

UNIVERSITAT DE BARCELONA  
DEPARTAMENT D'ASTRONOMIA I METEOROLOGIA

# Estudio de las componentes galácticas en el entorno solar

*Eduard Masana Fresno*



UNIVERSITAT DE BARCELONA







DEPARTAMENT  
D'ASTRONOMIA I METEOROLOGIA

DEPARTAMENT D'ASTRONOMIA I METEOROLOGIA

# Estudio de las componentes galácticas en el entorno solar

Memoria presentada por  
**Eduard Masana Fresno**  
para optar al grado de  
Doctor en Física

Barcelona, 25 de mayo de 2004



PROGRAMA DE DOCTORADO DE ASTRONOMÍA Y METEOROLOGÍA

BIENIO 1992–1994

Memoria presentada por **Eduard Masana Fresno** para optar al  
grado de Doctor en Física

DIRECTORA DE LA TESIS

Dra. Carme Jordi i Nebot



*Gràcies a totes les persones que han contribuït d'una o altra manera a la realització d'aquesta tesi, en especial a aquelles que van aconseguir contagiar-me la seva il·lusió per veure-la acabada.*





**verosímil.** adj. Que tiene apariencia de verdadero. || 2. Creíble por no ofrecer carácter alguno de falsedad.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos del trabajo . . . . .	2
1.1.1. Errores y sesgos observacionales: ajustes por máxima verosimilitud . . . . .	3
1.2. Poblaciones estelares: una visión histórica . . . . .	3
1.3. Visión actual de la Galaxia . . . . .	5
1.3.1. Estructura . . . . .	5
1.3.2. Modelos de formación de la Galaxia . . . . .	8
1.3.2.1. El modelo ELS . . . . .	8
1.3.2.2. El modelo SZ . . . . .	9
1.3.2.3. Modelo actual . . . . .	9
1.4. Esquema de la presente memoria . . . . .	10
<b>2. Muestra de trabajo</b>	<b>13</b>
2.1. Proceso de selección . . . . .	14
2.1.1. Descripción de los catálogos . . . . .	14
2.1.1.1. El catálogo <i>Hipparcos</i> . . . . .	14
2.1.1.2. El catálogo <i>2MASS</i> . . . . .	16
2.1.2. Intersección de los catálogos <i>Hipparcos</i> y <i>2MASS</i> . . . . .	17
2.1.3. Selección de estrellas de la secuencia principal . . . . .	19
2.1.4. Selección de estrellas con determinación de la metalicidad . . . . .	23
2.2. Datos astrométricos . . . . .	24
2.3. Datos fotométricos . . . . .	28
2.3.1. Fotometría <i>wby</i> - $\beta$ . . . . .	31
2.3.1.1. Características generales . . . . .	31
2.3.1.2. Las observaciones <i>wby</i> - $\beta$ . . . . .	32
2.3.2. Fotometría <i>JHK</i> . . . . .	34
2.3.2.1. Características generales . . . . .	34

2.3.2.2.	Las observaciones infrarrojas en el TCS . . . . .	35
2.3.2.3.	Transformación entre los sistemas TCS y <i>2MASS</i> . . . . .	39
2.4.	Metalicidad . . . . .	42
2.4.1.	Calibración de la metalicidad . . . . .	43
2.5.	Gravedades superficiales . . . . .	45
2.6.	Absorción interestelar . . . . .	47
2.7.	Diagramas color-color . . . . .	48
2.8.	Magnitudes absolutas y diagrama HR . . . . .	50
2.9.	Descripción del catálogo resultante . . . . .	51
<b>3.</b>	<b>Temperaturas efectivas y correcciones bolométricas</b>	<b>55</b>
3.1.	Temperatura efectiva . . . . .	56
3.1.1.	Método del flujo infrarrojo (MFIR) . . . . .	57
3.1.2.	Método de ajuste de la distribución espectral de energía (MDEE) . . . . .	58
3.1.3.	Comparación entre métodos basados en la fotometría <i>IR</i> . . . . .	69
3.1.4.	Otras comparaciones . . . . .	71
3.1.4.1.	Fuhrmann (1998) . . . . .	72
3.1.4.2.	Santos et al. (2003) . . . . .	73
3.1.4.3.	Edvardsson et al. (1993) . . . . .	74
3.1.5.	Discusión . . . . .	75
3.2.	Correcciones bolométricas . . . . .	77
3.3.	Aplicación a las estrellas de la muestra . . . . .	78
3.3.1.	Temperaturas efectivas . . . . .	78
3.3.2.	Correcciones bolométricas . . . . .	82
<b>4.</b>	<b>Implementación del método de máxima verosimilitud: modelización de la muestra</b>	<b>91</b>
4.1.	Consideraciones generales . . . . .	92
4.2.	Hipótesis físicas . . . . .	94
4.2.1.	Función de distribución de la magnitud absoluta . . . . .	94
4.2.2.	Distribución espacial . . . . .	96
4.2.3.	Función de distribución de la velocidad . . . . .	97
4.2.4.	Absorción interestelar . . . . .	98
4.2.5.	Función de distribución de $(V - K)$ . . . . .	99
4.2.6.	Función de distribución de $[Fe/H]$ . . . . .	101
4.3.	Dependencias de $\Phi(M_v)$ , $f_e(r, l, b)$ y $f_{\vec{v}}(U, V, W)$ . . . . .	103
4.3.1.	Dependencia de $\Phi(M_v)$ . . . . .	104

4.3.2.	Dependencia de $f_e(r, l, b)$ . . . . .	105
4.3.3.	Dependencia de $f_{\vec{v}}(U, V, W)$ . . . . .	105
4.4.	Errores observacionales . . . . .	110
4.5.	Efectos de selección y sesgos observacionales . . . . .	114
4.5.1.	Selección en la magnitud aparente . . . . .	116
4.5.2.	Selección en el color ( $V - K$ ) . . . . .	119
<b>5.</b>	<b>Aplicación del método y resultados</b> . . . . .	<b>121</b>
5.1.	Separación de la muestra en componentes . . . . .	123
5.1.1.	Determinación de la solución más verosímil . . . . .	125
5.2.	Asignación individual a una componente estelar . . . . .	127
5.3.	Caracterización de las diferentes poblaciones estelares . . . . .	128
5.3.1.	Cálculo de errores: método <i>bootstrap</i> . . . . .	131
5.3.2.	Halo . . . . .	132
5.3.3.	Disco grueso . . . . .	135
5.3.4.	Disco delgado . . . . .	137
5.3.5.	Uniformidad de las componentes . . . . .	140
5.4.	Determinación de la distancia más verosímil . . . . .	144
<b>6.</b>	<b>Análisis de las componentes galácticas</b> . . . . .	<b>149</b>
6.1.	Diagramas HR de las componentes estelares . . . . .	150
6.2.	Composición química . . . . .	150
6.3.	Determinación de edades . . . . .	153
6.3.1.	Halo . . . . .	154
6.3.2.	Disco grueso . . . . .	156
6.3.3.	Disco delgado . . . . .	159
6.4.	Calibración de magnitud absoluta . . . . .	161
6.4.1.	Análisis de la distancia más verosímil . . . . .	162
6.5.	Cinemática . . . . .	164
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b> . . . . .	<b>171</b>
<b>A.</b>	<b>El método de máxima verosimilitud</b> . . . . .	<b>177</b>
A.1.	Fundamentos matemáticos . . . . .	177
A.1.1.	Ejemplo 1: distribución normal unidimensional . . . . .	178
A.1.2.	Ejemplo 2: efectos de selección . . . . .	179
A.2.	La función de verosimilitud . . . . .	180
A.3.	Cálculo de la función de verosimilitud . . . . .	182

A.3.1. Integración respecto a $(\mu_l, \mu_b, v_r)$ . . . . .	183
A.3.2. Integración respecto a $C_2$ . . . . .	185
A.3.3. Forma explícita de $v(\vec{\theta})$ . . . . .	186
A.4. Cálculo de la constante de normalización . . . . .	187
A.4.1. Integración respecto a $(\mu'_l, \mu'_b, v'_r)$ . . . . .	188
A.4.2. Integración respecto a $(\mu_l, \mu_b, v_r)$ . . . . .	188
A.4.3. Integración respecto a $m'$ . . . . .	189
A.4.4. Integral respecto a $r'$ . . . . .	190
A.4.5. Integral respecto a $(l, b)$ . . . . .	190
A.4.6. Integral respecto a $C'_2$ . . . . .	191
A.4.7. Integral respecto a $C_2$ . . . . .	191
A.4.8. Forma explícita de $C_N$ . . . . .	192
A.5. Integración numérica . . . . .	192
A.6. Maximización de la función de verosimilitud . . . . .	194
<b>B. Medidas fotométricas</b>	<b>197</b>

# 1 Introducción

La región de la Galaxia más próxima al Sol se conoce como *entorno solar*. Aunque no existe una definición precisa de sus límites, podríamos considerarla como una esfera de unos pocos cientos de pársecs de radio y centrada en el Sol. Por su cercanía, el entorno solar puede ser estudiado con un alto grado de detalle. En él, por ejemplo, podemos conocer con precisión las posiciones y movimientos de las estrellas, gracias a misiones astrométricas como *Hipparcos*. La utilización de métodos, directos o indirectos, que iremos describiendo a lo largo de este trabajo, proporciona también información sobre la composición química y la temperatura de sus estrellas con un grado de confianza superior que para estrellas más lejanas, obteniendo así una visión completa y detallada.

En el entorno solar encontramos estrellas tanto de la población I como de la población II, representantes del disco y del halo, respectivamente. Es posible, por tanto, deducir características de cada una de estas componentes galácticas (por ejemplo distribución de edades y metalicidades o relaciones entre ellas y la cinemática) y, a partir de ellas, de la estructura y evolución de la Galaxia. Precisamente ésta es la línea seguida en el presente trabajo, en el cual se han estudiado las diferentes componentes estelares que se encuentran presentes en el entorno solar, con el objetivo de aportar nuevos datos útiles al estudio de la estructura y evolución de nuestra galaxia.

En esta introducción, además de hacer un breve esbozo de los objetivos del trabajo, revisaremos la visión que actualmente tenemos de la Galaxia, tanto desde el punto de vista de las componentes estelares que la forman, como de los procesos que las han originado.