

UNIVERSITAT DE BARCELONA

DEPARTAMENT D'ASTRONOMIA I METEOROLOGIA



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Diseño y caracterización del sistema
fotométrico de la misión Gaia de la Agencia
Espacial Europea

Memoria presentada por
José Manuel Carrasco Martínez
para optar al grado de
Doctor en Física

Barcelona, octubre de 2006

3 Estrellas clave de *Gaia*

En el diseño de un sistema fotométrico debemos tener presente en todo momento cuáles son sus objetivos científicos. El grupo de fotometría de la misión decidió crear la lista de objetos observables por *Gaia*, priorizarlos por orden de importancia en el contexto global de la misión y optimizar el sistema fotométrico de acuerdo a dichas prioridades. Asimismo, se decidió optimizar el sistema fotométrico para estrellas aisladas, sin multiplicidades; y entre éstas, las estrellas cruciales para entender la Vía Láctea. A estos objetos para los que diseñaremos el sistema fotométrico les llamaremos ‘objetos clave’ fotométricos (*Scientific Photometric Targets* en inglés, o abreviado como ST). Se considerarán también los objetos que no sean ST y, en la medida de lo posible, se podrán añadir posteriormente algunos cambios en el sistema fotométrico sin degradar la caracterización de los ST.

En este capítulo definiremos los ST basándonos siempre en los objetivos científicos descritos en el documento de definición de la misión, ESA (2000), y teniendo en cuenta los tipos de población que componen la Galaxia, la factibilidad de que estos objetos puedan ser observados por el satélite en un número suficiente como para proporcionar una estadística fiable, etc. Este trabajo de creación de los ST está reflejado en dos informes internos de nuestro grupo (Jordi et al. 2004a,c) y la lista final de estrellas se presentó en Jordi & Carrasco (2004e).

En la sec. 3.1 se definen los rangos de abundancias en los que se mueven las estrellas de las distintas poblaciones galácticas. La sec. 3.2 está dedicada a describir esquemáticamente el contenido estelar que ayuda a entender las poblaciones y estructura de la Galaxia. Además, en esa misma sección, se asignan prioridades a estos objetos en función de la importancia que tengan para conseguir los objetivos científicos de *Gaia*. En la sec. 3.3 definimos las precisiones que queremos. Finalmente, en la sec. 3.4, se crea la lista de objetos representativos de estos ST dada su distribución

en la Galaxia y la magnitud límite de *Gaia*.

3.1. Abundancias y edades de las poblaciones estelares

La lista de objetos prioritarios para definir el sistema fotométrico, o sea, la lista de ST, se debe elegir de tal manera que permita entender en profundidad la Vía Láctea, teniendo en cuenta qué poblaciones la componen (discos grueso y delgado, bulbo, halo), la viabilidad de observación (fijándonos, por ejemplo, en el brillo con el que se observan nuestros trazadores de población, ya que si son demasiado débiles no podrán ser detectados, etc).

Las diferentes poblaciones galácticas (ver sec. 2.1.1) tienen diferentes rangos típicos de abundancias químicas y edades. A continuación definiremos estos rangos:

Halo: Hanson et al. (1998) analiza 68 gigantes del halo extraídas del catálogo *Hipparcos* (ESA 1997) y extrae sus metalicidades. Esta muestra posee un rango que varía entre $-2.93 \leq [M/H] \leq -0.91$. Cohen et al. (2002), Beers et al. (2002) y N. Christlieb (comunicación privada), entre otros, apuntan hacia la detección de estrellas extremadamente pobres en metales ($[M/H] \sim -5$). Las estrellas pobres en metales como las del halo, se sitúan en un valor promedio de $[\alpha/Fe]$ de 0.4 dex (con una dispersión de valores de 0.2 dex), ver Jordi et al. (2002c) y Fig. 2.6.

Bulbo: En ESA (2000), el rango de abundancias definido para el bulbo es $-0.6 \leq [M/H] \leq 0.6$, con un valor promedio cercano al del Sol. Pero en McWilliam & Rich (1994) se determinan las metalicidades de 11 gigantes K del bulbo situadas en la ventana de Baade (dirección galáctica cercana al núcleo galáctico en la que la materia interestelar es poco abundante pudiendo penetrar hasta distancias mayores). Los valores de las abundancias halladas varían entre $-1.0 \leq [M/H] \leq 0.45$, ampliando, pues, el rango definido en ESA (2000) hacia metalicidades negativas, a pesar de que el proceso de formación del bulbo no es aún lo suficientemente conocido y no podemos descartar metalicidades fuera de este rango.

No hay un consenso claro sobre la edad de las estrellas del bulbo (Rich 1992; Wyse et al. 1997). Sin embargo, todos los estudios están de acuerdo en que las edades de las estrellas del bulbo deben ser mayores que 5–8 Gyr. Muchas son las causas que dificultan la determinación de edades precisas mediante diagramas color-magnitud y funciones de luminosidad para el intervalo $15 < V < 17$. Entre ellas se hallan la degeneración edad-metalicidad, los errores fotométricos en las magnitudes y la presencia de estrellas múltiples desdibujando el “turn-off”, la contaminación de estrellas del disco y los errores en la determinación del enrojecimiento de la estrella. Además, las estimaciones para la edad del bulbo asumen que su forma es esférica y que todas las estrellas se encuentran a la misma distancia. La magnitud del “turn-off”, en cambio, depende de la forma del bulbo, ver tabla 1.2 de ESA (2000). Una población de ~ 12 Gyr sitúa la magnitud del “turn-off” unas 0.35 mag más débil que para 7–10 Gyr.

Disco grueso: Nissen (1999) determina las abundancias para las estrellas del disco grueso y concluye que para bajas metalicidades el rango de elementos α es mayor que 0.15 dex pero cae a cero cuando las metalicidades se sitúan alrededor del valor solar. Beers et al. (2002), además, encuentra metalicidades del disco grueso por debajo de $[M/H] = -1.2$. Por ello decidimos ampliar el rango posible de metalicidades hasta -2.5 , tal y como se indica en la tabla 3.1.

Disco delgado: En Nissen (1999) también se analizan las abundancias del disco delgado, encontrando $-1.3 \leq [M/H] \leq 0.2$ y $-0.05 \leq [\alpha/Fe] \leq 0.3$. Pero, de acuerdo con Alibés et al. (2001), decidimos ampliar el rango de abundancias hasta los definidos en la tabla 3.1.

En nuestra galaxia podemos determinar edades precisas, metalicidades y la cinemática de estrellas individuales del disco grueso y delgado y construir una distribución multivariada. Estas observaciones son muy difíciles de hacer desde la Tierra, dado que sólo se pueden obtener edades precisas y velocidades para estrellas más cercanas que uno pocos cientos de parsecs. Edvardsson (1993) muestra cómo de complicada es nuestra vecindad solar. La población del disco delgado más cercana al Sol muestra una dispersión en abundancia química de casi un factor 10, con poco cambio en el rango de edades (3–10 Gyr). El disco grueso es una población más vieja (> 10 Gyr), con una dispersión vertical de velocidades de unos $40 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, el doble que el de las estrellas más viejas del disco delgado, y con abundancias químicas significativamente menores. Sin embargo, las ~ 200 estrellas que conforman la muestra

Tabla 3.1: Rangos de abundancias químicas y edades representativas de las cuatro principales poblaciones galácticas

Halo ^{1,2}	$-6.0 < [M/H] < -1.0$	$+0.2 < [\alpha/Fe] < +0.6$	10–14 Gyr
Bulbo ³	$-1.2 < [M/H] < +1.0$	$-0.1 < [\alpha/Fe] < +0.5$	$5-8 < t < 12$ Gyr
Disco grueso ¹	$-2.5 < [M/H] < +0.0$	$+0.0 < [\alpha/Fe] < +0.3$	10–14 Gyr
Disco delgado	$-1.5 < [M/H] < +0.5$	$-0.2 < [\alpha/Fe] < +0.3$	< 12 Gyr

¹ Cohen et al. (2002), Beers et al. (2002) y N. Christlieb (comunicación privada) apuntan a la existencia de estrellas con $[M/H] \sim -5$.

² El 25 % de estrellas con $[M/H] < -2.5$ son carbonadas ($[C/Fe] > 1.0$) (Beers et al. 2002).

³ El bulbo no se conoce lo suficiente como para descartar completamente valores fuera de este rango.

de Edvardsson (1993) no es completo y no proporciona la distribución de edad de las estrellas, ni tan siquiera en la vecindad solar. Sólo proporciona una indicación de cómo las propiedades del disco cambian con la edad de las estrellas.

Con toda esta información definimos unos rangos de abundancias, que se pueden consultar en la tabla 3.1. Estos rangos se han escogido lo suficientemente amplios para tener en cuenta resultados más recientes y para posibles descubrimientos con la propia misión *Gaia*.

3.2. Objetivos científicos y prioridades

En esta sección detallaremos las estrellas que nos permitirán deducir cómo es la Vía Láctea. Esta información es la que usará la misión para desentrañar las incógnitas de nuestra galaxia tal y como se explica en ESA (2000).

A la par que definimos cuáles son estas estrellas también asignaremos prioridades, separándolas en cuatro categorías (*alta prioridad*, *prioridad intermedia*, *baja* y *nula*). Estas prioridades se asignan de acuerdo con los objetivos de la misión y serán usadas para evaluar los sistemas propuestos (ver sec. 5.3).

La cuantificación de estas prioridades es la que sigue:

- Prioridad alta: 5/9

- Prioridad intermedia: 3/9
- Prioridad baja: 1/9
- Prioridad nula: 0

3.2.1. Entendiendo la Vía Láctea

El estudio de la estructura a gran escala de la Vía Láctea sólo se puede llevar a cabo si observamos la máxima extensión de la Galaxia posible, desde el entorno solar hasta los objetos más alejados de nosotros, situados en las estructuras galácticas lejanas (es decir, bulbo, halo externo e incluso los brazos del disco más lejanos). Pero los objetos alejados son difíciles de observar debido a la presencia de absorción interestelar (ver sec. 2.3.1) y a la atenuación de su luminosidad aparente por la distancia. Por ello serán sólo los objetos más brillantes los que podamos observar desde tan lejos (objetos evolucionados, como las AGB, las gigantes y estrellas de la rama horizontal (tanto las RHB como las BHB), objetos de la alta secuencia principal, ...).

La discriminación entre las diferentes componentes galácticas se puede realizar combinando las abundancias químicas con las características cinemáticas. Los mejores trazadores cinemáticos de la Galaxia son las enanas K, las gigantes K y M, las variables Mira, Cefeidas y las RR-Lyrae, que también son útiles como indicadores de distancia por su relación periodo-luminosidad (Storm 2006). En el caso de las RR-Lyrae, en cambio, se aprovecha que la magnitud absoluta de estas estrellas se supone constante. Sin embargo, las variables de tipo Mira, a pesar de que también se observan a grandes distancias, no son tan útiles para determinar distancias extragalácticas debido a la gran variedad de tipos y al pobre conocimiento que se tiene de su relación periodo-luminosidad, aunque se han utilizado en diversos estudios (Feast et al. (2006) entre otros). Otro tipo de estrellas útiles para determinar distancias extragalácticas son las supergigantes azules mediante la relación entre el momento del viento estelar y la luminosidad intrínseca (Bresolin 2003). Pero esta relación debe ser muy bien calibrada primero con las supergigantes azules más cercanas, las de nuestra propia Galaxia, cosa que puede y deberá hacerse con los propios datos de *Gaia*, proporcionando así una gran contribución en este campo.

Aunque las estrellas de tipo M y las enanas marrones no representen una gran

fracción de los objetos observables por *Gaia*, su observación será de gran utilidad ya que ésta será la primera vez que se tenga un censo completo de esta clase de objetos en un volumen que se extiende hasta los 100 pc. A pesar de que las enanas marrones son muy débiles, su proximidad asegura una determinación precisa de su paralaje. Para la optimización del sistema fotométrico hemos decidido, en cambio, que no tiene sentido incluir las enanas marrones en la lista de objetivos clave del sistema fotométrico debido a la poca cantidad de estos objetos que observará la misión comparada con los objetos de tipo estelar y a que el máximo de emisión de estos objetos se encuentran en el infrarrojo fuera del rango de detección de *Gaia*. *Gaia* intentará definir las luminosidades de las enanas M a partir de los paralajes y una relación entre la luminosidad y la metalicidad global.

3.2.2. Objetivos en el halo

Las abundancias y cinemática encontradas en el halo apuntan a la existencia de dos poblaciones distintas (el *halo interno* y el *halo externo*). Sería muy útil saber el número de estrellas en los diferentes rangos de metalicidad (es decir, producir histogramas) en función de la distancia al centro galáctico, a fin de desarrollar un modelo de formación del halo. Para este propósito las gigantes G y K, al formarse en todos los tipos de poblaciones viejas, son particularmente útiles. Además, a las gigantes G y K se les puede medir fácilmente las velocidades radiales y han sido históricamente bien estudiadas, al ser fácilmente accesibles en los cúmulos globulares.

Las estrellas de la rama horizontal han sido los tipos estelares preferidos para trazar el halo externo. La ventaja de las BHB respecto a las gigantes G y K se halla en que son fáciles de reconocer, ya que se trata de objetos débiles ($14 \leq V \leq 19$ mag) y azules ($0.0 \leq B - V \leq 0.2$), Sommer-Larsen et al. (1997). Sin embargo, las BHB no siempre se forman en las poblaciones viejas pobres en metales y esto puede producir sesgos importantes. Además, las estrellas de la rama horizontal poseen núcleos convectivos y esto puede producir errores sistemáticos en la determinación de las luminosidades y edades al utilizar modelos teóricos poco apropiados.

Las gigantes G y K del halo externo y del disco trazarán las poblaciones “anormales”, con alto momento angular y órbitas muy excéntricas, las cuáles nunca penetran a una distancia al centro galáctico menor a 15 kpc, estando, así, demasiado alejadas de la vecindad solar.

Tabla 3.2: Población del halo observable por *Gaia*.

	$(l, b)=(\text{todas}, < 10^\circ)$				$(l, b)=(\text{todas}, > 10^\circ)$			
	$d(\text{kpc})$	M_v	A_v	V	$d(\text{kpc})$	M_v	A_v	V
Sec. Ppal. ⁽¹⁾	$< 4, < 1$	4.5–12	0.1–3, 0.1–1	< 23	$< 15, < 1.5$	4.5–12	0.1–0.5	< 23
Turn-off	< 5	~ 3.5	0.1–4	< 21	< 30	~ 3.5	0.1–0.5	< 21
RGB	< 15	–3–2	0.1–10	< 23	< 30	–3–2	0.1–0.5	< 19
HB	< 8	0.5	0.1–6	< 21	< 30	0.5	0.1–0.5	< 18
AGB	< 15	–3–0.5	0.1–10	< 23	< 30	–3–0.5	0.1–0.5	< 18
WD	< 1.5	> 8	0.1–1	< 20	< 2.5	> 8	0.1–0.5	< 20

¹ También se incluyen las estrellas A de la secuencia principal con cinemáticas típicas del disco grueso y halo

La tabla 3.2 describe la población estelar del halo observable por *Gaia*, considerando la distancia y la magnitud límite de la misión. En dicha tabla, las estrellas del halo se separan en dos grupos de latitudes galácticas, debido a que las distancias límite y magnitudes aparentes difieren a causa de las diferentes condiciones de extinción interestelar.

Los objetivos científicos y sus trazadores se listan a continuación asignándoles también prioridades:

Alta prioridad :

1. Estrellas con errores en las paralajes mejores que el 10 % (ver correspondencias en la tabla 1.1):
 - Distribución galactocéntrica de abundancias químicas: gigantes G y K.
 - Gradientes de edad galactocéntricos, ritmo de formación estelar: estrellas HB, AGB tempranas y “turn-off” de la secuencia principal.
 - Ruptura de la degeneración entre edad y metalicidad: “turn-off” de la secuencia principal y subgigantes.
 - Historia de la formación estelar: estrellas de la secuencia principal más tempranas que G5 y subgigantes.
 - Conocimiento detallado de la función de luminosidad: baja secuencia principal.

- Escala de distancias: RR-Lyrae.
2. Estructura a gran escala mediante estrellas brillantes a $|b| > 10^\circ$.
 - Distribución galactocéntrica de abundancias químicas: gigantes G y K.
 - Gradientes de edad galactocéntricos, ritmo de formación estelar: estrellas HB, AGB tempranas y “turn-off” de la secuencia principal.
 - Corrientes peculiares del halo, determinación de edades y abundancias químicas: gigantes G y K.
 - Halo externo ($R > 20$ kpc), acreción y fusión: gigantes G y K y estrellas HB.
 - Escala de distancias: RR-Lyrae.

Prioridad intermedia :

1. Todas las latitudes:
 - Fusiones y/o difusiones: estrellas A de alta velocidad.
 - Estructura a gran escala: estrellas AGB (incluyendo variables Mira de carbono y oxígeno).
 - Fases tempranas de evolución de la Galaxia: estrellas de baja metalicidad, enanas y subgigantes carbonadas cercanas al “turn-off”.

Prioridad baja :

1. Estructura a gran escala a $|b| < 10^\circ$, por tanto, estrellas altamente enrojecidas: gigantes G y K y estrellas HB.
2. Estrellas de la secuencia principal y del “turn-off” con $|b| < 10^\circ$ y errores en los paralajes mayores que el 10 %.

Prioridad nula :

1. Enanas blancas (se debe enfatizar en este punto que considerar las enanas blancas como objetivos sin prioridad no significa que el estudio de la función inicial de masa y la edad del halo no sea una prioridad científica, sino que las enanas blancas no imponen condiciones al conjunto de filtros y que, por tanto, el diseño de los mismos no tienen que basarse en ellas).
2. Estrellas múltiples.

3. Estrellas con $[M/H] < -4$ (población II extrema con espectros con trazas metálicas muy débiles). Estas estrellas serán, probablemente, muy difíciles de distinguir mediante fotometría de las metalicidades $[M/H] = -3$. Christlieb et al. (2002) muestra el hallazgo de una estrella de incluso $[M/H] = -5.3$.
4. Cúmulos globulares: las estrellas pertenecientes a cúmulos globulares son físicamente muy similares a las de campo del halo y no necesitan ser priorizadas separadamente.

3.2.3. Objetivos en el bulbo

El bulbo tiene propiedades tanto del halo como del disco y aún existen muchas incógnitas en el conocimiento de esta región galáctica. Las gigantes M y las estrellas HB son, de nuevo, los mejores trazadores debido a su brillo intrínseco. Las gigantes M son las mejores trazadoras de la componente rica en metales del bulbo.

Para entender la historia y forma del bulbo, es necesario observar las estrellas del “turn-off” de la secuencia principal. La magnitud y punto de inflexión de este “turn-off”, ligados a la edad y a la composición química, depende de la forma del bulbo. Esta característica permite, pues, delimitar algunos parámetros de la forma del bulbo.

Para las gigantes y las AGB con magnitud absoluta $M_V < 3$ se deberán determinar también las abundancias de titanio, pues no será posible determinar aisladamente la temperatura efectiva y la metalicidad global debido a la gran influencia del titanio y otros elementos α en la determinación de $[M/H]$.

Se han calculado diagramas HR para simular el contenido estelar del bulbo asumiendo la superposición de diferentes poblaciones con distintos valores de edad y metalicidad. La tabla 3.3 describe la población del bulbo observable por *Gaia*.

Siguiendo la discusión de Vallenari & Bertelli (2004) sobre las estrellas del bulbo y su retorno científico, los objetivos se listan a continuación con sus prioridades asignadas:

Alta prioridad :

Tabla 3.3: Población estelar del bulbo observable por *Gaia*.

	$(l , b)=(< 10^\circ, < 10^\circ)$				Ventanas con bajo enrojecimiento			
	$d(\text{kpc})$	M_v	$A_v^{(1)}$	V	$d(\text{kpc})$	M_v	A_v	V
RGB	8, < 7	-3-2	2-8, 2-7	14-22	7-10	-3-2	1.5-2	14-19
HB, RC ⁽²⁾	8	0.5	2-5	18-21	7-10	0.5	1.5-2	16-18
AGB	8, < 7	-3-0.5	2-8, 2-7	14-23	7-10	-3-0.5	1.5-2	14-18
Turn-off					7-10	~ 3.5	1.5-2	18-21

¹ A_v depende fuertemente de (l, b)

² Dos cúmulos intrigantes (NGC 6388 y NGC 6441) muestran una BHB muy extendida a pesar de su metalicidad ($[M/H] \sim -0.6$).

1. Ventanas de bajo enrojecimiento:
 - Forma, orientación, barra: RGB, AGB, “red clump” (RC), estrellas del “turn-off”.
 - Distribución de masa y metalicidad: RGB, AGB.
 - Ritmo de formación estelar: RGB, AGB.
2. Ventanas de alto enrojecimiento:
 - Forma, orientación, barra: RGB, AGB, RC.
 - Distribución de masa y metalicidad: RGB, AGB.
 - Ritmo de formación estelar: RGB, AGB.

Prioridad intermedia :

1. Ventanas de bajo enrojecimiento:
 - Determinación de la edad: estrellas del “turn-off”, subgigantes.

Prioridad baja :

1. Escala de distancias: RC (la escala de distancias no se considera una alta prioridad debido al error en la paralaje asociado a estas estrellas. Las estrellas más cercanas son más idóneas para este propósito que las estrellas del bulbo).

Prioridad nula :

1. Estrellas múltiples.

Tabla 3.4: Población estelar del disco grueso accesible por *Gaia*

	$(l, b)=(0^\circ, < 10^\circ)$				$(l, b)=(\text{todas}, > 10^\circ)$			
	$d(\text{kpc})$	M_v	A_v	V	$d(\text{kpc})$	M_v	A_v	V
Sec. Ppal. ⁽¹⁾	$< 4, < 1$	4.5–12	0.1–3, 0.1–1	< 23	$< 6^{(2)}, < 1$	4.5–12	0.1–0.5	< 23
Turn-off	< 5	~ 3.5	0.1–4	< 21	< 6	~ 3.5	0.1–0.5	< 18
RGB	< 8	–3–2	0.1–8	< 23	< 6	–3–2	0.1–0.5	< 17
HB	< 6	0.5	0.1–6	< 21	< 6	0.5	0.1–0.5	< 15
AGB	< 8	–3–0.5	0.1–8	< 23	< 6	–3–0.5	0.1–0.5	< 15
WD	< 1.5	> 8	0.1–1	< 20	< 2.5	> 8	0.1–0.5	< 20
	$(l, b)=(180^\circ, < 10^\circ)$							
Sec. Ppal. ⁽¹⁾	$< 4, < 1$	4.5–12	0.1–3, 0.1–1	< 23				
Turn-off	< 5	~ 3.5	0.1–4	< 21				
RGB	< 15	–3–2	0.1–5	< 23				
HB	< 10	0.5	0.1–5	< 21				
AGB	< 15	–3–0.5	0.1–5	< 21				
WD	< 1.5	> 8	0.1–1	< 20				

¹ Las estrellas A de secuencia principal con cinemática típica del disco grueso/halo son también conocidas.

² Distancia a una estrella con $|b| = 10^\circ$ y 1 kpc por encima del plano.

3.2.4. Objetivos en el disco grueso

La incógnita más importante sobre esta estructura es su proceso de formación. En la sec. 2.1.1 ya hemos mencionado las dos posibles teorías de formación de esta componente del disco. La cinemática y distribución de abundancias químicas no es simple y debe ser estudiada. Las gigantes K son las estrellas que permitirán trazar las poblaciones más alejadas del disco y las estrellas de tipo Mira las indicadores de distancia más idóneas a añadir a la determinación de la distancia proveída por la paralaje.

La tabla 3.4 describe la población del disco grueso observable por *Gaia* considerando la distancia y la magnitud límite de la misión. De igual manera a como se definió en el halo, las estrellas del disco grueso se separan en dos grupos de latitudes galácticas, debido a las distancias límites y magnitudes aparentes cambiantes bajos diferentes condiciones de extinción interestelar.

A continuación se mencionan los objetivos científicos y sus trazadores separados

por nivel de prioridad:

Alta prioridad :

1. Estrellas con errores en las paralajes mejores que el 10 % (ver correspondencias en la tabla 1.1):
 - Ruptura de la degeneración entre edad y metalicidad: “turn-off” de la secuencia principal y subgigantes.
 - Distribución galactocéntrica de abundancias químicas: gigantes G y K.
 - Gradientes de edad galactocéntricos, ritmo de formación estelar: estrellas HB, AGB tempranas y “turn-off” de la secuencia principal.
 - Historia de la formación estelar: estrellas de la secuencia principal más tempranas que G5 y subgigantes.
 - Mecanismo de formación (previo o posterior al disco delgado): gigantes G y K, estrellas HB.
 - Conocimiento detallado de la función de luminosidad: secuencia principal tardía.
 - Escala de distancias: RR-Lyrae.
2. Estrellas con $|b| > 10^\circ$
 - Potencial gravitatorio ‘in situ’, aceleración gravitacional perpendicular al plano galáctico (K_Z), relación edad-velocidad: enanas F-G-K.
 - Acreción y fusión: estrellas A de alta velocidad (debido a su brillo, las enanas A-K también poseen paralajes mejores que el 10 %).

Prioridad intermedia :

1. Todas las latitudes
 - Estructura a gran escala: estrellas AGB (incluyendo variables Mira de carbono y oxígeno).

Prioridad baja :

1. Estructura a gran escala a $|b| < 10^\circ$, por tanto, estrellas fuertemente enrojecidas: gigantes G y K y estrellas HB.
2. Estrellas de la secuencia principal y del “turn-off” con $|b| < 10^\circ$ y errores en las paralajes mayores al 10 %.

Prioridad nula :

1. Enanas blancas (ver comentario en el halo).
2. Estrellas múltiples.

3.2.5. Objetivos en el disco delgado

La información de los brazos espirales se puede obtener tanto mediante la componente estelar como la gaseosa. La componente de gas traza la historia más reciente de estos brazos y puede estudiarse con estrellas O-B, y estrellas jóvenes que aún se muevan con la dinámica del gas.

Por otro lado, la componente estelar puede darnos información sobre campos gravitacionales del disco más promediados en el tiempo si observamos las estrellas viejas, como estrellas K y M de campo.

La determinación del ritmo de formación estelar requiere de la observación de estrellas masivas, principalmente estrellas B, A, F y G tardías.

Para expandir nuestro conocimiento sobre las relaciones entre la edad, la metalicidad y el lugar de nacimiento, debemos investigar el disco galáctico al menos a distancias galactocéntricas superiores a 6–10 kpc, donde un importante aumento en la formación estelar ocurrió en esa región hace unos 3.2 Gyr. Para ello se deberán observar las estrellas F y G de esa zona.

Para estudiar la posible asimetría y ondulación del disco galáctico deberemos recurrir de nuevo a las estrellas más brillantes para muestrear las regiones más alejadas a nosotros. Así pues, las gigantes M y las estrellas O-B son las más útiles para este propósito.

En la tabla 3.5 se muestran las estrellas del disco delgado observables con *Gaia*, nuevamente separadas en dos grupos de latitudes galácticas. A continuación se listan los trazadores del disco delgado y sus prioridades asignadas:

Alta prioridad :

1. Estrellas con errores en las paralajes mejores que el 10 % (ver correspondencias en la tabla 1.1):

Tabla 3.5: Población del disco delgado accesible con *Gaia* ⁽¹⁾.

	$(l, b)=(0^\circ, < 10^\circ)$				$(l, b)=(\text{todas}, > 10^\circ)$			
	$d(\text{kpc})$	M_V	A_V	V	$d(\text{kpc})$	M_V	A_V	V
B-M I	< 8	-8--3	0-10	< 21				
Cefeidas	< 8	-4	0-10	< 21				
OB V	< 8, < 1	-5-0	0-10	< 21				
A-K V	< 6, < 1	0-8	0-8, 0-1	< 21	< 3.5 ⁽²⁾	0-8	0.1-0.5	< 21
M-L V ⁽³⁾	< 1, < 0.5	8-16	0-1	< 25	< 3.5, < 0.5	8-16	0.1-0.5	< 25
RGB	< 6	-3-2	0-8	< 21	< 3.5	-3-2	0.1-0.5	< 16
RC	< 6	0.5	0-8	< 21	< 3.5	0.5	0.1-0.5	< 13
AGB	< 6	-3-0.5	0-8	< 23	< 3.5	-3-0.5	0.1-0.5	< 13
WD	< 1.5	> 8	0-1	< 20	< 3	> 8	0.1-0.5	< 20
	$(l, b)=(180^\circ, < 10^\circ)$							
B-M I	< 15	-8--3	0-3	< 16				
Cefeidas	< 15	-4	0-3	< 15				
OB V	< 15	-5-0	0-3	< 19				
A-K V	< 15, < 3	0-8	0-3, 0-1	< 21				
M-L V ⁽³⁾	< 3, < 0.5	8-16	0-1	< 25				
RGB	< 15	-3-2	0-3	< 21				
RC	< 15	0.5	0-3	< 20				
AGB	< 15	-3-0.5	0-3	< 20				
WD	< 1.5	> 8	0-1	< 20				

¹ Las estrellas están agrupadas en $|b| < 10^\circ$ y $|b| > 10^\circ$ para simplificar, a pesar que diferentes subpoblaciones pueden tener diferente altura patrón.

² Distancia de una estrella con $|b| = 10^\circ$ a 600 pc por encima del plano.

³ Sólo las enanas marrones más cercanas y jóvenes, con edades < 1 Gyr y $M_V \sim 10-16$, serán observables con *Gaia*.

- Distribución galactocéntrica de abundancias químicas: gigantes G y K.
- Gradientes de edad galactocéntricos, ritmo de formación estelar: gigantes y AGB tempranas.
- Ruptura de la degeneración entre edad y metalicidad: “turn-off” de la secuencia principal y subgigantes.

- Ritmo de la formación estelar, relación entre la metalicidad y el lugar de nacimiento: F2-G5 de la secuencia principal.
 - Estructura a gran escala (brazos espirales, regiones de formación estelar): estrellas O-B y supergigantes.
 - Conocimiento detallado de la función de luminosidad “in situ”: secuencia principal fría.
 - Potencial gravitatorio “in situ”, K_Z , relación edad-velocidad: estrellas F-G-K de la secuencia principal.
 - Estructura a gran escala (ondulación y asimetría): gigantes K y M.
 - Distribución del medio interestelar: enanas O-F.
 - Escala de distancias: RR-Lyrae y Cefeidas.
2. Estrellas con $\sigma_\pi/\pi > 10\%$ a $|b| < 10-20^\circ$.
- Estructura a gran escala (brazos espirales, regiones de formación estelar): estrellas O-B y supergigantes.
 - Estructura a gran escala (asimetría y ondulación): gigantes K y M.
 - Distribución del medio interestelar: enanas O-F.

Prioridad intermedia :

1. Estrellas con $\sigma_\pi/\pi > 10\%$ a $|b| < 10-20^\circ$.
- Escala de distancias: cefeidas.

Prioridad baja :

1. Estrellas de la secuencia principal y del “turn-off” a $|b| < 10^\circ$ con errores relativos en la paralaje mayores al 10%.

Prioridad nula :

1. Regiones de formación estelar: WR, estrellas B de emisión, T-Tau, etc. En ESA (2000) se consideró esencial distinguir emisión en H_α . La mayoría de las WR, Be y T-Tau, etc, están cercanas al plano galáctico, en regiones de densidades estelares elevadas y, por tanto, no siempre serán observables con MBP. Al mismo tiempo, no es realista querer detectar emisión en H_α con BBP y a menudo la traza de emisión no es lo suficientemente pronunciada y requiere de confirmación espectroscópica. Así pues, y a pesar de que el 20% de las estrellas B1-B3 tienen H_α en emisión, el

equipo de fotometría no prioriza su detección. Sin embargo, si un sistema fotométrico es capaz de detectar la emisión, esto será considerado como un mérito extra del sistema.

2. Detección de peculiaridades (Bp-Ap, Am, ...).
3. Enanas blancas (ver comentario del halo).
4. Enanas marrones M y L; función de masa inicial. Muy pocas enanas marrones son observables por *Gaia* debido a que se trata de objetos muy fríos, y por tanto poco brillantes en el rango óptico del espectro. Por este motivo se les asigna prioridad nula a este tipo de objetos.
5. Estrellas múltiples.
6. Cúmulos abiertos (las estrellas de los cúmulos abiertos son físicamente similares a las estrellas de campo del disco y no necesitan priorizarse separadamente).

3.2.6. Estrellas extragalácticas

Las estrellas de las galaxias cercanas (LMC, SMC, M31, ...) pueden tener composiciones químicas diferentes que las de la Vía Láctea (se sabe, por ejemplo, que las estrellas de LMC son pobres en metales y que el halo de M31 es aparentemente rico en metales con $[M/H] \sim -0.6$ como 47 Tuc, ver Pagel (2003)). Sin embargo, consideramos que este hecho no introduce requisitos adicionales en el diseño del sistema fotométrico, y así pues, no se asigna prioridad a estas estrellas.

3.2.7. Objetos no estelares

Esta sección muestra los aspectos de los objetos no estelares que pueden influir en el diseño del sistema fotométrico:

1. Cuásares:

Priorizaremos la detección de los cuásares (QSO, *quasi-stellar objects*) por encima de la determinación del corrimiento al rojo (o *redshift* en inglés).

Prioridad intermedia :

- Detección de QSO (combinando astrometría y fotometría).

Prioridad baja :

- Determinación fotométrica del corrimiento al rojo.

2. Objetos del Sistema Solar:

Prioridad baja :

- Clasificación taxonómica.

3.2.8. Prioridades de los parámetros astrofísicos

Distintos sistemas fotométricos pueden recuperar con mayor o menor bondad los parámetros astrofísicos. A la hora de juzgar qué sistema fotométrico es más adecuado para *Gaia* es necesario, tal y como ya hemos hecho con los objetos a observar, definir qué parámetros estelares son más importantes y asignarles una prioridad cuantificada. Esta priorización depende en gran medida de lo expuesto en las secciones precedentes (por ejemplo, en lo referente a la división en paralajes precisas y menos precisas, o de tipos espectrales).

Las prioridades normalizadas de los parámetros astrofísicos se muestran en la tabla 3.6. Como se puede comprobar, en aquellos casos donde la paralaje es lo suficientemente precisa se disminuye a cero la prioridad de la determinación de $\log g$. La determinación de las abundancias químicas de las estrellas más calientes (O-B y supergigantes) tiene prioridad nula en la elaboración del sistema fotométrico porque para este tipo de estrellas la fotometría no puede aportar medidas precisas de $[M/H]$. Por otro lado, las abundancias de elementos α posee menor peso que $[M/H]$ en las estrellas del halo.

A pesar de que sería deseable, no se plantea determinar la ley de extinción a partir de la propia fotometría de *Gaia* y se debería usar la fotometría infrarroja para este propósito. Únicamente priorizaremos la determinación de A_V .

Tabla 3.6: Prioridades asignadas a los parámetros astrofísicos para diferentes estrellas.

σ_π/π	Halo		Disco grueso		Disco delgado				Bulbo
	$\leq 10\%$	$> 10\%$	$\leq 10\%$	$> 10\%$	O-B + supergigantes		A-M + gigantes		
					$\leq 10\%$	$> 10\%$	$\leq 10\%$	$> 10\%$	
T_{ef}	5/18	5/23	1/4	1/5	1/2	1/3	1/4	1/5	1/5
A_V	5/18	5/23	1/4	1/5	1/2	1/3	1/4	1/5	1/5
$\log g$	0	5/23	0	1/5	0	1/3	0	1/5	1/5
[M/H]	5/18	5/23	1/4	1/5	0	0	1/4	1/5	1/5
[α /Fe]	3/18	3/23	1/4	1/5	0	0	1/4	1/5	1/5

3.3. Precisiones esperadas

3.3.1. Precisión en las paralajes

Sabemos que para ayudarnos en la determinación de los parámetros astrofísicos poseemos toda la información que proporcionan los instrumentos de *Gaia* (astrometría y espectrografía). En este sentido, para ayudarnos a determinar las luminosidades estelares poseemos la información de las paralajes.

En de Bruijne (2005a) se presenta un resumen de las convenciones y la formulación para el cálculo de la precisión en las paralajes. Utilizando la ec. (1) de este documento y la ec. (15) en Lindegren (2003b) para el error de la determinación del centroide en la dirección de escaneo del satélite, tenemos la ecuación del error en la paralaje como función de la magnitud del objeto observado:

$$\sigma_\pi = 0.0639 \times \sqrt{2700 + 530u + 0.05u^2}; \quad u = 10^{0.4(G-10)} \quad (3.1)$$

En la Fig. 3.1, extraída de de Bruijne (2005a), se muestran las precisiones, promediadas en el cielo, con las que se recuperan las posiciones, los movimientos propios y las paralajes de los objetos observados por *Gaia* según el diseño *Gaia-2* de marzo de 2005. En la tabla 1.1 se mostraban las distancias y magnitudes estelares a las que conseguíamos hasta un 10% de precisión en la paralaje.

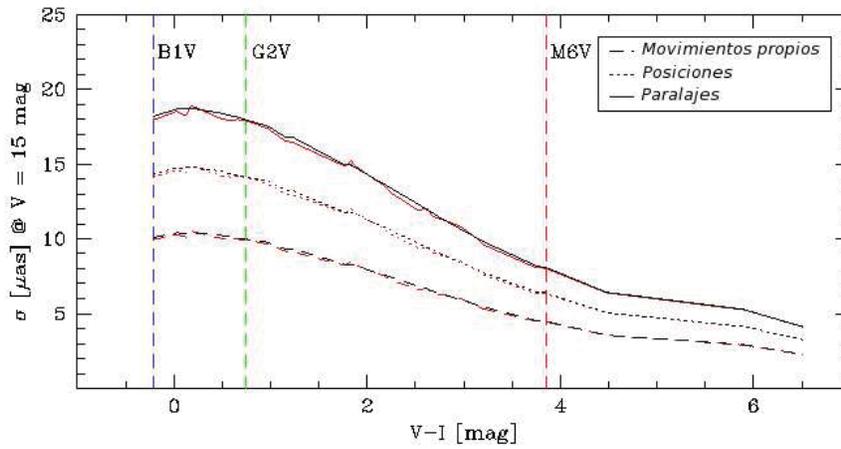


Figura 3.1: Figura 1 extraída de de Bruijne (2005a) en la que se muestra la precisión astrométrica al final de la misión para $V = 15$ mag en función del color $V - I$. La línea continúa se muestra la precisión de las paralajes, en línea punteada la precisión en la determinación de las posiciones y en línea discontinua, en los movimientos propios.

3.3.2. Precisiones a partir de la fotometría

Los parámetros físicos que debe proporcionar la fotometría para comprender la Galaxia son, básicamente, la edad y la composición química de las estrellas mencionadas en la sec. 3.2. Para determinar estos parámetros se deben conocer: M_V (o $\log g$ en caso de que no se disponga de paralajes precisas), T_{ef} y A_V . La determinación de estos parámetros en las regiones de alta densidad estelar (principalmente el bulbo y algunas áreas a latitudes galácticas muy bajas) se deberá basar solamente en la fotometría de banda ancha. En cambio, fuera de estas regiones, se podrán combinar las fotometrías de banda ancha e intermedia.

Teniendo en cuenta las precisiones en la edad discutidas en la sec. 2.3.4, las precisiones de los parámetros astrofísicos necesarias se listan a continuación:

Temperatura de las estrellas A-M : $\sigma_{T_{\text{ef}}}/T_{\text{ef}} = 1 - 2\%$ a $V = 18$, $\sigma_{T_{\text{ef}}}/T_{\text{ef}} = 2 - 3\%$ a la magnitud límite.

Temperatura de las estrellas O-B : $\sigma_{T_{\text{ef}}}/T_{\text{ef}} = 2 - 5\%$ a $V = 18$, $\sigma_{T_{\text{ef}}}/T_{\text{ef}} = 5 - 8\%$ a la magnitud límite.

Absorción interestelar : $\sigma_{A_V} = 0.1$ a $A_V \leq 3.0$ mag, $\sigma_{A_V} = 0.5$ para $A_V >$

3.0 mag (A_V se puede considerar conocido para latitudes galácticas elevadas).

Gravedad superficial : $\sigma_{\log g} = 0.2$ a $V = 18$, $\sigma_{\log g} = 0.4$ a la magnitud límite (sólo nos deberemos preocupar de determinar $\log g$ cuando el error en la paralaje determinada por la astrometría del satélite sea mayor al 10 %).

Metalicidad global : $\sigma_{[M/H]} = 0.1$ a $V = 18$, $\sigma_{[M/H]} = 0.3$ a la magnitud límite (las abundancias químicas no se priorizan para las estrellas OB y las supergigantes).

Abundancia de los elementos α : $\sigma_{[\alpha/Fe]} < 0.3$ (las abundancias químicas no se priorizan para las estrellas OB y las supergigantes).

Rama asintótica de las gigantes : Se deberá poder classificar entre las AGB de Carbono y las de Oxígeno (únicamente en las regiones donde se pueda utilizar el MBP).

Estrellas de emisión : Como por ejemplo, las WR, Be y T-Tau (como se menciona en la sec. 3.2.5, no se asigna prioridad a la detección de emisión en estos objetos pero se consideran como un mérito extra del sistema fotométrico).

Enanas blancas : $\sigma_{T_{ef}/T_{ef}} = 1 - 2\%$ a $V = 18$, $\sigma_{T_{ef}/T_{ef}} = 2 - 3\%$ a la magnitud límite. También se debería poder distinguir entre las enanas blancas de tipo DA y DB. Como el espectro de las enanas blancas es bastante similar al de un cuerpo negro, se espera que cualquier sistema fotométrico pueda cumplir este requisito.

Enanas marrones M y L : $\sigma_{T_{ef}/T_{ef}} = 2 - 3\%$ a la magnitud límite.

Estrellas peculiares : La identificación de peculiaridades (Bp, Ap, Am, ...) se considera únicamente un mérito extra, y se le asigna prioridad nula para optimizar el sistema fotométrico.

Como se mencionó en la sec. 2.3.4, para los conjuntos de estrellas en los que se compartan propiedades astrofísicas (como por ejemplo cúmulos globulares, cúmulos abiertos, asociaciones OB, corrientes del halo, fusiones identificadas de galaxias enanas dentro de la Vía Láctea, etc.), el análisis estadístico de las propiedades de sus miembros proporcionará mejores precisiones de la edad y de las abundancias del conjunto que las que se obtienen para las estrellas individuales.

variación en la absorción. Para el halo y el disco grueso se toman tres líneas de visión diferentes, correspondientes al centro galáctico ($l = 10^\circ$, $b = 0^\circ$), al anticentro ($l = 180^\circ$, $b = 0^\circ$) y en dirección perpendicular al plano galáctico ($l = 90^\circ$, $b = 0^\circ$). Para el disco delgado y grueso sustituimos la dirección perpendicular al plano por una dirección dentro del plano entre el centro y el anticentro (a $l = 90^\circ$, $b = 10^\circ$). Para el caso del bulbo, en cambio, se han considerado dos casos de observación, el correspondiente a una dirección con alto enrojecimiento, y otro caso en el que se supone una ventana de observación con baja absorción interestelar (ver tablas 3.7–3.10 para las absorciones asociadas a cada dirección y población considerada).

A la hora de asignar a estos ST valores representativos de sus parámetros astrofísicos se han tenido que consultar diversas fuentes bibliográficas que asignaran correspondencias entre tipos espectrales y clases de luminosidad con temperaturas y gravedades superficiales, respectivamente. En los últimos 50 años se han producido diversos estudios de este tipo, sobretodo en lo referente a las estrellas de la secuencia principal y las gigantes, pero para otros tipos de estrella, la determinación de los parámetros físicos no es tan conocida o varía mucho para un mismo tipo de estrella.

Empezando por el caso de las estrellas de la secuencia principal existe un ejemplo clásico de asignación paramétrica, la realizada en Johnson (1966). Gray & Corbally (1994) estudian de nuevo los tipos espectrales, encontrando una tendencia a valores más elevados de la temperatura que los que encuentra Johnson (1966). Las temperaturas efectivas de las estrellas de tipo O se pueden extraer también del artículo Fitzpatrick (1999). Sinnerstad (1980) deriva las temperaturas y gravedades superficiales de 75 estrellas B2-B6 de la secuencia principal.

Los parámetros físicos hallados para las gigantes se suelen presentar separadas por tipos espectrales. Johnson (1965) ya hizo una primera calibración también para las gigantes. Tal y como se ha mencionado para el caso de las estrellas de la secuencia principal, la calibración de Johnson (1965) tiende a subestimar las temperaturas por lo que recurrimos a comparar sus valores con otros artículos de interés. Houdashelt et al. (2000) calibra las temperaturas y gravedades de las gigantes M, y de algunas K, con el objetivo de modelar los espectros integrados de galaxias elípticas. Lázaro et al. (1991) estudia 70 gigantes M brillantes, sus gravedades y sus abundancias de carbono. Las gigantes M sabemos que son útiles para estudiar el halo, el bulbo y el disco delgado. Así pues, serán las abundancias de estas estructuras de la tabla 3.1 las que tengamos que usar. Berdyugina & Savanov (1994), a partir de las anchuras

equivalentes de las líneas de MgH para 47 gigantes y subgigantes G0-K5, los autores extraen las gravedades superficiales. Estas gigantes K deberán tomar los rangos de abundancias definidos en la tabla 3.1 para el disco, bulbo y el halo.

Existen varias estimaciones de las temperaturas de las variables de tipo Mira, pero, no así, de su gravedad superficial. Feast (1996) deriva la temperatura logarítmica para algunas variables Mira. Álvarez & Mennessier (1997) se analizan 165 Miras ricas en oxígeno, en la que se incluyen algunas con temperaturas algo mayores que las utilizadas en Feast (1996).

El rango de abundancias para las estrellas de la rama horizontal serán las que corresponda al halo, bulbo y disco grueso. En Heber et al. (1997) se menciona el rango de parámetros que separa cada tipo de estrella en la rama horizontal (sobre todo los de la parte azul de este diagrama, BHB y sdB). Hayes & Philip (1988) recuperan las temperaturas y gravedades de las estrellas A de campo y de cúmulos globulares de la rama horizontal. Para las RHB, Tautvaišienė (1997) obtiene el espectro de 10 RHB derivando sus parámetros físicos; abundancias, temperaturas y gravedades superficiales.

En cuanto a las RR-Lyrae, Clementini et al. (1995) derivan los parámetros de 10 RR-Lyrae de campo. Johnson (1966) también menciona las temperaturas de las supergigantes. Fitzpatrick (1999) rehace esta calibración. En relación a sus gravedades superficiales, Arellano & Mendoza (1993) las determinan para supergigantes amarillas de tipo A0-G2. Las supergigantes nos servirán sobretodo para trazar los brazos espirales de la Vía Láctea. Las supergigantes variables de tipo cefeida se estudian en Fry & Carney (1997) y en Andrievsky et al. (2002) entre otros. En el primero de ellos, los autores obtienen las abundancias y temperaturas de 23 cefeidas galácticas. En el segundo se analizan 77 cefeidas galácticas, encontrando también sus gravedades superficiales.

Basándonos en toda esta información, las tablas 3.7–3.10 listan las posiciones y los parámetros astrofísicos representativos de los ST para el halo, bulbo, disco grueso y delgado, respectivamente.

La lista completa de ST (9183 estrellas) separadas población por población está disponible en http://gaia.am.ub.es/PWG/targets/set_ST/. En la Fig. 3.3 se puede comprobar la muestra de ST.

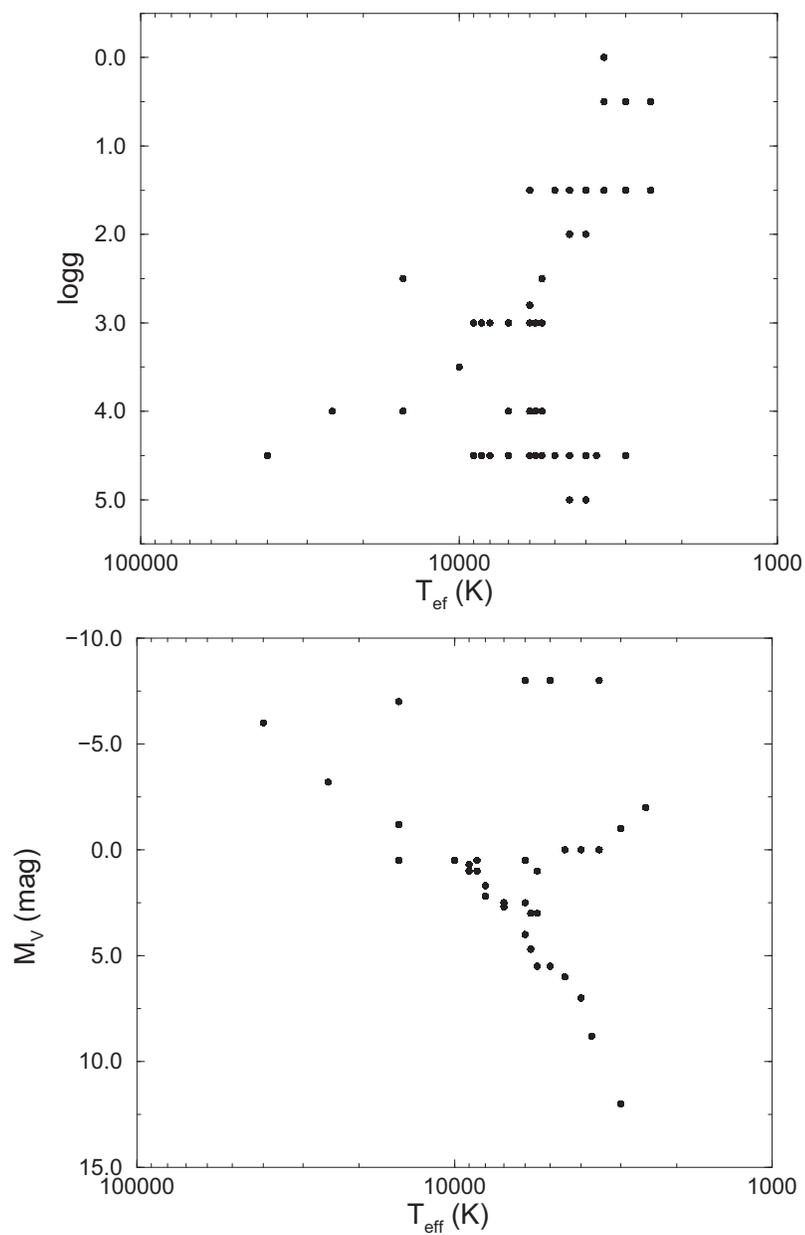


Figura 3.3: Diagramas $\log g$ - $\log T_{\text{ef}}$ y M_V - $\log T_{\text{ef}}$ con la combinación de valores de T_{ef} y $\log g$ con diversas abundancias químicas y situando las estrellas a diferentes distancias y direcciones en la Galaxia, proporciona un total de 9183 estrellas que forman la lista de ST creadas para el diseño del sistema fotométrico.

Tabla 3.7: Posiciones galácticas representativas y parámetros físicos para las estrellas del halo consideradas como ST. Se asume $|v_{\text{rad}}| \leq 300 \text{ km s}^{-1}$ Las prioridades son las que se detallan en la sec. 3.2.2.

Dirección ortogonal				Centro galáctico				Anticentro galáctico			
l	b	$d(\text{pc})$	A_V	l	b	$d(\text{pc})$	A_V	l	b	$d(\text{pc})$	A_V
0	90	500	0.10	10	0	500	0.30	180	0	500	0.30
0	90	1000	0.30	10	0	1000	1.00	180	0	1000	0.70
0	90	2000	0.30	10	0	2000	2.00	180	0	2000	1.40
0	90	5000	0.30	10	0	5000	5.00	180	0	5000	3.50
0	90	10000	0.30	10	0	10000	8.00	180	0	10000	3.50
0	90	30000	0.30								

	M_V	$T_{\text{ef}}(\text{K})$	$\log g$	Comentarios
	[M/H]= -4.0, -3.0, -2.0, -1.5, -1.0; [α /Fe]= +0.2, +0.4			
<i>Red clump</i>				
G III	1.0	5500	2.5	
K III	0.0	4500,4000	2.0,1.5	
RR-Lyrae	0.5	6000	2.8	
<i>Rama horizontal</i>				
BHB	0.5	15 000	4.0	
BHB	0.5	10 000	3.5	
HB A	0.5	8500	3.0	
<i>Turn-off</i>				
F IV	2.5	7000,6000	3.0,4.0	
G IV	3.0	5750,5500	3.0,4.0	
<i>Sec. ppal. tardía</i>				
F V	2.7,4.0	7000,6000	4.5	
G V	4.7,5.5	5750,5500	4.5	
K V	6.0,7.0	4500,4000	4.5,5.0	
M V	8.8,12.0	3700,3000	4.5	
<i>Sec. ppal. temprana</i>				
A V	1.0	8500	4.5	[M/H]= -1., -0.5, 0.0, +0.5
<i>AGB/RGB</i>				
AGB M	0.0,-1.0	3500,3000	0.5,1.5	
AGB C	-2.0	2500	0.5,1.5	[C/H]= -1.5, -1.0, -0.5
<i>Estrellas de carbono</i>				
Enanas C	5.5	6000,5000	4.5	[C/Fe]= +0.0, +0.5, +1.0, +1.5

Tabla 3.8: Posiciones galácticas representativas y parámetros físicos para las estrellas del bulbo consideradas como ST. Se asume $|v_{\text{rad}}| \leq 100 \text{ km s}^{-1}$. Las prioridades son las que se detallan en la sec. 3.2.3.

	$d(\text{pc})$	A_V
Bajo enrojecimiento	8000	1.50
	10000	2.00
Alto enrojecimiento	8000	2.50
	9000	5.00
	10000	8.00

	M_V	$T_{\text{ef}}(\text{K})$	$\log g$	Comentarios
	[M/H]= -1.0, -0.5, +0.0, +0.5; [α /Fe]= 0.0, +0.4			
<i>Red clump</i>				
G III	1.0	5500	2.5	
K III	0.0	4500,4000	2.0,1.5	
RR-Lyrae	0.5	6000	2.8	
<i>Turn-off</i>				
F IV	2.5	7000,6000	3.0,4.0	
G IV	3.0	5750,5500	3.0,4.0	
<i>AGB/RGB</i>				
AGB M	0.0,-1.0	3500,3000	0.5,1.5	
AGB C	-2.0	2500	0.5,1.5	[C/H]= -1.5, -1.0, -0.5

Tabla 3.9: Posiciones galácticas representativas y parámetros físicos para las estrellas del disco grueso consideradas como ST. Se asume $|v_{\text{rad}}| \leq 300 \text{ km s}^{-1}$. Las prioridades son las que se detallan en la sec. 3.2.4.

Dirección ortogonal				Centro galáctico				Anticentro galáctico			
l	b	$d(\text{pc})$	A_V	l	b	$d(\text{pc})$	A_V	l	b	$d(\text{pc})$	A_V
0	90	500	0.10	10	0	500	0.30	180	0	500	0.30
0	90	1000	0.30	10	0	1000	1.00	180	0	1000	0.70
0	90	2000	0.30	10	0	2000	2.00	180	0	2000	1.40
0	90	5000	0.30	10	0	5000	5.00	180	0	5000	3.50
				10	0	10000	8.00	180	0	10000	3.50

	M_V	$T_{\text{ef}}(\text{K})$	$\log g$	Comentarios
				$[\text{M}/\text{H}] = -2.0, -1.0, -0.5, +0.0; [\alpha/\text{Fe}] = +0.0, +0.2$
<i>Red clump</i>				
G III	1.0	5500	2.5	
K III	0.0	4500,4000	2.0,1.5	
RR-Lyrae	0.5	6000	2.8	
<i>Rama horizontal</i>				
BHB	0.5	10 000	3.5	
HB A	0.5	8500	3.0	
<i>Turn-off</i>				
F IV	2.5	7000,6000	3.0,4.0	
G IV	3.0	5750,5500	3.0,4.0	
<i>Sec. ppal. tardía</i>				
F V	2.7,4.0	7000,6000	4.5	
G V	4.7,5.5	5750,5500	4.5	
K V	6.0,7.0	4500,4000	4.5,5.0	
M V	8.8,12.0	3700,3000	4.5	
<i>Sec. ppal. temprana</i>				
A V	1.0	8500	4.5	$[\text{M}/\text{H}] = -1., -0.5, 0.0, +0.5$
<i>AGB/RGB</i>				
AGB M	0.0,-1.0	3500,3000	0.5,1.5	
AGB C	-2.0	2500	0.5,1.5	$[\text{C}/\text{H}] = -1.5, -1.0, -0.5$

Tabla 3.10: Posiciones galácticas representativas y parámetros físicos para las estrellas del disco delgado consideradas como ST. Se asume $|v_{\text{rad}}| \leq 50 \text{ km s}^{-1}$. Las prioridades son las que se detallan en la sec. 3.2.5.

Dirección ortogonal				Centro galáctico				Anticentro galáctico			
l	b	$d(\text{pc})$	A_V	l	b	$d(\text{pc})$	A_V	l	b	$d(\text{pc})$	A_V
90	10	500	0.10	10	0	500	0.30	180	0	500	0.30
90	10	1000	0.30	10	0	1000	1.00	180	0	1000	0.70
90	10	2000	0.60	10	0	2000	2.00	180	0	2000	1.40
90	10	3000	0.60	10	0	5000	5.00	180	0	5000	3.50
				10	0	10000	8.00	180	0	10000	3.50
				10	0	10000	10.00				

	M_V	$T_{\text{ef}}(\text{K})$	$\log g$	Comentarios
	[M/H]= -1.0, -0.5, +0.0, +0.5; [α /Fe]= -0.2, +0.0			
<i>Red clump</i>				
G III	1.0	5500	2.5	
K III	0.0	4500,4000	2.0,1.5	
<i>Sec. ppal. temprana</i>				
O V,III	-6.0	40000	4.5	
B V,III	-3.2, -1.2	25000,15000	4.0	
A V	1.0,2.2	9000,8000	4.5	
<i>Turn-off</i>				
A IV	0.7,1.7	9000,8000	3.0	
F IV	2.5	7000,6000	3.0,4.0	
G IV	3.0	5750,5500	3.0,4.0	
<i>Sec. ppal. tardía</i>				
F V	2.7,4.0	7000,6000	4.5	
G V	4.7,5.5	5750,5500	4.5	
K V	6.0,7.0	4500,4000	4.5,5.0	
M V	8.8,12.0	3700,3000	4.5	
<i>Supergigantes</i>				
B Ia	-7.0	15000	2.5	
F Ia, Cefeidas	-8.0	6000,5000	1.5	
M Ia	-8.0	3500	0.0	

