INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS

38200 La Laguna, Tenerife, (Islas Canarias)
Teléfono: (922) 60 52 00 – Fax: (922) 60 52 10

PETICIÓN DE TIEMPO DE OBSERVACIÓN (CAT NOCTURNO)
Observatorios del Roque de Los Muchachos y del Teide

---

1. Título (máximo diez palabras)

Supernovas a z=0.35–0.65: estudio de la naturaleza de la energía oscura

Palabras clave: 1 [X] 2 [ ] 3 [ ] 4 [ ] 5 [X] 6 [ ]

2. Datos personales

2.1. Investigador principal

Pilar Ruiz–Lapuente   Dpto. Astronomía. Facultad de Física. Univ. Barcelona

2.2. Coinvestigadores

Andrés Belastegui   Dpto. Astronomía. Facultad de Física. Univ. Barcelona
Javier Mendez   ING, La Palma y Univ. Barcelona
Reynald Pain   LPNHE, Univ. Paris 6 & 7, France
Saul Perlmutter   LBNL, Berkeley
Nic Walton   ING, La Palma

2.3. Persona de contacto

Nombre: Pilar Ruiz–Lapuente
Centro: Dpto. Astronomía. Univ. Barcelona
Teléfono: (93)–402 11 20
Fax: (93)–402 11 33
Dirección: Diagonal 647
08028Barcelona
España
Email: pilar@mizar.am.ub.es

3. Resumen del programa (máximo 100 palabras)

Nos proponemos hacer un seguimiento de curvas de luz de SNe Ia a corrimiento al rojo $0.35 < z < 0.65$ mejorando la calidad presente de la fotometría para supernovas en este rango de z. Esta mejora es necesaria si queremos utilizar las supernovas en la determinación de la naturaleza de la energía oscura. Pretendemos obtener fotometría con una S/N$\sim$20. Observaremos un número reducido de SNe Ia en cinco fases de su curva de luz coordinando nuestras observaciones con otros telescopios. El intervalo señalado de z es el que corresponde a la época en que el Universo deja de estar dominado por la materia y aparece dominado por esta "energía oscura" de naturaleza aún desconocida.

4. ¿Es este programa parte de un trabajo de tesis? Si [X] No [ ]
En caso afirmativo, indicar el nombre del doctorando

Andrés Belastegui   Univ. Barcelona
Javier Mendez   Univ. Barcelona

5. Tiempo de Observación solicitado

Telescopio	Instrumento y detector	Noches	Luna	Fechas óptimas	Fechas imposibles
4.2m WHT	WHT–PF + EEV CCD	1(1)	O(G)	Jun	

Justificar las fechas imposibles
Solicitamos una noche en junio para cubrir la fase más débil de las SNe Ia descubiertas en abril.

Comentarios
Este programa está coordinado con periodos existentes de tiempo de descubrimiento que funcionan en la semana anterior a la luna nueva de cada mes. Los nuevos periodos de descubrimiento tendrán lugar en marzo del 2002 en el CFHT y CTIO.

6. Fecha/Firma Investigador Principal   Fecha/Firma Director Centro

Fecha: 28-09-2001   Fecha: - 28-09-2001

7. Justificación científica (no añadir hojas)

7.1. Objetivos específicos (referencias bibliográficas y/o diagramas en la página siguiente)

El uso de las supernovas del tipo I (SNe Ia) en cosmología ha llevado al descubrimiento de que el Universo acelera su ritmo de expansión y de que alrededor de un 70–80 % del contenido de materia–energía del mismo está en una forma de energía desconocida (Riess et al. 1998; Perlmutter et al. 1999).

La base del método es tratar las SNe Ia no ya como candelas estándar sino como "candelas calibrables" a través de la relación entre curva de luz y luminosidad en el máximo (Riess et al. 1995; Ruiz–Lapuente 1997, 1999; Perlmutter et al. 1999; ver referencias en Ruiz–Lapuente, Canal & Isern 1996). Efectivamente, la detección y seguimiento de un gran número de SNe Ia cercanas ($z \leq 0.1$), en el transcurso de campañas de observación específicas, ha permitido clasificar estos fenómenos en una misma "familia" cuyos miembros pueden identificarse por la anchura de su curva de luz (Phillips et al. 1993; Hamuy et al. 1995; Riess et al. 1995) a la vez que por sus características espectrales (Nugent et al. 1997). Esta utilización de las SNe Ia se ha confirmado como uno de los mejores métodos en la determinación de los parámetros cosmológicos y uno de los proyectos fundamentales en cosmología observacional (ver, por ejemplo, Peebles 1998).

Las determinaciones observacionales dan estimaciones en el plano Ω_M, Ω_Λ y es posible discernir independientemente la contribución de Ω_Λ de la de Ω_M (Goobar & Perlmutter, 1995). La evidencia de que $\Omega_\Lambda > 0$, al 99% de confianza (Riess et al. 1998; Perlmutter et al. 1999), ha suscitado gran interés por parte de la comunidad científica. Más aún cuando las fluctuaciones del fondo de radiación de microondas (Jaffe et al. 2000) indican que el Universo es plano. Los valores favorecidos por las supernovas indicarían $\Omega_M = 0.28^{+0.09}_{-0.08}$ y que la combinación entre Ω_M y Ω_Λ cumple 0.8 Ω_M - 0.6 Ω_Λ = 0.2 ± 0.1 (Perlmutter et al. 1999).

Los resultados pueden indicar que en vez de constante cosmológica lo que estamos detectando es la presencia de una componente de presión negativa en el Universo, asociada a un campo escalar "quintaesencia" (Steinhardt et al. 1998) cuyo efecto dinámico habría empezado a dominar ahora. Afinando el uso de las SNe Ia como indicadores de distancia (Huterer & Turner 1998) podemos reconstruir el potencial de ese campo escalar. El diagrama de Hubble de las SNe Ia hasta z$\sim$ 1 proporciona la única forma conocida de determinar la física de la "energía oscura" que acelera la expansión del Universo. La forma más simple de caracterizar esta energía oscura es mediante el cociente efectivo $w \equiv p/\rho$. Los valores determinados de w mediante las supernovas son consistentes por el momento con un amplio rango de propuestas teóricas sobre la energía oscura, que incluyen la de la constante cosmológica de Einstein (para la cual $w = -1$). La base de datos a obtener en la presente campaña, que debe intensificar el número y calidad de observaciones de SNe Ia en los z mencionados, puede afinar la determinación del valor de w en un factor 40%.

- **La muestra de SNe Ia a z=0.35–0.65**

De acuerdo con los valores determinados con las SNe Ia para Ω_M y Ω_Λ el Universo empieza a acelerarse hacia un z $\sim$ 0.65, y pasa a estar dominado por energía oscura de presión negativa hacia z$\sim$ 0.35. El telescopio TNG puede seguir proporcionando fotometría de calidad que ayude a construir una muestra adecuada para trazar la historia de la aceleración del Universo. Incrementaremos la S/N final hasta reducir al minimo los errores observacionales en la curva de luz. Trabajos recientes de Weller y Albrecht (2000, 2001) han demostrado que las propuestas teóricas sobre la energía oscura pueden ser diferenciadas en el diagrama de Hubble de las supernovas entre $0.3 \leq z \leq 1$ por su comportamiento en ese rango de corrimiento al rojo. Ello requiere más y mejores mediciones fotométricas en ese rango de z accesible a telescopios de 3.5–4m.

Este tipo de trabajo también servirá para reducir las incertidumbres sistemáticas. Seguimos trabajando en el estudio de posibles diferencias sistemáticas entre las SNe Ia a alto z y a bajo z con resultados que confirman la similitud de ambas muestras no sólo en el declive de curva de luz sino también en la subida de la misma (Goldhaber et al. 2001). El estudio debe continuar y correlacionar el tipo de curva de luz con la galaxia en que tiene lugar y otras características sobre las que esta campaña aportará nuevos datos.

Referencias

1. *Goldhaber, G. et al. Supernova Cosmology Project,* 2001, ApJ, 558, 359.
2. *Goobar, A., & Perlmutter, S,* 1995, ApJ, 450, 14.
3. *Hamuy, M., et al.,* 1995, ApJ, 109, 1.
4. *Huterer, D. & Turner, M.S.,* 1999, Phys. Rev., D60, 081301.
5. *Jaffe, A. et al.,* 2001, Phys. Rev. Lett., 86, 3475.
6. *Nugent, P. et al.,* 1997, ApJ, 485, 812.
7. *Peebles, J.,* 1998, in, Les Rencontres de Physique de la Vallée d'Aosta,, en prensa.
8. *Perlmutter, S., et al. Supernova Cosmology Project,* 1999, ApJ, 517, 565.
9. *Phillips, M., et al.,* 1993, ApJ, 413, L105.
10. *Riess, A., et al.,* 1995, ApJ, 438, L17.
11. *Riess, A., et al.,* 1998, AJ, 116, 1009.
12. *Ruiz–Lapuente, P., Canal, R., & Isern, J.,* 1995, Thermonuclear Supernovae, Kluwer Academic Publishers,
13. *Ruiz–Lapuente, P.,* 1997, in From Quantum Fluctuations to Cosmological Structures, ASP Conf. Ser., 126.
    207
14. *Ruiz–Lapuente, P.,* 1999, Nucl. Phys.B. (Proc. Suppl.), 80, 153 .
15. *Ruiz-Lapuente, P. & Canal, R.,* 1998, ApJL, 497, 1.
16. *Steinhardt, P.J. et al.* , 1999, Phys.Rev., D59, 123504.
17. *Weller, J. & Albrecht, A.,* 2001, Phys. Rev. Lett. , 86, 1939.
18. *Weller, J. & Albrecht, A.,* 2001, Phys. Rev., submitted,

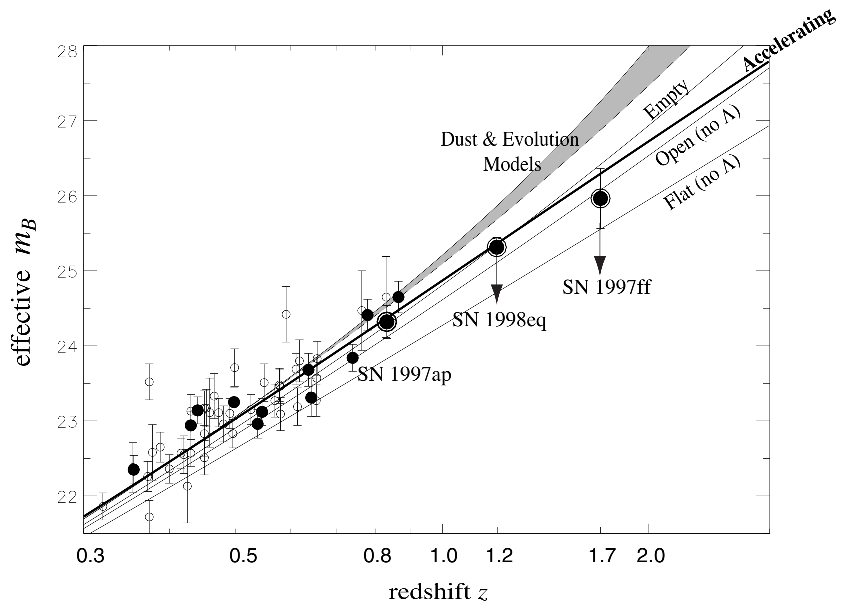


Figure 1: Diagrama de Hubble más reciente obtenido por el Supernova Cosmology Project. Los datos del artículo del 99 con 42 SNeIa se señalan con símbolos circulares abiertos. Los datos de las campañas más recientes (del 99 al 2001) han servido para investigar las propiedades de la muestra de SNe más cercana y más alejada asi como el posible efecto de oscurecimiento por polvo (Goldhaber et al. 2001; Knop et al. 2000, 2001). Las once supernovas de esas campañas se muestran en símbolos circulares sólidos con barras de error preliminares muy conservativas (no se ha efectuado aún la correción final con la imagen de referencia de la galaxia para las SNe más recientes). La diferencia en magnitud entre el mejor ajuste, modelo de universo con Ω_M=0.28 y Ω_Λ=0.72, y modelos propuestos con Ω_Λ=0 pero evolución o polvo uniforme (modelos en la región sombreada en la figura) parecen dificil de reconciliar a la vista de los resultados que se están obteniendo. Sin embargo, un número mayor de observaciones y mejor cubrimiento de las curvas de luz es aún necesario.

7.2. ¿Tiene el grupo experiencia observacional previa con instrumentación similar?

i Si $\boxed{X}$ No $\boxed{}$

7.3. Enumerar algún artículo del equipo investigador relevante a esta propuesta (no dar más de seis referencias)

1. *Supernovae and Cosmology,*
   Ruiz–Lapuente, P., 2001, in Cosmology and Particle Physics 2000, Am. Inst. Phys., 575,
2. *The Type Ia supernova rate at redshifts $0.35 \leq z \leq 0.85$,*
   Pain, R., et al., 2001, ApJ, submitted,
3. *Type Ia SN counts at high z: constraints on progenitors and cosmological models,*
   Ruiz–Lapuente, P., & Canal, R., 1995, ApJL, 497, 1.
4. *Measurements of the cosmological parameters Ω and Λ from 42 high-z supernovae,*
   Perlmutter, S., et al. (Supernova Cosmology Project), 1999, ApJ, 517, 565.
5. *Timescale stretch parameterization of Type Ia Supernova B-band light curves,*
   Goldhaber et al. (Supernova Cosmology Project), 2001, ApJ, 558, 359.
6. *The γ–ray background in the MeV range,*
   Ruiz–Lapuente, P., et al. , 2001, ApJ, 549, 438.

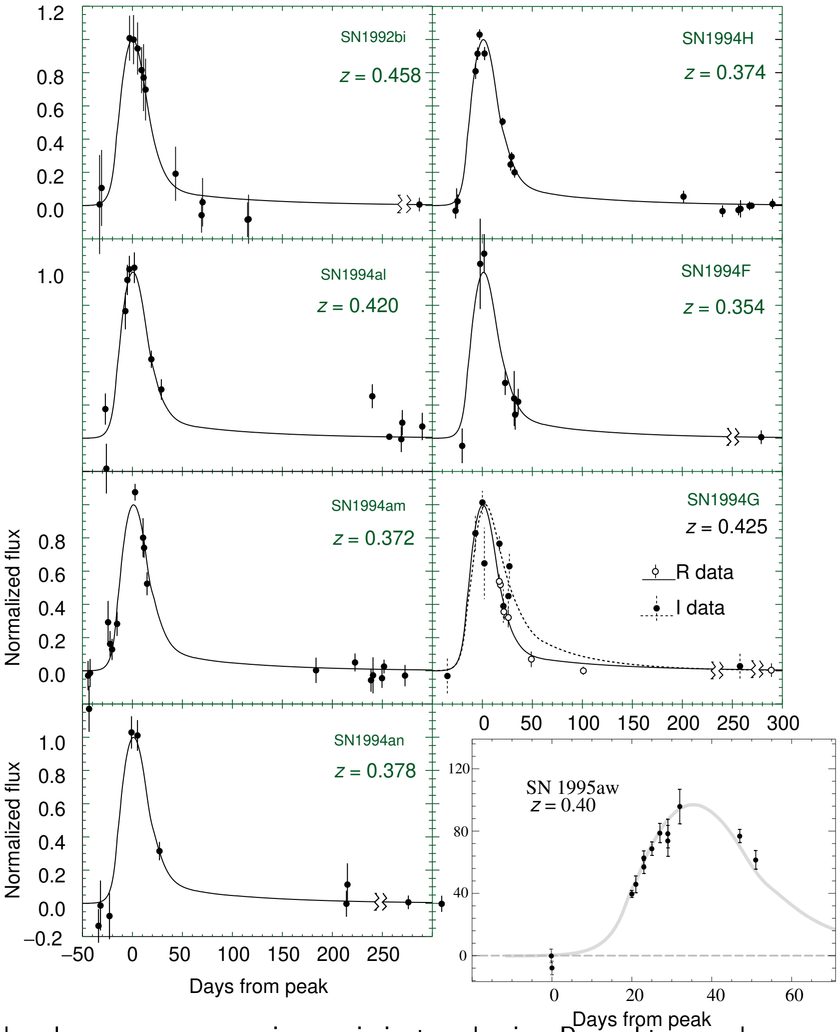


Figure 2: Curvas de luz de supernovas a varios corrimientos al rojo. Para obtener valores precisos de Ω_M y Ω_Λ es necesario determinar el ritmo de declive de la curva de luz de las supernovas. Si consideramos las SNe la como candelas calibrables a través de la medida del declive de la curva de luz reducimos su dispersión interna en luminosidad a σ=0.1 mag.

8. Descripción del plan de obtención, reducción y análisis de los datos

8.1. Justificación de la cantidad de tiempo solicitado (objetos a medir y tiempo de exposición por objeto), lista de objetos y orden de prioridad, posición, magnitud y otras propiedades que definan el programa de observación.

Se recomienda redactar en inglés, excepto para TCS y MONS.

SN			SN Type	m_R
SN 2002a	in decline		SNIa	24.
SN 2002b	in decline		SNIa	24.3
SN 2002c	in decline		SNIa	24.5
SN 2002d	in decline		SNIa	24.6

We propose to use the WHT PF camera with the mosaic of 2 4096x2048 thinned EEV CCD's to obtain photometry in R and I of the SNe Ia at z $\sim$ 0.6–0.65. The purpose is to trace well the era of acceleration of the expansion of the Universe. The goal is achieving photometry of S/N=20 to allow not only the proper classification of the SN Ia among the family (by elucidating their light curves), but a careful use of this sample for discrimination between different "dark energy candidates".
We estimate that exposure times for SNe Ia of a R=24.5 to get signal-to-noise of 28 (giving S/N = 20 in the subtraction) are of two and a half hours in R. We could do then 4 faint supernovae (of a magnitude as above) in 10 hours of integration.

We would add several short exposures of 20 min in each filter. A number of standards covering different air-masses should be observed for calibration purposes (a set of 4–5 photometric fields would be obtained). Adding to that the exposure time needed to obtain flatfields, bias and images of standards for calibration purposes, a night should be able to provide a point on the light curve of 4 SNe of the sample of objects discovered.
During the night awarded by CAT (spring 2001A), it was seen that it is possible to obtain good S/N photometry of those faint targets in the decline phase. Photometry of 3 supernovae at high z was done (the full reduction of the data will come as soon as final reference images are obtained).
The searches of SNe Ia at high z (Perlmutter et al. 1996) are centered in clusters and "empty" fields tiled next to each other, all near $\delta = 0\ ^0$ and spread over the R.A range that is visible through the months Apr–Jun. Previous discovery runs have found 11-12 SNe/each weekly run. Next discovery runs will take place in March 2002 during the week previous to new moon at the CFHT and CTIO. The crucial gap to be covered here is the follow–up of the luminosity of the SNe.

8.2. En caso de utilización de equipos propios detallar en hojas adjuntas

8.3. Una vez comenzado el programa, ¿necesitará tiempo adicional en semestres sucesivos?

Sí. El proyecto ha entrado en la fase de esclarecimiento de la naturaleza de la energía oscura que requerirá tiempo adicional en el futuro.

8.4. ¿ Es la presente propuesta continuación de un programa (igual o relacionado) que ya obtuvo tiempo anteriormente?

Si $\boxed{X}$ No $\boxed{}$

En caso afirmativo, describir los resultados más importantes, especificar periodos anteriores y publicaciones generadas por cada uno (para las publicaciones referirse al apartado 9.)

Se efectuaron observaciones en el INT en Feb 28, Marzo 11 y 12, Abril 11 y Mayo 4 1997, en Diciembre 4 de 1997 y Enero 4-6 de 1998 con muy buen aprovechamiento del tiempo de observación concedido. En los semestres 98A, 98B, 100A y 100B no se nos concedió tiempo de observación. Los datos de 1997 fueron reducidos y ayudaron a construir la curva de luz de 10 supernovas a alto corrimiento al rojo. La fotometría obtenida ayuda a determinar la forma de la curva de luz de las supernovas y por lo tanto su luminosidad intrínseca. De hecho, las incertidumbres en los valores de Ω_M y Ω_Λ se redujeron gracias a los datos tomados en el 97. Con los datos recabados en el semestre 99A 99B hemos hecho la comparación de curvas de luz en el premáximo de la muestra a bajo z y la muestra a alto z que ha dado lugar a un artículo publicado recientemente. Durante el semestre 01A se obtuvieron observaciones en el TNG que sirvieron para poder determinar el declive de la curva de luz de tres supernovas en el rango de z mencionado. Se pudo observar solo dos de las tres noches (debido a un fallo de instrumentacion durante la noche de Mayo 27). Sin embargo, estas noches fueron cruciales (debido al mal tiempo en otros observatorios). Tambien se obtuvieron datos en una noche en el WHT (Junio 20).

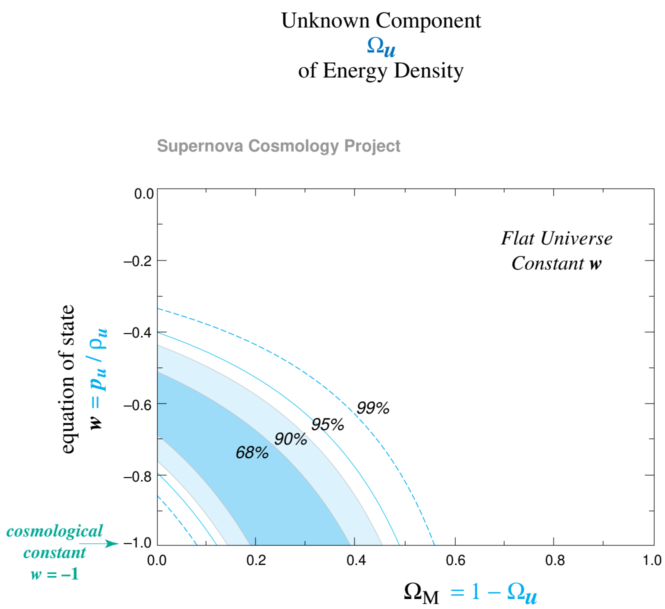
Las publicaciones son los números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 del apartado 9.

8.5. Programa alternativo: título y breve exposición. Si el programa principal es exigente en cuanto a las condiciones de observación, el programa alternativo debe estar suficientemente fundamentado

No se preve que haya escasez de objetos: siempre se puede mejorar la curva de luz de supernovas descubiertas. La experiencia actual muestra una escasez de tiempo asignado en telescopios en comparación con lo requerido para poder conseguir una buena curva de luz.

8.6. Otras peticiones de observación indicando necesidad de realización simultánea

Pedimos 7(4) noches en el TNG para seguimiento fotométrico de las SNe Ia en los corrimientos al rojo de esta campaña, z=0.35– 0.65 de las supernovas descubiertas. Dependiendo de la disponibilidad del WHT frente al TNG el programa puede distribuirse entre estos dos telescopios de la forma que sea más conveniente. Pedimos una noche en el WHT para las observaciones de las SNe Ia más débiles.



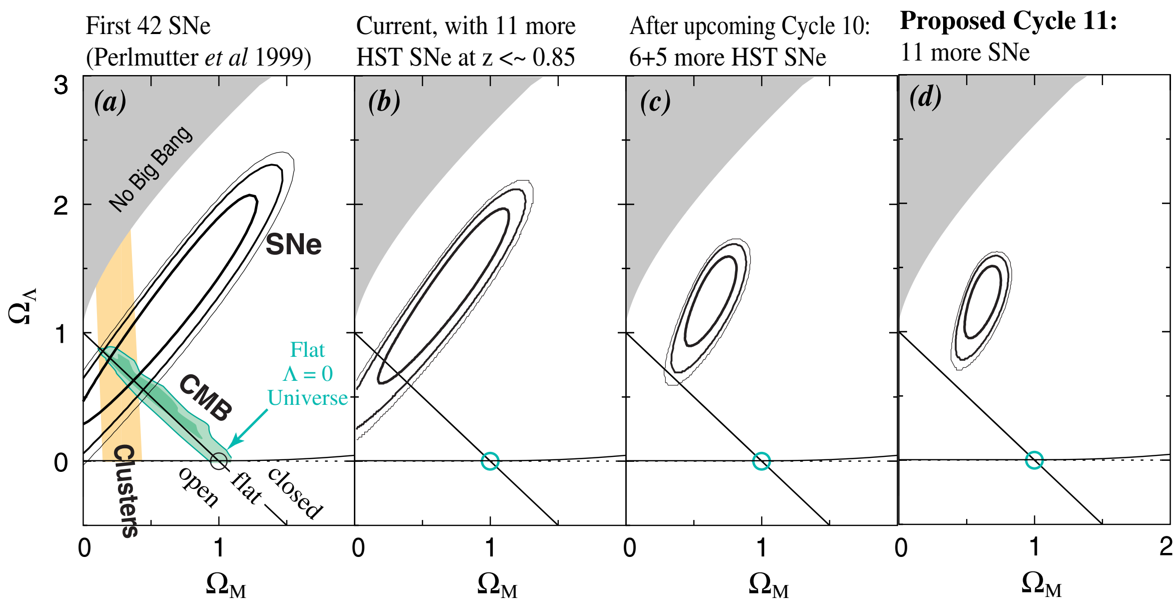


Figure 3: Gráfico superior: Dibujo de los niveles de confianza del 68 % (1 σ) y 90% de los resultados en el plano Ω_M–w para el conjunto de 42 supernovas a alto z. Los resultados sugieren que la energía oscura puede ser constante cosmológica (con w=-1) (gráfico del artículo de Astrophysical Journal). Gráfico inferior: En el panel (a) se muestran los resultados del 99; en (b) los resultados preliminares con las 11 supernovas de las últimas campañas (Knop et al. 2001); en (c) una simulación de cómo será la región de confianza al 68%,90% y 99% después de la campaña del 2002a y en (d) como será con un semestre más. Estas simulaciones muestran que nuestro programa puede comprobar la curvatura del Universo encontrada por las fluctuaciones del fondo de radiación de microondas (Jaffe et al. 2001). Este aspecto queda resaltado usando un escenario en el que el universo no fuera plano, es decir, utilizando el valor central de la región Ω_M Ω_Λ del panel (a).

9. Anteriores tiempos de observación concedidos por el CAT al investigador principal durante los tres últimos años. Asignar un número a las publicaciones resultantes de las observaciones, y dar las referencias al pie de la tabla según se indica

Telescopio	Fecha	Comentarios	N^o Publicación
INT	4-6 98 y 21/01/99	Buen aprovechamiento	1,2,3,4,5,6
INT	18/03/99 y 16–17/04/99	Buen aprovechamiento	7,8,9, 10
TNG	14,27 y 28/05/01	Buen aprovechamiento	11,12
WHT	20/06/01	Buen aprovechamiento	11,12

Publicaciones

1. *Th ESCC: progress report on observational and theoretical approaches to cosmology with supernovae, Ruiz–Lapuente et al. (the European Supernovae Cosmology Consortium,* 2000, New Cosmological Data and Values of the Fundamental parameters, IAU Symposium 201. Astron. Soc. Pacific. Conf. Ser., en prensa,
2. *Supernovae and Cosmology, Ruiz–Lapuente, P.,* 2001, in Cosmology and Particle Physics 2000 (Am. Inst. Phys.) , 575,
3. *The Supernova Cosmology Project: Measurements of the cosmological parameters Omega and Lambda from high–redshift supernovae, Knop, R.A. et al. (entre ellos N. Walton, R. Pain & P. Ruiz-Lapuente),* 1998, AAS, 191, 9501.
4. *The Supernova Cosmology Project: Cosmology from Type Ia supernovae: measurements, calibration techniques, and implications, Perlmutter, S. et al. (entre ellos N. Walton, R. Pain & P. Ruiz-Lapuente)* , 1998, AAS, 191, 8504.
5. *A Type Ia supernova at z=0.83 and implications for cosmological measurements, autores del Supernova Cosmology Project, entre ellos: S. Perlmutter, N. Walton, R. Pain & P. Ruiz-Lapuente* , 1998, Nature, 391, 51.
6. *Type Ia supernovae at high z, Ruiz–Lapuente, P.,* 1999, Nucl. Phys.B (Proc. Suppl.), 80, 153.
7. *Supernova Cosmology Project publication: Measurements of Ω and Λ from 42 supernovae at high z, Perlmutter, S. et al.,* 1999, ApJ, 517, 565.
8. *The Type Ia supernova rate at redshifts $0.35 \leq z \leq 0.85$, Pain, R., et al.,* 2001, ApJ, in press,
9. *The γ–ray background in the MeV range, Ruiz–Lapuente, P., et al.,* 2000, ApJ, 549, 438.
10. *Timescale stretch parameterization of Type Ia Supernova B-band light curves, Goldhaber et al. Supernova Cosmology Project (entre ellos Pain, Perlmutter, Ruiz–Lapuente & Walton,* 2001, ApJ, 558, 359.
11. *Latest cosmological results from Type Ia supernovae, Knop, R. et al.* , 2000, BAAS, 197, 950.
12. *New limits on cosmological parameters Ω_M and Ω_Λ from observations of 11 supernovae at redshifts z=0.36–0.86, Knop, R. et al. Supernova Cosmology Project* , 2001, en preparación,

10. Cuestiones críticas en relación a este programa

Insistimos aquí en que hay garantizado tiempo de descubrimiento para el proyecto. Pero hace falta obtener tiempo de seguimiento de las supernovas descubiertas. De otra forma su curva de luz no podrá ser obtenida y no podrán ser utilizadas.