108.

- [38] R. L. M. Corradi, M. Steffen, D. Schönberner, and R. Jacob. A hydrodynamical study of multiple-shell planetary nebulae. II. Measuring the post-shock velocities in the shells. , 474(2):529–539, Nov 2007. doi: 10.1051/0004-6361:20077293.
- [39] R. Jacob, D. Schönberner, and M. Steffen. The evolution of planetary nebulae. VIII. True expansion rates and visibility times. , 558:A78, Oct 2013. doi: 10.1051/0004-6361/201321532.
- [40] R. Weinberger. A catalogue of expansion velocities of galactic planetary nebulae. , 78:301–324, May 1989.
- [41] K. Gesicki, A. A. Zijlstra, M. Hajduk, and C. Szyszka. Accelerated post-AGB evolution, initial-final mass relations, and the star-formation history of the Galactic bulge. , 566:A48, Jun 2014. doi: 10.1051/0004-6361/201118391.
- [42] M. Perinotto, D. Schönberner, M. Steffen, and C. Calonaci. The evolution of planetary nebulae. I. A radiation-hydrodynamics parameter study. , 414:993–1015, Feb 2004. doi: 10.1051/0004-6361:20031653.
- [43] H. Zanstra. Temperatures of Stars in Planetary Nebulae. , 121(3055):790–791, May 1928. doi: 10.1038/121790a0.
- [44] James B. Kaler and George H. Jacoby. Central Star Temperatures of Optically Thick Planetary Nebulae and a Distance-independent Test of Dredge-up Theory. , 345:871, October 1989. doi: 10.1086/167957.
- [45] F. Gleizes, A. Acker, and B. Stenholm. Zanstra temperatures of the central stars of southern planetary nebulae. , 222:237–246, September 1989.
- [46] L. Koesterke. Spectral analyses of WR-type central stars of planetary nebulae. , 275:41–52, January 2001.
- [47] M. A. Guerrero and O. De Marco. Analysis of far-UV data of central stars of planetary nebulae: Occurrence and variability of stellar winds. , 553:A126, May 2013. doi: 10.1051/0004-6361/201220623.
- [48] Sun Kwok. *The Origin and Evolution of Planetary Nebulae*. 2000.
- [49] R. Tytenda, A. Acker, B. Stenholm, F. Gleizes, and B. Raytchev. The B and V magnitudes of the central stars of planetary nebulae. , 89:77, July 1991.
- [50] Robin Ciardullo, Howard E. Bond, Michael S. Sipior, Laura K. Fullton, C.-Y. Zhang, and Karen G. Schaefer. A [ital]hubble space telescope[/ital] survey for resolved companions of planetary nebula nuclei. , 118(1):488–508, Jul 1999. ISSN 0004-6256. doi: 10.1086/300940. URL <http://dx.doi.org/10.1086/300940>.
- [51] Moreno-Ibáñez, Manuel, Villaver, Eva, Shaw, Richard A., and Stanghellini, Letizia. Compact planetary nebulae in the galactic disk: Analysis of the central stars. *A&A*, 593:A29, 2016. doi: 10.1051/0004-6361/201628191. URL <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201628191>.
- [52] R. Tytenda, A. Acker, B. Stenholm, and J. Koeppen. The extinction constants for galactic planetary nebulae. , 95:337–354, October 1992.
- [53] J. H. Cahn, J. B. Kaler, and L. Stanghellini. A catalogue of absolute fluxes and distances of planetary nebulae. , 94:399–452, September 1992.
- [54] Gregory M. Green, Edward Schlafly, Catherine Zucker, Joshua S. Speagle, and Douglas Finkbeiner. A 3D Dust Map Based on Gaia, Pan-STARRS 1, and 2MASS. , 887(1):93, December 2019. doi: 10.3847/1538-4357/ab5362.
- [55] William D. Vacca, Catharine D. Garmany, and J. Michael Shull. The Lyman-Continuum Fluxes and Stellar Parameters of O and Early B-Type Stars. , 460:914, Apr 1996. doi: 10.1086/177020.
- [56] F. Herwig, T. Blöcker, N. Langer, and T. Driebe. On the formation of hydrogen-deficient post-AGB stars. , 349:L5–L8, Sep 1999.
- [57] F. M. Jiménez-Esteban, E. Solano, and C. Rodrigo. A Catalog of Wide Binary and Multiple Systems of Bright Stars from Gaia-DR2 and the Virtual Observatory. , 157(2):78, February 2019. doi: 10.3847/1538-3881/aafacc.
- [58] Martin D. Weinberg, Stuart L. Shapiro, and Ira Wasserman. The Dynamical Fate of Wide Binaries in the Solar Neighborhood. , 312:367, January 1987. doi: 10.1086/164883.
- [59] Laird M. Close, Harvey B. Richer, and Dennis R. Crabtree. A Complete Sample of Wide Binaries in the Solar Neighborhood. , 100:1968, December 1990. doi: 10.1086/115652.
- [60] Petr Zavada and Karel Piřka. Statistical Analysis of Binary Stars from the Gaia Catalog Data Release 2. , 159(1):33, January 2020. doi: 10.3847/1538-3881/ab5865.
- [61] C. Danielski, C. Babusiaux, L. Ruiz-Dern, P. Sartoretti, and F. Arenou. The empirical Gaia G-band extinction coefficient. , 614:A19, June 2018. doi: 10.1051/0004-6361/201732327.

- [62] D. W. Evans, M. Riello, F. De Angeli, J. M. Carrasco, P. Montegriffo, C. Fabricius, C. Jordi, L. Palaversa, C. Diener, G. Busso, C. Cacciari, F. van Leeuwen, P. W. Burgess, M. Davidson, D. L. Harrison, S. T. Hodgkin, E. Pancino, P. J. Richards, G. Altavilla, L. Balaguer-Núñez, M. A. Barstow, M. Bellazzini, A. G. A. Brown, M. Castellani, G. Cocozza, F. De Luise, A. Delgado, C. Ducourant, S. Galleti, G. Gilmore, G. Giuffrida, B. Holl, A. Kewley, S. E. Koposov, S. Marinoni, P. M. Marrese, P. J. Osborne, A. Piersimoni, J. Portell, L. Pulone, S. Ragaini, N. Sanna, D. Terrett, N. A. Walton, T. Wevers, and Ł. Wyrzykowski. Gaia Data Release 2. Photometric content and validation. , 616:A4, August 2018. doi: 10.1051/0004-6361/201832756.
- [63] F. Allard, D. Homeier, and B. Freytag. Models of very-low-mass stars, brown dwarfs and exoplanets. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A*, 370(1968):2765–2777, June 2012. doi: 10.1098/rsta.2011.0269.
- [64] S. R. Heap. Spectroscopic studies of very old hot stars. I. NGC 246 and its exciting star. , 196:195, February 1975. doi: 10.1086/153405.
- [65] M. M. Miller Bertolami and L. G. Althaus. Full evolutionary models for PG 1159 stars. Implications for the helium-rich O(He) stars. , 454(3):845–854, August 2006. doi: 10.1051/0004-6361:20054723.
- [66] Walter A. Feibelman. Detection of ovi1522 in IUESpectra of planetary nebula nuclei and other hot stars. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 111(756):221–226, feb 1999. doi: 10.1086/316317. URL <https://doi.org/10.1086/316317>.
- [67] C. Adam and M. Mugrauer. HIP 3678: a hierarchical triple stellar system in the centre of the planetary nebula NGC 246. , 444(4):3459–3465, 09 2014. ISSN 0035-8711. doi: 10.1093/mnras/stu1677. URL <https://doi.org/10.1093/mnras/stu1677>.
- [68] Kyle M. Cudworth. Visual Binaries in Planetary Nebulae. , 85(506):401, August 1973. doi: 10.1086/129475.
- [69] C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fousneau, M. Demleitner, and R. Andrae. Estimating Distances from Parallaxes. V. Geometric and Photogeometric Distances to 1.47 Billion Stars in Gaia Early Data Release 3. , 161(3):147, March 2021. doi: 10.3847/1538-3881/abd806.
- [70] W. A. Weidmann, M. B. Mari, E. O. Schmidt, G. Gaspar, M. M. Miller Bertolami, G. A. Oio, L. A. Gutiérrez-Soto, M. G. Volpe, R. Gamen, and D. Mast. Catalogue of the central stars of planetary nebulae. Expanded edition. , 640:A10, August 2020. doi: 10.1051/0004-6361/202037998.
- [71] Eva Villaver, Arturo Manchado, and Guillermo García-Segura. The Interaction of Asymptotic Giant Branch Stars with the Interstellar Medium. , 748(2):94, April 2012. doi: 10.1088/0004-637X/748/2/94.
- [72] René Andrae, Morgan Fousneau, Orlagh Creevey, Christophe Ordenovic, Nicolas Mary, Alexandru Burlacu, Laurence Chaoul, Anne Jean-Antoine-Piccolo, Georges Kordopatis, Andreas Korn, Yveline Lebreton, Chantal Panem, Bernard Pichon, Frédéric Thévenin, Gavin Walmsley, and Coryn A. L. Bailer-Jones. Gaia Data Release 2. First stellar parameters from Apsis. , 616:A8, August 2018. doi: 10.1051/0004-6361/201732516.
- [73] David J. Schlegel, Douglas P. Finkbeiner, and Marc Davis. Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds. , 500(2):525–553, June 1998. doi: 10.1086/305772.
- [74] N. Chornay and N. A. Walton. One star, two star, red star, blue star: an updated planetary nebula central star distance catalogue from Gaia EDR3. *arXiv e-prints*, art. arXiv:2102.13654, February 2021.
- [75] L. Lindegren, U. Bastian, M. Biermann, A. Bombrun, A. de Torres, E. Gerlach, R. Geyer, J. Hernández, T. Hilger, D. Hobbs, S. A. Klioner, U. Lammers, P. J. McMillan, M. Ramos-Lerate, H. Steidelmüller, C. A. Stephenson, and F. van Leeuwen. Gaia Early Data Release 3. Parallax bias versus magnitude, colour, and position. , 649:A4, May 2021. doi: 10.1051/0004-6361/202039653.
- [76] C. Fabricius, X. Luri, F. Arenou, C. Babusiaux, A. Helmi, T. Muraveva, C. Reylé, F. Spoto, A. Vallenari, T. Antoja, E. Balbinot, C. Barache, N. Bauchet, A. Bragaglia, D. Busonero, T. Cantat-Gaudin, J. M. Carrasco, S. Diakité, M. Fabrizio, F. Figueras, A. Garcia-Gutierrez, A. Garofalo, C. Jordi, P. Kervella, S. Khanna, N. Leclerc, E. Licata, S. Lambert, P. M. Marrese, A. Masip, P. Ramos, N. Robichon, A. C. Robin, M. Romero-Gómez, S. Rubele, and M. Weiler. Gaia Early Data Release 3. Catalogue validation. , 649:A5, May 2021. doi: 10.1051/0004-6361/202039834.
- [77] M. Peimbert and S. Torres-Peimbert. Type I planetary nebulae. In L. H. Aller, editor, *Planetary Nebulae*, volume 103, pages 233–242, January 1983.
- [78] R. L. M. Corradi and H. E. Schwarz. Morphological populations of planetary nebulae: which progenitors? I. Comparative properties of bipolar nebulae. , 293:871–888, Jan 1995.
- [79] David Jones and Henri M. J. Boffin. Binary stars as the key to understanding planetary nebulae. *Nature Astronomy*, 1: 0117, May 2017. doi: 10.1038/s41550-017-0117.

- [80] Dimitri Douchin, Orsola De Marco, D. J. Frew, G. H. Jacoby, G. Jasniewicz, M. Fitzgerald, Jean-Claude Passy, D. Harmer, Todd Hillwig, and Maxwell Moe. The binary fraction of planetary nebula central stars - II. A larger sample and improved technique for the infrared excess search. , 448(4):3132–3155, April 2015. doi: 10.1093/mnras/stu2700.
- [81] David Jones, Ondřej Pejcha, and Romano L M Corradi. On the triple-star origin of the planetary nebula Sh 2-71. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 489(2):2195–2203, 08 2019. ISSN 0035-8711. doi: 10.1093/mnras/stz2293. URL <https://doi.org/10.1093/mnras/stz2293>.
- [82] N. Chornay, N. A. Walton, D. Jones, H. M. J. Boffin, M. Rejkuba, and R. Wesson. Towards a more complete sample of binary central stars of planetary nebulae with Gaia. , 648:A95, April 2021. doi: 10.1051/0004-6361/202140288.
- [83] K. G. Stassun. VizieR Online Data Catalog: TESS Input Catalog - v8.0 (TIC-8) (Stassun+, 2019). *VizieR Online Data Catalog*, art. IV/38, November 2019.
- [84] F. Castelli and R. L. Kurucz. New Grids of ATLAS9 Model Atmospheres. In N. Piskunov, W. W. Weiss, and D. F. Gray, editors, *Modelling of Stellar Atmospheres*, volume 210, page A20, January 2003.
- [85] J. Kluska, H. van Winckel, M. Hillen, J. P. Berger, D. Kamath, J. B. Le Bouquin, and M. Min. VizieR Online Data Catalog: Disks around post-AGB binaries fit results (Kluska+, 2019). *VizieR Online Data Catalog*, art. J/A+A/631/A108, September 2019.
- [86] M. A. Ratag and S. R. Pottasch. Planetary nebulae near the galactic center : III. The WSRT measurements. , 91:481, December 1991.
- [87] L. Kohoutek. New and misclassified Planetary Nebulae. *Astronomische Nachrichten*, 318(1):35, January 1997. doi: 10.1002/asna.2113180106.
- [88] S. Sumangala Rao, Sunetra Giridhar, and David L. Lambert. Chemical composition of a sample of candidate post-asymptotic giant branch stars. , 419(2):1254–1270, January 2012. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.19780.x.
- [89] H. C. Bhatt and P. Manoj. Polarization measurements of Vega-like stars. , 362:978–983, October 2000.
- [90] Elena D’Onghia and Andrew J. Fox. The Magellanic Stream: Circumnavigating the Galaxy. , 54:363–400, September 2016. doi: 10.1146/annurev-astro-081915-023251.
- [91] Doug Tody. The IRAF Data Reduction and Analysis System. In David L. Crawford, editor, *Instrumentation in astronomy VI*, volume 627 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, page 733, January 1986. doi: 10.1117/12.968154.
- [92] Valentina Luridiana, Christophe Morisset, and Richard A. Shaw. PyNeb: a new software for the analysis of emission lines. *IAU Symposium*, 283:422–423, August 2012. doi: 10.1017/S1743921312011738.
- [93] S. Torres-Peimbert and M. Peimbert. Photoelectric photometry and physical conditions of planetary nebulae. , 2:181–207, August 1977.
- [94] R. L. Kingsburgh and M. J. Barlow. Elemental abundances for a sample of southern galactic planetary nebulae. , 271:257–299, November 1994. doi: 10.1093/mnras/271.2.257.
- [95] Y. I. Izotov, G. Stasińska, G. Meynet, N. G. Guseva, and T. X. Thuan. The chemical composition of metal-poor emission-line galaxies in the Data Release 3 of the Sloan Digital Sky Survey. , 448(3):955–970, March 2006. doi: 10.1051/0004-6361:20053763.
- [96] Gloria Delgado-Inglada, Christophe Morisset, and Grażyna Stasińska. Ionization correction factors for planetary nebulae - I. Using optical spectra. , 440(1):536–554, May 2014. doi: 10.1093/mnras/stu341.
- [97] J. Bohigas. Infrared Imaging and Optical Imaging and Spectroscopy of (mostly) Type I Planetary Nebulae. II. , 39:149–170, January 2003.
- [98] Yuri I. Izotov, Trinh X. Thuan, and Valentin A. Lipovetsky. The Primordial Helium Abundance from a New Sample of Metal-deficient Blue Compact Galaxies. , 435:647, November 1994. doi: 10.1086/174843.
- [99] J. Bohigas. Infrared Imaging and Optical Imaging and Spectroscopy of (mostly) Type I Planetary Nebulae. I. , 37:237–260, October 2001.
- [100] Walter A. Feibelman, Siek Hyung, and Lawrence H. Aller. Spectrum of IC 2149 and Its Central Star. , 426:653, May 1994. doi: 10.1086/174102.
- [101] M. Peimbert, S. Torres-Peimbert, and M. T. Ruiz. The chemical composition of the galactic H II region M17. , 24:155–177, October 1992.

- [102] S. R. Pottasch, D. A. Beintema, and W. A. Feibelman. Abundances of planetary nebulae <ASTROBJ>NGC 2022</ASTROBJ>, <ASTROBJ>NGC 6818</ASTROBJ> and IC 4191. , 436(3):953–965, June 2005. doi: 10.1051/0004-6361:20042627.
- [103] K. B. Kwitter and R. B. C. Henry. Sulfur, Chlorine, and Argon in Planetary Nebulae. I. Observations and Abundances in a Northern Sample. , 562(2):804–823, December 2001. doi: 10.1086/322505.
- [104] S. R. Pottasch and J. Bernard-Salas. Planetary nebulae abundances and stellar evolution II. , 517:A95, July 2010. doi: 10.1051/0004-6361/201014009.
- [105] A. I. Karakas. Updated stellar yields from asymptotic giant branch models. , 403(3):1413–1425, April 2010. doi: 10.1111/j.1365-2966.2009.16198.x.
- [106] Marcelo M. Miller Bertolami. New models for the evolution of central stars of planetary nebulae: Faster and Brighter. In X. Liu, L. Stanghellini, and A. Karakas, editors, *Planetary Nebulae: Multi-Wavelength Probes of Stellar and Galactic Evolution*, volume 323 of *IAU Symposium*, pages 179–183, Oct 2017. doi: 10.1017/S1743921317001533.