

---

VI Escuela  
“ La Hechicera ”  
Relatividad, Campos y  
Astrofísica

---

**Gustavo Bruzual A.  
Juan García-Bellido  
Esteban Roulet**

**Universidad de Los Andes  
Facultad de Ciencias  
Mérida, Venezuela**

**Noviembre, 2000**

Editores:  
**Héctor Rago — Nelson Pantoja**

Diagramación:  
**Mayerlin Uzcátegui**

Portada:  
**Héctor Acosta**

Impresión:  
**Digital Impresos**

Todos los derechos reservados.  
Prohibida su reproducción total y/o parcial  
por cualquier medio, salvo para fines académicos,  
sin previa autorización de los editores.

©2000

“HECHO EL DEPOSITO DE LEY” #07420005302487  
ISBN 980-292-857-7

**Escuela "La Hechicera", Relatividad, Campos y Astrofísica**

# Prefacio

El presente volumen recoge las notas de los cursos impartidos durante la VI Escuela “La Hechicera”, llevada a cabo entre el 05 y el 10 de noviembre del 2000, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

La cosmología fue en esta oportunidad el tema central de la escuela y los profesores invitados a dictar los cursos fueron: Gustavo Bruzual A. (Centro de Investigaciones de Astronomía, Venezuela), Juan García-Bellido (Universidad Autónoma Cantoblanco, España) y Esteban Roulet (Universidad Nacional de La Plata, Argentina).

## Agradecimientos

Los miembros del comité organizador de la VI Escuela, Alejandra Melfo (Coordinador), Adel Khoudeir, Nelson Pantoja, Héctor Rago (Universidad de Los Andes), Pio Arias (Universidad Central de Venezuela), Willians Barreto (Universidad de Oriente) y Jorge Stephany (Universidad Simón Bolívar), desean expresar su agradecimiento a la Universidad de Los Andes (ULA), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) y a Fundacite Mérida, por el patrocinio y soporte financiero. También agradecemos la invaluable ayuda prestada por Dalia Marquez en todas aquellas cuestiones no científicas vinculadas a la organización de la escuela y a Mayerlin Uzcátegui por la diagramación de este libro.

El Comité Organizador

# Índice General

<b>I Poblaciones estelares en galaxias cercanas y lejanas.</b> <i>Gustavo Bruzual A.</i>	<b>1</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2 El problema de la síntesis de poblaciones estelares</b>	<b>7</b>
<b>3 El algoritmo de síntesis de isocronas</b>	<b>11</b>
<b>4 Modelos evolutivos de síntesis de poblaciones estelares</b>	<b>13</b>
<b>5 Ingredientes estelares</b>	<b>15</b>
<b>6 Evolución espectral a metalicidad constante</b>	<b>17</b>
<b>7 Propiedades de galaxias y metalicidad estelar</b>	<b>21</b>
<b>8 Calibración de los modelos en el diagrama C-M</b>	<b>25</b>
<b>9 Diagramas color-magnitud observados y espectros integrados</b>	<b>29</b>
<b>10 Comparación de espectros modelo y observados</b>	<b>33</b>
10.1 Metalicidad solar . . . . .	33
10.2 Metalicidad diferente a solar . . . . .	35
<b>11 Fuentes de incertidumbre en modelos de síntesis de poblaciones</b>	<b>41</b>
11.1 Incertidumbre en la astrofísica de la evolución estelar . . . . .	41
11.2 Energética de poblaciones estelares modelo . . . . .	41
11.3 Incertidumbre en la FMI estelar . . . . .	43
11.4 Bibliotecas estelares . . . . .	43
11.5 Diferencias en composición química . . . . .	45
11.6 Historia diferente de evolución química . . . . .	45
11.7 Evolución en el sistema del observador y época cosmológica . . . . .	46
<b>12 Resumen y Conclusiones</b>	<b>65</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>67</b>

**II Astroparticle Physics and Cosmology.***Juan García-Bellido***71****13 General Introduction****75****14 Introduction to Big Bang Cosmology****77**

14.1 Friedmann–Robertson–Walker universes . . . . .	77
14.2 The expansion of the universe . . . . .	78
14.3 The matter and energy content of the universe . . . . .	79
14.4 Mechanical analogy . . . . .	81
14.5 Thermodynamical analogy . . . . .	82
14.6 Brief thermal history of the universe . . . . .	83
14.7 Primordial nucleosynthesis and light element abundance . . . . .	84
14.8 Neutrino decoupling . . . . .	86
14.9 Matter-radiation equality . . . . .	86
14.10 Recombination and photon decoupling . . . . .	87
14.11 The microwave background . . . . .	87
14.12 Large-scale structure formation . . . . .	89

**15 Determination of Cosmological Parameters****93**

15.1 The rate of expansion $H_0$ . . . . .	95
15.2 Gravitational lensing . . . . .	96
15.3 Sunyaev-Zel'dovich effect . . . . .	97
15.4 Cepheid variability . . . . .	98
15.5 The matter content $\Omega_M$ . . . . .	98
15.6 Luminous matter . . . . .	99
15.7 Rotation curves of spiral galaxies . . . . .	99
15.8 Microlensing . . . . .	100
15.9 Virial theorem and large scale motion . . . . .	103
15.10 Baryon fraction in clusters . . . . .	104
15.11 Structure formation and the matter power spectrum . . . . .	104
15.12 Cluster abundance and evolution . . . . .	105
15.13 Summary of the matter content . . . . .	106
15.14 Massive neutrinos . . . . .	107
15.15 Weakly Interacting Massive Particles . . . . .	109
15.16 The cosmological constant $\Omega_\Lambda$ . . . . .	111
15.17 The spatial curvature $\Omega_K$ . . . . .	114
15.18 The age of the universe $t_0$ . . . . .	114

**16 The inflationary Paradigm****117**

16.1 Shortcomings of Big Bang Cosmology . . . . .	117
16.2 The Flatness Problem . . . . .	118
16.3 The Homogeneity Problem . . . . .	119
16.4 Cosmological Inflation . . . . .	119
16.5 Homogeneous scalar field dynamics . . . . .	122

---

16.6	The origin of density perturbations . . . . .	123
16.7	The anisotropies of the microwave background . . . . .	124
16.8	Acoustic oscillations in the plasma . . . . .	124
16.9	The Sachs-Wolfe effect . . . . .	125
16.10	The consistency relation . . . . .	127
16.11	The acoustic peaks . . . . .	128
16.12	The new microwave anisotropy satellites, MAP and Planck . . . . .	130
16.13	From metric perturbations to large scale structure . . . . .	131
16.14	The galaxy power spectrum . . . . .	132
16.15	The new redshift catalogs, 2dF and Sloan Digital Sky Survey . . . . .	133
<b>17</b>	<b>Conclusions</b>	<b>137</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>141</b>
<b>III</b>	<b>Lensing phenomena in the Universe.</b>	
	<i>Esteban Roulet</i>	<b>147</b>
<b>18</b>	<b>Gravitational lensing</b>	<b>151</b>
18.1	Historical remarks . . . . .	151
18.2	The dark matter problem . . . . .	154
18.3	Gravitational lensing formalism . . . . .	155
18.4	Gravitational macrolensing . . . . .	158
18.5	Microlensing in the Local Group . . . . .	161
18.5.1	Microlensing expectations . . . . .	165
18.5.2	First microlensing results and their interpretation . . . . .	166
18.5.3	The second period (1996-2000) . . . . .	167
18.5.4	Recent developments . . . . .	169
<b>19</b>	<b>Magnetic lensing of UHE cosmic rays</b>	<b>173</b>
19.1	The cosmic ray puzzles . . . . .	173
19.2	Magnetic lensing effects . . . . .	176
	<b>Bibliography</b>	<b>181</b>

---