



**PROYECTO
CONSTRUCCIÓN DE UNA
ESTACIÓN PARA MEDIR LA
RESONANCIA SCHUMANN**

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto propone la construcción de una estación para medir el fenómeno conocido como Resonancia Schumann. Este fenómeno es afectado por la actividad solar y la actividad eléctrica atmosférica, por lo cual el monitoreo de sus señales nos ayuda a conocer características solares y climáticas. Esta Estación será la primera en su estilo en la región que comprende a México y el Caribe.

HIPÓTESIS

La actividad solar tiene un efecto medible en el clima terrestre y ambos impactan a la biota.

OBJETIVO GENERAL

Construir una estación terrena para monitorear la Resonancia Schumann (ESR). Mediante este monitoreo, obtendremos datos que nos permitirán estudiar el estado clima y la actividad solar, así como su posible impacto en la biota. Tomaremos en cuenta el calentamiento global y la posible próxima ocurrencia de un mínimo de actividad solar cuya duración sería de varios decenios.

INTRODUCCIÓN

Clima y Actividad Solar

Desde principios del Siglo 20 se aprecia un incremento promedio de la temperatura global del planeta de aproximadamente 0.5°C (IPCC AR4, 2007), misma que ha ocurrido junto con un incremento del CO₂ en la atmósfera. Este aumento de temperatura se ha denominado calentamiento global y se ha atribuido de manera preponderante al efecto antropogénico (IPCC AR4, 2007).

También desde principios del Siglo 20 se ha estudiado el efecto de la actividad o variabilidad solar en el entorno terrestre. Hoy en día está bien establecido que es el impacto de la actividad solar en el dominio magnético de la Tierra, la Magnetosfera, lo que produce fenómenos que tienen como manifestaciones más conspicuas a las auroras o las tormentas y subtormentas magnéticas (p. ej. Lilensten and Bornarel, 2006). A la respuesta del entorno terrestre producida por la variabilidad solar se le llama genéricamente actividad geomagnética. Está comprobado también que la actividad solar es la causante de las principales perturbaciones ionosféricas (i.e. Lilensten and Bornarel, 2006). Como evidentemente la influencia del Sol alcanza a la

atmósfera superior de nuestro planeta, surge naturalmente la pregunta ¿puede afectar el Sol las capas más bajas de la atmósfera, y por tanto al sistema climático? Actualmente, ya hay numerosos estudios que indican que en efecto la actividad de nuestra estrella incide en el clima, pero el mecanismo está todavía bajo cuestionamiento (p. ej. Mendoza and Pazos, 2009; Gray et al., 2010).

Después de analizar los estudios publicados sobre la actividad del ciclo solar 24, que inició en el año 2009, el Panel para la Predicción del Ciclo Solar 24, indica que éste será muy probablemente un ciclo de baja actividad comparado con los 6 anteriores, presentando un máximo número de manchas solares de 90 ± 10 en el año 2013 (<http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/SC24/index.html>). De hecho, los fenómenos asociados a la actividad solar han estado declinando en su intensidad (Lockwood and Fröhlich, 2007; Smith and Balogh, 2008; McComas et al., 2008). Aún más, estudios recientes sugieren que nuestra estrella se acerca un periodo secular de baja actividad solar (Abreu et al., 2008; Lockwood et al., 2009; Russell et al., 2010; Rigozo et al., 2011; Velasco-Herrera and Mendoza, 2011). Esto podría tener consecuencias relevantes para el clima terrestre: en un estudio reciente, Mendoza et al. (2010) modelaron la temperatura en el Hemisferio Norte para los años 2009-2029, correspondientes a los ciclos solares 24 y 25, encontrando que una disminución en la actividad solar podría reducir el calentamiento terrestre entre ~14% y ~44% respecto a los modelos que sólo toman en cuenta el CO₂. Ante estos resultados, la pregunta de ¿qué efecto podría tener la disminución secular de la actividad solar en el cambio climático? cobra gran importancia.

Clima, actividad solar y biota

Existe una amplia literatura en revistas del Índice de Citas, que muestran efectos de la actividad solar en diversas patologías humanas y en general en la biota (p. ej. Zahadin, 2001; Breus et al., 2002; Palmer et al., 2006; Breus et al., 2008; Mendoza and Sanchez de la Peña, 2010; Azcárate et al., 2011).

Como una posible mecanismo actividad solar-clima-biota se ha propuesto a la Resonancia Schumann (p. ej. Palmer et al., 2006; Mendoza and Sanchez de la Peña, 2010).

LA RESONANCIA SCHUMANN Y SU DETECCIÓN

El fenómeno conocido como **Resonancia de Schumann** (RS), fue descrito teóricamente por primera vez en el año 1952 (Schumann, 1952): El espacio entre la superficie terrestre y la ionosfera baja forma un capacitor, la señal RS son las resonancias electromagnéticas de esta cavidad. Estas señales se miden en la banda de frecuencias extremadamente bajas (ELF, por sus siglas en Inglés) entre los 0 y 50 Hz. Las RS están dadas por la siguiente expresión:

$$f_n = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{n(n+1)}$$

donde f_n es el armónico correspondiente a es el radio terrestre, y c es la velocidad de la luz. El modo fundamental es 10.6 Hz y los primeros cuatro armónicos son 18.4, 26, 33.5 y 41.1 Hz. La primera confirmación experimental definitiva de la RS se obtuvo por Balser and Wagner (1960) mostrando picos espectrales cerca de 7.8, 14.2, 19.6, 25.9 y 32 Hz.

Las variaciones de la RS son causadas por la actividad eléctrica global y por las actividades solar y geofísica. Hasta ahora, se han observado cambios diarios y estacionales (p. ej. Satori, 1996; Satori et al., 2007; Yatsevich et al., 2008). El estudio de la RS se está volviendo muy importante pues sus variaciones pueden monitorear eventos sísmicos (p. ej. Karakelian et al., 2000; Hayakawa et al., 2005), climáticos (p.ej. Williams, 1992; Nickolaenko et al., 1998; Barr et al., 2000; Sekiguchi et al., 2006), de la ionosfera (p. ej. Satori et al., 2007), actividad solar (p. ej. Roldugin et al., 2001; De et al., 2010; Ondrášková et al., 2011), o pueden incluso ser indicadores de fenómenos que inciden en la salud humana y en la biota (p. ej. Mitsutake et al., 2005; Palmer et al., 2006; Mendoza and Sánchez de la Peña, 2010).

En particular, en lo que concierne a eventos climáticos se puede estudiar la temperatura del planeta, el contenido de humedad en la atmósfera o la tasa de descargas eléctricas atmosféricas. Esto nos proporciona también elementos para estudiar el calentamiento global.

Respecto a la actividad solar, se puede estudiar el impacto en las capas externas de la ionosfera del flujo de rayos X, de intensos y repentinos flujos de protones (los conocidos como Ground Level Enhancements o GLEs) o bien de los rayos cósmicos.

Respecto a la biota, se ha hecho notar que los primeros armónicos de la RS coinciden con las frecuencias cerebrales de los humanos y de algunos animales ($\alpha=7-13$ Hz, $\beta=14-30$ Hz, $\gamma>30$ Hz, $\delta<4$ Hz y $\theta= 3-7$ Hz) de allí su posible impacto en la biota. Aún más, hay fuertes evidencias de que algunos animales tales como las tortugas y aves responden a cambios del campo geomagnético (p. ej. Walcott, 2005; Fuentes-Farías et al., 2010), esto nos da pie para probar el efecto de la RS en algunos ejemplares de los mismos.

El diseño y construcción de una antena dipolar para detectar la componente eléctrica de la RS es prácticamente imposible debido a las larguísimas longitudes de onda involucradas. Por ejemplo para una frecuencia de ~ 8 Hz la longitud de onda es 37 500 km. Entonces, la mejor opción es el uso de antenas inductivas que detectan la componente magnética de la RS (p. ej. Brian and Hannan, 2003; Michlmayr, 2010).

Las amplitudes de las señales eléctrica y magnética de la RS son muy pequeñas y pueden ser fácilmente enmascaradas por interferencias tanto naturales como

artificiales. Es por ello que las antenas deben tener características especiales en cuanto a su ruido interno, impedancia de entrada, filtraje y ganancia (G) (Michlmayr, 2010).

Este proyecto se desarrollaría entre los años 2012 y 2014, años que corresponden al máximo de la actividad solar del ciclo solar 24. Todos los fenómenos de la actividad solar alcanzarán su máxima intensidad, por lo cual estaremos en condiciones más favorables para observar los efectos de la actividad solar en clima y biota, aun cuando en términos comparativos, este ciclo pudiera ser de baja intensidad.

El lugar idóneo para construir la ERS es el Observatorio de Radio Centelleo que posee el Instituto de Geofísica de la UNAM en Coeneo Michoacán, pues reúne los requisitos de aislamiento necesarios para y detectar las señales con un mínimo de ruido.

LISTA DE PARTICIPANTES

Por el Instituto de Geofísica de la UNAM:

Dra. Blanca Emma Mendoza Ortega

Dr. José Francisco Valdés Galicia

Dr. Luis Xavier González Méndez

Ing. Ernesto Andrade Mascote

Ing. Daniel Rodríguez Osorio

Por el Instituto de Geofísica y Astronomía, Agencia del Medio Ambiente, CITMA, Cuba:

Ing. Pablo Sierra Figueredo

Ing. Samuel Vázquez Hernández

Estudiantes:

M. en C. Tania Azcárate Yáñez, estudiante de doctorado del Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra- UNAM

M. en C. Julia Lénica Martínez Bretón, estudiante de doctorado del Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra- UNAM

M. en C. Ernesto Ortíz Fragoso, estudiante de doctorado del Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra- UNAM

Mónica González Nava, tesista de licenciatura, Ingeniería Geofísica, ESIA-IPN.

REFERENCIAS

Abreu, J.A., Beer, J., Steinhilber, F., Tobias, S.M. and Weiss, N.O., 2008. For how long will the current grand maximum of solar activity persist? *Geophys. Res. Lett.*, 35: L20109.

Azcárate, T., Mendoza, B., Sánchez-de-la-Peña, S. and **Martínez, J.L.** Temporal variation of the arterial pressure in healthy young people and its relation to geomagnetic activity in Mexico. *Adv. in Space Res.* En revision, 2011.

Balsler, M., Wagner, C.A. Observations of earth-ionosphere cavity resonances. *Nature* 188, 638-641, 1960.

Barr, R., Jones, D.L., Rodger, C.J. ELF and VLF radio waves. *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 62, 1689-1718, 2000.

Breus, T.K, Pimenov, K.Yu., Cornèlissen, G., Halberg, F., Syutkina, E.V., Baevsky R.M., Petrov, V.M., Orth-Gomèr, K., Åkerstedt, T., Otsuka, K., Watanabe, Y., Chibisov, S.M. The biological effects of solar activity. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56, 273s-283s, 2002.

Breus, T.K., Ozheredov, V.A., Syutkina, E.V. and Rogoza, A.N. Some aspects of the biological effects of space weather. *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 70, 436-441, 2008.

Brian W. F., Hannan, R.C. Investigations of Relatively Easy To Construct Antennas With Efficiency in Receiving Schumann Resonances. Preparations for a Miniaturized Reconfigurable ELF Receiver. Langley Research Center, Hampton, Virginia. NASA/TM-2003-212647, 2003.

De, S.S., De, B.K., Bandyopadhyay, B., Paul, S., Haldar, D.K., Barui, S. Studies on the shift in the frequency of the first Schumann resonance mode during a solar proton event. *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 72, 829-836, 2010.

Fuentes-Farías, et al. Orientándose hacia el mar: la interacción entre modalidades sensoriales define la ruta en crías de la tortuga marina negra *Chelonia agassizi*. *Biológicas*, 12, 46-51, 2010.

Gray, L.J., Beer, J., Geller, M., Haigh, J.D., Lockwood, M., Matthes, K., Cubasch, U., Fleitmann, D., Harrison, G., Hood, L., Luterbacher, J., Meehl, G.A., Shindell, D., van Geel, B. and White, W., 2010. Solar influences on climate. *Rev. Geophys.*, 48: RG4001.

Goldberg, N., Gannett, R.T., Burnett, N.E., et al., Occupational and Environmental Medicine, 2008.

Hayakawa, M., Ohta, K., Nickolaenko, A.P., Ando, Y. Anomalous effect in Schumann resonance phenomena observed in Japan, possibly associated with the Chi-chi earthquake in Taiwan. *Ann. Geophys.* 23, 1335-1346, 2005.

IPCC (2007). Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report. The Physical Science Basis.

Karakelian, D., Klemperer, S.L., Fraser-Smith, A.S., Beroza, G.C. A Transportable System for Monitoring Ultra Low Frequency Electromagnetic Signals Associated with Earthquakes. *Seismol. Res. Lett.* 71, 423-436, 2000.

Knowlton, K., Rotkin-Ellman, M., King, G. et al in Proceedings of ISEE/ISEA The 2006 California heta wave: Impacts on hospitalizations and emergency department visits, pag. 918, 2008.

Lilensten, J. and Bornarel, J. Space weather, environment and societies. Springer, The Netherlands, 239 pp, 2006.

Linares, C. and Diaz, J. *Eur. J. Public Health* 18, 317, 2008.

Lockwood, M., Rouillard, A.P. and Finch, I.D., 2009. The rise and fall of open solar flux during the current grand solar maximum. *Astrophys. J.*, 700: 937-944.

Lockwood, M., and C. Fröhlich, 2007. Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature, *Proc. Roy. Soc.* A464(2094), 1367-1385.

McComas, D.J., R.W. Ebert, H.A. Elliott, B.E. Goldstein, J.T. Gosling, N.A. Schwadron, and R.M. Skoug, 2008. Weaker solar wind from the polar coronal holes and the whole Sun, *Geophys. Res. Lett.* 35, L18103, doi: 10.1029/2008GL034896.

Michelozzi, P., Accetta, G, D'Ippoliti, D. et al., in proceedings of Symposium Short-term effects of apparent temperature on hospital admissions in European cities: Results from the PHEWE project ISEE/ISEA, 2006.

Michlmayr, H. Magnetic Antennae for ULF. Detection and recording of Schumann resonances and other electromagnetic phenomena at frequencies below 50Hz. <http://www.dxzone.com>, 2010.

Mitsutake, G., Otsuka, K., Hayakawa M., Sekiguchi, M., Cornélissen, G., Halberg, F. Does Schumann resonance affect our blood pressure? *Biomed. & Pharmacother.* 59, S10-S14, 2005.

Mendoza, B. and Sánchez de la Peña, S. Solar Activity and Human Health at Middle and Low Geomagnetic Latitudes in Central America. *Adv.in pace Res.* 46, 449-459, 2010.

Mendoza, B., Mendoza, V.M., Garduño, G. and Adem, J. Modelling the Northern Hemisphere Temperature for Solar Cycles 24 and 25. *J. At. Solar-Terr. Phys.* 72, 1122-1128, 2010.

Mendoza, B., Pazos, M., 2009. A 22-yrs hurricane cycle and its relation to geomagnetic activity. *J. Atmos. and Solar-Terr. Phys.*, Volume 71, Issue 17-18, p. 2047-2054.

Nickolaenko, A.P., Sători, G., Zieger, B., Rabinowicz, L.M., Kudintseva, I.G. Parameters of global thunderstorm activity deduced from the long-term Schumann resonance records. *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 60, 387-399, 1998.

Ondrášková, A., Ševčík, S., Kostecký, P. Decrease of Schumann resonance frequencies and changes in the effective lightning areas toward the solar cycle minimum of 2008-2009. *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 73, 534-543, 2011.

Palmer, S.J., Rycroft, M.J., Cermack, M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface. *Sur. Geophys.* 27, 557-595, 2006.

Rigozo, N.R., Souza-Echer, M.P., Evangelista, H., Nordemann, D.J.R., Echer, E. Prediction of sunspot number amplitude and solar cycle length for cycles 24 and 25. *J. Atmos. and Solar-Terr. Phys.* 73, 1294-1299, 2011.

Roldugin, V.C., Maltsev, Y.P., Petrova, G.A., Vasiljev A.N. Decrease in the first Schumann resonance frequency during solar proton events. *J. Geophys. Res.* 106 (A9), 18555-18562, 2001.

Russell, C.T., Luhmann, J.G. and Jian, L.K. How unprecedented a solar minimum? *Rev. Geophys.* 48, RG2004, 2010.

Sători, G., M. Neska, E. Williams, Szendrő, K. Signatures of the day-night asymmetry of the Earth-ionosphere cavity in high time resolution Schumann resonance records. *Radio Sci.*, 42, RS2S10, doi:10.1029/2006RS003483, 2007.

Sători, G. Monitoring Schumann resonances-II. Daily and seasonal frequency variations. *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 58,1483-1488, 1996.

Schumann, W.O. Über die strahlungslosen eigenschwingungen einer leitenden kugel, die von einer luftschicht und einer ionosphärenhülle umgeben ist. *Z. Naturforsch* 7a:149, 1952.

Schwartz, J., Jonathan, M. and Jonathan, A. *Epidemiology* 15, 755, 2004.

Sekiguchi, M., Hayakawa, M., Nickolaenko, A.P., Hobara, Y. Evidence on a link between the intensity of Schumann resonance and global surface temperature. *Ann. Geophys.* 24, 1809–1817, 2006.

Sierra, F.P., Vázquez, H.S., Andrade, M.E., Mendoza, B. and Rodríguez-Osorio, D. Development of a Schumann Resonance Station in low latitudes: preliminary measurements. En preparación.

Smith, E.J., and A. Balogh, 2008. Decrease in heliospheric magnetic flux in this solar minimum: recent Ulysses magnetic field observations, *Geophys. Res. Lett.* 35, L22103, doi: 10.1029/2008GL035345.

Velasco-Herrera, V.M. and **Mendoza, B.** Estimations of the Total Solar Irradiance during the 21st century. Sometido a GRL, 2011.

Walcot C. 2005. Multi-modal Orientation Cues in Homing Pigeons. *Integrative and Comparative Biology*, 45: 574–581.

Williams, E.R. The Schumann resonance: a global tropical thermometer. *Science* 256, 1184-1187, 1992.

Yatsevich, E.I., Nickolaenko, A.P., Pechonaya, O.B. Diurnal and seasonal variations in the intensities and peak frequencies of the first three Schumann-resonance modes. *Radiophysics and Quantum Electronics* 51, 528-538, 2008.

Zhadin M.N. Review of Russian literature on biological action of DC and low-frequency AC magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 22, 27-45, 2001.

CONTRIBUCIÓN DEL PROYECTO

De lo expuesto en la INTRODUCCIÓN, y del hecho de que la actividad solar en el periodo de desarrollo del presente proyecto estaría en su máximo, identificamos dos problemas que abordaremos en el presente proyecto: a) Actualmente uno de los retos en estudios climáticos es separar los efectos antropogénicos de los cambios naturales. La variabilidad solar es una posible causa natural que influye en el clima y es necesario evaluar el alcance de su influencia con el objetivo de tener un entendimiento científico más completo del problema, lo cual a su vez permita elaborar políticas poblacionales respecto al impacto presente y futuro del cambio climático sobre la sociedad. Además, hay que tomar en cuenta la probable ocurrencia de un mínimo de largo plazo en la actividad solar. Y b) Así mismo es también necesario evaluar el posible impacto que el

clima y la actividad solar puedan tener en la biota en el contexto del cambio climático y de un posible periodo próximo de baja actividad solar.

OBJETIVOS PARTICULARES DEL PROYECTO

A continuación se describen los objetivos particulares a ser desarrollados en este protocolo que se envía a evaluación a la RedCyTE:

1. Colocación de las tres antenas Schumann con las que ya se cuenta
2. Construcción de los receptores
3. Construcción de la plataforma donde se colocará las antenas
4. Desarrollo del software para el análisis de las mediciones
5. Análisis de las mediciones

PROYECCIÓN DE LAS ACTIVIDADES CON LOS OBJETIVOS DE LA REDCYTE:

A continuación se transcriben los objetivos generales de la RedCyTE (*en cursivas*) y se describe la vinculación que existe entre los mismos y las actividades propuestas en este protocolo:

Llevar a cabo estudios estratégicos para establecer la prospectiva de crecimiento nacional de las CTE, los cuales serán de utilidad para conformar el plan nacional de desarrollo de las CTE.

- Integrar a través del Proyecto Schumann al Proyecto Nacional en CTE el seguimiento de fenómenos espaciales que afectan clima y biota terrestre desde un observatorio en superficie.

Desarrollo de acuerdos de cooperación entre las instituciones que racionalicen el uso de infraestructura de investigación, permitan compartir conocimiento y personal para establecer programas efectivos de formación de recursos humanos en las CTE.

- Dichos acuerdos de colaboración ya han sido establecidos formalmente entre los colaboradores suscritos en este protocolo. Claramente contempla la formación de recursos humanos en los temas de interés para las CTE.

Formación de masa crítica de especialistas para el desarrollo de las CTE en los ámbitos académicos, empresarial y gubernamental. Establecimiento de programas académicos que permitan desarrollar la capacidad industrial y de servicios en los sectores estratégicos que se relacionan con las CTE.

- Actualmente el proyecto cuenta con una masa crítica de especialistas académicos en diversas áreas vinculadas a las CTE. Dada su naturaleza, el Proyecto implica forzosamente la interacción con el ámbito industrial y gubernamental de México y Cuba.

Establecimiento de infraestructura estratégica en el país para la construcción de instrumentos, sensores y componentes satelitales que se integren en proyectos de CTE.

- La Estación Schumann se considera actualmente como infraestructura nacional integrada directamente al desarrollo nacional en las CTE, y constituye un proyecto único en la región que comprende a México y el Caribe.
- *Desarrollo de proyectos específicos de I&D (ver el apartado "Propuestas de proyectos a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo) para dar inicio a las actividades de la red.*
- El Proyecto ERS es uno de los proyectos específicos de la RedCyTE a ser terminados en el corto plazo.

Resultados entregables a la RedCyTE

1. Reporte técnico que contendrá: las actividades realizadas, participantes, resultados, logros y actividades futuras.
2. Reporte financiero de los recursos utilizados según lo solicita la RedCyTE de CONACYT.
3. Al menos una publicación en revista indizada durante 2013, dando crédito a la REDCyTE y el fondo CONACYT en los agradecimientos.

4. Los resultados que se planean obtener en este protocolo de proyecto servirán para someter a evaluación nuevas propuestas, a instancias nacionales y/o internacionales, para solicitar recursos económicos para futuros desarrollos.

RECURSOS ECONÓMICOS SOLICITADOS

Los recursos que solicitamos a la RedCyTE son:

Pasajes entre Coeneo Michoacán-México DF y	
Pasaje Mérida-D.F-Mérida (dos participantes)	
Pasaje México-Rio de Janeiro, Brasil- México	\$24,000.00
Viáticos	\$75,000.00
Estancia del el Ing. Pablo Sierra	\$51,000.00
Total solicitado	\$150,000.00

Pasajes: Se requiere la estancia prolongada de los participantes para colocar las antenas y aparatos necesarios para hacer la estación. Por otro lado, se prevee la asistencia de dos de los participantes del Proyecto al congreso internacional de la IAGA en Mérida Yucatán, México, y a la Conferencia Internacional de Rayos Cósmicos en Brasil, donde podrán exponer los avances del mismo.

Viáticos: Para las estancias en Coeneo, Mérida y Río de Janeiro. Además el Ing. Sierra, quien viene de Cuba tendrá que permanecer en la ERS por 4 meses.