

Parte VI
APÉNDICES

A Construcción y contenido del catálogo de estrellas O y B

Los datos astrométricos han sido extraídos del catálogo Hipparcos (ESA 1997), que contiene un total de 118218 estrellas. Estos datos (coordenadas ecuatoriales, paralaje y movimiento propio anual) son de una calidad sin precedentes: del orden de $0.0007\text{-}0.0009''$ ($0.7\text{-}0.9$ mas) para estrellas más brillantes que la magnitud 9 en la época del catálogo (J1991.25). La magnitud límite del catálogo Hipparcos es de 12.4, y la magnitud de completitud varía con la latitud galáctica y el tipo espectral entre la 7.3 y la 9.0 (Perryman et al. 1997).

La muestra de estrellas de los tipos espectrales O y B que hemos utilizado en la confección de nuestro catálogo corresponde a la *Hipparcos Internal Proposal IN-CA060* (ampliada con todas las estrellas del *survey* que no figuraban en dicha propuesta), y contiene un total de 6922 estrellas. Esta propuesta contiene todas las estrellas O y B del *survey* de Hipparcos (un total de 5846). Por tanto, la muestra es completa hasta la magnitud de completitud del catálogo Hipparcos que, como acabamos de decir, varía entre la magnitud 7.3 y la 9.0.

A.1. Construcción del catálogo

Como ya se ha comentado, los datos astrométricos de nuestra compilación de estrellas O y B provienen del catálogo Hipparcos. Para conocer la velocidad espacial de la estrella necesitamos dos datos más: la velocidad radial y una buena estimación de la distancia. ésta última podría ser calculada a partir de la paralaje, pero está comprobado que los algoritmos de cálculo de distancias a partir de la fotometría Strömgen proporcionan unos resultados mucho más fiables para las

estrellas más lejanas. Ello es debido a que, si bien la relación σ_π/π se mantiene constante para las distancias fotométricas, aumenta con la distancia heliocéntrica para las trigonométricas. Esto hace que, como veremos más tarde, para distancias superiores a 150-250 pc (dependiendo del tipo espectral de la estrella), la estimación de la distancia fotométrica tenga un error menor que la trigonométrica. Por tanto, necesitábamos hacer una completa compilación de todas las velocidades radiales y fotometría Strömrgren disponibles para nuestras estrellas, exigiendo siempre unos criterios de alta calidad.

A.1.1. Fuentes para las velocidades radiales

La principal fuente para la velocidad radial ha sido la compilación de Grenier (1997), que ha realizado una completa recopilación y revisión de los catálogos de Barbier-Brossat (1997), *WEB Catalogue of radial velocities* (Dufflot, Figon y Meyssonier 1995; únicamente estrellas con calidad A, B o C) y PPO (Dufflot et al. 1992). Las otras fuentes para la velocidad radial han sido las compilaciones *WEB Catalogue of radial velocities* (Dufflot et al. 1995), *INCA (Hipparcos Input Catalogue, ESA 1992)*, *SPO* (Fehrenbach et al. 1987), Andersen y Nordström (1983) y Denoyelle (1987).

De las 6922 estrellas de nuestra muestra inicial, 4042 (58.4 % del total) disponían de alguna determinación de la velocidad radial. En la tabla A.1 podemos ver la distribución de velocidades radiales encontradas entre las diferentes fuentes. El orden de prioridad asignado a las distintas fuentes es el mismo que el orden de la tabla. En las compilaciones que no asignaban un error individual a la determinación de la velocidad radial, se ha establecido el error consignado en la tabla.

A.1.2. Fuente para la fotometría Strömrgren

Para la obtención de la fotometría Strömrgren de nuestras estrellas hemos utilizado el catálogo de Hauck y Mermilliod (1998), que contiene un total de 63590 estrellas con algún tipo de fotometría. Los datos fotométricos que contiene este catálogo son: magnitud visual aparente V y su error, índices $b-y$, m_1 , c_1 y sus errores, y magnitud H_β y su error.

Tabla A.1: Fuentes de la velocidad radial.

Fuente	Error adoptado	Número de estrellas	Porcentaje sobre las 4042 estrellas
Barbier-Brossat (Grenier 1997)	individual	1323	32.7 %
WEB(A,B,C) (Grenier 1997)	individual	1859	46.0 %
PPO (Grenier 1997)	individual	200	4.9 %
WEB – C (Duflot et al. 1995)	11.0 km/s	2	
WEB – D (Duflot et al. 1995)	11.0 km/s	383	9.5 %
WEB – E (Duflot et al. 1995)	22.0 km/s	71	1.8 %
WEB – I (Duflot et al. 1995)	22.0 km/s	1	
WEB – () (Duflot et al. 1995)	22.0 km/s	47	1.2 %
INCA – Barbier-Brossat (1989)	22.0 km/s	23	0.6 %
INCA – W o E, A (ESA 1992)	22.0 km/s	1	
INCA – W o E, B (ESA 1992)	22.0 km/s	1	
INCA – W o E, C (ESA 1992)	22.0 km/s	1	
INCA – W o E, D (ESA 1992)	22.0 km/s	3	
INCA – W o E, E (ESA 1992)	22.0 km/s	2	
INCA – X (ESA 1992)	22.0 km/s	59	1.5 %
SPO (Fehrenbach et al. 1987)	11.0 km/s	53	1.3 %
Andersen y Nordström (1983)	individual	5	0.1 %
Denoyelle (1987)	individual	10	0.2 %

Tabla A.2: Fotometría de las estrellas de la muestra.

Datos fotométricos	N	Porcentaje
Algún dato fotométrico	4285	61.9 %
Sólo con V y H_β	155	2.2 %
Sólo con H_β	263	3.8 %
Sólo con V y/o H_β	1071	15.5 %
Fotometría completa (excepto V)	3031	43.8 %

De todas nuestras estrellas, 3031 (43.8 % del total) tienen fotometría Strömgen completa ($b-y$, m_1 , c_1 y H_β) en el catálogo de Hauck y Mermilliod (ver tabla A.2). De éstas, 208 estrellas (6.8 % de las 3031 estrellas con fotometría completa) no tienen magnitud visual V . En estos casos se ha tomado la magnitud visual aparente dada en el catálogo Hipparcos.

A.1.3. Cálculo de parámetros físicos: distancias y edades

La determinación de los parámetros físicos a partir de la fotometría Strömgen se ha realizado siguiendo los algoritmos desarrollados por Jordi et al. (1997). De todos ellos nos interesan en especial tres: la distancia a la estrella, su temperatura efectiva y su gravedad superficial. El primero es, obviamente, de suma importancia en nuestro problema. Los dos últimos nos permitirán determinar la edad de la estrella a partir de los algoritmos desarrollados por Asiain et al. (1997).

Hemos obtenido parámetros físicos para un total de 2997 estrellas (34 han sido clasificadas como conflictivas por el algoritmo). El programa informa de otras peculiaridades fotométricas de las estrellas. En la tabla A.10 (ver sección A.3) se muestran estas peculiaridades, y el número de estrellas que las tenían. En el catálogo construido se informa de estas peculiaridades mediante un indicador, según la numeración de la tabla.

Se ha incluido también un indicador para las estrellas cuya magnitud visual aparente en los catálogos de Hauck y Mermilliod y Hipparcos tenía una discrepancia superior a 0.6 mag. (22 estrellas tienen este indicador).

Dados los problemas que pueden surgir con la fotometría de estrellas dobles

Tabla A.3: Estrellas variables de la muestra.

Rango de variabilidad	Ind.	N	Porcentaje
$\Delta H_p < 0.06$ mag.	1	791	11.4 %
0.06 mag. $< \Delta H_p < 0.6$ mag.	2	731	10.6 %
$\Delta H_p > 0.6$ mag.	3	40	0.6 %

cerradas, también se ha incorporado un indicador para las estrellas dobles o múltiples con una separación entre componentes menor a $10''$ y una diferencia en la magnitud H_p del sistema fotométrico de Hipparcos menor a 3 mag. (278 estrellas tienen este indicador).

Se ha incorporado también el indicador Hipparcos de variabilidad, el cual informa si una estrella, en el caso de ser variable, tiene un rango de variación de menos de 0.06 mag., entre 0.06 y 0.6 mag., o de más de 0.6 mag. (ver tabla A.3).

Para cada estrella, la distancia fotométrica se ha calculado a partir de tres algoritmos diferentes: Crawford (1978), Balona y Shobbroock (1984) y Jakobsen (1985). Se han hecho estudios comparativos entre todas ellas, no encontrándose efectos sistemáticos. Al final hemos optado por utilizar la distancia calculada a partir de algoritmo de Crawford.

Para estrellas con $T_{\text{ef}} < 11000$ K se han tomado como errores en T_{ef} y $\log g$ los siguientes valores (Torra et al. 1990):

$$\epsilon_{T_{\text{ef}}} = 270 \text{ K} \quad \epsilon_{\log g} = 0.18$$

Para estrellas con $T_{\text{ef}} > 11000$ K (región fotométrica I de Strömgren) se ha procedido a la asignación de un error individual en T_{ef} , siguiendo el esquema propuesto en Mestres (1996).

Una vez conocidos los valores de la temperatura efectiva y la gravedad superficial, junto con sus errores, se ha realizado el cálculo de la edad individual de la estrella a partir del algoritmo de interpolación de Asiain et al. (1997) y utilizando los modelos de evolución estelar de Bressan et al. (1993) para metalicidad solar. De esta manera, se ha obtenido la edad para 2864 estrellas. En la figura A.1 (izquierda) se muestra el histograma de edades de las estrellas de nuestro catálogo, y el histograma del error

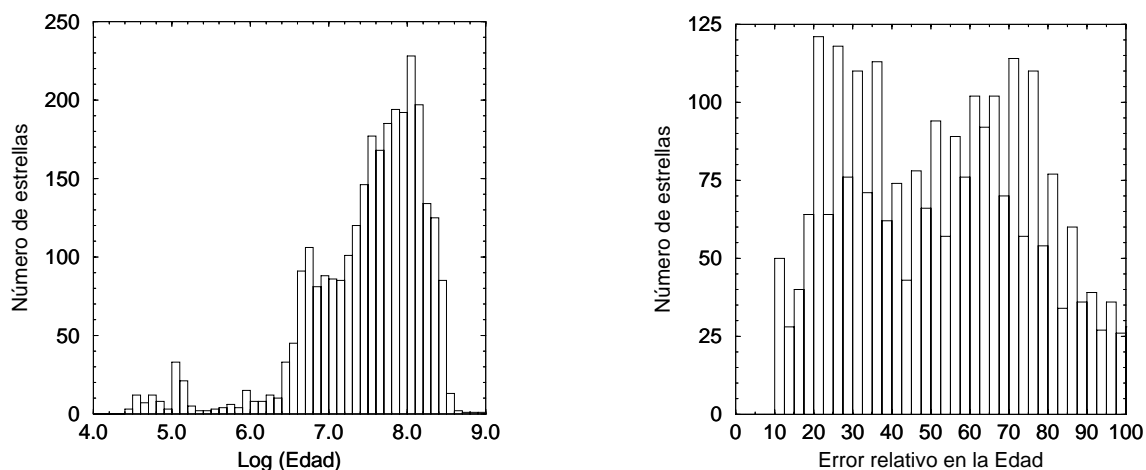


Figura A.1: Histogramas de edad de las estrellas de la muestra (izquierda) y del error relativo en la edad (derecha).

en esta magnitud. En el histograma de errores relativos en la edad (ver figura A.1, derecha) se observa que estas estrellas tienen una determinación de la edad con un error muy variable, concentrándose entre el 15 y el 85 %. Estos altos errores relativos son en gran medida debidos a la juventud de las estrellas de los tipos espectrales O y B. El bajo valor de su edad hace que un error absoluto pequeño en su determinación suponga un alto error relativo. Hay un total de 322 estrellas (11.2 % del total de estrellas con una determinación de la edad) con un error relativo en la edad superior al 100 %. Esto indica que estas estrellas están muy cerca o incluso por debajo de la ZAMS (*Zero Age Main Sequence*), y la determinación de su edad no es fiable.

Con todos estos datos se ha construido nuestro catálogo de estrellas de los tipos espectrales O y B. En la sección A.3 se puede consultar el contenido detallado de este catálogo, así como su formato.

A.2. Construcción de las muestras de estrellas O y B para el estudio cinemático

En esta sección describiremos los diferentes criterios que hemos adoptado a la hora de construir nuestras muestras de trabajo. La primera de ellas contendrá estrellas con una determinación fiable de la velocidad radial, los movimientos propios

y la distancia, mientras que la segunda contendrá estrellas con velocidad tangencial calculada a partir de los movimientos propios proporcionados por Hipparcos, y distancias fiables.

A.2.1. Eliminación de estrellas por peculiaridades fotométricas

Del catálogo inicial se han eliminado las estrellas que tenían indicadores de variabilidad, duplicidad o discrepancia de magnitud Hipparcos-Hauck y Mermilliod en nuestro catálogo. También se han eliminado las estrellas con los indicadores 1, 2, 9, 10 y 16 de fotometría (ver tablas A.10 y A.11 de la sección A.3).

A.2.2. Elección de la distancia considerada

Como hemos visto, muchas de nuestras estrellas disponen de una doble determinación de la distancia: trigonométrica y fotométrica. En estos casos, hemos de optar por una de ellas a la hora de realizar el ajuste de las ecuaciones de nuestro modelo de la Galaxia. En este apartado expondremos el criterio que hemos adoptado a la hora de elegir entre una u otra determinación de la distancia.

La relación entre la magnitud absoluta M_v de una estrella y su distancia heliocéntrica r viene dada por:

$$r = 10^{\frac{m_v - A_v - M_v + 5}{5}} \quad (\text{A.1})$$

donde m_v es la magnitud visual aparente y A_v es la absorción interestelar ($A_v = 4.27 E(b-y)$). Los errores observacionales en m_v y $E(b-y)$ son despreciables respecto al error en M_v . Por tanto, una vez estimado el error en la magnitud absoluta, se puede calcular el error en la distancia fotométrica a partir de la relación:

$$\sigma_r = r \frac{\sigma_{M_v}}{5} \ln 10 \quad (\text{A.2})$$

Los errores en M_v que hemos adoptado se muestran en la tabla A.4 (Lindroos 1981). Estas σ_{M_v} implican unos errores en la distancia del 23% para estrellas de los tipos espectrales O-B3, del 18% para estrellas B4-B7, y del 14% para estrellas B8-B9.

Tabla A.4: Error en la magnitud absoluta determinada fotométricamente, según el tipo espectral de la estrella considerada (Lindroos 1981).

TE	σ_{M_v}
O-B3	0.5 mag.
B4-B7	0.4 mag.
B8-B9	0.3 mag.

Cuando se disponga de dos determinaciones de la distancia (trigonométrica y fotométrica), elegiremos la que tenga el error más pequeño. Dado que el error medio de la paralaje trigonométrica de las estrellas de nuestra muestra es de 0.99 msa, podemos decir que, en promedio, utilizaremos distancias trigonométricas hasta una distancia de unos 140 pc para las estrellas de los tipos espectrales B8-B9, de unos 200 pc para estrellas B4-B7 y de unos 230 pc para estrellas O-B3 (ver figura A.2).

En el caso de que no tengamos determinación fotométrica de la distancia, consideraremos únicamente las estrellas con errores en la distancia trigonométrica menores al 25 %.

A.2.3. Muestras de estrellas con velocidad radial y con velocidad tangencial

Dos muestras de estrellas han sido construidas para realizar los estudios cinemáticos del presente trabajo. En la primera de ellas todas las estrellas tienen una determinación de la velocidad radial, los movimientos propios y la distancia. Hemos eliminado de esta muestra todas las estrellas con un error en la velocidad radial superior a 10 km s^{-1} . Con esta restricción, la *muestra con velocidades radiales* (como la denominaremos a partir de este momento) tiene un total de 2272 estrellas, siendo el error medio en la velocidad radial de las estrellas de esta muestra de 3.44 km s^{-1} . La *muestra con velocidades tangenciales* no requiere ninguna condición adicional a las ya expuestas, y tiene un total de 3915 estrellas (ver tabla A.5). Para ambas muestras de estrellas, los errores promedio en la paralaje, los movimientos propios en coordenadas ecuatoriales y la velocidad radial, así como el error relativo promedio en distancia, se muestran en la tabla A.6.

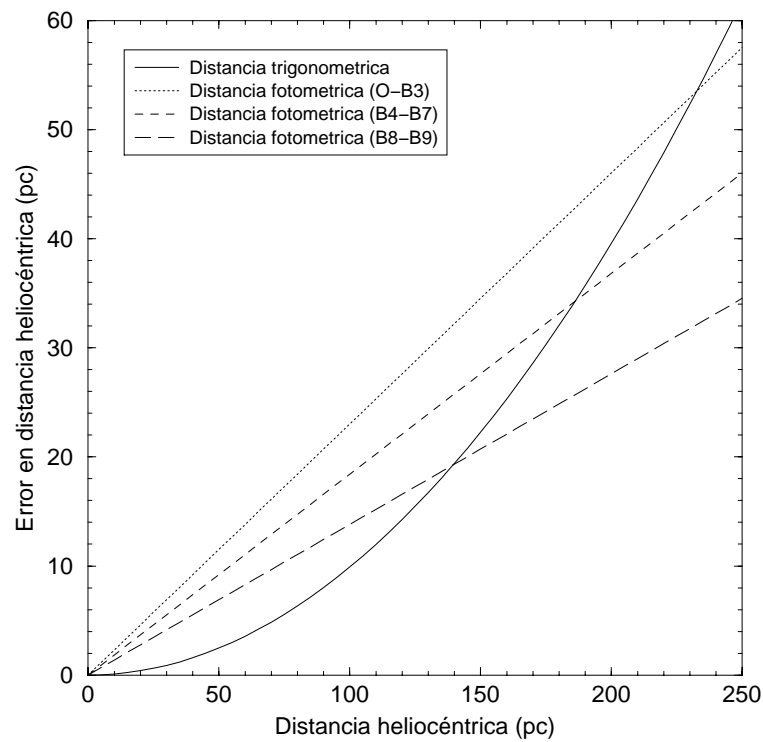


Figura A.2: Error en las determinaciones de la distancia para una estrella, según se calcule a partir de la paralaje Hipparcos (se ha adoptado el error promedio de las paralajes trigonométricas de nuestro catálogo) o bien a través de las paralajes fotométricas. En este último caso, el error depende del tipo espectral de la estrella.

Tabla A.5: Número de estrellas en las diferentes muestras.

Muestra	N
Catálogo de estrellas O y B inicial	6922
Estrellas con velocidad radial	4042
Estrellas con fotometría completa	3031
Muestra final de estrellas con velocidad radial y distancia	2272
Muestra final de estrellas con velocidad tangencial y distancia	3915

Tabla A.6: Errores promedio en las muestras de estrellas.

Error	Muestra con v_r	Muestra con v_t
$\bar{\sigma}_\pi$	0.00057''	0.00060''
$\left(\frac{\sigma_\pi}{\pi}\right)$	0.163	0.168
$\bar{\sigma}_{\mu_\alpha \cos \delta}$	0.00081''yR ⁻¹	0.00083''yR ⁻¹
$\bar{\sigma}_{\mu_\delta}$	0.00067''yR ⁻¹	0.00070''yR ⁻¹
$\bar{\sigma}_{v_r}$	3.44 km s ⁻¹	—

A.2.4. Límites de completitud

En la figura A.3 vemos la distribución en magnitud aparente para las diferentes muestras de estrellas: las estrellas de la muestra inicial (6922 estrellas), las que tienen velocidad radial (4042 estrellas), las que tienen fotometría completa (3031 estrellas), las de la muestra con velocidades radiales (2272 estrellas) y las de la muestra con velocidades tangenciales (3915 estrellas). Comprobamos como la muestra inicial la podemos considerar completa hasta aproximadamente la magnitud 7.9 (que es la magnitud de completitud del *survey* de Hipparcos; recordamos que nuestra muestra inicial contiene todas las estrellas O y B de este *survey*).

Al eliminar las estrellas que no tienen velocidad radial, el límite de completitud cae hasta la magnitud 6. En el caso de las estrellas con fotometría completa sucede lo mismo, aunque la caída en el número de estrellas es mucho más pronunciada en este segundo caso una vez rebasado el límite de completitud.

Si observamos la distribución para la muestra con velocidades tangenciales, vemos que la podemos considerar completa aproximadamente hasta la magnitud 6, aunque hasta la magnitud 8 no hay una caída brusca en el número de estrellas. En cambio, la muestra con velocidades radiales y distancias es completa también hasta la magnitud 6, pero después sufre una abrupta caída en el número de estrellas.

A.2.5. Distribuciones espaciales

En la figura A.4 podemos ver la distribución de las estrellas O y B de nuestras muestras en coordenadas galácticas. Se aprecia una clara concentración hacia el

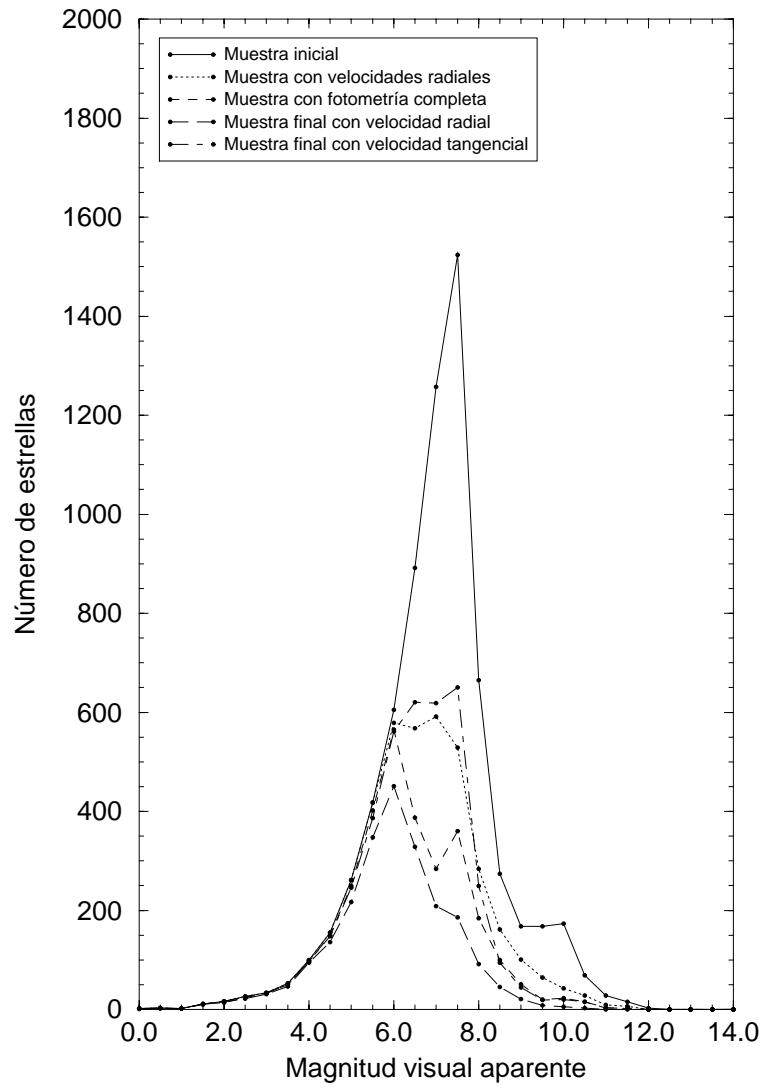


Figura A.3: Histograma de magnitudes aparentes para las diferentes muestras.

plano galáctico. Este efecto se hace todavía más evidente en la figura A.5, donde se ha representado el histograma de latitud galáctica. Este tipo de distribución es típico de las estrellas más jóvenes del disco, como son las estrellas de los tipos espectrales O y B. Su juventud hace que todavía se sitúen en las cercanías de sus regiones de formación, que se encuentran a poca altura sobre el plano galáctico. La altura patrón sobre el disco galáctico para las estrellas O y B es de unos 50-60 pc (Mihalas y Binney 1981).

Sin embargo, en la figura A.4 también apreciamos que hay un grupo de estrellas que parece evadirse del plano galáctico, para formar una senoide en el plano $l-b$. Estas estrellas forman parte del conocido como *Cinturón de Gould*, que dibuja un círculo máximo en la esfera celeste (ver parte III de esta memoria). Su nombre se debe a B.A. Gould, quien entre 1874 y 1879 dió a conocer la existencia de este cinturón de estrellas jóvenes en las proximidades del Sol. En la figura A.5 se aprecia claramente como la presencia del Cinturón de Gould desvía la concentración de estrellas sobre el plano galáctico, desplazando muchas de ellas hacia latitudes galácticas negativas.

En las figuras A.6, A.7 y A.8 se muestra la distribución espacial de las estrellas proyectada en los diferentes planos galácticos. El convenio que hemos adoptado es tomar los ejes como sigue:

- Eje X : Está dirigido según la línea que une el Sol con el centro galáctico. Es positivo en la dirección de éste último.
- Eje Y : Es tangente al círculo solar en la posición del Sol y está dirigido en el sentido de la rotación galáctica. Es positivo en la dirección de ésta.
- Eje Z : Es perpendicular a los dos anteriores, formando una base directa. Por tanto, es positivo en la dirección del polo norte galáctico.

En la figura A.6 se muestra la distribución sobre el plano galáctico $X-Y$. Se aprecian irregularidades en la distribución azimutal, debidas a diferencias en la distribución de la materia absorbente interestelar en el entorno solar (Lucke 1978; Ducati 1978; Guarinos 1991). Por ejemplo, destaca la presencia de muchas más estrellas para $Y < 0$, que no en el caso de valores positivos de esta coordenada. También es notable la disminución en la densidad de estrellas observadas en la dirección del centro galáctico (debido a la alta absorción interestelar en esta dirección), así como una

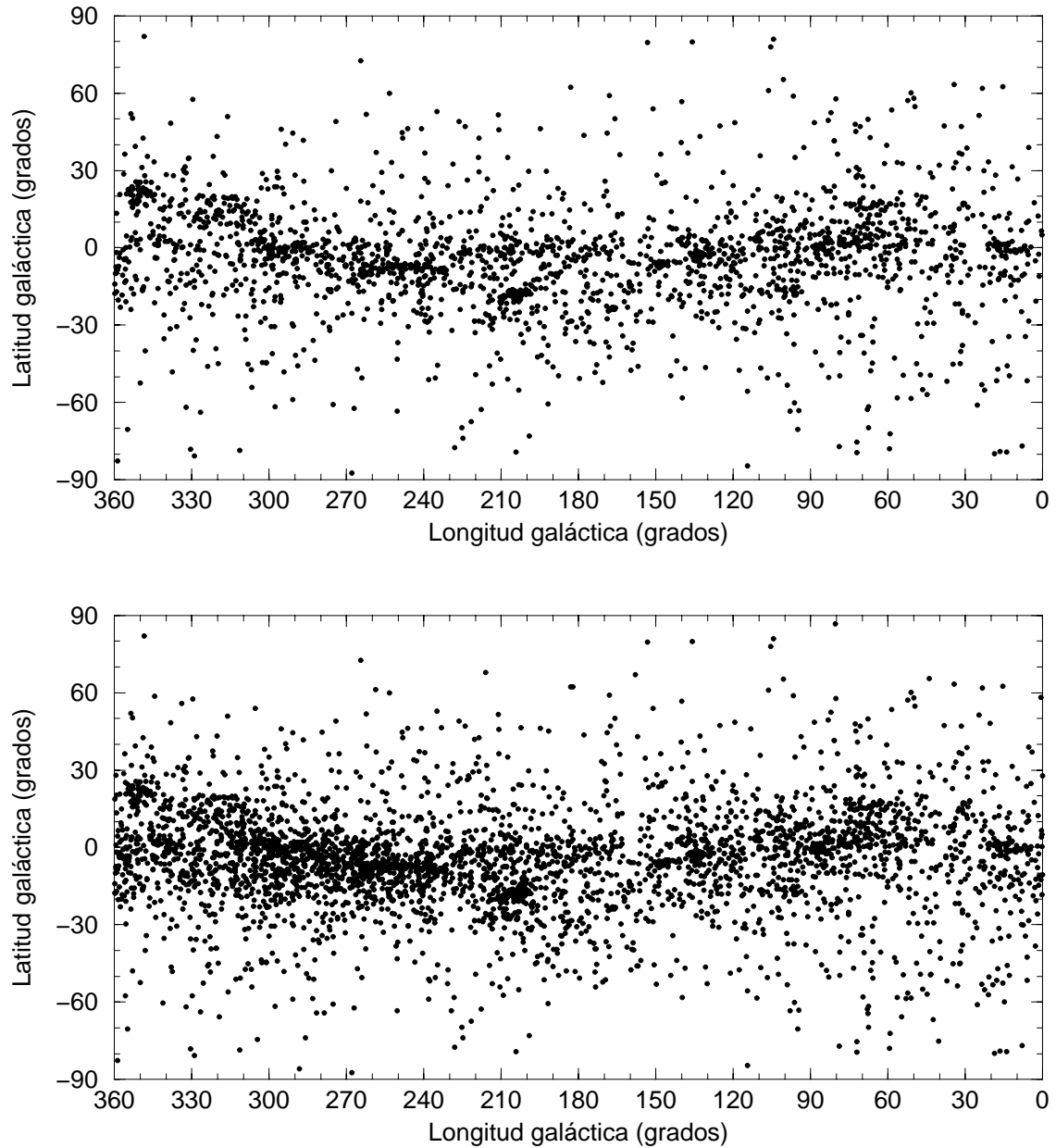


Figura A.4: Distribución en coordenadas galácticas para las estrellas de las muestras con velocidad radial (arriba) y con velocidad tangencial (abajo).

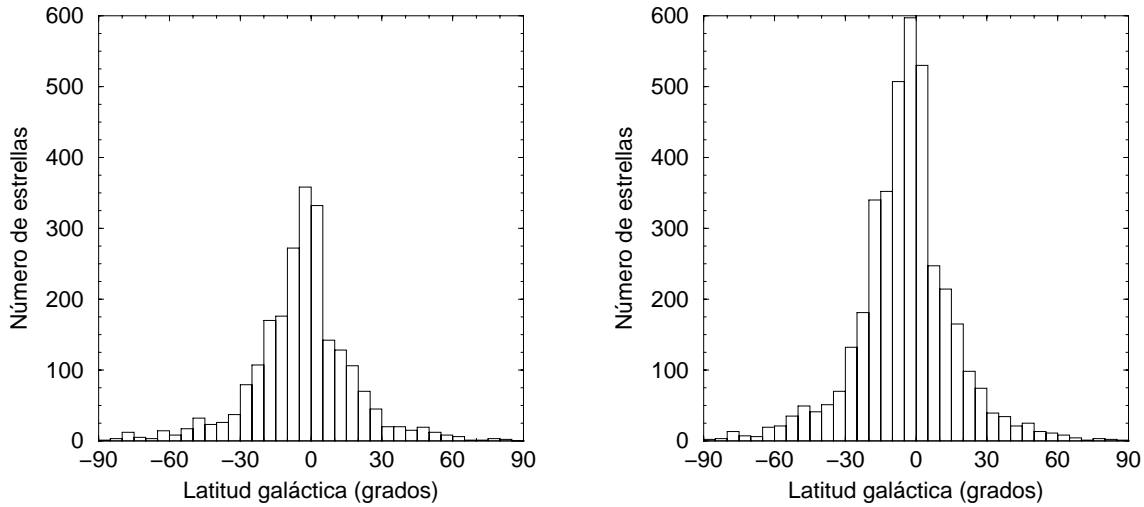


Figura A.5: Histograma en latitud galáctica para todas las estrellas de las muestras con velocidad radial (izquierda) y con velocidad tangencial (derecha).

clara deficiencia de estrellas en una posición muy cercana al Sol, para X negativas e Y positivas. Esta deficiencia podría ser explicada también por el propio proceso de formación del Cinturón de Gould (Lindblad et al. 1973; Olano 1982).

La figura A.7 muestra un corte a lo largo de aproximadamente la línea nodal del Cinturón de Gould (que se encuentra sobre $l \simeq 275\text{-}295^\circ$; ver capítulo 7). Vemos como éste se extiende más hacia valores negativos de Z (aproximadamente hasta los -200 pc) que hacia valores positivos (sobre los 100 pc). Este hecho es el que provoca el desplazamiento hacia valores de b negativos en el histograma en latitud galáctica. En la coordenada X , el Cinturón de Gould abarca el intervalo entre -500 pc y 300 pc, aproximadamente. La inclinación de la estructura del Cinturón de Gould es de unos $16\text{-}22^\circ$ (ver capítulo 7).

En la figura A.8 presentamos un corte en el plano $Y\text{-}Z$, de manera que nos situamos en una posición casi perpendicular a la línea de nodos del Cinturón de Gould. Esto hace que no sea visible con claridad su estructura (tan sólo es visible para X e Y negativas). No obstante, lo podemos apreciar cuando nos percatamos de que la distribución de estrellas O y B tiene una altura patrón respecto el plano galáctico más grande de lo que le correspondería teniendo en cuenta su edad. Esto es debido a la presencia del Cinturón inclinado unos 20° con respecto al plano galáctico.

Finalmente, en la figura A.9 presentamos los histogramas en distancia helio-

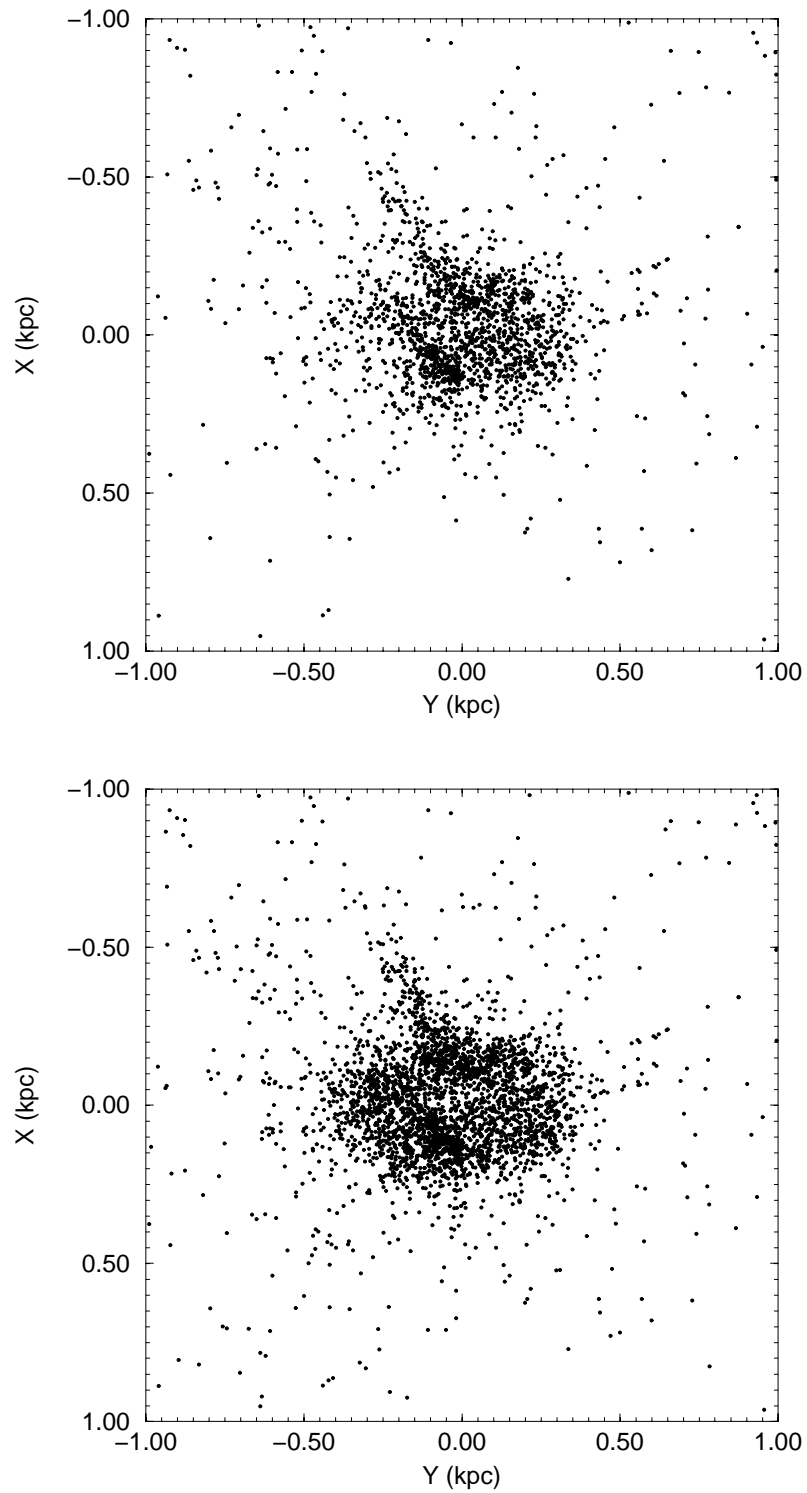


Figura A.6: Distribución en el plano galáctico X - Y para las estrellas de las muestras con velocidad radial (arriba) y con velocidad tangencial (abajo).

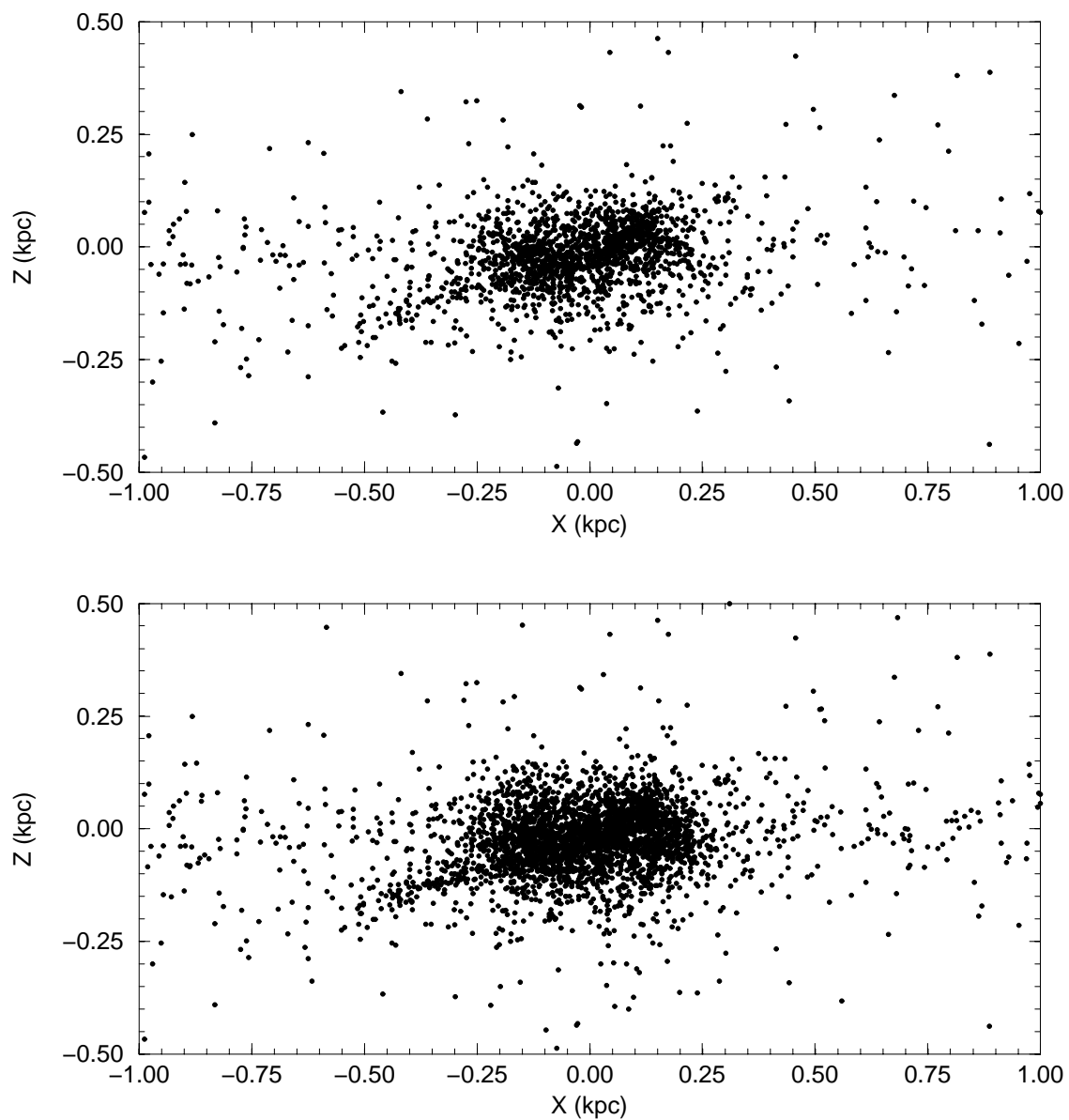


Figura A.7: Distribución en el plano meridional X - Z para las estrellas de las muestras con velocidad radial (arriba) y con velocidad tangencial (abajo).

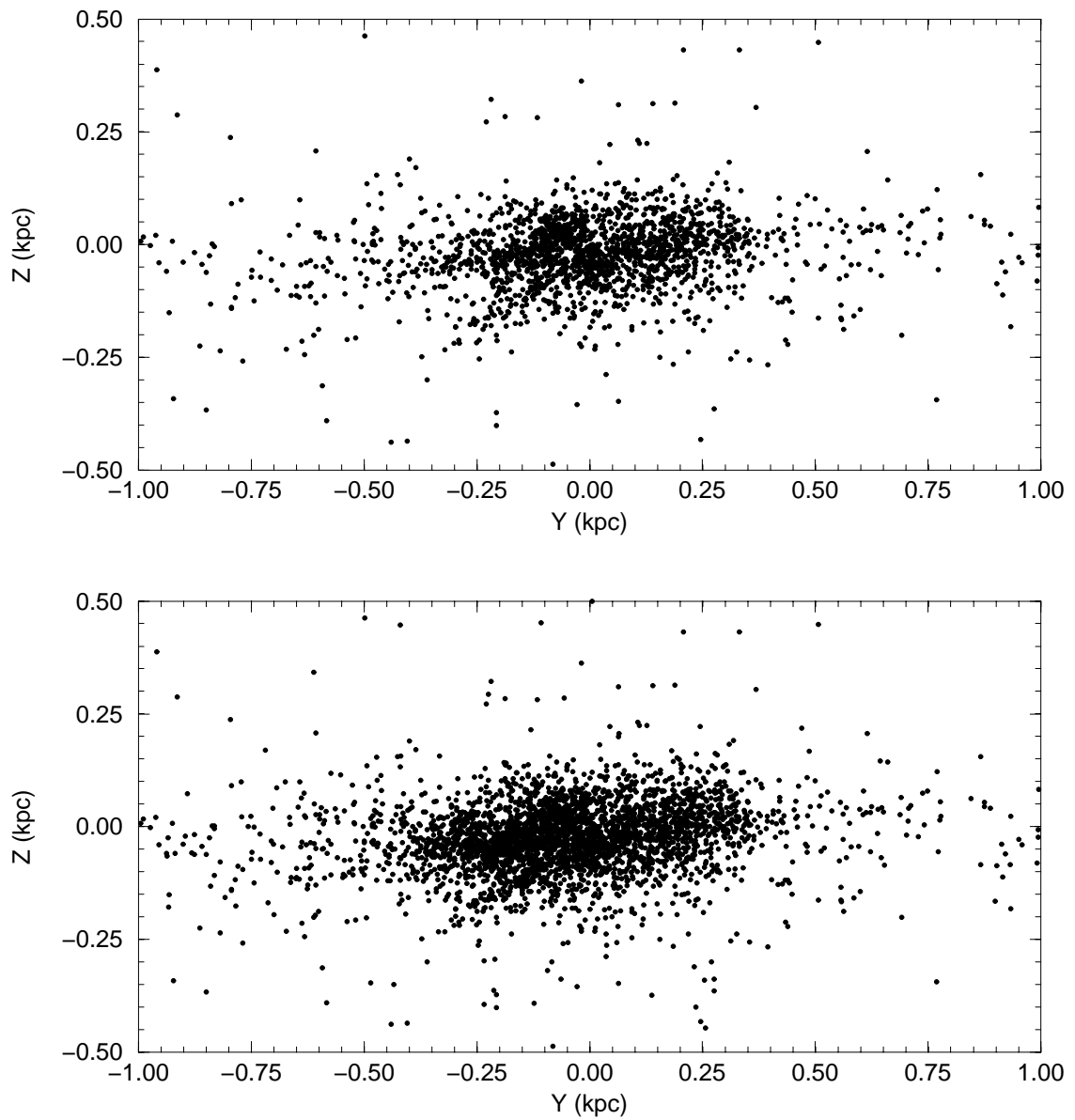


Figura A.8: Distribución en el plano rotacional Y - Z para las estrellas de las muestras con velocidad radial (arriba) y con velocidad tangencial (abajo).

céntrica para las estrellas de la muestra con velocidades radiales y la muestra con velocidades tangenciales. También se representa la suma de ambas distribuciones. Comprobamos como la inmensa mayoría de nuestras estrellas se concentran en una esfera alrededor del Sol de unos 600 pc de radio. En concreto, para la muestra con velocidades radiales, el 76.5% de las estrellas se encuentra dentro de esta esfera. Para la muestra con velocidades tangenciales, este porcentaje aumenta al 80.3%.

A.2.6. Distribuciones de velocidades

En este apartado haremos un estudio del campo de velocidades heliocéntricas de las estrellas de la muestra con velocidad radial (ya que para poder determinar la velocidad espacial de la estrella necesitamos conocer tanto su velocidad radial como sus movimientos propios y su distancia).

La velocidad espacial de una estrella en la base B_1 (base ecuatorial heliocéntrica) se puede calcular a partir de la distancia heliocéntrica, la velocidad radial y los movimientos propios μ_α y μ_δ de cada estrella, de la siguiente manera:

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v_r \\ k r \mu_\alpha \cos \delta \\ k r \mu_\delta \end{pmatrix}_{B_1} \quad (\text{A.3})$$

donde $k = 4.741 \text{ km yr (s pc}''\text{)}^{-1}$ es una constante, la velocidad radial viene dada en km s^{-1} , los movimientos propios en $''\text{yr}^{-1}$ y la distancia en pc.

En la base B_3 (base galáctica heliocéntrica), las componentes de la velocidad de una estrella son:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix}_{B_3} = T \cdot A \cdot \begin{pmatrix} v_r \\ k r \mu_\alpha \cos \delta \\ k r \mu_\delta \end{pmatrix}_{B_1} \quad (\text{A.4})$$

donde las matrices T y A viene dadas por (Johnson y Soderblom 1987):

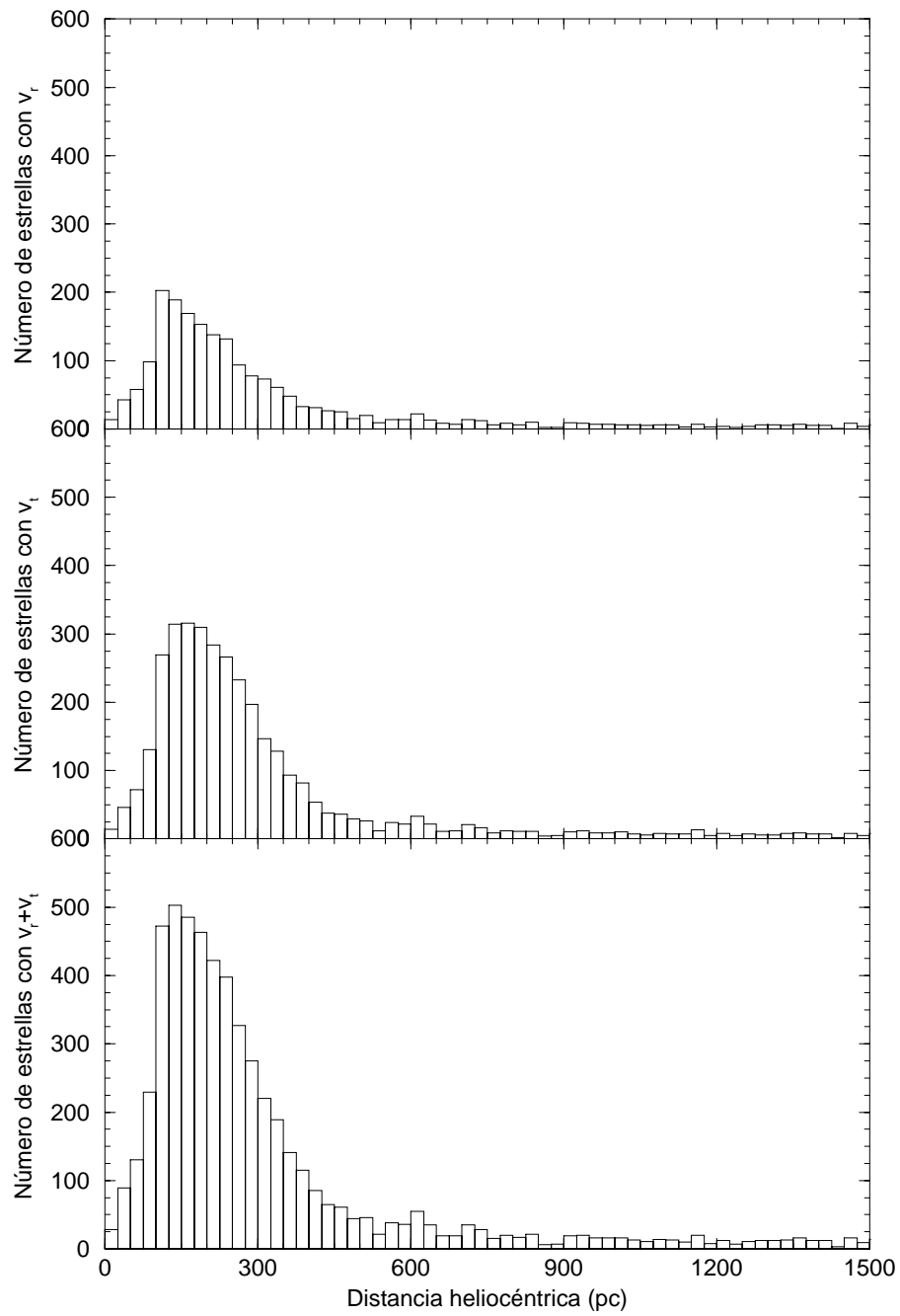


Figura A.9: Histograma de la distancia heliocéntrica de las estrellas de la muestra con velocidades radiales (arriba), la muestra con velocidades tangenciales (centro) y la suma de ambas distribuciones (abajo).

Tabla A.7: Velocidades medias de la muestra con velocidad radial.

Comp.	Valor medio
\overline{U}	$-11.7 \pm 3.7 \text{ km s}^{-1}$
\overline{V}	$-14.1 \pm 3.8 \text{ km s}^{-1}$
\overline{W}	$-7.7 \pm 2.9 \text{ km s}^{-1}$

$$T = \begin{pmatrix} \cos l_Q & \sin l_Q & 0 \\ \sin l_Q & -\cos l_Q & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\sin \delta_G & 0 & \cos \delta_G \\ 0 & -1 & 0 \\ \cos \delta_G & 0 & \sin \delta_G \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha_G & \sin \alpha_G & 0 \\ \sin \alpha_G & -\cos \alpha_G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \cos \delta & -\sin \alpha & -\cos \alpha & \cos \delta \\ \sin \alpha & \cos \delta & \cos \alpha & -\sin \alpha & \sin \delta \\ \sin \delta & 0 & 0 & 0 & \cos \delta \end{pmatrix} \quad (\text{A.5})$$

En estas matrices, α_G y δ_G son las coordenadas ecuatoriales del polo norte galáctico (Murray 1989):

$$\begin{aligned} \alpha_G &= 12^{\text{h}} 51^{\text{m}} 26.27^{\text{s}} \\ \delta_G &= 27^{\circ} 07' 41.7'' \end{aligned} \quad (\text{A.6})$$

$l_Q = 122^{\circ} 56'$ es la longitud galáctica del polo norte celeste (en el equinoccio J2000.0) y α y δ son las coordenadas ecuatoriales de la estrella en cuestión.

En la figura A.10 (izquierda) mostramos la distribución de velocidades de las estrellas en los planos U - V , U - W y V - W . Si eliminamos las estrellas con una velocidad respecto del centroide local superior a 65 km s^{-1} ; es decir, las estrellas tales que:

$$\sqrt{(U - U_{\odot})^2 + (V - V_{\odot})^2 + (W - W_{\odot})^2} > 65 \text{ km s}^{-1} \quad (\text{A.7})$$

entonces las velocidades medias de la muestra son las que se dan en la tabla A.7. Hemos adoptado los valores para la velocidad peculiar del Sol dados por Delhaye (1965): $(U_{\odot}, V_{\odot}, W_{\odot}) = (9, 12, 7) \text{ km s}^{-1}$.

En la figura A.10 (derecha) se muestran los histogramas de las componentes de la velocidad galáctica heliocéntrica de las estrellas de nuestra muestra.

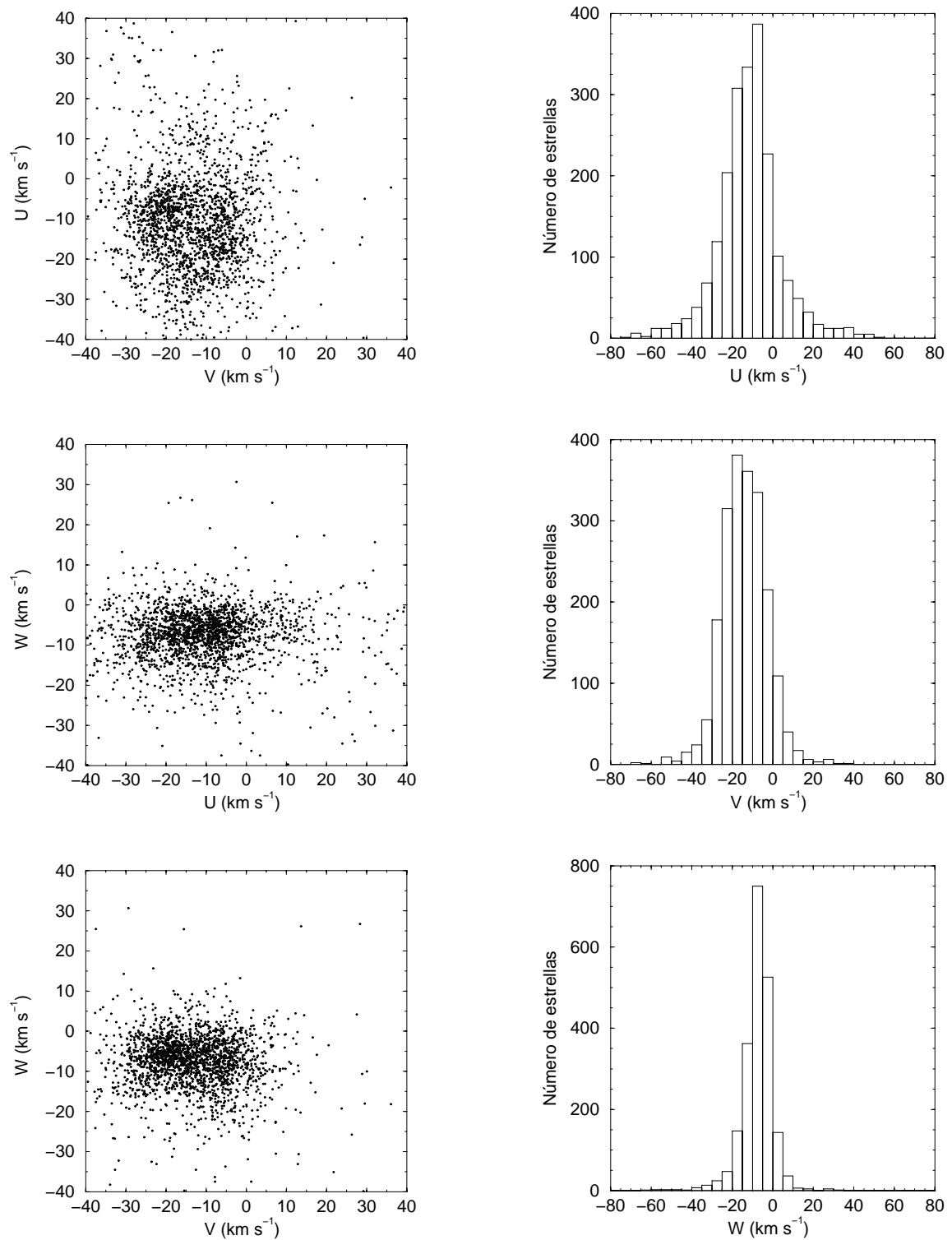


Figura A.10: Distribución de velocidades en los planos U - V , U - W y V - W para las estrellas de la muestra con velocidad radial (izquierda) e histograma de U , V y W (derecha).

Para el cálculo de los errores en las componentes galácticas heliocéntricas de la velocidad hemos utilizado el algoritmo de Meillon (1997), que considera la correlación entre las variables que intervienen en el cálculo. La correlación entre la velocidad radial y el resto de variables se ha tomado como nula. Los parámetros de entrada del algoritmo son los siguientes:

- Ascensión recta (J1991.25)
- Declinación (J1991.25)
- Paralaje (trigonométrica o fotométrica)
- Movimiento propio en ascensión recta (J1991.25)
- Movimiento propio en declinación (J1991.25)
- Velocidad radial

y sus respectivos errores, así como las correlaciones entre todos ellos. Si la estrella tiene una determinación fotométrica de la distancia hemos tomado como nulas las correlaciones entre la paralaje y el resto de variables. En cambio, si la estrella tiene una determinación trigonométrica de la distancia, se han utilizado las correlaciones para la paralaje dadas por Hipparcos. A partir de estos parámetros de entrada, el algoritmo calcula las siguientes magnitudes:

- Longitud galáctica (J2000.0)
- Latitud galáctica (J2000.0)
- Paralaje (trigonométrica o fotométrica)
- Componente U de la velocidad
- Componente V de la velocidad
- Componente W de la velocidad

y sus errores, además de las correlaciones entre estas variables. Veamos a continuación cómo se han calculado estos errores.

Supongamos el vector \vec{a} de parámetros de entrada (de componentes a_k), el vector $\vec{\sigma}_a$ de errores (de componentes σ_{a_k}), y la matriz de correlaciones A de elementos $\rho_a(i, j)$ con $i, j, k = 1, \dots, 6$. Nuestro objetivo es encontrar el vector \vec{b} (de componentes b_k) con los parámetros de salida, el vector $\vec{\sigma}_b$ de errores en estos parámetros (de componentes σ_{b_k}), y la matriz de correlaciones B de elementos $\rho_b(i, j)$. El paso de \vec{a} a \vec{b} se realiza gracias a las ecuaciones de paso de coordenadas ecuatoriales a galácticas y a la ecuación A.4 de paso de velocidades ecuatoriales a galácticas heliocéntricas. Llamaremos f_k a estas ecuaciones.

Los elementos de la matriz de covarianzas vienen dados por:

$$cov_a(i, j) = \sigma_{a_i} \sigma_{a_j} \rho_a(i, j) \quad (\text{A.8})$$

La matriz jacobiana J y su traspuesta J^t para el sistema de ecuaciones f_k vienen dadas por:

$$J(i, j) = \frac{\partial b_i}{\partial a_j} = \frac{\partial f_i(a_1, \dots, a_6)}{\partial a_j}$$

$$J^t(i, j) = J(j, i) \quad (\text{A.9})$$

La nueva matriz de covarianzas viene entonces dada por:

$$cov_b = J cov_a J^t \quad (\text{A.10})$$

Los errores en los parámetros b_k son los términos de la diagonal de esta matriz. Por tanto, únicamente nos queda determinar los elementos de la matriz de correlaciones:

$$\rho_b(i, j) = \frac{cov_b(i, j)}{\sigma_{b_i} \sigma_{b_j}} \quad (\text{A.11})$$

En la figura A.11 podemos observar los histogramas de los errores en las componentes U, V, W calculados como acabamos de ver.

Si no tenemos en cuenta las correlaciones entre las diferentes variables, los errores de las velocidades de cada estrella vienen dados por (Johnson y Soderblom 1987):

$$\begin{pmatrix} \sigma_U^2 \\ \sigma_V^2 \\ \sigma_W^2 \end{pmatrix} = C \cdot \begin{pmatrix} \sigma_{v_r}^2 \\ (kr)^2 \left[\sigma_{\mu_\alpha \cos \delta}^2 + \left(\mu_\alpha \cos \delta \frac{\sigma_r}{r} \right)^2 \right] \\ (kr)^2 \left[\sigma_{\mu_\delta}^2 + \left(\mu_\delta \frac{\sigma_r}{r} \right)^2 \right] \end{pmatrix} + 2 \mu_\alpha \cos \delta \mu_\delta k^2 \sigma_r^2 \begin{pmatrix} b_{12} b_{13} \\ b_{22} b_{23} \\ b_{32} b_{33} \end{pmatrix} \quad (\text{A.12})$$

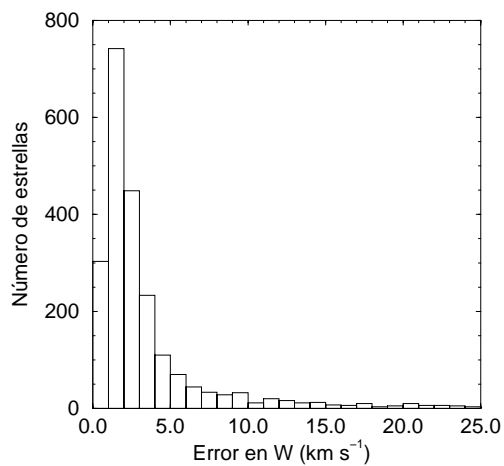
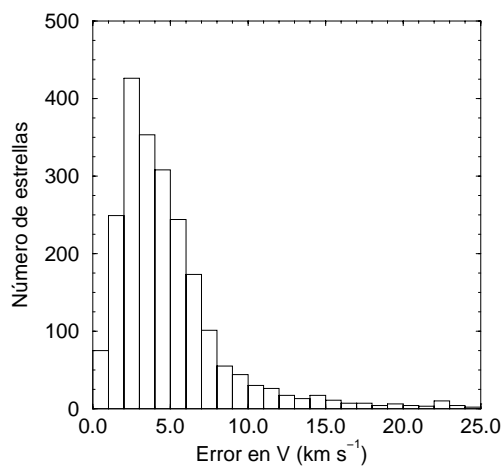
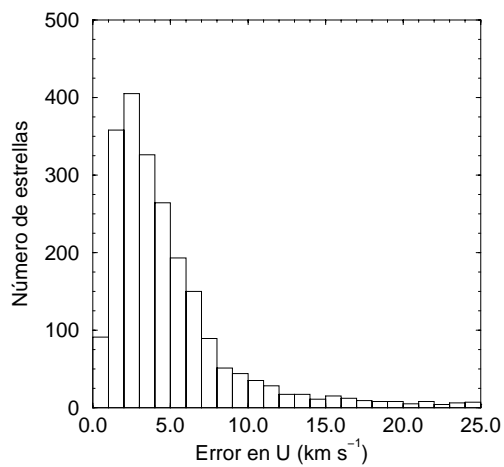


Figura A.11: Histogramas de errores en las velocidades para las estrellas de la muestra.

donde los elementos de la matriz C son los cuadrados de los elementos de la matriz $B \equiv T \cdot A$, y b_{ij} son los elementos de ésta última.

En la figura A.12 se comparan los errores resultantes en las componentes de la velocidad en ambos casos (utilizando las correlaciones entre las variables dadas por Hipparcos, o sin hacerlo). Podemos comprobar que se introducen importantes modificaciones, especialmente en el caso de las estrellas lejanas, donde el error absoluto en la distancia es muy grande y las correlaciones entre variables pueden provocar elevadas discrepancias entre ambos métodos de cálculo de los errores en las velocidades.

A.3. Contenido del catálogo de estrellas O y B

El contenido y formato del catálogo se muestra en la tabla A.11. A continuación detallaremos algunos datos de interés respecto al contenido del catálogo, que es el que sigue:

Datos del catálogo Hipparcos:

- Número Hipparcos
- Tipo espectral (*Hipparcos Input Catalogue*, ESA 1992)
Ver estadísticas de tipos espectrales y clases de luminosidad en las tablas A.8 y A.9.
- Ascensión recta en grados (J1991.25)
- Declinación en grados (J1991.25)
- Indicador de referencia para astrometría
Se utiliza en el caso de sistemas dobles o múltiples. Las letras A, B,... especifican la componente del sistema, * el fotocentro y + el centro de masas.
- Paralaje trigonométrica en milisegundos de arco (mas)
- Movimiento propio en ascensión recta en mas yr⁻¹ (J1991.25)
- Movimiento propio en declinación en mas yr⁻¹ (J1991.25)

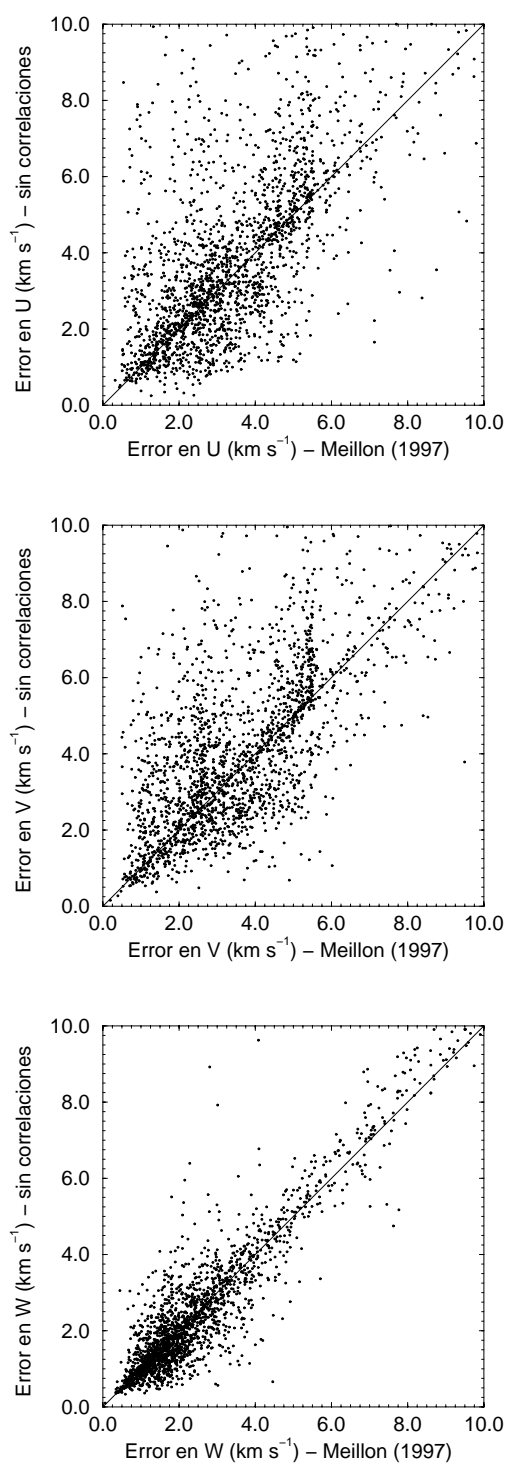


Figura A.12: Comparación entre los errores en las componentes de la velocidad obtenidos teniendo en cuenta las correlaciones entre las diferentes variables (Meillon 1997) y considerando las variables incorrelacionadas.

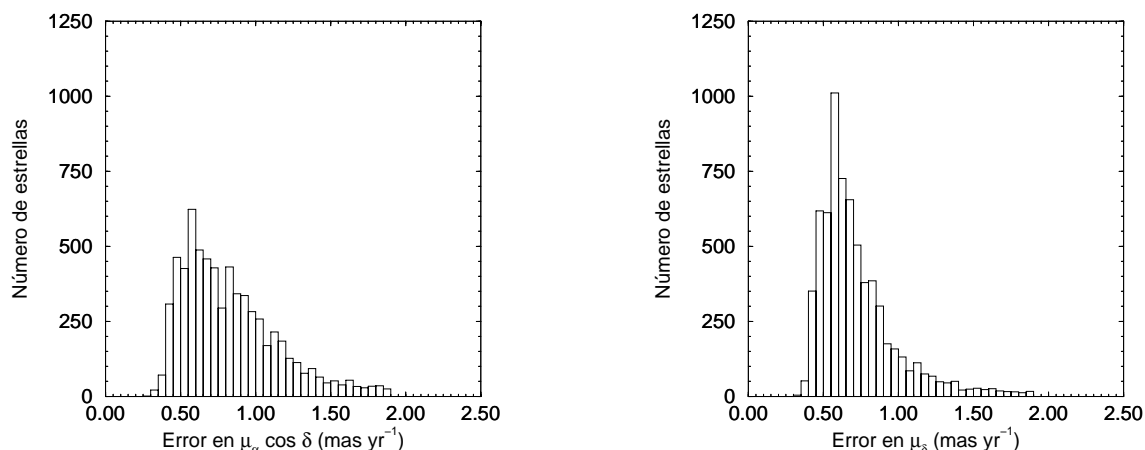


Figura A.13: Histograma de errores en el movimiento propio en ascensión recta (izquierda) y declinación (derecha) para las estrellas de la muestra.

- Error estándar en α en mas (J1991.25)
- Error estándar en δ en mas (J1991.25)
- Error estándar en π en mas (J1991.25)
El valor medio de la muestra es 0.00099".
- Error estándar en $\mu_\alpha \cos \delta$ en mas yr⁻¹ (J1991.25)
El valor medio de la muestra es 0.00095" yr⁻¹.
- Error estándar en μ_δ en mas yr⁻¹ (J1991.25)
El valor medio de la muestra es 0.00080" yr⁻¹.

En la figura A.13 se muestran los histogramas de errores en los movimientos propios en ascensión recta y declinación para nuestras estrellas. Como puede verse, estos errores no dependen de la declinación de la estrella, como sí sucedía en el caso del *Hipparcos Input Catalogue* (Mestres 1996), debido a la diversa procedencia de los datos. En Asiain (1998) se estudia la mejora que ha supuesto Hipparcos en este punto.

Datos de la compilación de velocidades radiales (si se dispone de ellos):

- Velocidad radial en km s⁻¹

- Error estándar en velocidad radial en km s^{-1}

El valor medio de la muestra es 5.76 km s^{-1} . El error de las velocidades radiales del centro de gravedad dado en Barbier-Brossat (1997) ha sido fijado arbitrariamente en 0.5 km s^{-1} por Grenier (1997). Los errores de las velocidades radiales del centro de gravedad en Batten, Fletcher y MacCarthy (1989) han sido arbitrariamente fijados (dependiendo del código de calidad de la estrella) a: $a = 0.5 \text{ km s}^{-1}$, $b = 1.0 \text{ km s}^{-1}$, $c = 2.0 \text{ km s}^{-1}$, $d = 3.0 \text{ km s}^{-1}$, $d = 5.0 \text{ km s}^{-1}$.

- Número de medidas para la velocidad radial

Es el número n de medidas que se han promediado para calcular la velocidad radial de la estrella.

- Fuente de la velocidad radial

Especifica la fuente de la que se ha extraído la velocidad radial de la estrella, según la siguiente codificación:

- BB2S: Catálogo Barbier-Brossat (Grenier 1997)
- WEBS: Estrellas con calidad A, B o C en catálogo WEB (Grenier 1997)
- PPOS: Catálogo PPO (Grenier 1997)
- WEBC: Estrella con calidad C en catálogo WEB (Dufлот, Figon y Meyssonier 1995)
- WEBD: Estrella con calidad D en catálogo WEB (Dufлот, Figon y Meyssonier 1995)
- WEBE: Estrella con calidad E en catálogo WEB (Dufлот, Figon y Meyssonier 1995)
- WEBI: Estrella con calidad I en catálogo WEB (Dufлот, Figon y Meyssonier 1995)
- WEBN: Estrella sin calidad en catálogo WEB (Dufлот, Figon y Meyssonier 1995)
- IWEa: Estrella con calidad A en el *Hipparcos Input Catalogue*
- IWEb: Estrella con calidad B en el *Hipparcos Input Catalogue*
- IWEc: Estrella con calidad C en el *Hipparcos Input Catalogue*
- IWE d: Estrella con calidad D en el *Hipparcos Input Catalogue*

- IWEE: Estrella con calidad E en el *Hipparcos Input Catalogue*
- INCX: Estrella con calidad X en el *Hipparcos Input Catalogue*
- SPOm: Estrella del catálogo SPO (Fehrenbach et al. 1987)
- SPOb: Estrella del catálogo SPO (Fehrenbach et al. 1987)
- ANDE: Recopilación de velocidades radiales en Andersen et al. (1983)
- DENO: Recopilación de velocidades radiales en Denoyelle (1987). Estas velocidades radiales han sido obtenidas a través del GPO en Chile, con una dispersión de 110 \AA mm^{-1} . Por sugerencia de Grenier (1997), hemos tratado a estas estrellas igual que las del catálogo PPO.

■ Código de calidad de la velocidad radial:

Se ha establecido una codificación de la calidad de la velocidad radial, según los siguientes criterios:

- 1.0: Estrella BB2S o WEBS con $n > 1$ y $\sigma_{v_r} < 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 1.1: Estrella BB2S o WEBS con $n = 1$ y $\sigma_{v_r} < 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 1.5: Estrella BB2S o WEBS con $n > 1$ y $\sigma_{v_r} > 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 1.9: Estrella BB2S o WEBS con $n = 1$ y $\sigma_{v_r} > 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 2.0: Estrella PPOS con $n > 1$ y $\sigma_{v_r} < 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 2.1: Estrella PPOS con $n = 1$ y $\sigma_{v_r} < 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 2.5: Estrella PPOS con $n > 1$ y $\sigma_{v_r} > 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 2.9: Estrella PPOS con $n = 1$ y $\sigma_{v_r} > 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 3.0: Estrella ANDE o DENO con $\sigma_{v_r} < 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 3.5: Estrella ANDE o DENO con $\sigma_{v_r} > 5.5 \text{ km s}^{-1}$
- 4.5: Estrella WEBD, SPOm o SPOb
- 5.5: Estrella WEBE, WEBI, WEBN, IWEa, IWEb, IWEc, IWEd, IWEe o INCX

Datos fotométricos y parámetros físicos (si se dispone de ellos):

■ Indicador de variabilidad

Si la estrella es variable, indica la amplitud de esta variación. La codificación utilizada es la siguiente:

Tabla A.10: Peculiaridades fotométricas de las estrellas de la muestra.

Ind.	N	Peculiaridad fotométrica
1	23	Estrella peculiar $E(b - y) < -0.040$
2	68	Líneas de emisión
3	46	No se satisfacen los criterios de Philip para la Región 1
4	379	Las regiones según la CL y la fotometría no coinciden
5	24	Exceso de metalicidad
6	18	Las regiones según el TE y la fotometría no coinciden
7	788	Masa y radio fuera de calibraciones
8	12	M_v incierta
9	40	Estrella peculiar
10	34	Estrella conflictiva
11	193	Estrella supergigante
12	36	Fuera del rango de la tabla I para c_0 de Crawford (1978)
13	58	Fuera de la calibración para $[c_0]$ de Jakobsen (1985)
14	44	Fuera del rango de la tabla I para c_0 de Kilkenny y Whittet (1985)
15	214	Fuera del rango de validez de las mallas de T_{ef}
16	1	Fuera del rango en $(b - y)_0$
17	427	Fuera del rango de validez de las mallas de $\log g$
18	52	No se puede calcular la M_v . H_β fuera de la calibración

- 1: $\Delta H_p < 0.06$ mag.
- 2: $0.06 \text{ mag.} < \Delta H_p < 0.6$ mag.
- 3: $\Delta H_p > 0.6$ mag.

■ Indicador de duplicidad

Indica (con una 'X') si la estrella es doble o múltiple y, además, la separación entre componentes $\rho < 10''$ y la diferencia en su magnitud $\Delta H_p < 3$ mag.

■ Indicadores de peculiaridades fotométricas

Indica (con una 'X') las peculiaridades fotométricas detectadas para la estrella en cuestión, según la clasificación de la tabla A.10 (indicadores del 1 al 18).

■ Indicador de discrepancia de magnitud visual aparente entre los catálogos Hipparcos y Hauck y Mermilliod

Indica (con una 'X') si la estrella presenta una diferencia en la magnitud visual aparente superior a 0.3 mag.

- Región fotométrica a la que pertenece la estrella (Strömgren 1966)

Para estrellas de la secuencia principal y gigantes:

- 1: Estrellas O, B y A1
- 2: Estrellas A0-A4
- 3: Estrellas A4-F2
- 4: Estrellas A8-G4
- 5: Estrellas G0 en adelante

Para estrellas supergigantes:

- 6: Estrellas O-B9
- 7: Estrellas A0-F5
- 8: Estrellas F5 en adelante

- Clase de luminosidad

Según la siguiente codificación:

- MS: Estrellas de secuencia principal y gigantes
- SG: Estrellas supergigantes

- Magnitud absoluta

- Distancia fotométrica en pc (según algoritmo de Crawford 1978)

- Temperatura efectiva en K

- Error en la temperatura efectiva en K

En la figura A.14 se muestran los histogramas de la temperatura efectiva y de su error de las estrellas de la muestra con parámetros físicos.

- Gravedad superficial en dex

- Error en la gravedad superficial en dex

En la figura A.15 se muestran los histogramas del logaritmo de la gravedad superficial y de su error de las estrellas de la muestra con parámetros físicos.

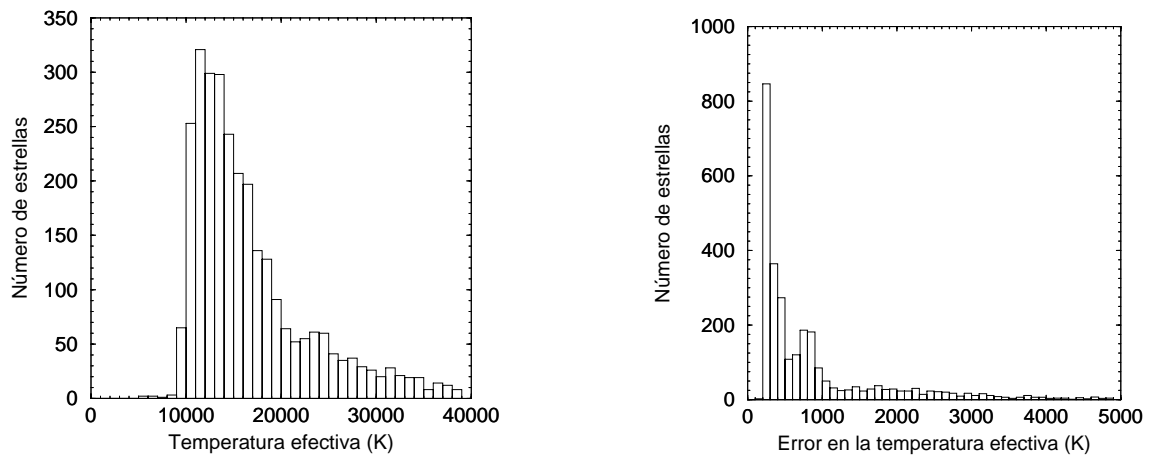


Figura A.14: Histogramas de la temperatura efectiva de las estrellas de la muestra (izquierda) y del error en esta magnitud (derecha).

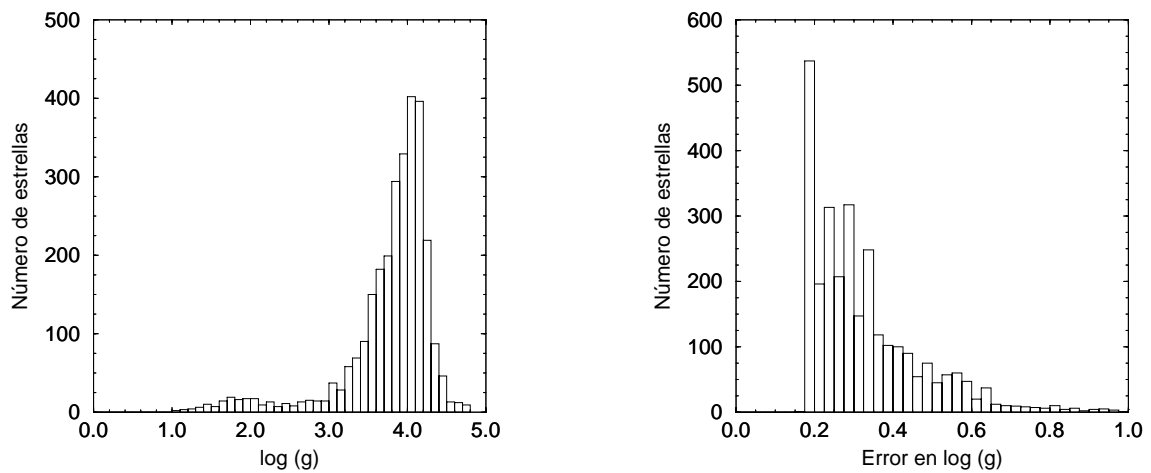


Figura A.15: Histogramas del logaritmo de la gravedad superficial de las estrellas de la muestra (izquierda) y del error en esta magnitud (derecha).

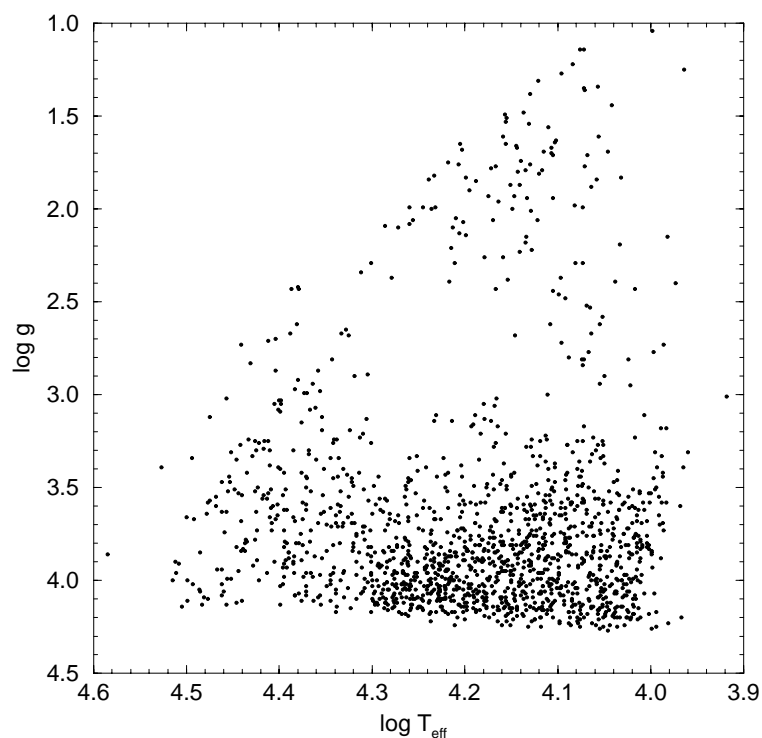


Figura A.16: Diagrama HR de las estrellas de la muestra.

Datos del programa de edades:

- M

Trayectorias evolutivas entre las que se realiza la interpolación.

- K

Estado evolutivo de la estrella dentro de su trayectoria evolutiva. Para obtener detalles sobre M y K, se puede consultar Asiain, Figueras y Torra (1997).

- Temperatura efectiva en dex

- Gravedad superficial en dex

En la figura A.16 vemos el diagrama HR ($\log T_{\text{eff}}$, $\log g$) de la muestra con parámetros físicos.

- Luminosidad en dex

- Error en la luminosidad en dex

- Logaritmo de la edad en dex
Ver figura 2.7 del capítulo 2.
- Error en la edad en dex
- Porcentaje de error en la edad
Ver figura 2.8 del capítulo 2.
- Masa en M_{\odot}
- Error en la masa en M_{\odot}
- Masa en la secuencia principal en M_{\odot}
- Error en la masa en la secuencia principal en M_{\odot}
- Región en el diagrama HR
Según la siguiente codificación:
 - 0: Estrella por debajo de la ZAMS
 - 1: Estrella por encima de la ZAMS y fuera de la región de solapamiento entre diversas trayectorias evolutivas
 - 2: Estrella en la región de solapamiento

Tabla A.11: Formato del catálogo de estrellas de los tipos espectrales O y B.

Columna	Formato	Descripción
1-11	I6,5X	Número Hipparcos
12-29	A12,6X	Tipo espectral
30-42	F12.8,1X	Ascensión recta en J1991.25 (grados)
43-55	F12.8,1X	Declinación en J1991.25 (grados)
56-57	A1,1X	Indicador de referencia para astrometría
58-65	F7.2,1X	Paralaje trigonométrica (mas)
66-74	F8.2,1X	$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas yr ⁻¹)
75-83	F8.2,1X	μ_δ (mas yr ⁻¹)
84-90	F6.2,1X	Error estándar en $\alpha \cos \delta$ en J1991.25 (mas)
91-97	F6.2,1X	Error estándar en δ en J1991.25 (mas)
98-104	F6.2,1X	Error estándar en π (mas)
105-111	F6.2,1X	Error estándar en $\mu_\alpha \cos \delta$ (mas yr ⁻¹)
112-118	F6.2,1X	Error estándar en μ_δ (mas yr ⁻¹)
119-124	F5.2,1X	Correlación entre $\alpha \cos \delta$ y δ
125-130	F5.2,1X	Correlación entre $\alpha \cos \delta$ y π
131-136	F5.2,1X	Correlación entre δ y π
137-142	F5.2,1X	Correlación entre $\alpha \cos \delta$ y $\mu_\alpha \cos \delta$
143-148	F5.2,1X	Correlación entre δ y $\mu_\alpha \cos \delta$
149-154	F5.2,1X	Correlación entre π y $\mu_\alpha \cos \delta$
155-160	F5.2,1X	Correlación entre $\alpha \cos \delta$ y μ_δ
161-166	F5.2,1X	Correlación entre δ y μ_δ
167-172	F5.2,1X	Correlación entre π y μ_δ
173-184	F5.2,7X	Correlación entre $\mu_\alpha \cos \delta$ y μ_δ
185-192	F6.1,2X	Velocidad radial (km s ⁻¹)
193-198	F4.1,2X	Error estándar en la velocidad radial (km s ⁻¹)
199-204	I4,2X	Número de medidas para la velocidad radial
205-210	A4,2X	Fuente de la velocidad radial
211-219	F3.1,6X	Código de la velocidad radial
220	I1,2X	Indicador de variabilidad
223	A1,2X	Indicador de duplicidad
226	A1	Indicador 1 de fotometría
227	A1	Indicador 2 de fotometría
228	A1	Indicador 3 de fotometría

Tabla A.11: Continuación.

Columna	Formato	Descripción
229	A1	Indicador 4 de fotometría
230	A1	Indicador 5 de fotometría
231	A1	Indicador 6 de fotometría
232	A1	Indicador 7 de fotometría
233	A1	Indicador 8 de fotometría
234	A1	Indicador 9 de fotometría
235	A1	Indicador 10 de fotometría
236	A1	Indicador 11 de fotometría
237	A1	Indicador 12 de fotometría
238	A1	Indicador 13 de fotometría
239	A1	Indicador 14 de fotometría
240	A1	Indicador 15 de fotometría
241	A1	Indicador 16 de fotometría
242	A1	Indicador 17 de fotometría
243-245	A1,2X	Indicador 18 de fotometría
246-252	A1,6X	Indicador de discrepancia de magnitud
253-254	A1,1X	Región a la que pertenece la estrella
255-257	A2,1X	Clase de luminosidad
258-264	F6.2,1X	Magnitud absoluta
265-270	F5.0,1X	Distancia (pc)
271-279	F6.0,3X	Temperatura efectiva (K)
280-284	F4.0,1X	Error en la temperatura efectiva (K)
285-291	F4.2,3X	Gravedad superficial (dex)
292-301	F4.2,6X	Error en la gravedad superficial (dex)
302-308	I2,1X,I2,2X	M
309-315	I2,1X,I3,1X	K
316-321	F5.3,1X	Temperatura efectiva (dex)
322-328	F5.3,2X	Gravedad superficial (dex)
329-337	F6.3,3X	Luminosidad (dex)
338-344	F5.1,2X	Error en la luminosidad (dex)
345-353	F6.3,3X	Edad (dex)
354-360	F5.3,2X	Error en la edad (dex)
361-369	F3.0,I6	Porcentaje de error en la edad

Tabla A.11: Continuación.

Columna	Formato	Descripción
370-378	F6.3,3X	Masa (M_{\odot})
376-385	F7.3,3X	Error en la masa (M_{\odot})
386-394	F6.3,3X	Masa en la secuencia principal (M_{\odot})
395-402	F7.3,1X	Error en la masa en la secuencia principal (M_{\odot})
403-405	I1,2X	Región en el diagrama HR

B Contenido del catálogo de estrellas cefeidas

El contenido y formato del catálogo se muestra en la tabla B.3. A continuación detallaremos algunos datos de interés respecto al contenido del catálogo, que es el que sigue:

Datos del catálogo Hipparcos:

- Número Hipparcos
- Ascensión recta en horas (J1991.25)
- Declinación en grados (J1991.25)
- Magnitud visual aparente V
- Paralaje trigonométrica en milisegundos de arco (mas)
- Error estándar en π en mas (J1991.25)
El valor medio de la muestra es 1.47 mas.
- Movimiento propio en ascensión recta en mas yr⁻¹ (J1991.25)
- Error estándar en $\mu_\alpha \cos \delta$ en mas yr⁻¹ (J1991.25)
El valor medio de la muestra es 1.38 mas yr⁻¹.
- Movimiento propio en declinación en mas yr⁻¹ (J1991.25)
- Error estándar en μ_δ en mas yr⁻¹ (J1991.25)
El valor medio de la muestra es 1.21 mas yr⁻¹.

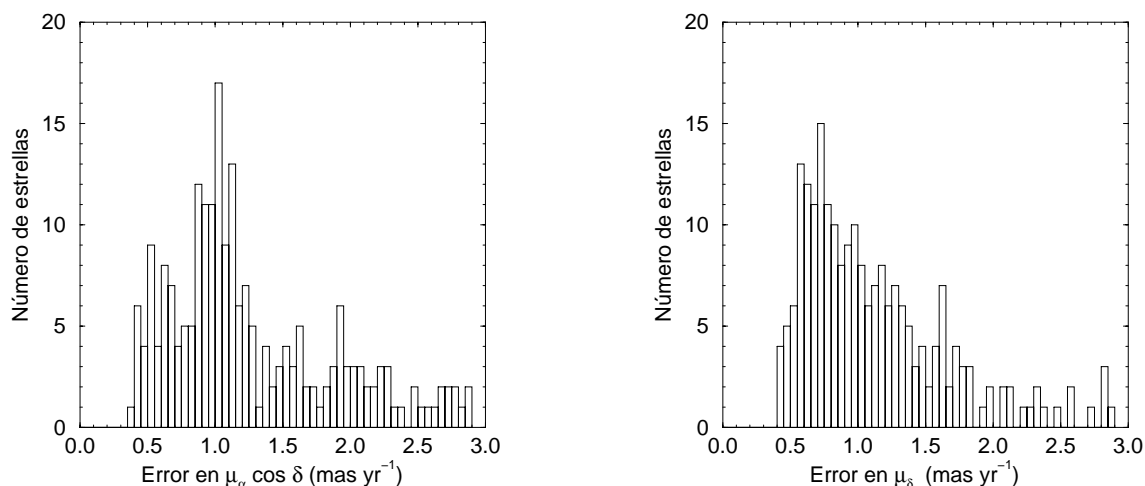


Figura B.1: Histograma de errores en el movimiento propio en ascensión recta (izquierda) y declinación (derecha) para las estrellas de la muestra.

En la figura B.1 se muestran los histogramas de errores en los movimientos propios en ascensión recta y declinación para nuestras estrellas.

- Periodo de variación
 - Índice de color ($B - V$)
 - Error estándar en el índice de color ($B - V$)
 - Indicador de tipo de variabilidad en el catálogo Hipparcos
- En todas las estrellas del catálogo Hipparcos, este indicador es "P".
- Indicador de estado histórico en el CCDM (*Catalogue of Components of Double and Multiple Stars*)
 - H: Hipparcos. Indica que el sistema ha sido clasificado como doble o múltiple por Hipparcos.
 - I: Input Catalogue. Indica que el sistema ya estaba clasificado como doble o múltiple en el Anexo 1 del *Hipparcos Input Catalogue*.
 - M: Misceláneo. Indica que el sistema fue clasificado como doble o múltiple tras la publicación del *Hipparcos Input Catalogue*.
 - Número de entradas en el catálogo con el mismo identificador en el *Catalogue of Components of Double and Multiple Stars*

Tabla B.1: Tipos espectrales de las estrellas de la muestra (199 cefeidas con tipo espectral conocido).

TE	<i>N</i>	TE	<i>N</i>	TE	<i>N</i>	TE	<i>N</i>
A1	1	F7	20	G0	21	G4	1
F0	1	F7.2	1	G0.2	2	G5	10
F2	4	F7.5	10	G0.5	3	G8	1
F3	1	F7/F8	4	G0.7	1	K	1
F4	3	F8	32	G0/G1	1	K0	4
F5	17	F8.4	1	G1	9	K1	1
F5.5	4	F8/G0	4	G1.2	1	K5	3
F6	8	F9	11	G2	4		
F6.5	2	F9.5	1	G2/G3	1		
F6.7	4	G	1	G3	5		

- Número de componentes en las cuales la entrada fue resuelta
- Indicador en el Anexo de sistemas dobles o múltiples del catálogo Hipparcos
 - C: Soluciones de componentes.
 - G: Términos de aceleración (o de orden superior).
 - O: Soluciones orbitales.
 - V: Sistemas para los cuales el movimiento aparente del fotocentro se cree que viene provocado por la variabilidad de una de sus componentes.
 - X: Solución estocástica.

(Para más detalles consultar la documentación del catálogo Hipparcos).

- Tipo espectral

Ver estadísticas de tipos espectrales y clases de luminosidad en las tablas B.1 y B.2.

Datos de la compilación de velocidades radiales (si se dispone de ellos):

- Velocidad radial en km s^{-1}

Tabla B.2: Clases de luminosidad de las estrellas de la muestra (199 cefeidas con tipo espectral conocido).

TS	Ia	Iab	Ib	Ib-II	II	II-III	III	III-IV	IV	IV-V	V	?
A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
F	3	5	25	16	20	0	2	0	3	0	0	54
G	2	0	13	2	5	0	1	0	1	0	1	36
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9

- Error estándar en velocidad radial en km s^{-1}

El valor medio de la muestra es 1.09 km s^{-1} .

- Fuente de la velocidad radial

Especifica la fuente de la que se ha extraído la velocidad radial de la estrella, según la siguiente codificación:

- P: Estrellas de las compilaciones de Pont, Mayor y Burki (1994) y Pont et al. (1997)
- S: Estrellas con velocidades radiales extraídas de la base de datos de SIMBAD
- I: Estrellas del catálogo de entrada de Hipparcos (*Hipparcos Input Catalogue*).

Datos de la *Database of Galactic Classical Cepheids* de Fernie et al. (1995):

- Exceso de color $E(B - V)$
- Error en el exceso de color $E(B - V)$

Datos del *General Catalogue of Variable Stars (4th Edition; GCVS)* (Durlevich et al. 1996):

- Tipo de estrella cefeida

Tipo de cefeida según el GCVS:

- CEP: Estrellas cefeidas.
- CEP(B): Estrellas cefeidas mostrando dos o más modos simultáneos de pulsación (usualmente el modo fundamental y el primer *overtone*)
- DCEP: Cefeidas clásica, o cefeidas de tipo δ Cep.
- DCEPS: Cefeidas clásicas con amplitudes menores a 0.5 magnitudes en V y curvas de luz prácticamente simétricas.

Datos obtenidos a partir del análisis de Fourier de las curvas de luz (Beaulieu 1999):

■ Indicador del tipo de cefeida

Modo de pulsación obtenido a partir del análisis de Fourier de la curva de luz de la estrella:

- 0: Cefeida fundamental
- 1: Cefeida *overtone*
- 2: Cefeida de doble modo
- 3: Mal comportada
- 4: Nada
- 5: Cefeida fundamental, pero no tan clara como 0
- 6: Cefeida *overtone*, pero no tan clara como 1
- 7: Extraña (V473 Lyr y α UMi)
- 8: No se puede distinguir si es fundamental o *overtone*

■ Periodo de pulsación a partir del análisis de Fourier

■ Coeficientes del análisis de Fourier: R_0 , R_1 , Amplitud, R_{21} , Φ_{21} , R_{31} , Φ_{31} , y sus errores

Estos coeficientes se obtienen a partir de una descomposición de la curva de luz de la cefeida en la forma $R = R_0 + \sum_{k=1}^N R_k \cos(k\omega_k t + \Phi_k)$, donde $\omega = 2\pi/P$, siendo P el periodo de pulsación de la estrella. Las diferencias de fase $\Phi_{k1} = \Phi_k - k\Phi_1$ (denominadas fases de Fourier) y las relaciones de amplitudes $R_{k1} = R_k/R_1$ han sido calculadas y utilizadas para buscar resonancias entre los modos de pulsación (ver, por ejemplo, Simon y Lee 1981; Antonello, Poretti y Reduzzi 1990; Beaulieu 1998).

Datos a partir del análisis por el método LM (Luri et al. 1996):

- Grupo en el que se clasifica la cefeida (1 ó 2)
- Porcentaje de probabilidad de pertenencia al grupo
- Distancia y su error según el método LM
- Magnitud visual absoluta
- Absorción interestelar

Datos a partir de las relaciones periodo-luminosidad (Luri 2000; Feast, Pont y Whitelock 1998):

- Distancia y su error a partir de la relación PL para una escala corta de distancias (ECD; Luri 2000)
 - Distancia y su error a partir de la relación PL para una escala larga de distancias (ELD; Feast, Pont y Whitelock 1998)
- (Ver capítulo 3 para más detalles).

Tabla B.3: Formato del catálogo de estrellas cefeidas.

Columna	Formato	Descripción
1-8	I6,1X	Número Hipparcos
9-22	A13,1X	Nombre de la estrella variable
23-25	I3	Ascensión recta en J1991.25: grados
26-28	I3	Ascensión recta en J1991.25: minutos
29-35	F6.2,1X	Ascensión recta en J1991.25: segundos
36-38	I3	Declinación en J1991.25: grados
39-41	I3	Declinación en J1991.25: minutos
42-47	F6.1,1X	Declinación en J1991.25: segundos
48-54	F6.2,1X	Magnitud visual aparente
55-62	F8.2	Paralaje trigonométrica (mas)
63-70	F7.2,1X	Error estándar en π (mas)
71-78	F8.2	$\mu_\alpha \cos \delta$ (mas yr ⁻¹)
79-86	F7.2,1X	Error estándar en $\mu_\alpha \cos \delta$ (mas yr ⁻¹)
87-94	F8.2	μ_δ (mas yr ⁻¹)
95-103	F7.2,2X	Error estándar en μ_δ (mas yr ⁻¹)
104-111	F8.2	Velocidad radial (km s ⁻¹)
112-117	F6.2	Error estándar en la velocidad radial (km s ⁻¹)
118-119	A1,1X	Fuente de la velocidad radial
120-128	F8.2,1X	Periodo de la cefeida en Hipparcos (días)
129-135	F7.3	Índice de color ($B - V$)
136-143	F6.3,2X	Error estándar en el índice de color ($B - V$)
144-150	F7.3	Exceso de color $E(B - V)$
151-160	F7.3,3X	Error estándar en el exceso de color $E(B - V)$
161-168	A6,2X	Tipo de variabilidad en GCVS
169-171	A1,2X	Tipo de variabilidad en Hipparcos
172-173	A1,1X	Estado histórico en el CCDM
174-175	I1,1X	Número de entradas en Hipparcos con el mismo identificador en el CCDM
176-176	I1,1X	Número de componentes resueltas por Hipparcos
177-179	A1,2X	Indicador en el anexo de sistemas dobles o múltiples de Hipparcos
180-195	A12,4X	Tipo espectral

Tabla B.3: Continuación.

Columna	Formato	Descripción
196-197	A1,1X	Indicador del tipo de cefeida (fundamental/ <i>overtone</i>)
198-205	F8.5	Periodo de la cefeida según análisis de Fourier (días)
206-212	F7.3	Coefficiente R_0 del análisis de Fourier
213-218	F6.3	Coefficiente R_1 del análisis de Fourier
219-224	F6.3	Amplitud en el análisis de Fourier
225-230	F6.3	Coefficiente R_{21} del análisis de Fourier
231-236	F6.3	Error estándar en R_{21}
237-242	F6.3	Coefficiente Φ_{21} del análisis de Fourier
243-248	F6.3	Error estándar en Φ_{21}
249-254	F6.3	Coefficiente R_{31} del análisis de Fourier
255-260	F6.3	Error estándar en R_{31}
261-266	F6.3	Coefficiente Φ_{31} del análisis de Fourier
267-274	F6.3,2X	Error estándar en Φ_{31}
275-276	I1,1X	Grupo al que pertenece la estrella según método LM
277-282	F5.1,1X	Probabilidad de pertenencia al grupo (porcentaje)
283-289	F7.1	Distancia a la cefeida según método LM
290-296	F7.1	Error en la distancia a la cefeida según método LM
297-304	F8.3	Magnitud absoluta de la estrella según método LM
305-316	F8.3,4X	Absorción interestelar según método LM
317-318	A1,1X	Indicador del tipo de cefeida (fundamental/ <i>overtone</i>)
319-326	F8.1	Distancia según el método LM (pc)
327-333	F7.1	Error en distancia según el método LM (pc)
334-342	F9.0	Distancia según la relación PL-ECD (pc)
343-349	F7.0	Error en distancia según la relación PL-ECD (pc)
350-358	F9.0	Distancia según la relación PL-ELD (pc)
359-365	F7.0	Error en distancia según la relación PL-ELD (pc)