



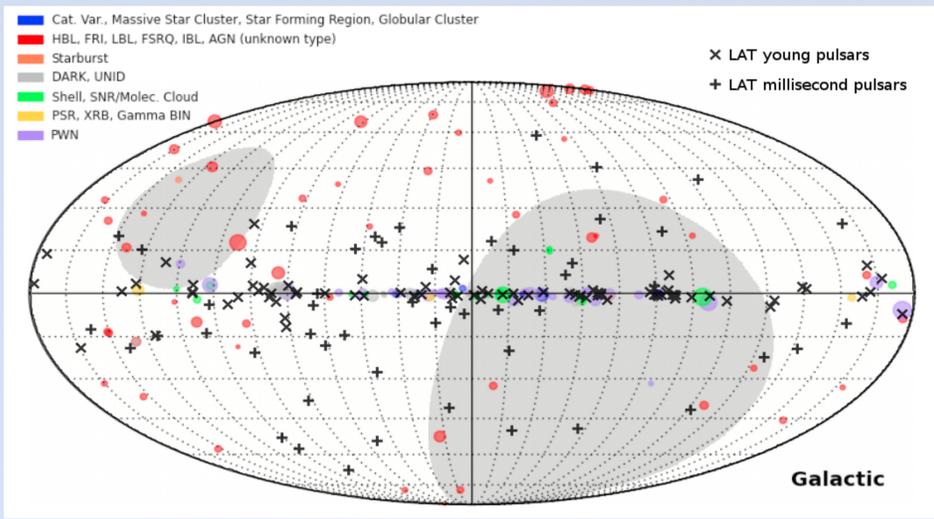
# El uso de púlsares para probar la Relatividad General con HAWC

P. M. Saz Parkinson<sup>1,2</sup>, A. Carramiñana<sup>3</sup> y C. Alvarez Ochoa<sup>4</sup> para la Colaboración HAWC  
<sup>1</sup>SCIPP/UCSC, USA; <sup>2</sup>University of Hong Kong, Hong Kong; <sup>3</sup>INAOE, Mexico; <sup>4</sup>UNACH, Mexico



## Introducción

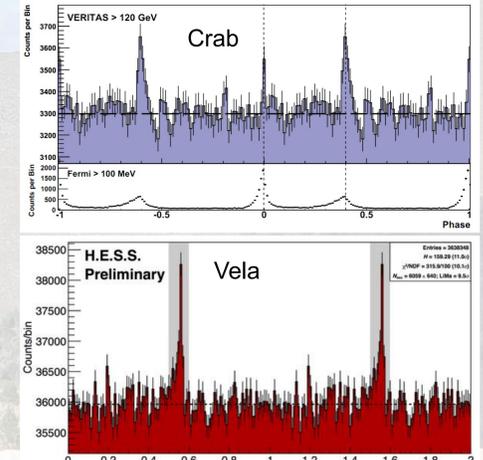
Desde el 2008, la población de púlsares en rayos gamma se ha incrementado desde aproximadamente media docena hasta más de 160, gracias a los descubrimientos de *Fermi* LAT. Una gran fracción de estos púlsares (~100) están en el campo de visión de HAWC, la mitad de los cuales son púlsares jóvenes y la otra mitad son púlsares de milisegundos (MSPs, por sus siglas en inglés). **HAWC** buscará pulsaciones a energías de TeV en todos estos púlsares.



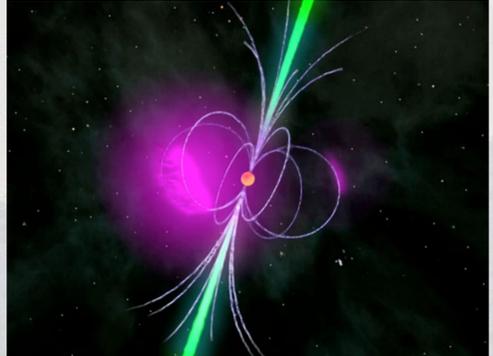
**Fig. 1:** Mapa (en coordenadas galácticas) mostrando (en blanco) la parte del cielo que es accesible a HAWC (ángulo cenital < 45°). El mapa incluye fuentes conocidas en TeV, así como los púlsares detectados por *Fermi*-LAT (hay 99 en el campo de visión de HAWC - 53 'jóvenes' y 46 MSPs).

## Púlsares en rayos gamma

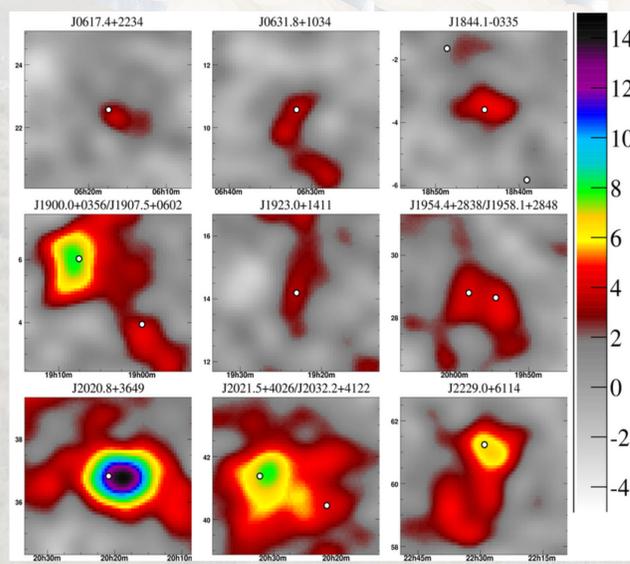
Los **púlsares** son estrellas de neutrones rotando a gran rapidez, que emiten radiación electromagnética desde radio hasta rayos gamma. La radiación es emitida por partículas aceleradas en campos magnéticos intensos. Dicha emisión es pulsada por razones de geometría, al estar los ejes magnéticos y de rotación desalineados. Actualmente se conocen > 2000 púlsares. Por encima de 1 GeV, *Fermi* ha detectado más de 160, algunos de ellos hasta > 10 GeV, y detectores terrestres han detectado dos de ellos (el *Crab* y *Vela*)



**Fig. 3:** Dos púlsares de rayos gamma han sido detectados por detectores terrestres: el *Crab* (por MAGIC y VERITAS) y *Vela* (por H.E.S.S.). Recientemente MAGIC ha presentado una detección del *Crab* hasta energías > 1 TeV.



**Fig. 2:** Los haces de radiación de los púlsares están desalineados con el eje de rotación. Al barrer nuestro campo de visión, normalmente crean un perfil de pulsos con dos picos (ver a izq.). Se piensa que los haces de radio (verde) se originan en los polos magnéticos, mientras que los de rayos gamma (magenta) vienen de la magnetosfera externa. Ilustración de NASA/*Fermi*/Cruz deWilde NASA/*Fermi*/Cruz.

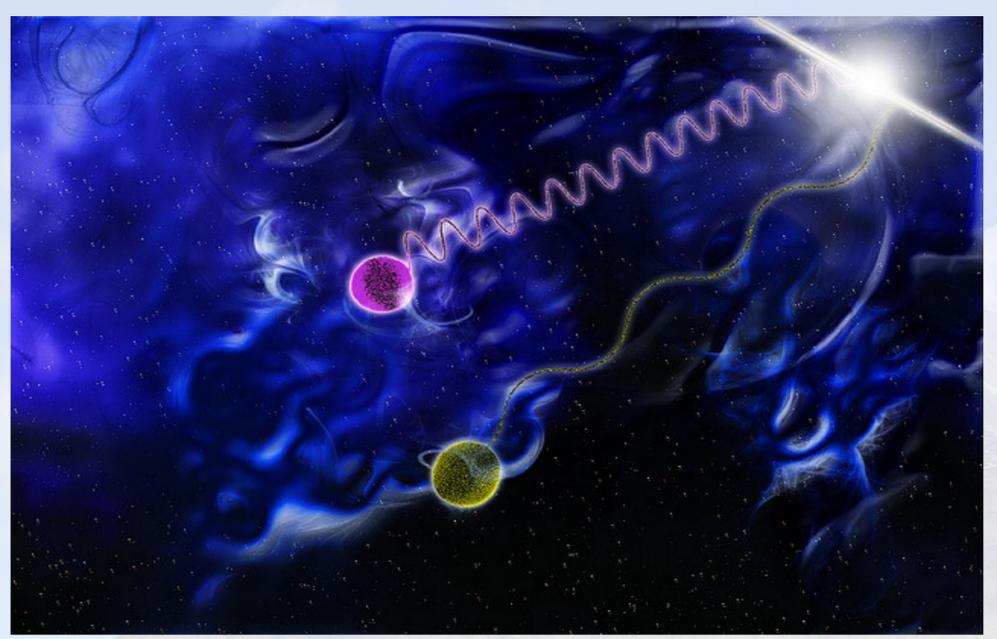


**Fig. 4:** Fuentes de TeV de Milagro coincidentes con fuentes brillantes de GeV de *Fermi* LAT (puntos blancos), la mayoría de las cuales están asociadas a conocidos púlsares de rayos gamma [Abdo et al., *ApJL*, **700**, 127 (2009)].

**Emisión en TeV coincidente con púlsares** ha sido detectada por muchos instrumentos terrestres, incluyendo MILAGRO (2000-2008), el predecesor de HAWC. Gran parte de esta emisión es posible que venga de pleriones, en lugar de los púlsares, pero **HAWC**, 30x mejor que Milagro, nos ayudará a clarificar esta cuestión.

## Probando la teoría de Relatividad General con púlsares

A pesar de sus muchos éxitos, la teoría de Relatividad General (GR, por sus siglas en inglés) es incompatible con la mecánica cuántica. La búsqueda de una teoría de gravedad cuántica (QG en inglés) ha sido una de las grandes metas de la física y astronomía en las últimas décadas. Los púlsares, con sus propiedades tan extremas (ej. densidades, periodos de rotación) son de las mejores herramientas para esta búsqueda. Los estallidos de rayos gamma (GRBs) son otro tipo de fuente astrofísica que puede ser explotada para estos propósitos (ver póster de Harding, Nellen y Pérez). Aunque una teoría de gravedad cuántica aún no existe, podemos buscar pistas de dicha teoría probando donde GR ya no se cumple. Una tal prueba consiste en buscar violaciones de uno de los principios fundamentales de GR, que es la constancia de la velocidad de la luz. La violación de este principio podría resultar en el retraso de fotones de alta energía con respecto a fotones de más baja energía (ver Fig. 5).

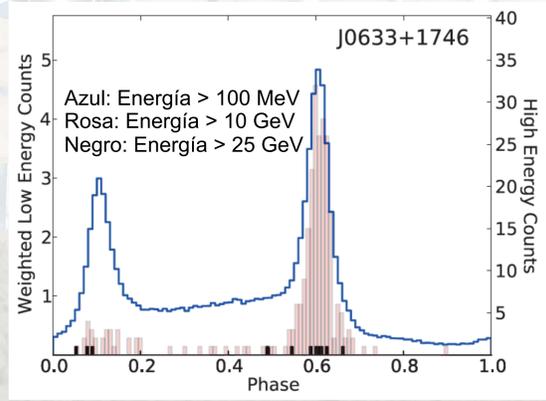


**Fig. 5:** En esta ilustración, un fotón (morado) de alta energía (longitud de onda corta) viaja a menor velocidad que uno de baja energía (longitud de onda larga). Midiendo la diferencia entre el tiempo de llegada de los fotones, podemos investigar la naturaleza cuántica de la gravedad. Dicho retraso nunca ha sido detectado (ej. ver Fig. 3, parte superior, donde los picos de el *Crab* a > 100 MeV están en el mismo sitio que los de > 120 GeV). Ilustración: NASA/Sonoma State University/Aurore Simonnet.

Aunque no hay predicciones exactas del retraso cuántico-gravitacional, se espera que dicho retraso sea pequeño y sólo se manifieste a muy altas energías (la *escala cuántica*). La sensibilidad de nuestras pruebas depende de la distancia de los púlsares, la diferencia de energía de los fotones, y el periodo del púlsar. Búsquedas anteriores, usando observaciones del púlsar *Crab* (P ~ 30 ms, distancia ~ 2 kpc) pueden ser mejoradas enormemente utilizando púlsares de periodos mas cortos, mas distantes, y detectándolos hasta mas altas energías.

## Púlsares candidatos para HAWC

La detección del púlsar en el *Crab* a energías por encima de 25 GeV por MAGIC [Aliu et al., *Science* **322**, 1221 (2008)] fue un hito histórico.



**Fig. 6:** Observación de *Geminga*, uno de los púlsares de rayos gamma mas brillantes, utilizando 3 años de datos de *Fermi* LAT [Ackermann et al., *ApJS* **209**, 34 (2013)]. El bajo número de fotones a > 25 GeV se debe sobre todo al pequeño tamaño del LAT. Milagro detectó emisión extensa de *Geminga* [Abdo et al., *ApJL*, **700**, 127 (2009)], pero con HAWC podremos hacer búsquedas sensibles de pulsaciones a muy altas energías.

Desde entonces, tanto VERITAS como MAGIC han demostrado que el *Crab* emite hasta por lo menos 400 GeV y posiblemente hasta 1.7 TeV [*Fermi Symposium 2014*].

Las observaciones de *Fermi* han probado que 12 púlsares adicionales, además del *Crab*, emiten a > 25 GeV. Futuras observaciones y mediciones por *Fermi* nos proporcionarán buenos candidatos para estudios con HAWC a muy altas energías (> 100 GeV) donde los datos de *Fermi* son insuficientes.

Agradecemos a "The University of California Institute for Mexico and the United States" (**UC MEXUS**) y a El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) su financiación de este **Proyecto de Investigación Colaborativo**.