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 alto redshift: hacia una determinación de Ω_M y Ω_Λ y el ritmo de supernovas a alto z

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

Ramon Canal 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
Andrea Visco Dpto. Astronomía. Facultad de Física. Univ. Barcelona
Nic Walton ING, La Palma

2.3. Persona de contacto

Nombre: Pilar Ruiz–Lapuente **Dirección:** Diagonal 647

Centro: Dpto. Astronomía. Univ. Barcelona 08028Barcelona

Teléfono: (93)–402 11 20 España

Fax: (93)–402 11 33 **Email:** pilar@mizar.am.ub.es

3. Resumen del programa (máximo 100 palabras)

Nos proponemos hacer un seguimiento de curvas de luz de una decena de SNe Ia a corrimiento al rojo intermedio ($0.1 < z < 0.2$) a fin de poder reducir los errores sistemáticos en la determinación de Ω_M y Ω_Λ a través del uso cosmológico de las SNe Ia. Este uso requiere identificar las SNe Ia dentro de su "familia" (en anchura de curva de luz y espectro) y poder así compararlas adecuadamente con las ya estudiadas en la muestra a alto z. Esta clasificación de acuerdo con el ritmo de declive de la curva de luz servirá asimismo en la determinación de la evolución con z del ritmo y características de supernovas.

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

Javier Mendez Univ. Barcelona
Andrea Visco Univ. Barcelona

5. Tiempo de Observación solicitado

Telescopio	Instrumento y detector	Noches	Luna	Fechas óptimas	Fechas imposibles
2.5m INT	INT–WFC + Loral CCD	8(6)	O(G)	Mar–Jun	

Justificar las fechas imposibles
Solicitamos un tiempo de seguimiento de curvas de luz repartido entre marzo y junio. Ello permitiría obtener fotometría de las SNe en distintas fases y medir el ritmo de declive en los primeros meses.

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 de 1999.

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

Fecha: 27-09-98   Fecha: 27-09-98

7. Justificación científica (no añadir hojas)

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

Resultados recientes en el estudio de las supernovas del tipo I (SNe Ia) refuerzan la posibilidad de utilizar estos objetos para una medición de los parámetros cosmológicos en base a 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; Perlmutter et al. 1996; Ruiz–Lapuente 1997; 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, han permitido superar la controvertida idea de que las SNe Ia eran candelas estándar. Tales supernovas se perciben ahora como pertenecientes a 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 nueva utilización de las SNe Ia se confirma como uno de los mejores métodos en la determinación de los parámetros cosmológicos y uno de los proyectos fundamentales en cosmología observacional (Peebles 1998).

Si consideramos las SNe Ia como candelas calibrables a través de la medida del declive de la curva de luz y de su enrojecimiento en el máximo reducimos su dispersión interna en luminosidad a σ=0.1 mag. 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 mediante un análisis a mayor orden de precisión de los resultados aportados por las observaciones (Goobar & Perlmutter, 1995).

Una vez realizada la identificación espectróscopica de las SNe, un buen seguimiento de las de tipo Ia es necesario para poner valores precisos en el plano Ω_M–Ω_Λ.

- **Necesidad de una muestra de SNe Ia a z intermedio (z=0.1–0.2)**

Alrededor de 10 SNe Ia a alto z (z entre 0.5 y 1) son descubiertas en cada periodo de descubrimiento en la semana previa a luna nueva. A fin de hacer un uso preciso de los datos ya acumulados sobre estas supernovas nuestra comprensión de las propiedades empíricas de las SNe Ia necesita ser refinado, y los sesgos en la selección de la muestra necesitan ser cuantificados. Una de las fuentes de mayor error en las incertidumbres sistemáticas proviene de nuestra utilización de la base de datos de Calan–Tololo a bajo z (Hamuy et al. 1995) como calibración de las supernovas a alto z. El programa de busqueda de supernovas de Calan–Tololo fue realizado comparando placas fotográficas, con lo que la función de selección y el sesgo (sesgo de Malmquist) en esta muestra a bajo z son difíciles de cuantificar. Esto dificulta saber si las propiedades estadísticas de supernovas distantes y cercanas son las mismas o no. A esto se añade el pequeño número de supernovas a bajo z de las que se dispone de buenos datos. Muchas de las supernovas en la muestra de Calan–Tololo no fueron descubiertas antes del máximo, lo que no permite estimar la parte del pre-maximo de las curvas de luz de la muestra. Asímismo, al estar a z demasiado bajos y no estar en el flujo de Hubble, pueden aumentar la dispersión en el diagrama de Hubble.
Estas fuentes de error pueden ser eliminadas a través del estudio sistemático de una muestra grande, homogénea de SNe Ia a z medios (z suficientemente grandes para que las supernovas estén en el flujo de Hubble: z $\sim$ 0.1 - 0.15) descubiertas con el mismo tipo de campaña y método que las descubiertas a alto z. Estas campañas ya están en funcionamiento, pero no hay tiempo asociado para el seguimiento de su curva de luz.

- **Estimación de los ritmos de supernovas**

Otra pieza importante que aportará este proyecto es la estimación de los ritmos de supernovas en función de z. El ritmo de supernovas a z grande nos informa acerca de la evolución de las galaxias y la tasa de formación de las estrellas. Asímismo, es distinta la forma del aumento en un caso u otro de progenitor (Ruiz-Lapuente, Canal y Burkert 1996). Hemos realizado predicciones teóricas sobre el número de supernovas por unidad de mag, grado cuadrado y año que se pueden esperar de acuerdo con distintos modelos de explosión y distintos modelos de Universo (Ruiz-Lapuente & Canal 1997), y estamos contrastando estos resultados con los datos observacionales proporcionados por Pain et al. (1996, 1997).

Referencias

1. *Ruiz-Lapuente, P. & Canal, R.*, 1998, ApJL, 497, 1.
2. *Goobar, A., & Perlmutter, S*, 1995, ApJ, 450, 14.
3. *Hamuy, M., et al.*, 1995, ApJ, 109, 1.
4. *Nugent, P. et al.*, 1997, ApJL, en prensa,
5. *Pain, R., et al.*, 1996, ApJ, 473, 356.
6. *Pain, R., et al.*, 1998, ApJ, en preparación,
7. *Peebles, J.*, 1998, in, Les Rencontres de Physique de la Vallée d'Aosta,, in press.
8. *Perlmutter, S., et al.*, 1995a, ApJ, 440, L41.
9. *Perlmutter, S., et al.*, 1995b, 1996a, IAU Circ., 5956, 5958, 6223, & 6270,
10. *Perlmutter, S., et al.*, 1996b, ApJ, 483, 565.
11. *Perlmutter, S. et al. Supernova Cosmology Project,* 1998, Nature, 391, 51.
12. *Phillips, M., et al.*, 1993, ApJ, 413, L105.
13. *Riess, A., et al.*, 1995, ApJ, 438, L17.
14. *Ruiz–Lapuente, P., Burkert, A., & Canal, R.*, 1995, ApJ, 417, L69.
15. *Ruiz–Lapuente, P., Canal, R., & Isern, J.*, 1995, Thermonuclear Supernovae, Kluwer Academic Publishers,
16. *Ruiz–Lapuente, P.*, 1997, in From Quantum Fluctuations to Cosmological Structures: ASP Conf. Ser., 126, 207.
17. *Walton, N., & Ruiz–Lapuente, P.*, 1997, IAUC , 6596,
18. *Ruiz–Lapuente, P.*, 1998, El Pais, 7–01–1998, 24.

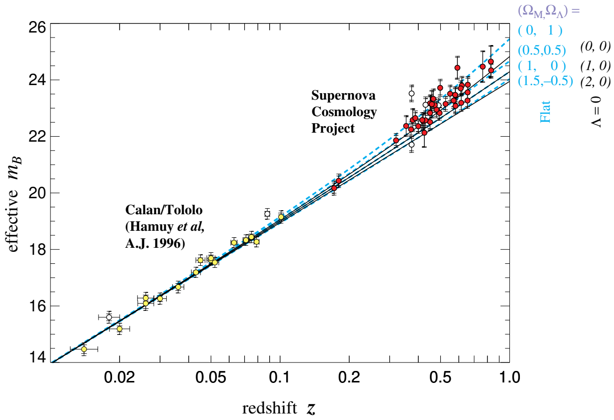

Figure 1: Figura 1b. Diagrama de Hubble obtenido con 40 SNe Ia a alto z. Para la muestra de calibración hemos utlizado SNe Ia a bajo z proporcionadas por el Calan–Tololo survey. La obtención de una muestra completa a z intermedio (z entre 0.1 y 0.2) es necesaria para reducir las incertidumbres sistemáticas.

7.2. ¿Tiene el grupo experiencia observacional previa con instrumentación similar?
¡ Si $\boxed{X}$ No $\boxed{}$

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

1. *The cosmological parameters from supernovae,*
   Ruiz–Lapuente, P., 1997, in From Quantum Fluctuations to Cosmological Structures, ASP Conf. Ser., 126, 207.
2. *The Type Ia supernova rate at z≈ 0.4,*
   Pain, R., et al., 1996, ApJ, 473, 356.
3. *Measurements of the cosmological parameters Ω and Λ from the first 7 supernovae at z≥ 0.35.,*
   Perlmutter, S., et al. , 1996, en Thermonuclear Supernovae, 749,
4. *Type Ia SN counts at high z: constraints on progenitors and cosmological models,*
   Ruiz–Lapuente, P., & Canal, R., 1995, ApJL, 497, 1.
5. *A Type Ia supernova at z= 0.83 and implications for cosmological measurements,*
   Perlmutter, S., other authors, Walton, N., Ruiz-Lapuente, P. et al. , 1997, Nature, 391, 51.

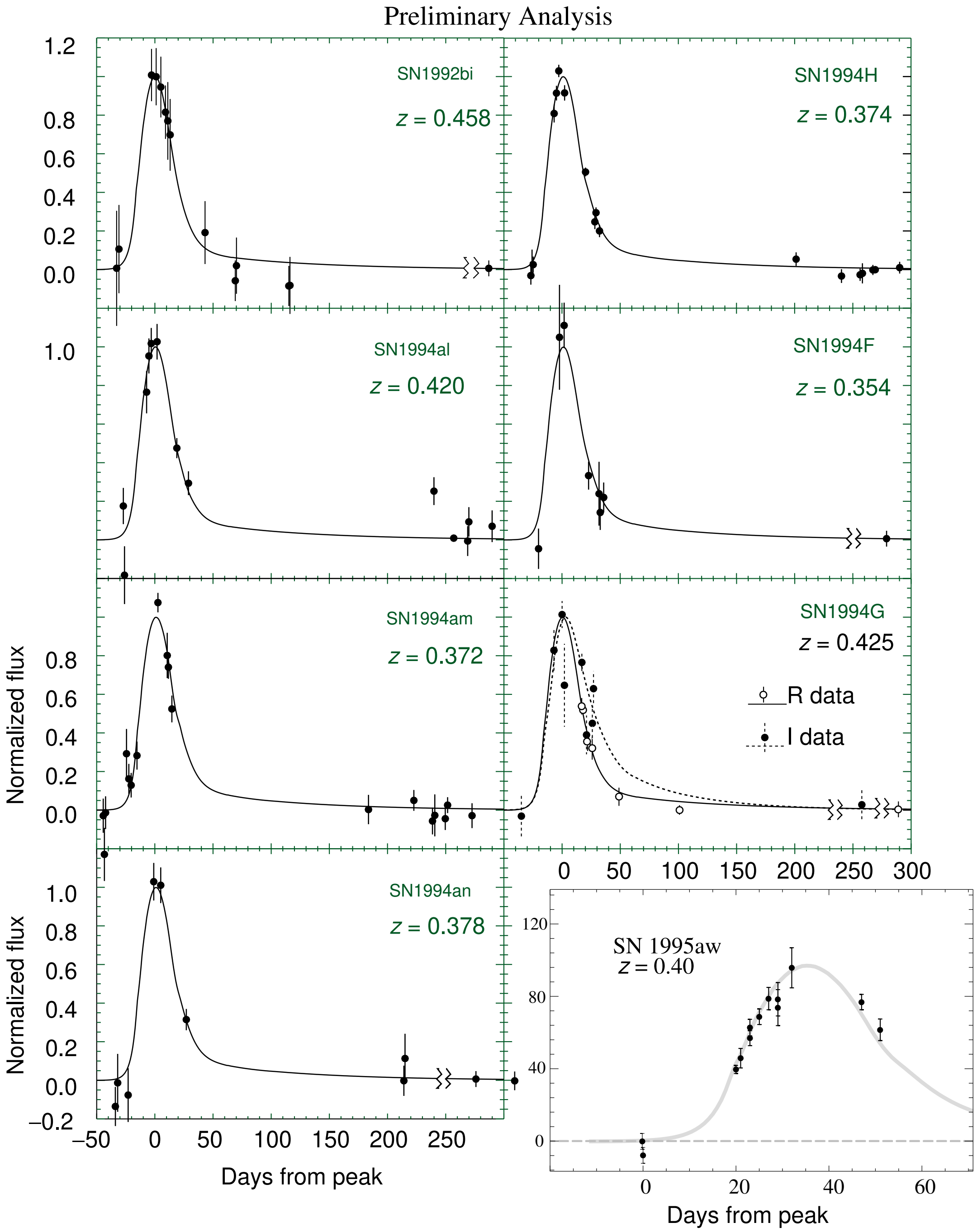

Figure 2: Figura 1a. Curvas de luz de supernovas a varios corrimientos al rojo. Para obtener valores precisos de Ω_M y Ω_Λ es necesario determinar el ritmo de declive de la curva de luz de las supernovas. Si consideramos las SNe Ia como candelas calibrables a través de la medida del declive de la curva de luz reducimos su dispersión interna en luminosidad a σ=0.1 mag. Si no obtuviesemos ese valor, la dispersión es 5–6 veces mayor y su uso en determinaciones cosmológicas queda empobrecido.

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 1992bi			SNIa	22
SN 1997ek			SNIa	23.8
SN 1997el			SNIa	23.1
SN 1997em			SNIa	23.6
SN 1997ep			SNIa	22.4
SN 1997eq			SNIa	22.5
SN 1997er			SNIa	22.30
SN 1997et			SNIa	23.2
SN 1997eu			SNIa	22.4
SN 1997ex			SNIa	21.6

We propose to use the INT Prime Focus Wide Field Camera (WFC) with the array of 3 4096x2048 thinned EEV CCD's. We would obtain broadband U, B, V, R and I photometry of the SNe Ia at intermediate z (z=0.1–0.2) discovered during the "discovery time" period in the week previous to each new moon. The purpose is to obtain as good a coverage as possible to allow the proper classification of the SN Ia among the family (by elucidating their light curves) and to produce a meaningfully significant sample for use in the determination of the cosmological parameters.
To obtain good quality photometry of the supernovae we will require exposures of 10–15 min duration for an object of $m_R \sim 18$–21 mag in V, R and I. In U and B, 15 min exposures will be required (based on the exposure time estimates given on the ING www pages for the INT–WFC + EEV CCDs). As the supernovae become fainter (the limit is $m_R \sim 24$ mag), we would add several short exposures of 20 min in each filter. Thus, in optimal conditions, during a night one could possibly collect images of 5–7 SNe discovered. This can be compared with the expected detection of 10 new SNe Ia supernova in each discovery period. A number of standards covering different air-masses should be observed for calibration purposes (a set of 4–5 photometric fields would be enough). Adding to this that the goal is to achieve the best coverage of the light curve decline as possible, the proposed number of nights for this project is justified. The actual list of SNe would be updated according to the epoch of the allocated time and in coordination with the discoveries done during the week previous to new moon. Examples of previous discoveries are given in Table 1.
Observation of a SNIa sample of 5 SNe similar to that of Table 1 would require, in favourable conditions, a minimum of 10 hours of integrations. 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 5 SNe of the sample of objects discovered. Two nights per shift (minimum 1 night/shift) seems to be needed along the decline in luminosity of the supernovae. A shift of 2(1)days each 8-10 days would allow a good measurement of the decline rate (thus we ask to spread the total time of 8 days in 2(1) days shifts each 8-10 days during the semester).
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 Oct–Jan. Previous discovery runs have found 11-12 SNe/each weekly run. Next discovery runs by the Supernova Cosmology Group will take place in March 99 during the week previous to new moon. 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 estudio de los factores sistemáticos que se ha iniciado precisa de la obtención de una muestra de una veintena de SNe Ia a z=0.1-0.2.

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 y 98B 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.

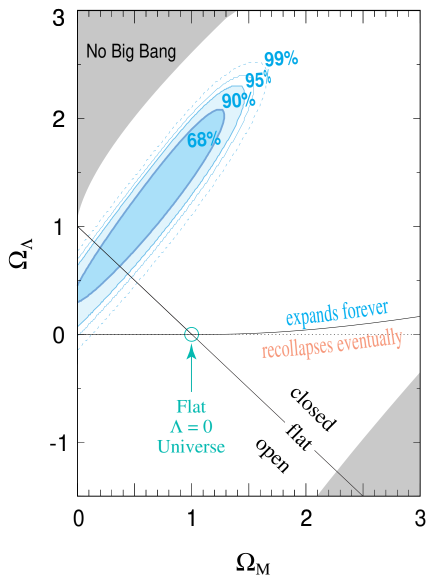

Figure 3: Figura 2. Dibujo de los niveles de confianza del 68 % (1 σ) y 90% de los resultados en el plano Ω_Λ–Ω_M para el conjunto de 40 supernovas a alto z. Los resultados sugieren un Universo con baja Ω_M y una constante cosmológica no nula (gráfico del artículo enviado a Astrophysical Journal).

Aunque las barras de error estadístico se han reducido con la ampliación de la muestra obtenida de supernovas a alto z, es necesario reducir las incertidumbres sistemáticas asociadas a la falta de una muestra completa de SNe Ia a z entre 0.1 y 0.2. Es necesario proseguir con la comparación de muestras de supernovas lejanas y cercanas y estudiar los efectos sistemáticos. El papel del telescopio INT es crucial en este esfuerzo. Las publicaciones son los números 3, 4, 5, 6, 7 y 8 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 tiempo en el WHT para la identificación espectral de las supernovas descubiertas

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
WHT	1/02/95	0.5*: media noche	1,2
WHT	2/04/95	0.5*, Mal tiempo	1
WHT	19/07/95	0.5*, Probl. instr.	1
WHT	30/01/97	Mal tiempo: no se observó	
WHT	3/01/98	Buen aprovechamiento	7
INT	28/02/97	Buen aprovechamiento	3,4,5,8,9
INT	11-12/03/97	Buen aprovechamiento	3,4,5,6,8,9
INT	4-6 y 21/01/98	Buen aprovechamiento	6,8,9

<u>**Publicaciones**</u>

1. *The Hubble constant from ^{56}Co–powered Nebular Candles, Ruiz–Lapuente, P.,* 1996, ApJ, 465, L83.
2. *The cosmological parameters from supernovae, Ruiz–Lapuente, P.,* 1997, From Quantum Fluctuations to Cosmological Structures, ASP Conf. Ser., 126, 207.
3. *Supernovae, Walton, N. & Ruiz–Lapuente, P. ,* 1997, IAUC, 6596,
4. *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.
5. *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.
6. *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.
7. *Supernova Cosmology Project publication: High-z SNe Ia spectra, Kim, A., Ruiz–Lapuente, P., et al.,* 1998, ApJ, en preparación,
8. *El Universo se salvara del colapso final, Ruiz–Lapuente, P.,* 1998, El Pais, 7–01–1998, 24.
9. *Supernova Cosmology Project publication: Measurements of Ω and Λ from 42 supernovae at z$\approx$ $0.2-0.85$, Perlmutter, S. et al.,* 1998, ApJ, enviado,

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.