

Propiedades de las estrellas centrales de nebulosas planetarias con distancias en Gaia DR2

Iker González Santamaría

M. Manteiga, A. Manchado, A. Ulla y C. Dafonte

Universidade da Coruña

14 de febrero de 2020



Introducción

- Las **Nebulosas Planetarias (NPs)** son los objetos estelares que se generan cuando estrellas de masa baja e intermedia ionizan la envoltura que les rodea, llegadas a su fase final de evolución.
- Esta fase de ionización se produce debido a la alta **luminosidad** y **temperatura** del núcleo estelar remanente, tras pasar por la fase *AGB* (*Asymptotic Giant Branch*) y antes de convertirse en *enana blanca*.
- Interés astronómico:
 - Enriquece químicamente el **MI**.
 - Indicador de **distancias** extragalácticas.
 - Proporciona información sobre la composición química de la estrella **progenitora**.



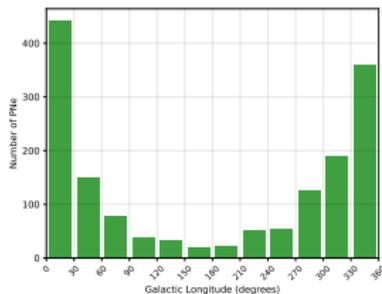
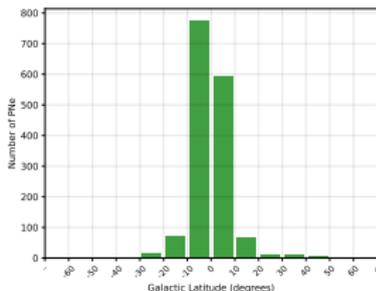
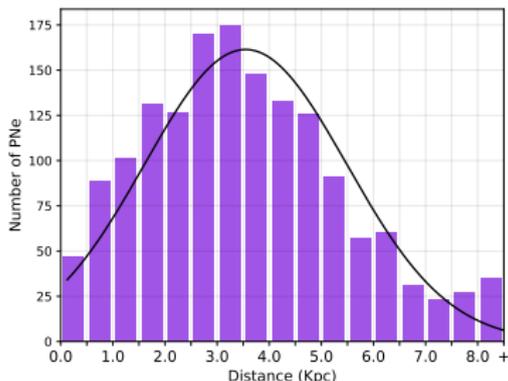
Muestra general - Selección

- Búsqueda en literatura: 2554 posibles NPs.
- Selección de **1571 NPs** identificadas (estrella central) por Gaia a menos de 5 as, con paralaje conocido y clasificadas como *PN* en SIMBAD.
- Corrección del **paralaje** (bias de -0.03 mas) y de su error (interno y sistemático), según *Lindgren et al. (2018)*:

$$\sigma_T = \sqrt{k^2 \cdot \sigma_{int}^2 + \sigma_{sis}^2}$$

Muestra general - Distancias y Distribución

- Obtención de las **distancias** a partir del paralaje y mediante la aproximación bayesiana de *Bailer-Jones et al. (2018)*.
- Distribución *gaussiana* centrada en distancia de **3.55 Kpc**.
- **Distribución galáctica:** máxima población de NPs en el plano galáctico y en dirección al centro galáctico.



Muestra general - Población y Completitud

- Distribución de NPs según altura galáctica (en tubo de radio 2 kpc):

$$N(z) = 46,73 \cdot e^{-5,96 \cdot 10^{-3} z}$$

- **Scale Height (H_z):** altura galáctica a la cual el número de NPs decrece en un factor $e \implies H_z = 168$ pc.
- **Densidad de NPs (ρ):** dentro de volumen cilíndrico ($r = 2$ kpc, H_z)
 $\implies \rho = 6,38 \cdot 10^{-8}$ NP/pc³.

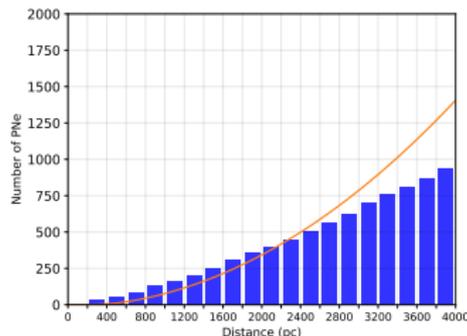
- **Población galáctica:**

$$N_G = N_D + N_B = 20.761 \text{ NPs.}$$

- **Ratio de nacimiento:**

$$R_B = 3 \cdot 10^{-3} \text{ NPs}/(\text{kpc}^3 \cdot \text{yr}).$$

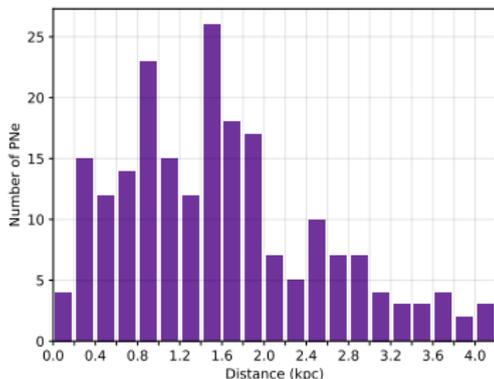
- **Completitud de la muestra** $\simeq 2.300$ pc.



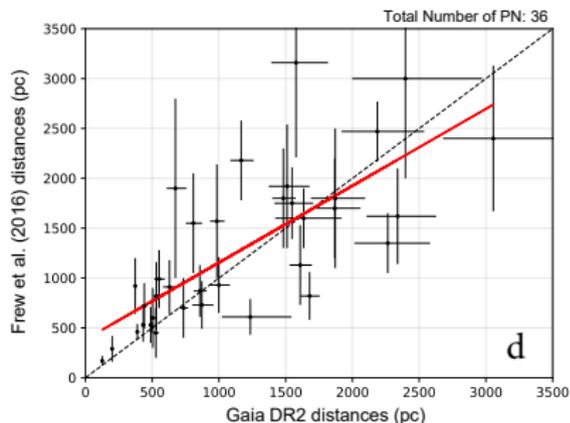
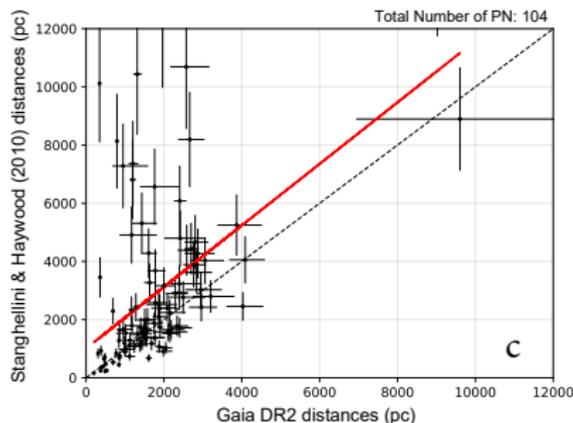
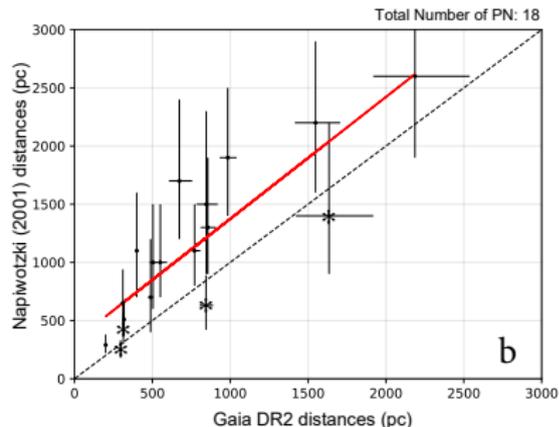
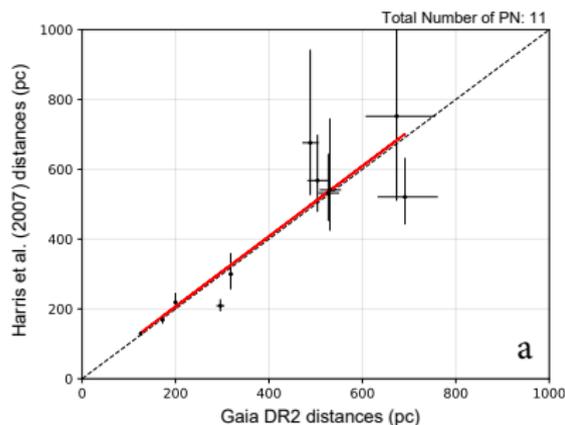
Muestra GAPN - Distancias

- Submuestra de PNs con paralajes y distancias mas **fiables** (menores errores) => *Golden Astrometry Planetary Nebula (GAPN)*: **211 NPs**.
 - Error Relativo del **Paralaje** < 30 %
 - Errores de **Distancia** (superior e inferior) < 30 %
 - Unit weight error: **UWE** < 1.96
 - Renormalised unit weight error: **RUWE** < 1.4

- Distribución de **distancias**:
 - Decece a partir de los 2 kpc.
 - NPs mas lejanas entorno a los 4 kpc.

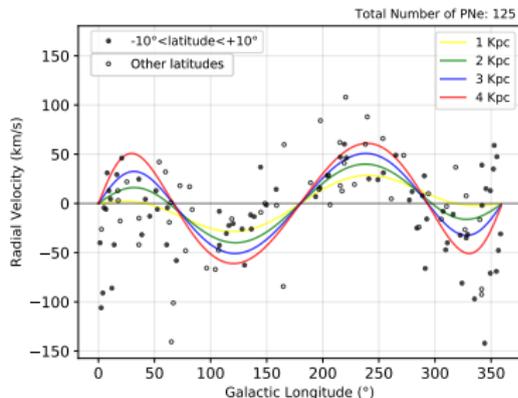
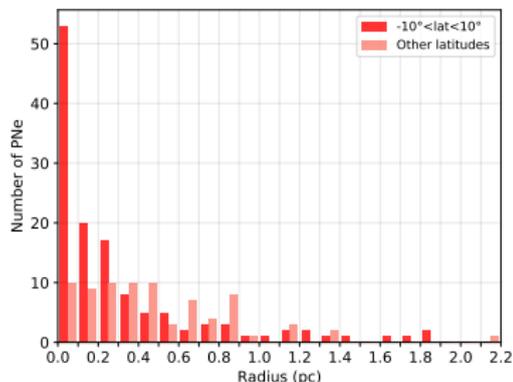


Muestra GAPN - Distancias (GDR2 vs Otros Autores)



Muestra GAPN - Radios y Velocidades radiales

- **Radio físico nebular** obtenido a partir de la distancia y del radio angular (HASH).
 - Mayoría de NPs radios por debajo de 0.5 pc.
 - Cerca del plano galáctico las NPs tienden a ser más pequeñas.
- **Velocidades radiales** en función de longitud galáctica, comparadas con las correspondientes velocidades resultantes del movimiento circular rotacional galáctico a 230 km/s, a diferentes distancias.
 - Las velocidades cerca del plano galáctico se corresponden mejor.



Muestra GAPN - Velocidades de Expansión y Edades Cinematicas

- La **velocidad de expansión** nebular es un parámetro complejo, difícil de estimar. Eliminamos NPs deficientes en H, binarias y con morfología no esférica. Aplicamos factor de corrección de 1.5, *Jacob et al.* (2013).
- Valor medio: $\langle V_{exp} \rangle = (38 \pm 16)$ km/s .
- A partir del radio medio de estas NPs ($\langle R \rangle = 0,633$ pc), podemos estimar la **edad cinemática** media:

$$\langle T_c \rangle = \frac{\langle R \rangle}{\langle V_{exp} \rangle} = (23400 \pm 6800) \text{yr.}$$

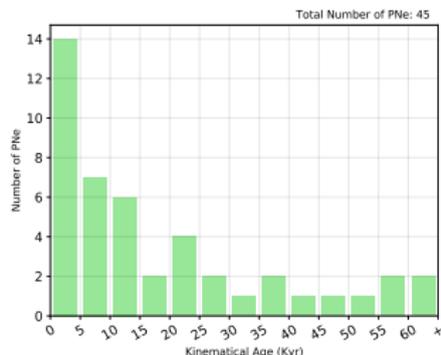
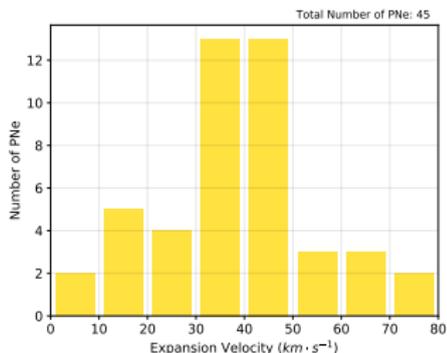


Diagrama HR - Temperaturas y Luminosidades

- Las **temperaturas efectivas** (T_{eff}) de las estrellas centrales (EC) se estiman midiendo el flujo nebular de H I y H α (*Método de Zanstra (1928)*), y por el ajuste a modelos de atmosferas.
- Para obtener la **luminosidad** de las ECs utilizamos los siguientes datos de *Frew (2008)*:
 - Magnitudes visuales aparentes, m_V (valores entre 10 y 20).
 - Extinciones, A_V (mayoria por debajo de 0.2).
- A partir de las distancias se calculan las magnitudes visuales absolutas y mediante la calibración de *Vacca et al. (1996)*, las bolométricas:

$$M_{Bol} = M_V + 27,66 - 6,84 \cdot \log(T_{eff})$$

- Finalmente, de aquí se deducen las luminosidades.

Diagrama HR - Trazas de Miller-Bertolami (2016)

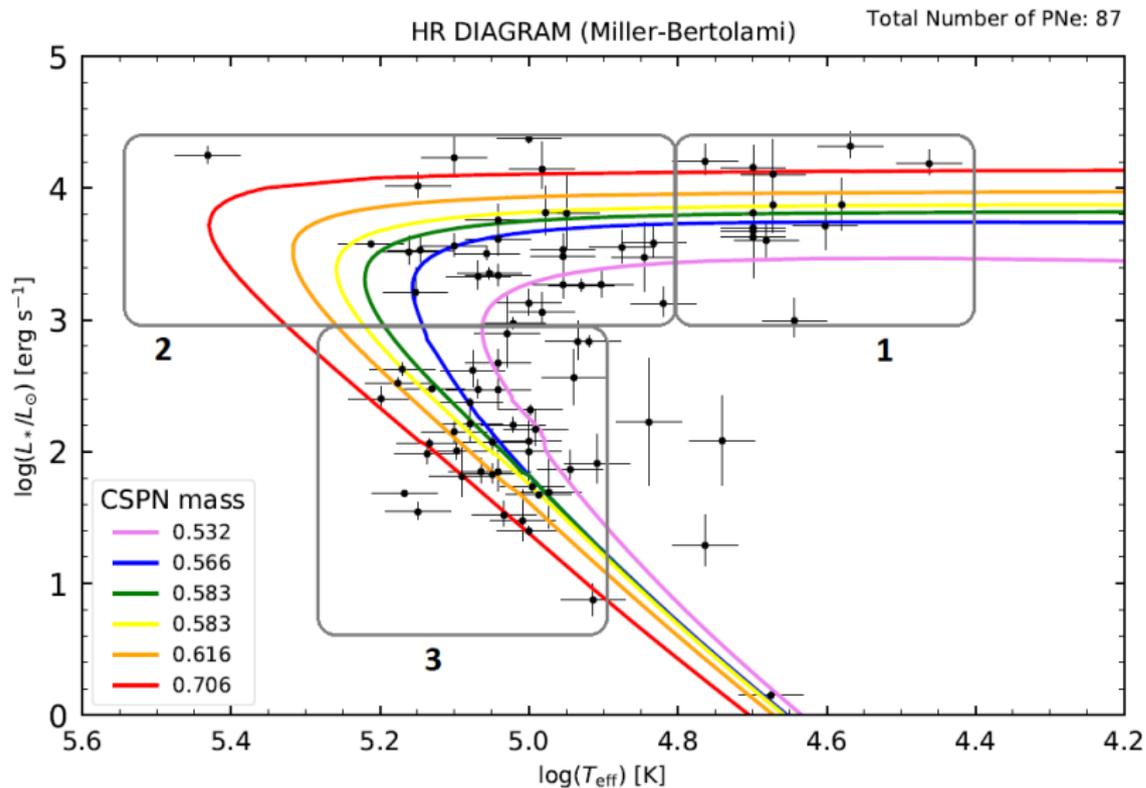


Diagrama HR - Trazas de Vassiliadis-Wood (1994)

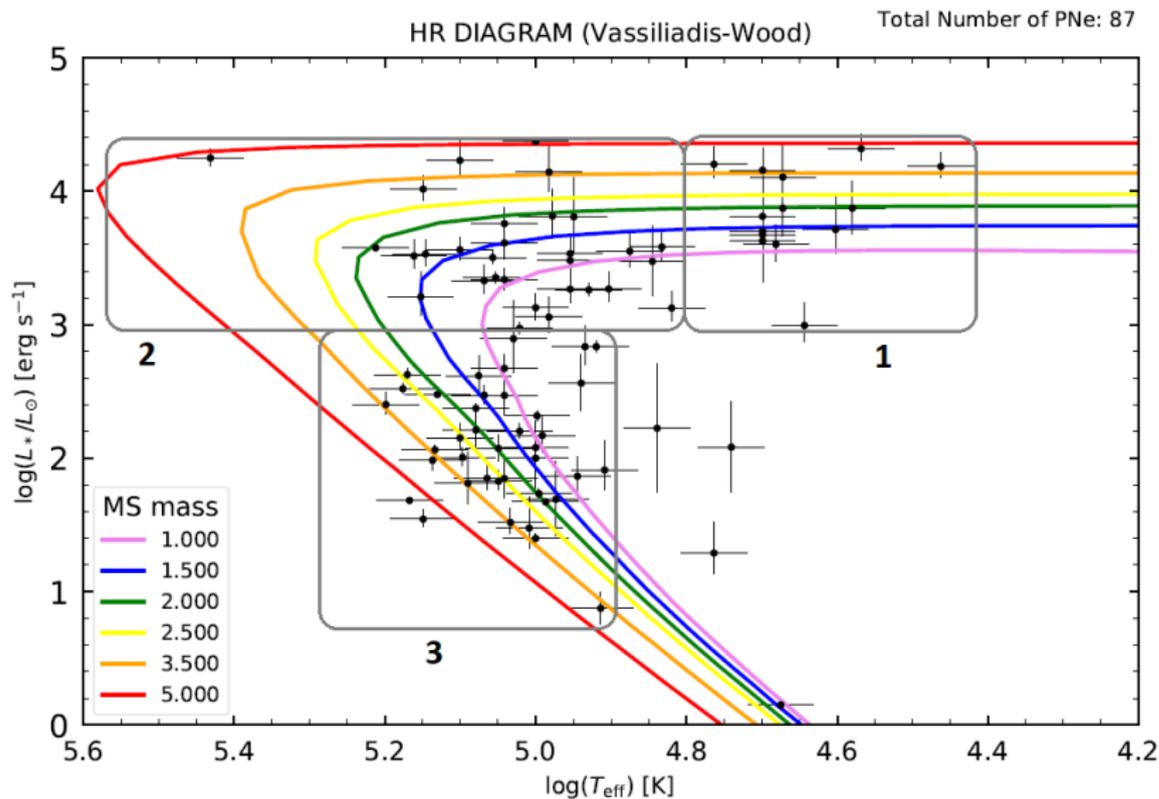


Diagrama HR - Masas y Edades evolutivas

- Análisis por **regiones** de aquellas NPs del diagrama HR de las que se conoce su velocidad de expansión:

Parámetro	Región 1	Región 2	Región 3
Número de ECs	11	18	32
$\langle R \rangle$ (pc)	0.093	0.296	0.787
$\langle M_{CSPN}^{Ber} \rangle (M_{\odot})$	0.607	0.594	0.607
$\langle T^{Ber} \rangle$ (kyr)	4.68	23.28	45.18
$\langle V_{exp}^{Ber} \rangle (km \cdot s^{-1})$	19.46	12.45	17.05
$\langle V_{exp}^O \rangle (km \cdot s^{-1})$	20.56	28.97	23.60

Conclusiones y Resultados

- Las distancias derivadas de los paralajes de *GDR2* son compatibles con derivaciones **astrométricas** como las de *USNO* y *HST*. Pero aquellas obtenidas mediante modelos **non-LTE** están sobrestimadas en comparación.
- Obtención de **edades cinemáticas** a partir de velocidades de expansión y tamaños físicos nebulares.
- La ubicación de las ECs de las NPs en el **diagrama HR** junto con las trazas evolutivas de Miller-Bertolami, nos ha proporcionado información sobre el estado evolutivo de las mismas (masas y edades).
- Estimación de la **completitud** de la muestra y de la **población** total de NPs en la Vía Láctea.

* **Artículo Completo:** I. Gonzalez-Santamaria, M. Manteiga, A. Manchado, A. Ulla, C. Dafonte, *A&A*, 630 (2019) A150.