

## SUPERNOVAS Y LA EXPANSIÓN ACELERADA DEL UNIVERSO

### 1. Motivación de este trabajo.

El objetivo de este trabajo es que los estudiantes se familiaricen con el manejo de archivos astronómicos y utilicen datos reales obtenidos por el *Supernova Cosmology Project*<sup>1</sup> para, haciendo un análisis estadístico sencillo, comprobar que la expansión del universo está acelerándose.

Gran parte de la evaluación de este trabajo consiste en valorar la capacidad de los estudiantes para buscar información, acceder a bases de datos astronómicos, extraer la información relevante de artículos científicos y testar hipótesis científicas con la mínima supervisión por parte del profesor. Es decir: se valorará la madurez de los aspirantes a obtener el título de Grado a través de su capacidad para resolver un problema científico (que al fin y al cabo ya está resuelto por otros) por sus propios medios.

### 2. Objetivos:

El Premio Nobel de Física de 2011<sup>2</sup> les fue concedido a Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt y Adam G. Reiss por el descubrimiento de la expansión acelerada del Universo mediante observaciones de supernovas lejanas. Dos equipos de investigación independientes, liderados por los galardonados, habían medido cuidadosamente la magnitud aparente y los corrimientos al rojo de una muestra amplia de supernovas lejanas de tipo Ia. Aprovechando que este tipo de supernovas son buenas “candelas estándar” (es decir, que todas ellas tienen la misma luminosidad intrínseca) ambos equipos obtuvieron la relación magnitud-corrimiento al rojo para las supernovas observadas y comprobaron que ésta se desviaba de lo esperado en un universo en deceleración. Por el contrario, los resultados eran más compatibles con un universo en *expansión acelerada*.

OBJETIVOS MÍNIMOS: para aprobar este trabajo los estudiantes deberán conseguir de alguna manera<sup>3</sup> los datos obtenidos y estudiados por el *Supernova Cosmology Project* en su artículo original<sup>4</sup>. Con dichos datos, deberán seleccionar aquellas supernovas de las que se tengan datos de corrimiento al rojo ( $z$ ) y magnitud aparente ( $m$ ), calcular el módulo de distancia<sup>5</sup> ( $\mu$ ) de dichas supernovas y elaborar un gráfico en el que se represente  $\mu$  en función de  $z$ . Para el cálculo del módulo de distancia se supondrá que todas las supernovas de tipo Ia tienen magnitud absoluta en el óptico<sup>6</sup>  $M_v = -19.3$ . No se tendrán en cuenta los posibles efectos de absorción por parte del medio interestelar, ni ningún tipo de dependencia de la luminosidad de las supernovas con el tiempo ni con el medio en el cual se encuentran las supernovas. Una vez hecho el gráfico  $\mu$ - $z$ , los estudiantes deberán calcular de forma teórica el valor que debería tomar dicho módulo de distancias en dos casos bien distintos:

---

<sup>1</sup> <https://supernova.lbl.gov/>

<sup>2</sup> <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2011.pdf>

<sup>3</sup> Tanto la NASA con su *Astronomical Data System* como el *Centre de Données astronomiques de Strasbourg* (CDS) mantienen bases de datos de libre acceso donde se pueden encontrar prácticamente todas las observaciones astronómicas que se han realizado en el último siglo.

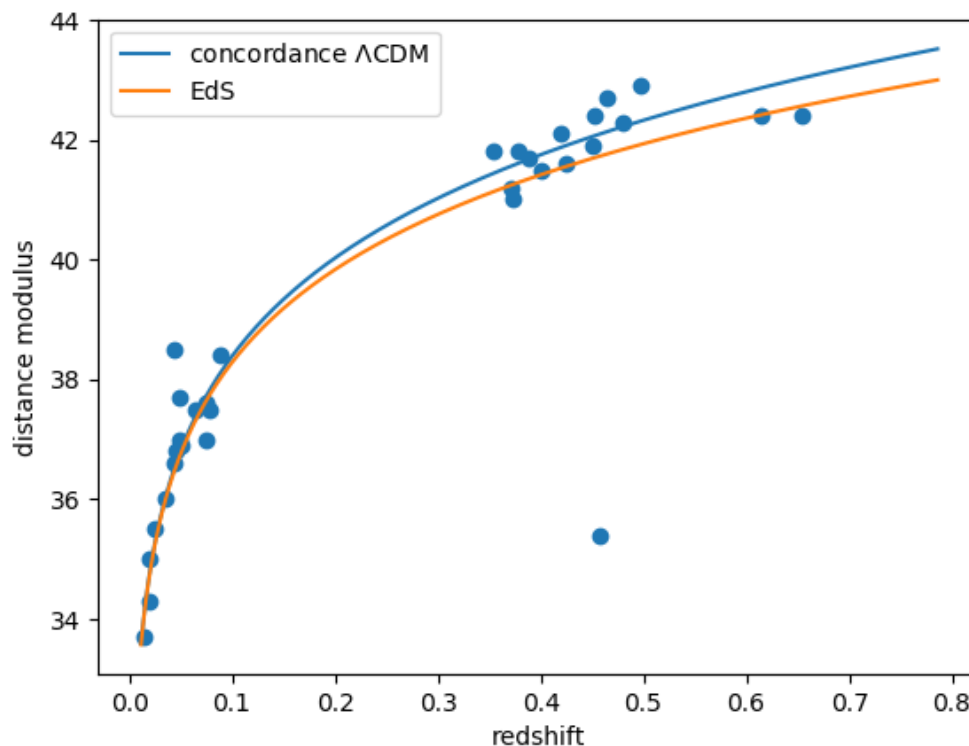
<sup>4</sup> Perlmutter et al. 1999, *The Astrophysical Journal*, Volume 517, Issue 2, pp. 565-586

<sup>5</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Distance\\_modulus](https://en.wikipedia.org/wiki/Distance_modulus)

<sup>6</sup> Por simplicidad, no vamos a distinguir entre las distintas bandas fotométricas que pueda haber en el óptico. Para nosotros, todas serán la misma.

- El modelo cosmológico de concordancia  $\Lambda$ CDM con los parámetros cosmológicos publicados por la colaboración *Planck* en 2015<sup>7</sup>.
- Un modelo de Einstein-de Sitter ( $k=0$ ,  $\Omega_m=1$ ,  $\Omega_\Lambda=0$ ) con el mismo valor de  $H_0$  que se tomó de los datos de *Planck* 2015.

Ambas líneas se representarán sobre los puntos obtenidos del *Supernova Cosmology Project*. El resultado será una gráfica como el siguiente ejemplo, obtenido por el profesor en las mismas condiciones que se proponen a los alumnos ¿Cuál modelo ajusta mejor a los datos?



OBJETIVOS AVANZADOS: para ir más allá del aprobado, se anima a los alumnos a completar el trabajo en cualquiera de las siguientes direcciones:

- Se puede añadir más datos observacionales buscando más supernovas estudiadas en artículos posteriores del *Supernova Cosmology Project* y/o el equipo “rival” del *High-z SN Search*<sup>8</sup>.
- ¿Seríais capaces de hacer un ajuste a los datos para, en vez de simplemente observar cuál de los dos modelos anteriores se acerca más a los datos, **determinar** los parámetros cosmológicos que mejor se ajustan a los datos? (NOTA: limitarse únicamente a variar  $\Omega_m$  y  $\Omega_\Lambda$  con la restricción de considerar únicamente universos planos, es decir,  $\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$ , y utilizar el valor de  $H_0$  de *Planck* 2015).

<sup>7</sup> <http://pla.esac.esa.int/pla/#cosmology>, usar el “release” de datos PR2-2015.

<sup>8</sup> <https://www.cfa.harvard.edu/supernova//HighZ.html>

### 3. Plazos y material evaluable:

Los alumnos deberán presentar, de forma individual y **antes del día 18 de diciembre de 2022 a las 23:00 horas** (sin excepción posible), el siguiente material:

- Un informe escrito (máximo de veinte páginas incluyendo título, figuras, apéndice y bibliografía) del trabajo realizado, incluyendo:
  - Un breve resumen teórico acerca del papel que juegan las supernovas de tipo Ia en Cosmología.
  - Información detallada de cómo se han conseguido los datos, qué herramientas (tanto estadísticas como de *software*<sup>9</sup>) se han utilizado para manejarlos, cómo se han calculado los valores teóricos de la relación  $\mu$ - $z$  y, en definitiva, *por qué y cómo se las ha arreglado el estudiante para resolver el problema abierto que le ha encargado el profesor*.
  - Una discusión crítica de los resultados obtenidos.

### 4. Forma de presentación:

El trabajo se presentará por correo electrónico como archivo de formato PDF. El profesor cotejará el informe con bases de datos externas para asegurarse de que no ha habido plagios ni se ha copiado material preexistente.

---

<sup>9</sup> Si los estudiantes desarrollan código propio para este trabajo, éste deberá adjuntarse al informe como apéndice. Da igual el lenguaje de programación elegido.