

Introducción

Es un privilegio tener la ocasión de dictar estas clases de cosmología como un tributo a la relatividad general en sus ochenta primeros años. La cosmología es quizás la más sorprendente de todas las aplicaciones de la teoría de Einstein porque en su esfuerzo por comprender el universo físico en su conjunto, la relatividad general más que útil, es absolutamente indispensable. En efecto, dentro de la complicada trama de causas y azares que son capaces de generar una nueva área de conocimiento, en el nacimiento de la cosmología moderna en los alrededores de la segunda década del siglo, destacan la afortunada conjunción de un hecho observacional y uno teórico: la observación del desplazamiento sistemático al rojo de las galaxias, encapsulada en la ley de Hubble, que sugerían un universo en expansión y la relatividad general, una nueva y ya exitosa teoría de la gravitación, capaz de dar cuenta de la observación de Hubble y tal vez de explicar la dinámica del universo.

En años recientes, sobre todo a partir de los 80's la cosmología ha entrado en una especie de "edad de oro" caracterizada de rápido y sano desarrollo. La cosmología teórica ha construido un marco conceptual utilizando resultados de la física de partículas como el "modelo estándar" de las interacciones fuertes y electrodébil, que proveen un conocimiento de la física hasta energías del orden de 250 GeV., y algunas ideas sugerentes aunque especulativas de las teorías gran-unificadas, que ha permitido hablar con cautela de la evolución del universo muy temprano y ha concebido nociones como defectos topológicos, modelos para la generación de la asimetría materia-antimateria, y el universo inflacionario, por mencionar sólo unos pocos desarrollos recientes.

Por su parte la cosmología observacional ha tenido su propio avance basado en buena medida en la tecnología de los CCD (charge-coupled devices), con una eficiencia en la detección de fotones del orden del 75% comparada con la de las placas fotográficas, alrededor de 1%. El advenimiento de los CCD ha permitido realizar *surveys* de corrimientos al rojo más profundos y más completos en menor tiempo, haciendo posible la elaboración de mapas "3-dimensionales" de la distribución de galaxias. No menos importante ha sido el refinamiento con que el COBE ha registrado la radiación de microondas, corroborando su aspecto perfectamente planckiano, y determinando el grado minúsculo de anisotropía necesario para la formación de las estructuras que hoy observamos (galaxias y cúmulos de galaxias). El progreso en obtener valores más precisos para los parámetros cosmológicos (edad, tasa de expansión y densidad media del universo) y las abundancias observadas de elementos ligeros sintetizados de acuerdo con la teoría en los primeros momentos del big-bang ha contribuido a la avalancha de datos observacionales que imponen límites a las imaginativas especulaciones de los teóricos. Es cierto que aún puede haber controversia respecto de la forma de medir o interpretar los datos y que carecemos de un entendimiento preciso de los mecanismos de formación y evolución de estructuras, de la descripción adecuada en instantes próximos al tiempo de Planck, $t \sim 10^{-43}$ seg y de la naturaleza de la *materia oscura*, pero a pesar de estas

incertidumbres típicas del conocimiento de frontera, la cosmología estándar da cuenta con un éxito singular de la naturaleza de nuestro universo.

Estas clases están destinadas a servir de primera introducción al tema. Hemos supuesto cierta familiaridad del lector con la relatividad general, y hemos sacrificado algunos tópicos interesantes, por tratar de ser autocontenidos.

Notación y convenciones

A través de estas notas hemos usado una métrica de signatura $(-, +, +, +)$. Los índices latinos, a, b, c , asumen los valores 0, 1, 2, 3; mientras que los índices griegos α, β, σ , son espaciales, 1, 2, 3. La velocidad de la luz es $c = 1$. La derivada parcial respecto de la coordenada x^a se denotara como ∂_a o como $(\cdot)_a$. La derivada covariante se denotará por ∇_a o por $(\cdot)_{;a}$. Otros símbolos, convenciones y notaciones se detallan en el texto.

El primer capítulo pretende en un vuelo rasante, brindar una mirada de conjunto a lo que sabemos del universo y a lo que no sabemos de él, tratando de establecer la naturaleza del pensamiento cosmológico. En el segundo capítulo establecemos las matemáticas necesarias para la descripción de las simetrías que suponemos que en algún grado, tiene el universo, así como las evidencias que amparan estas suposiciones. En el tercer capítulo estudiamos sistemas de prueba que evolucionan en un (modelo de) universo en expansión: partículas masivas y fotones. El capítulo cuatro describe la evolución de modelos cosmológicos y el último es una breve introducción a desarrollos recientes que pretenden resolver algunos acertijos de la cosmología estándar: el universo inflacionario. Debido al carácter de estas clases no hemos considerado conveniente el sistema tradicional de citar la bibliografía. Sugerimos y comentamos, en cambio, algunas lecturas adicionales con tratamientos más detallados de los temas aquí tratados.

Agradecimientos

Finalmente debo agradecer profundamente la colaboración de Helga Malavé en la transcripción de estas clases y de Mayerlin Uzcátegui y Angel Pérez en la diagramación final del trabajo.

Así mismo deseo expresar mi agradecimiento a la Facultad de Ciencias por cubrir los costos de Publicación de estas notas.

H.R.