

## En busca de señales de nueva física en Cosmología

Autor: Nicola Bellomo

(nicola.bellomo@austin.utexas.edu)

Tesis doctoral dirigida por: Licia Verde

Centro: Institut de Ciències del Cosmos - Universitat de Barcelona

Fecha de lectura: 24 de enero de 2020

La Cosmología es el estudio de los orígenes y la evolución de nuestro Universo como un todo. Aunque bajo el lado teórico la Cosmología nació hace un siglo, con la formulación de la teoría de la Relatividad General por Albert Einstein, ha sido únicamente en las últimas décadas que ha habido un avance experimental tan importante que se ha transformado desde una ciencia "pobre de datos" a una ciencia "guiada por los datos". Estamos viviendo la que se dice ser la "Edad de Oro" en Cosmología: no solo tenemos suficientes evidencias experimentales para medir parámetros cosmológicos con una precisión alrededor del uno por ciento, sino que también podremos ir más allá de esa precisión con los experimentos planeados en las próximas décadas, que probarán por primera vez épocas de nuestro Universo nunca observadas directamente hasta ahora.

En esta tesis se analizan tres aspectos fundamentales del modelo estándar que se utiliza hoy en Cosmología, el modelo  $\Lambda$ CDM. Los ingredientes principales de este modelo son una teoría de la gravedad que describe cómo nuestro Universo evoluciona, en este caso la Relatividad General; las diferentes componentes que existen en nuestro Universo, es decir fotones, neutrinos, bariones, materia oscura fría (en inglés CDM) y energía oscura, descrita por una constante cosmológica  $\Lambda$ ; y una teoría que explica las condiciones iniciales del Universo, que asumimos ser la teoría de la Inflación. Aunque décadas de investigación nos permiten describir muchos de estos aspectos en gran detalle, aún hay varios problemas en los tres ámbitos. El objetivo de esta tesis es explorar cómo estos problemas abiertos pueden encontrar una posible solución; en particular se discute cómo nuevas muestras experimentales y nuevos avances teóricos pueden jugar un papel en responder a estas preguntas abiertas.

La primera parte se centra en la posible degeneración entre efectos que neutrinos y teorías de gravedad modificada tienen en las observables cosmológicas. En el trabajo "Hiding neutrino masses in modified gravity cosmology" se investigó cómo la teoría de Horndeski, que es la teoría más general que incluye un campo escalar que tiene ecuaciones del movimiento del segundo orden y que obedece al principio de equivalencia débil, tiene suficiente libertad para reproducir una expansión como la que predice el  $\Lambda$ CDM y, al mismo tiempo, puede incrementar el crecimiento de las estructuras a grandes escalas. Dicho crecimiento, si se produjera a escalas del orden de 100 Mpc o más pequeñas, podría esconder los efectos que los neutrinos masivos tienen en el espectro de potencia de la materia.

En la segunda parte se debate uno de los candidatos a ser materia oscura, es decir, agujeros negros primordiales que se

formaron en las primeras fracciones de segundo de nuestro Universo. Primero se enseña cómo, empezando desde los límites superiores que ya existen para agujeros negros primordiales que tienen una distribución de masa monocromática, es posible obtener límites superiores en la abundancia de agujeros negros primordiales que tienen una distribución de masa extendida. Además, se establece cómo validar si todas las asunciones hechas en la parte de modelización teórica se cumplen en el caso de distribuciones de masa extendidas. Luego se explica cómo, relacionando mapas de galaxias y mapas de ondas gravitatorias generadas por los sondeos de galaxias y los observatorios de ondas gravitatorias, se puede llegar a entender cuál es el origen de los agujeros negros que forman las binarias detectadas. Resulta que ya con experimentos que funcionan, como DESI para galaxias y ALIGO para ondas gravitatorias, se puede tener una primera indicación sobre el origen estelar o primordial, aunque se necesitarán los experimentos de la siguiente generación para tener la confirmación definitiva.

La tercera parte describe cómo se puede obtener nuevas pruebas sobre las primeras fracciones de segundo de nuestro Universo, y en particular sobre la teoría de la Inflación. En primer lugar enseñamos cómo se podría medir la escala energética de la Inflación mediante la medida de una específica señal de no-Gaussianidad primordial, llamada "graviton exchange". Esta no-Gaussianidad está generada por la interacción de dos campos escalares con un gravitón y depende directamente del parámetro *tensor-to-scalar ratio*  $r$ , lo cual, a cambio, está directamente relacionado con la energía de la Inflación en los modelos de campo escalar cuya energía cinética es muy pequeña en comparación con su energía potencial. En el trabajo se enseña cómo esta señal primordial resulta ser del mismo orden de magnitud de la función a tres puntos a escalas grandes, planteando una posibilidad de detección. Además se utilizan los agujeros negros primordiales para poner límites en la amplitud máxima que puede tener el espectro de potencia de la curvatura primordial. Más específicamente, se ha desarrollado un procedimiento que conecta las simulaciones numéricas de formación de agujeros negros primordiales a una correcta interpretación cosmológica de esas simulaciones, hasta el cálculo de la abundancia de esos agujeros negros primordiales utilizando la teoría de picos. Este desarrollo teórico permitió obtener límites significativamente más robustos respecto a la literatura anterior.

Tesis disponible en:

<https://www.tdx.cat/handle/10803/668752#page=1>