

# Red de Tiempo y Frecuencia del SIM: Aplicación de la Diplomacia Científica en la Metrología y su Resultado en Panamá

Solís Betancur, Raúl Fernando

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID 0000-0003-1043-4294

## Abstract

Since the founding of modern metrology on May 20, 1875, with the signing of the Treaty of the Metre, the developing an International System of Units that standardized units, their use, and even the methodology for comparing them has only been possible through a great diplomatic effort, and therefore the use of Scientific Diplomacy has made this possible. In Panama, the work carried out through Scientific Diplomacy, through the SIM Time and Frequency Network, helped to rapidly advance the Time and Frequency Metrology through an open flow of information, constant cooperation, and participation in regional projects. This resulted in an increase in our technical capabilities, an improvement in the laboratory and county reputation, and the inclusion in projects of international impact, concluding with the positioning of Time and Frequency Metrology within CENAMEP AIP as a reference in Central America and the Caribbean.

**Keywords:** Metrology, time, science diplomacy, comparisons, GPS.

## Resumen

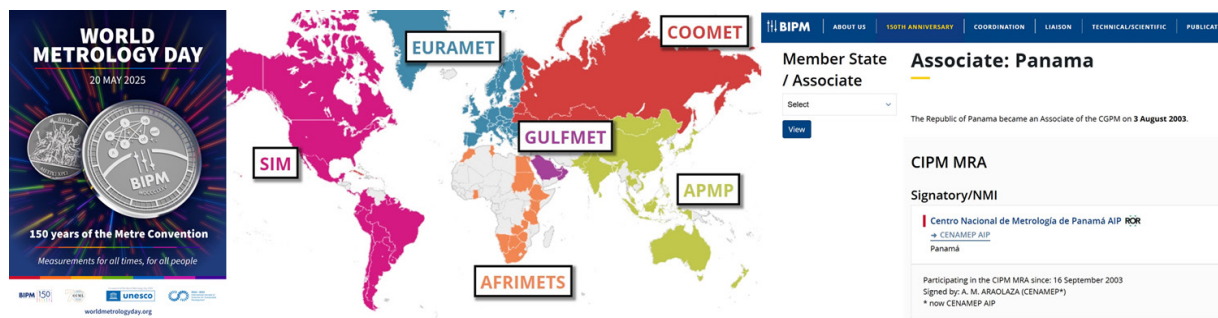
Desde la fundación de la metrología moderna el 20 de mayo de 1875 con la Firma del Tratado del Metro, desarrollando un Sistema Internacional de Unidades que normalizó tanto las unidades, como su empleo y hasta la metodología de compararse, solo fue posible mediante un gran esfuerzo diplomático y por ello el empleo de una Diplomacia Científica que lo ha permitido. En Panamá, el trabajo realizado por medio de la Diplomacia Científica, a través de la Red de Tiempo y Frecuencia del SIM ayudó a avanzar rápidamente la Metrología de Tiempo y Frecuencia mediante el flujo abierto de información, cooperación constante y la participación en proyectos a nivel regional. Esto trajo como resultado un incremento en nuestras capacidades técnicas, mejora en la reputación del laboratorio y el país, y la inclusión en proyectos de impacto internacional, concluyendo en el posicionamiento de la Metrología de Tiempo y Frecuencia en el CENAMEP AIP como una referente en Centroamérica y el Caribe.

**Palabras claves:** Metrología, tiempo, diplomacia científica, comparaciones, GPS.

## 1. INTRODUCCIÓN

La metrología moderna nace del Tratado del Metro, buscando normalizar las capacidades técnicas y científicas con respecto a las mediciones y la expresión de los resultados, ya que un mundo conectado debería comunicarse empleando el mismo lenguaje técnico (especificaciones de tamaños de rieles, tuercas y hasta unidades para describir velocidades y distancias): “Medidas para todos los tiempos, todas las personas”. En 1976, a manos del Prof. Anselmo Araolaza, se establece la metrología en Panamá bajo el proyecto de la ONUDI “Long Term Metrification” [1]. En el año 2002 surge la Metrología de Tiempo y Frecuencia (MTF) en el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP), cuando se adquirieron los primeros dos Relojes Atómicos de Cesio 133, bajo la iniciativa de la SENACYT para impulsar la Ciencia y la Tecnología (CyT).

Al firmar Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM) en 2003 (como se muestra en la Figura 1), se reconoce al CENAMEP como el Instituto Nacional de Metrología (INM) de Panamá y miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM), un Organismo Regional de Metrología (ORM). Con la incorporación a la realización del Tiempo Universal Coordinado (UTC) mediante el UTC(CNMP), se busca establecer lazos para el desarrollo de la MTF en Panamá, con el objetivo de que las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) desarrolladas sean reconocidas. Como parte de esas ayudas, el Departamento de Tiempo del BIPM envía un receptor GPS, sin costos adicionales al del proceso de transporte, para realizar la calibración de nuestro receptor GPS empleado para comparar el UTC(CNMP) con el resto del mundo.



**Figura 1.** El desarrollo de la metrología moderna ha sido en base a la diplomacia. Desde la Firma del Tratado Diplomático del Metro el 20 de mayo de 1875 (reconocido por la UNESCO como el día de la Metrología), hasta la forma en cómo se organizan los ORM, responden principalmente a elementos diplomáticos (política, cultura, economía e integración).

En el año 2005, se crea la Red de Tiempo y Frecuencia del SIM [2] o SIMTN, con la cual se buscó potenciar la coordinación y consolidación de las realizaciones de UTC en las zonas del Norte, Centro, el Caribe y el Sur del SIM, debido a la alta desigualdad que estaba teniendo el desarrollo de la MTF. En diciembre de 2005, el CENAMEP recibe un receptor GPS especializado para el proyecto de parte del NIST (INM de EE. UU.) y se consolida como el 4to participante en este proyecto. Esto fue planificado por parte del Dr. J. Mauricio López Romero del CENAM (México) siendo Chair del Grupo de Trabajo de Metrología de Tiempo y Frecuencia (GTMTF) debido a: 1) la participación del Panamá en el UTC y, 2) la posición geográfica que permite ver todos los satélites GPS en ambos hemisferios. Estos dos elementos permitían emplear a Panamá como un pivote para comparar los INM en el hemisferio norte y hemisferio sur del SIM en “tiempo real” [3], ayudando a que el proyecto siguiera creciendo e incluyendo más INM de América [4]. Como parte de participar en el proyecto, se accedió a expertos dispuestos a apoyar en lo necesario para el éxito de la SIMTN, comenzando un proceso de transferencia de conocimiento técnico y de acercamiento a los tomadores de decisiones para sensibilizarlos sobre la importancia de la MTF en los INM. Esto ayudó al posicionamiento de Panamá como un país de referencia en la región de Centroamérica y el Caribe en términos de MTF.

## 2. MÉTODO

### A. Enfoque del Grupo de Trabajo en Metrología de Tiempo y Frecuencia

El grupo tuvo como enfoque trabajar siempre en tres puntos: Comunicación entre Pares, Trabajo en el Liderazgo y la Sensibilización de la Dirección. El trabajo en el punto de la Comunicación entre Pares fue: el tener siempre una comunicación directa con el personal de los INM, manteniendo un flujo libre y de amplio acceso a toda información técnica y documentación posible para que la comunidad así pueda mejorar sus capacidades, apoyo constante al trabajo en equipo impulsando la colaboración en proyectos regionales y la participación en talleres, entrenamientos y visitas a INM más avanzados. Con esto se busca mitigar los efectos de la alta rotación de los metrologos (en los INM del SIM la rotación es muy elevada y en los objetivos directivos no está el gestionar el conocimiento adquirido). El trabajo en el punto de Trabajo en el Liderazgo: se buscó el potenciar nuevos líderes en la región y no enfocar el liderazgo solo en los grandes INM, sino que el liderazgo cambie de acuerdo con las necesidades de la comunidad. Y con respecto al trabajo en el punto de Sensibilización de la Dirección fue: cada vez que se diera la oportunidad, los miembros siempre buscarían tener divulgación constante con directores y otras partes interesadas de los INM y ecosistemas institucionales que los soportan, sobre la importancia de la MTF para visualizar el INM, mejorar la calidad de la producción del país y abrir paso al desarrollo de CyT avanzada.

## B. Fortalecer la presencia del SIM frente a otras ORM

Como parte del fortalecimiento de la presencia del SIM en términos de MTF, se creó la página del GTMTF teniendo como objetivo de ser un portal de libre acceso a las actividades del grupo (<https://tf.nist.gov/sim/>), con el objetivo que el mundo viera las comparaciones, mostrando el trabajo del mantenimiento de los patrones de cada INM participante. Además, se muestran los encuentros realizados, junto con los participantes y las presentaciones realizadas para que se pueda acceder y darle transparencia al uso de los fondos otorgados por el SIM y los INM. Además, se busca ser un escaparate de las publicaciones realizadas para visibilizar el trabajo de los INM y que pueda usarse libremente ese conocimiento por nuestros habitantes de la región SIM.

## 3. RESULTADOS

### A. Mejoras en las Capacidades Técnicas y Científicas

Con apoyo irrestricto, comunicaciones fluidas y la realización de estadías en otros INM más experimentado, se logró un gran avance en las capacidades técnicas en MTF del CENAMEP. Solo pasaron 3 años desde que nos incorporáramos a la realización del UTC hasta que en 2006 logramos publicar las primeras CMC en MTF (que, además, fueron las primeras declaradas en el SIM en MTF). En 2011, nuevamente logramos publicar nuevas CMC, pasando de incertidumbres en frecuencia iniciales de  $1.8E-8$  Hz/Hz a incertidumbres de  $6E-13$  Hz/Hz (una mejora de 5 órdenes de magnitud), información de acceso libre a través de la Key Comparison Data Base (KCDB). Mientras que, en 2013, se establece el primer servicio controlado de diseminación del UTC mediante NTP en la región Centroamericana y del Caribe [5]. En términos de mantenimiento del UTC(CNMP), con la participación en proyectos como el SIMT y el UTCr (una versión rápida del UTC, en respuesta al SIMTN) se lograron mejoras [6] a un nivel comparable con otros INM de más experiencia. En la Figura 2, se muestra la mejora que ha tenido el UTC(CNNMP) desde su inicio, incorporación al SIMTN y demás proyectos desarrollados.

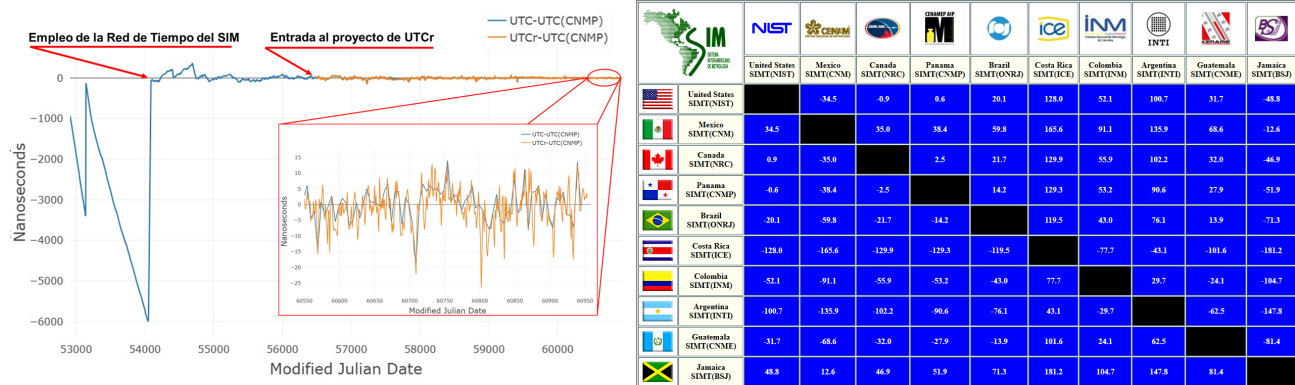


Figura 2. La mejora ha sido notable desde que se incluyó al CENAMEP en el SIMTN y la participación en el UTCr, y como esto ha ayudado en el proceso de predicción, ajuste y seguimiento del UTC(CNMP).

### B. Mejora en la reputación del laboratorio

La mejora de las capacidades técnicas y la participación en proyectos regionales mejoró la reputación del CENAMEP, ya que se pasó de ser un INM principiante y seguidor de las tendencias, a ser uno generador de conocimiento y tomador de decisiones de impacto global, transformándose en una referencia técnica en mantenimiento de Patrones Atómicos de Tiempo y Frecuencia y la creación e implementación de soluciones y servicios industriales. En 2012, se incluye formalmente un representante del CENAMEP en el Comité Consultativo de Tiempo y Frecuencia (CCTF) en Tiempo Atómico Internacional (TAI), cuando se estableció el proyecto piloto del UTCr. En el año 2013, se participa ser entrenador en MTF en el primer SIM Metrology Summer School, llevado en las instalaciones del NIST en Gaithersburg, Maryland.

En 2014, los INM de México, Ecuador y Perú nos convocan para actuar como experto técnico en la evaluación de sus CMC en MTF. Mientras que los INM de Costa Rica, Paraguay y Jamaica nos convocan para entrenarlos y ayudarlos a levantar o mejorar sus capacidades. Con estas acciones nos motivaron a realizar en el año 2015 el encuentro del GTMTF en Panamá lográndose, por votación unánime, que Panamá obtuviera la posición Chair del GTMTF por dos años y su posterior reelección en 2018 por dos años más. Como Chair, Panamá representó al SIM en discusiones de alto nivel, como la reestructuración de KCDB del BIPM, la reforma de la documentación del CCTF para alinearla a las nuevas directrices del ARM, la eliminación del Leap Second y la nueva definición del Segundo en términos ópticos. En la Figura 3, se muestra parte del resultado de este trabajo.



**Figura 3.** Panamá a través del CENAMEP (código CNMP) es reconocida como una referencia de tiempo, parte del proceso de desarrollo del TAI, la base del UTC. Además, participamos también como entrenadores en eventos internacionales como el BIPM–SIM UTC Summer School 2025.

### C. Incorporación a proyectos a nivel internacional

Con el incremento de la reputación y el reconocimiento de las capacidades técnicas del CENAMEP, comenzamos a ser incorporados en más proyectos a nivel internacional, y ya no solo como participantes, sino también diseñando y liderando: desde la incorporación al proyecto en 2005, en 2006 participamos en el establecimiento de la Escala de Tiempo del SIM. Para probar las capacidades de medida, en 2009 se desarrolló una comparación piloto para calibrar generadores de señales y se realizó el proyecto del Reloj Parlante para Panamá, ambos en colaboración con el CENAM (México), y en 2010 el CENAMEP diseño y piloteó la primera comparación SIM de Cronómetros [7], que incluía al INM de Kenia. En 2012, fuimos uno de los primeros INM en unirse al proyecto para la creación del UTCr y, en 2014, nos incorporamos a la primera Comparación Internacional de Servidores NTP [8]. Ahora, en este año 2025, nos sumamos al proyecto de actualización del SIMTN, ahora empleando mediciones GPS de doble frecuencia.

## 4. CONCLUSIONES

Podemos concluir que sin este tipo de acciones transnacionales de trabajo en conjunto y desarrollos de acuerdos de cooperación, el desarrollo de la Metrología de Tiempo y Frecuencia en América Latina, y en especial en Panamá, no pudiese haberse desarrollado adecuadamente o tal vez no se hubiera desarrollado, y los logros que se han llevado a cabo, desde la participación en la Hora Mundial, el proyecto de la Red de Tiempo y Frecuencia, la declaración y reconocimiento internacional de nuestras primeras CMC habrían quedado rezagados o incluso eliminados del desarrollo nacional, en términos de CyT y su influencia en el desarrollo de Panamá.

## Referencias

- [1] A Arolaza, "METROLOGÍA EN PANAMÁ", Historia de la Metrología en Panamá, 30 de septiembre de 2017 [En línea]. <https://araolaza.wordpress.com/opuscul/>
- [2] M. A. Lombardi, A. N. Novick, J. M. López-Romero, J. S. Boulanger, and R. Pelletier, "The Interamerican Metrology System (SIM) Common-View GPS Comparison Network," Proceedings of the Joint 2005 IEEE Frequency Control Symposium and Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, pp. 691-698, August 2005.
- [3] J. M. López-Romero, M. A. Lombardi, A. N. Novick, J. S. Boulanger, R. de Carvalho, R. Solis, and F. Jimenez, 2008, "The SIM Network: Improved Time Coordination for North, Central, and South America," Proceedings of the 22nd European Frequency and Time Forum (EFTF), 9 p., April 2008.
- [4] J. M. López-Romero, M. Lombardi, E. de Carlos-Lopez, N. Díaz-Muñoz, C. A. Ortiz, R. de Carvalho, and R. Solis, "SIM Time Scale: 10 years of operation," IEEE Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM) Digest, 2 p., July 2018.
- [5] Raúl Fernando Solís Betancur, "Servicio de Diseminación de Tiempo Por Red en el CENAMEP AIP," Proceedings of the 2016 Simposio de Metrologia, Querétaro, Mexico, 2 p., September 2016.
- [6] R. F. Solis and L. M. Mojica, "Application of SIMT and UTCr timescales for the maintenance of the Universal Time Coordinated in Panama," Proceedings of the 2014 IEEE Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIV), Panama City, Panama, 5 p., November 2014.
- [7] R. F. Solis, L. M. Mojica, H. Sanchez, O. G. Fallas, J. M. López-Romero, F. Jiménez, H. Diaz, H. Postigo, D. Perez, W. Adad, V. Masi, A. Ibrahim, M. A. Lombardi, B. Hoger, R. de Carvalho, J. L. M. Kronenberg, G. C. Orozco, T. Reddock, D. Slomovitz, and L. Trigo, "An Interlaboratory Stopwatch Comparison in the SIM Region," NCSLI Measure: The Journal of Measurement Science, vol. 6, no. 3, pp. 56-62, September 2011.
- [8] M. A. Lombardi, J. Levine, J. M. López-Romero, F. Jiménez, J. Bernard, M. Gertsvolf, H. Sanchez, O. G. Fallas, L. C. Hernández Forero, R. J. de Carvalho, M. N. Fittipaldi, R. F. Solis, and F. Espejo, "International Comparisons of Network Time Protocol Servers," Proceedings of the 46th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, pp. 57-66, December 2014.

## Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC 2025 a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.