

Agrupamiento de galaxias con el *Dark Energy Survey*: medida y mitigación de sistemáticos

Autor: Martín Rodríguez Monroy

Tesis doctoral dirigida por: Eusebio Sánchez Álvaro e Ignacio Sevilla Noarbe

Centro: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

Fecha de lectura: 10 de noviembre de 2021

Esta tesis se ha desarrollado dentro del *Dark Energy Survey* (DES), una colaboración internacional que busca entender la naturaleza de la energía oscura. DES ha tomado datos durante seis años, observando 691M de objetos desde el Telescopio Víctor Blanco de 4 m en Cerro Tololo, Chile. Ha observado 5000 deg^2 , en cinco bandas fotométricas anchas en el rango óptico grizY. Las imágenes se tomaron con el instrumento DECam. Los datos correspondientes a los tres primeros años de observaciones (Y3) contienen información sobre 399M de objetos. Con estos datos se generan las dos muestras de galaxias lente empleadas durante los análisis de DES-Y3: MagLim, una muestra limitada en magnitud y optimizada para maximizar el poder de determinación de los parámetros cosmológicos que contiene $\sim 11\text{M}$ de galaxias, y redMaGiC, una selección de $\sim 3\text{M}$ de galaxias rojas luminosas con desplazamientos al rojo fotométricos de alta calidad. Este trabajo se ha llevado a cabo como parte del proyecto de medición del agrupamiento de galaxias y de mitigación de sistemáticos observacionales en los datos DES-Y3 y representa una aportación esencial para las medidas cosmológicas obtenidas por DES. Como sistemáticos observacionales, consideramos las condiciones de observación, como el seeing o el brillo del cielo; las propiedades del cartografiado, como el tiempo de exposición o la profundidad; y las fuentes astrofísicas, como la densidad estelar y la extinción por el polvo galáctico. Para caracterizar estos contaminantes, utilizamos mapas de propiedades del cartografiado (*SP maps* por sus siglas en inglés) en HEALPix, que dan cuenta de las variaciones espaciales de diferentes efectos relativos a la toma de imágenes. Partiendo de 107 de estos mapas, este número se reduce mediante dos métodos diferentes desarrollados en el marco de esta tesis: uno basado en la identificación de familias de mapas utilizando matrices de correlación de Pearson y el otro aplicando un análisis de componentes principales (PCA) a los mapas. De este modo, definimos dos bases de mapas de SP, la base estándar (STD) y la base de componentes principales (PC).

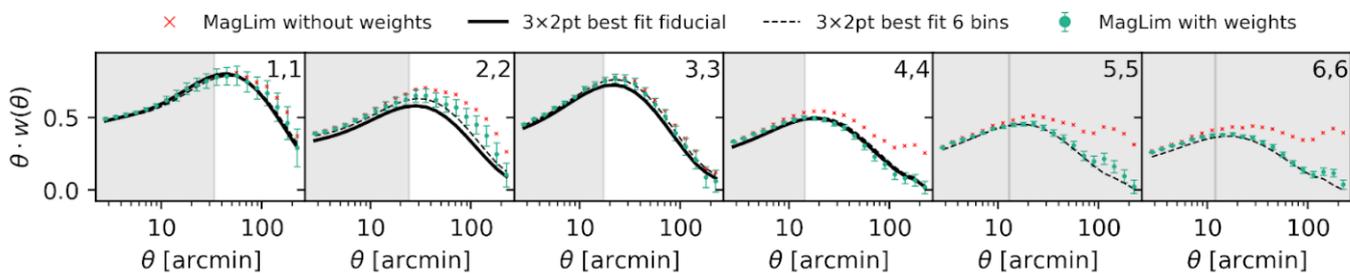
Para mitigar el impacto de los sistemáticos observacionales, aplicamos el método *Iterative Systematics Decontamination* (ISD). ISD es un método iterativo que evalúa la significación estadística de la contaminación causada por cada mapa SP mediante el ajuste de la relación entre sus valores en el cielo y la densidad de número de galaxias observada. La significación, S_{1D} , se obtiene calculando esta misma relación sobre catálogos simulados, libres de contaminación. Una vez identificado el mapa SP con la mayor significación, ISD corrige su impacto calculando un mapa de pesos y aplicándolo multiplicativamente a los datos, mitigando su contaminación. Este proceso se

Derecha: Resultados de la función de correlación angular medida en la muestra MagLim en DES-Y3. Las cruces rojas corresponden a los datos sin corrección por sistemáticos observacionales y los puntos verdes a los datos corregidos por ISD-PC < 50 . La línea negra representa la función de correlación angular, $w(\theta)$, teórica dada por el mejor ajuste a partir del análisis de $3 \times 2\text{pt}$ de DES-Y3. Las barras de error corresponden a la diagonal de la matriz de covarianza analítica y las regiones sombreadas representan las escalas angulares excluidas en los ajustes cosmológicos.

ejecuta iterativamente hasta que la significación de todos los mapas está por debajo de un umbral, T_{1D} , fijado de antemano. También presentamos el método *Elastic Net* (ENet), un método de corrección alternativo que realiza un ajuste multilíneal a todos los mapas SP mediante una regularización *elastic net*. Así, controla el nivel de contribución de cada mapa SP a los pesos correctores. El método de referencia en DES-Y3 es ISD, mientras que ENet se usa para validación.

Una vez obtenidos los pesos correctores con ISD, es necesario validarlos para asegurar que no causan ningún tipo de sesgo en $w(\theta)$ y por tanto en la inferencia de parámetros cosmológicos. En esta tesis presentamos las pruebas de validación que se han implementado para esta tarea. Estas pruebas evalúan no sólo los mapas de pesos en sí mismos, sino que también permiten encontrar debilidades en nuestros métodos de descontaminación. Los principales sesgos que buscamos son el sesgo por falsa corrección y el sesgo por sistemáticos residuales. El primero se debe a posibles sobrecorrecciones causadas por la correlación fortuita entre los mapas SP y el campo de densidad que es tratada como contaminación real, eliminando así señal cosmológica real. El segundo es una posible infra-corrección de los datos debido a contaminación que no se ha eliminado correctamente. Determinamos la magnitud de estos sesgos tanto en la función de correlación como en la inferencia del parámetro cosmológico Ω_M y de la relación galaxia-materia, b , ambos sensibles a la amplitud de $w(\theta)$. Para estas pruebas, utilizamos simulaciones sin contaminación y, además, un conjunto de simulaciones contaminadas que reproducen los efectos sistemáticos observados en los datos. Llegamos a la conclusión de que el nivel de sesgo por falsa corrección está dentro de la incertidumbre estadística, mientras que el sesgo por sistemáticos residuales no puede ser despreciado. Para tener en cuenta este sesgo, marginalizamos sobre él añadiendo su contribución como error sistemático a la matriz de covarianza final utilizada para los ajustes cosmológicos. También tenemos en cuenta la diferencia entre los resultados obtenidos con ISD y ENet en los datos como un término sistemático adicional a la covarianza. Dado el aumento de la potencia estadística de los datos de DES-Y3, la caracterización y validación de la corrección de sistemáticos ha sido un reto importante.

Por último, presentamos los resultados de agrupamiento de galaxias obtenidos a partir de las dos muestras de galaxias lente una vez aplicadas y validadas las correcciones de sistemáticos. Estos resultados representan la medición de $w(\theta)$ obtenida en el mayor conjunto de galaxias hasta la fecha. Los problemas asociados con redMaGiC motivaron reevaluar numerosos aspectos del análisis de DES-Y3, incluida la corrección de sistemáticos observacionales. Estas pruebas adicionales son uno de los principales resultados presentados en esta tesis y han servido para garantizar la robustez de nuestras correcciones y elecciones en el análisis, así como para mejorar aún más nuestras metodologías.



Estudio del viento solar a 1 UA y sus valores atípicos

Autor: Carlos Larrodera Baca

Tesis doctoral dirigida por:

Consuelo Cid Tortuero

Centro: Universidad de Alcalá

Fecha de lectura: 5 de julio de 2022

El presente trabajo muestra los resultados del estudio de la distribución de viento solar a una unidad astronómica a través del estudio de diferentes magnitudes que caracterizan el viento solar.

En nuestro estudio proponemos la función de distribución biGaussiana para caracterizar la distribución del viento solar. Esta función se define como la suma de dos funciones Gaussianas donde cada una de ellas representa las contribuciones presentes en el viento solar, viento lento y viento rápido.

Esta separación es conocida y aceptada al referirse a la función de distribución de la velocidad del viento solar, pero no es tan conocida ni tan clara al referirse a otras magnitudes como la densidad, temperatura, campo magnético o composición. En nuestro análisis hemos confirmado que esta distribución bimodal también puede ser apreciada en estas últimas magnitudes.

El estudio del viento solar a través del estado de carga promedio del hierro ha puesto de manifiesto su utilidad como indicador para localizar eyecciones de masa coronal en el medio interplanetario (ICME). Gracias a este estudio hemos podido

encontrar ICMEs que no estaban listadas en los catálogos existentes, y también ha servido para redefinir sus límites en algunas ICMEs que sí estaban catalogadas.

Usando la teoría estadística de valores extremos, hemos analizado la cola de la distribución de las magnitudes representativas del viento solar donde se sitúan los eventos más extremos, para los cuales hemos podido obtener su periodo de retorno, es decir, el tiempo estimado en el que se espera que tenga lugar un evento de dichas características. Estos resultados teóricos han podido ser contrastados con medidas experimentales de los eventos más extremos registrados, confirmando que los resultados teóricos cuadran con las medidas realizadas por diferentes autores.

Nuestra investigación ha permitido desarrollar una herramienta de monitorización del viento solar en tiempo real que puede consultarse en la página web del Servicio Nacional de Meteorología Espacial (<http://www.senmes.es/section/2>), donde se muestra la evolución del viento solar en las últimas 24 horas, así como diferentes niveles de alerta basados en el análisis del conjunto de datos históricos de los últimos 20 años.