

# El futuro del Tiempo Universal Coordinado



**ITUWRC**  
DUBÁI 2023



# Manténgase al día // // Manténgase informado



## Descubra Actualidades de la UIT

Su puerta a noticias e informaciones sobre lo digital

### Abónese hoy mismo

# El tiempo en el mundo actual

Doreen Bogdan-Martin, *Secretaria General de la UIT*

El tiempo es un elemento crucial para nuestra vida en la Tierra. Nuestras sociedades dependen de él desde hace mucho.

Probablemente, el tiempo es uno de los productos más importantes en nuestro haber. Si no utilizáramos señales horarias, no se podría delimitar los días o meses, cumpleaños o aniversarios, las fases de la luna o la medianoche. Aunque dedicuemos escasa reflexión a la razón por la que el tiempo es importante, realmente estaríamos perdidos sin él. Las señales horarias nos permiten estar sincronizados y organizados.

Una red compleja de sistemas de cronometría nos permite gestionar el tiempo en nuestra vida cotidiana, en un mundo en constante evolución. La hora y la fecha se muestran en todas partes: ordenadores, teléfonos inteligentes, televisores y todo tipo de aplicaciones y sistemas. Múltiples entidades diferentes, desde las empresas tecnológicas y los sistemas de navegación por satélite hasta los organismos de radiodifusión y los astrónomos, dependen de las señales horarias.

En los últimos años, algunos expertos han intentado modificar el tiempo universal coordinado (UTC), poniendo en entredicho la necesidad de adaptar el "segundo intercalar". En el mundo digital actual, la búsqueda de señales horarias precisas y ampliamente aceptadas suscita preguntas sobre la conveniencia de conciliar la irregularidad en la rotación de la Tierra con el ritmo constante del tiempo atómico y la manera de conseguirlo.

El objetivo de los autores de esta edición de la revista Actualidades de la UIT es contribuir al debate en curso sobre este tema antes de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones ([CMR-23](#)), que se celebrará entre noviembre y diciembre.

Las radiocomunicaciones son clave para que la Unión Internacional de Telecomunicaciones ([UIT](#)) promueva la transformación digital sostenible y haga realidad la conectividad significativa para todos. Trabajemos juntos para garantizar un sistema de cronometría que funcione para toda la humanidad.



*“Las señales horarias nos permiten estar sincronizados y organizados.”*

Doreen Bogdan-Martin

# El futuro del Tiempo Universal Coordinado

## Editorial

### **3 El tiempo en el mundo actual**

Doreen Bogdan-Martin Secretaria General de la UIT

## Introducción

### **6 El futuro del control del tiempo**

Mario Maniewicz, Director, Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT

### **9 El futuro comienza ahora**

Martin Milton, Director, BIPM

## Resumen

### **12 Avances de las emisiones de frecuencias patrón y de señales horarias**

Joseph Achkar, Presidente, Grupo de Trabajo 7A del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

### **15 Tiempo universal coordinado: Una visión de conjunto**

Patrizia Tavella, Directora, Departamento de Tiempo, BIPM

### **19 Escalas de tiempo en vigor**

Vadim Nozdrin, Consejero de la Comisión de Estudio 7 del UIT-R - Servicios científicos

## Redes digitales

### **24 Sincronización e impacto de las discontinuidades en el UTC**

Stefano Ruffini, Relator, Cuestión 13/15, Comisión de Estudio 15 del UIT-T, y Silvana Rodrigues, Ingeniera de Sistemas Jefa Principal, Huawei

## Redes digitales

### **28 El impacto del UTC en la Industria 4.0**

Tomasz Widomski, Cofundador, Elroma

### **31 La sincronización temporal en los centros de datos**

Oleg Obleukhov, Ingeniero de Producción, Meta y Ahmad Byagowi, Científico de Investigación, Meta

**ITU News**  
MAGAZINE

No. 2  
2023

# El futuro del Tiempo Universal Coordinado



Foto de cubierta: Adobe Stock (Elemento de imagen de la NASA)

ISSN 1020-4148

[itunews.itu.int](http://itunews.itu.int)

6 números al año

Copyright: © UIT 2023

Redactor jefe: Neil MacDonald

Auxiliar de edición: Angela Smith

Editora de Comunicación Digital: Christine Vanoli

Departamento editorial/Publicidad:

Tel.: +41 22 730 5723/5683

E-mail: [itunews@itu.int](mailto:itunews@itu.int)

Dirección postal:

Unión Internacional de Telecomunicaciones  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20 (Suiza)

Cláusula liberatoria:

la UIT declina toda responsabilidad por las opiniones vertidas que reflejan exclusivamente los puntos de vista personales de los autores. Las designaciones empleadas en la presente publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene, incluidos los mapas, no implican, por parte de la UIT, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de determinadas empresas o productos no implica en modo alguno que la UIT los apoye o recomiende en lugar de otros de carácter similar que no se mencionen.

Todas las fotos por la UIT, salvo indicación en contrario.

### **35 El programa del Centro Nacional de Cronometría del Reino Unido**

Helen Margolis, Jefa de Asuntos Científicos del Tiempo y la Frecuencia, Laboratorio Nacional de Física, Reino Unido

Sistemas de navegación

### **38 El sistema de navegación por satélite BeiDou y el segundo intercalar UTC**

Yuting Lin, Ingeniera Superior, Centro de Navegación por Satélite de Beijing; Yuanxi Yang, Investigador, Laboratorio Estatal Principal de Ingeniería de la Geoinformación y Bijiao Sun, Miembro del Equipo de Ingeniería, Laboratorio Estatal Principal de Ingeniería de la Geoinformación, China

Ciencia

#### **41 Impacto real en la astronomía**

Dennis McCarthy, Representante de la Unión Astronómica Internacional ante el Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia y la BIPM

#### **44 Difusión de la hora: una perspectiva histórica**

Christian Bizouard, Astrónomo, Observatorio de París (SYRTE) y Centro de Orientación de la Tierra del IERS

#### **47 Sincronización de las redes eléctricas**

Jeff Dagle, Ingeniero Eléctrico Jefe, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)

#### **51 Pasado, presente y futuro del UTC**

Andreas Bauch, Científico Principal, PTB (Instituto Nacional de Metrología) y Karsten Buckwitz, Asesor Principal del Espectro, BNetzA (Agencia Federal de Redes), Alemania

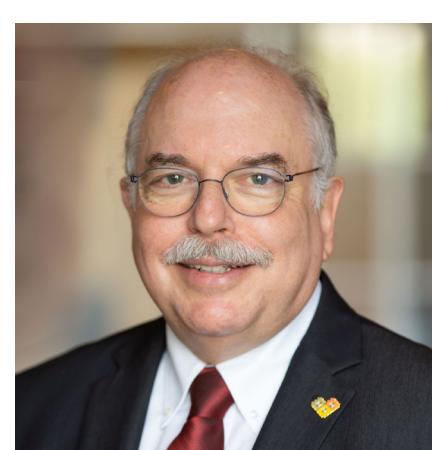
#### **54 El registro del tiempo y la necesidad de congruencia astronómica**

Rev. Paul Gabor, Vicedirector, Observatorio Vaticano, Estados Unidos

Cuenta atrás para la CMR-23

### **57 Cuenta atrás para la CMR-23**





## El futuro del control del tiempo

Mario Maniewicz, Director, Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT

Independientemente del sistema de medición que se utilice, el tiempo es crucial para todas nuestras actividades cotidianas y para el buen funcionamiento de nuestras sociedades. La manera de definir el tiempo constituye un tema de interés para científicos de todo el mundo, tanto en el pasado como en la actualidad. Durante años se utilizó la rotación de la Tierra como base para determinar la duración de un día o definir escalas de tiempo; no obstante, la adopción del tiempo universal coordinado (UTC) en 1971 supuso un gran avance para la definición del tiempo.

Poco más de medio siglo después, me complace presentar esta edición especial de la revista Actualidades de la UIT sobre la utilización y las aplicaciones futuras del UTC. Preparada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM), contiene artículos y disertaciones sobre el futuro de los diferentes métodos de registro del tiempo.

La UIT desempeña un papel fundamental en la definición y divulgación del UTC, por conducto especialmente del Grupo de Trabajo (GT) 7A del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R), que se ocupa de los servicios científicos relacionados con las emisiones de frecuencias patrón y de señales horarias.

*Independientemente del sistema de medición que se utilice, el tiempo es crucial para todas nuestras actividades cotidianas y para el buen funcionamiento de nuestras sociedades.*

Mario Maniewicz

El ámbito de actuación del GT 7A es la divulgación, la recepción, el intercambio y la coordinación mundial de los servicios de frecuencias patrón y de señales horarias. Uno de sus productos fundamentales es la Recomendación [UIT-R TF.460-6](#), Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias, que ha sido incorporada por referencia en el [Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT](#) y proporciona la definición oficial de UTC.

### Una escala de tiempo de referencia universal

En la actualidad, el UTC se utiliza para toda una gama de finalidades distintas, desde los minutos que necesita el público general para atenerse a los horarios, hasta los nanosegundos sincronizados requeridos por las aplicaciones más exigentes, como la navegación con sistemas mundiales de navegación por satélite, por ejemplo, el sistema de Posicionamiento Global (GPS), el sistema orbital mundial de navegación por satélite (GLONASS) y, más recientemente, el Galileo de Europa y el BeiDou de China.

La inmensa mayoría de comunidades de usuarios, organizaciones internacionales y expertos en cronometría han puesto de manifiesto la necesidad de establecer una única escala de tiempo de referencia universal. La principal dificultad radica en convertir el UTC en una escala de tiempo continua, en lugar de la escala de tiempo atómico progresiva que es ahora. Se está de acuerdo en que no conviene utilizar ni escalas de tiempo ni tiempos de sistemas alternativos como fuentes temporales de referencia y en que las prácticas para concretizar el UTC deben adaptarse a las necesidades de los usuarios en el siglo XXI.

El cambio aportaría el beneficio de una escala de tiempo continua, que se podría utilizar en todos los sistemas informáticos y de navegación electrónica modernos. Además, eliminaría la necesidad de utilizar sistemas de tiempo ad hoc especializados para evitar los impredecibles lapsos de un segundo del UTC.

### ¿Cómo se plantea el futuro?

A fin de atender al mayor número posible de aplicaciones, la futura escala de tiempo de referencia debería:

- concretarse en el plano internacional;
- gozar de aceptación a escala universal; y
- revestir un carácter continuo (al menos durante un tiempo prolongado).

También es importante que la futura escala de tiempo de referencia esté explícitamente relacionada con la rotación de la Tierra y que su desfase con respecto al tiempo universal (UT1) se conozca y difunda ampliamente. A fin de obtener una futura escala de tiempo de referencia que conserve las ventajas del UTC tradicional y satisfaga esos requisitos, cabe la posibilidad de mantener el UTC actual, conforme a lo estipulado por la Conferencia General de Pesos y Medidas de 2022, y flexibilizar la limitación del desfase entre UT1 y UTC.



*La inmensa mayoría de comunidades de usuarios, organizaciones internacionales y expertos en cronometría han puesto de manifiesto la necesidad de establecer una única escala de tiempo de referencia universal.*

## Un periodo de transición adecuado

Cualquier cambio en una escala de tiempo de referencia suscita preguntas sobre la compatibilidad con los sistemas y dispositivos existentes o definidos previamente. Habida cuenta de la importancia que reviste para muchos aspectos de las infraestructuras nacionales esenciales, es preciso adoptar medidas claras para abordar la cuestión de la retrocompatibilidad si se toma una decisión sobre la futura escala de tiempo de referencia.

Para conceder a los sistemas existentes el tiempo necesario para adaptarse al cambio de UTC, algunos usuarios (en particular, de los servicios de astronomía, navegación marítima, móvil marítimo, aeronáutico y radiodeterminación, y de los servicios fijo, móvil y de radiodifusión) han solicitado un periodo de transición para actualizarlos. En el caso de GLONASS, el tiempo transcurrido entre la decisión y su aplicación no sería inferior a 15 años.

En cualquier caso, el periodo de transición debería ser lo suficientemente extenso como para que los equipos de usuario existentes puedan seguir funcionando sin influir en la calidad del servicio. La Recomendación [UIT-R TF.460-6](#) se actualizará durante la transición a una escala de tiempo continua.

## Estudios de la UIT que se someterán al examen de la CMR-23

La próxima [Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones](#) (CMR-23), que se celebrará en Dubái (Emiratos Árabes Unidos), analizará los resultados de los estudios del UIT-R sobre la repercusión del cambio de las escalas de tiempo, en respuesta a la Resolución 655 (CMR-15) anterior. Se puede consultar información adicional sobre este tema en el Informe [UIT-R TF. 2511-0](#), relativo al contenido y la estructura de las señales horarias que deben difundir los sistemas de radiocomunicaciones y las distintas cuestiones relacionadas con las escalas de tiempo de referencia actuales y potenciales, incluidas sus repercusiones y aplicaciones en las radiocomunicaciones.

## Intercambio de conocimientos especializados y puntos de vista

Estoy muy agradecido a la BIPM y a los autores de esta edición de la revista *Actualidades de la UIT* por compartir sus conocimientos técnicos especializados y sus puntos de vista. Sus conocimientos combinados ofrecen un recurso clásico y una referencia sobre la ciencia del control del tiempo que enriquecerá e informará el debate en curso sobre el futuro del tiempo, y sobre si debe abolirse o no el segundo intercalar. intercalaire.

*La próxima Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-23), que se celebrará en Dubái (Emiratos Árabes Unidos), analizará los resultados de los estudios del UIT-R sobre la repercusión del cambio de las escalas de tiempo.*

*Estoy muy agradecido a la BIPM y a los autores de esta edición de la revista *Actualidades de la UIT* por compartir sus conocimientos técnicos especializados y sus puntos de vista.*



## El futuro comienza ahora

Martin Milton, Director, BIPM

Los acuerdos sobre el control del tiempo han contribuido de forma decisiva al progreso humano durante milenios. A medida que la humanidad y el comportamiento humano continúan evolucionando, la intensidad y la frecuencia de las peticiones de una escala de tiempo mejorada han aumentado.

En 2021, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) realizó una encuesta entre sus usuarios y partes interesadas sobre el efecto de las discontinuidades del tiempo universal coordinado (UTC) en las aplicaciones de control del tiempo existentes. La información recopilada indica que solo se pueden satisfacer las necesidades de los usuarios del siglo XXI con un UTC verdaderamente continuo, esto es, medido con precisión y sin ajustes frecuentes.

El cambio es una constante para nosotros. Sin embargo, como custodios institucionales del tiempo internacional, debemos actuar con cuidado y consideración. Por lo tanto, al trabajar en este tema, debemos respetar el hecho de que los ciclos astronómicos cotidianos tangibles siguen siendo los cimientos simbólicos del tiempo para casi todas las personas.

Por ese motivo, debemos tener en cuenta el efecto que ejercerían las decisiones de cambiar el UTC en la astronomía, y también en cualquier actividad social que conecte a las personas con el ciclo natural de la Tierra.

*A medida que la humanidad y el comportamiento humano continúan evolucionando, la intensidad y la frecuencia de las peticiones de una escala de tiempo mejorada han aumentado.*

Martin Milton

## ■■■ Una decisión reciente sobre el UTC futuro

En su encuentro de noviembre de 2022, la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM) reunió a 64 Estados miembros de la BIPM, que aprobaron una resolución "Sobre el uso y la evolución futura del UTC" con la propuesta de ampliar la tolerancia entre el UTC y el ángulo de rotación de la Tierra no más tarde de 2035.

En vista de esta decisión, la BIPM espera colaborar con las industrias y organizaciones y, evidentemente, con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), para formular y divulgar una norma de tiempo actualizada y adaptada a las necesidades de una sociedad moderna.

## Un punto de inflexión

Tal y como se muestra en la gráfica siguiente, estamos viviendo sin duda alguna un punto de inflexión en la historia del UTC.

La diferencia entre el tiempo de rotación de la Tierra y el tiempo atómico ha crecido de forma considerable durante los últimos 50 años. Esta tendencia, agravada por la ralentización de la rotación de la Tierra, ha motivado la inserción de segundos intercalares ocasionales.

Sin embargo, los datos más recientes muestran que la tendencia se está revirtiendo, por lo que es posible que, de aquí a 2035, tengamos que insertar un segundo intercalar negativo en las aplicaciones basadas en el tiempo UTC por primera vez en la historia.

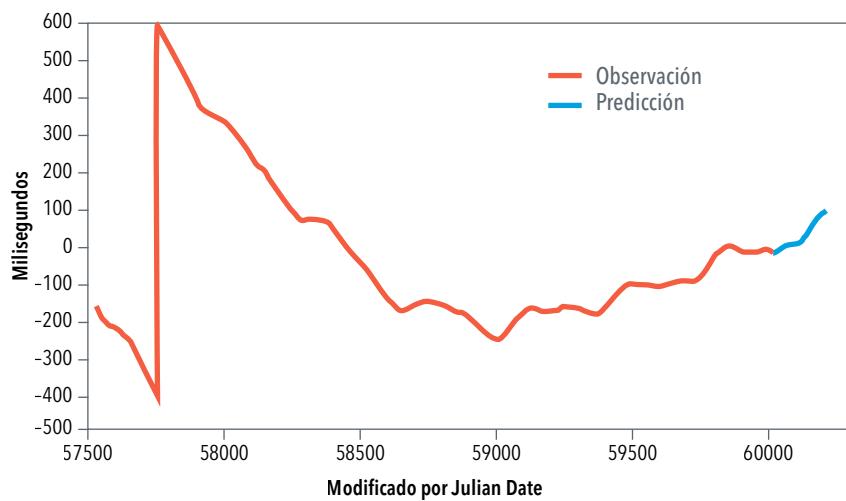
Mientras escribo este artículo, los organismos espaciales de todo el mundo comienzan a estudiar si es necesario establecer una referencia de tiempo continuo para la luna. Por lo tanto, es posible que el UTC continuo se convierta algún día en la referencia de tiempo en la Tierra y más allá de sus confines.



*Es posible que el UTC continuo se convierta algún día en la referencia de tiempo en la Tierra y más allá de sus confines.*



## UT1 - UTC



Fuente: [EOC](#)

## ¿Es el segundo intercalar cosa del pasado?

Hace un decenio, en una edición de 2013 de la revista Actualidades de la UIT, se plantearon preguntas similares sobre el control mundial del tiempo. Como señaló en su prefacio François Rancy, entonces Director de la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT: "Tiempos modernos: ¿Es el segundo intercalar cosa del pasado?"

Ahora, 10 años después, podría suceder.



**Edición de la revista  
Actualidades de la UIT  
publicada en  
2013: El futuro del  
tiempo**

[Descargar una copia](#)



# Avances de las emisiones de frecuencias patrón y de señales horarias

Joseph Achkar, Presidente, Grupo de Trabajo 7A del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

El Grupo de Trabajo 7A del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT ([UIT-R](#), uno de los tres Sectores de la Unión Internacional de Telecomunicaciones) se ocupa de los servicios científicos relacionados con las emisiones de frecuencias patrón y de señales horarias.

En 2015, tras 15 años de debates en el Grupo de Trabajo 7A, la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones adoptó la Resolución 655 (CMR-15), Definición de escala de tiempo y difusión de señales horarias a través de sistemas de radiocomunicaciones. La cuestión se abordó inicialmente porque la inserción ocasional de segundos intercalares en el tiempo universal coordinado (UTC) había comenzado a generar dificultades operativas graves para muchos sistemas de navegación, industriales, financieros y de telecomunicaciones.



*“La futura escala de tiempo de referencia debería concretarse en el plano internacional, gozar de aceptación a escala universal y revestir un carácter continuo.”*

Joseph Achkar

La Recomendación UIT-R [TF.460](#), iniciada en 1970 por el Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR), planteó por primera vez la necesidad de difundir frecuencias patrón y señales horarias conformes con el segundo, definido en 1967 por la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM).

En esta Recomendación se establece que todas las emisiones de frecuencias patrón y señales horarias deberían ajustarse lo más posible al UTC y se describe el procedimiento para la inserción ocasional de segundos intercalares en el UTC.

## Orientaciones sobre la cronometría y su divulgación

Desde 2016, el Grupo de Trabajo 7A ha intensificado los estudios sobre este asunto, en colaboración estrecha con otras organizaciones competentes en la materia y con el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T), con los resultados presentados en el Informe UIT-R [TF.2511](#).

El informe, elaborado en respuesta a la Resolución 655, tiene el objetivo de informar a las administraciones de Estados Miembros de la UIT y a los Miembros de Sector (así como a las empresas de telecomunicaciones, proveedores de Internet, agencias espaciales, organizaciones de aviación, marítimas y meteorológicas, universidades y autoridades que no son miembros de la UIT) sobre los aspectos reglamentarios, técnicos y prácticos de la cronometría y la divulgación de las frecuencias patrón y de señales horarias.

La futura escala de tiempo de referencia debería concretarse en el plano internacional, gozar de aceptación a escala universal y revestir un carácter continuo. Para ello, se podría mantener el UTC y relajar la limitación de la diferencia entre el UTC y el UT1, que es el tiempo universal basado en la rotación de la Tierra.

Según indican los estudios del Grupo de Trabajo 7A, la responsabilidad de determinar la relación entre la escala de tiempo de referencia internacional y otras fuentes de tiempo, incluido el UT1, corresponde a la Oficina Internacional de Pesos y Medidas ([BIPM](#)) en cooperación con el Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia (CCTF), el Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM) y la CGPM. Sin embargo, las emisiones de frecuencias patrón y señales horarias y su divulgación, incluso en relación con las diferencias en las escalas de tiempo, son competencia del UIT-R.

Aunque algunos grupos de usuarios prefieren que se eliminen cuanto antes los segundos intercalares, otros esperan poder actualizar sus sistemas y procedimientos antes de ese momento, por lo que han solicitado un periodo de transición de 15 años entre la decisión y su aplicación.

## Informe de estudio de la UIT

Algunos temas considerados en el Informe TF.2511 son los siguientes:

- ▶ Antecedentes del UTC.
- ▶ Importancia del UTC.
- ▶ Función de las organizaciones.
- ▶ Impacto de los segundos intercalares.
- ▶ Escalas de tiempo existentes y futuras.
- ▶ Divulgación de las señales horarias.

[Descargar el Informe](#)

*“Aunque algunos grupos de usuarios prefieren que se eliminen cuanto antes los segundos intercalares, otros esperan poder actualizar sus sistemas y procedimientos antes de ese momento.”*

## Preparación para la CMR-23

El Director de la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT informará sobre las conclusiones de los estudios del Grupo de Trabajo 7A durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones que se celebrará en Dubái a finales de 2023 (CMR-23). La actual definición de UTC se adoptó en la Resolución 2 de la CGPM en 2018; posteriormente, en 2020, la BIPM y la UIT firmaron un Memorando de Entendimiento para definir el ámbito de cooperación mutua. Por lo tanto, y como se destaca en una nota emitida por el Grupo de Trabajo para el Director, el establecimiento del UTC no es una tarea de regulación del espectro.

De hecho, en noviembre de 2022 la CGPM tomó una decisión sobre una escala de tiempo de referencia continuo que apoyaba la eliminación del segundo intercalar. Las labores restantes, como la cooperación de la UIT con las organizaciones internacionales y las actualizaciones de la Recomendación UIT-R TF.460, son responsabilidad de los grupos de trabajo competentes del UITR.

En el marco de los preparativos en curso para la CMR-23, la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT celebró una reunión especial con la BIPM sobre la Resolución 655 (CMR-15) en la Sede de la UIT en Ginebra (Suiza). La sesión, que se desarrolló en paralelo al 2º Taller Interregional de la UIT sobre los Preparativos de la CMR-23, pretendía recabar las opiniones de las organizaciones regionales sobre este asunto, así como dar a conocer la situación vigente en cada región, de manera que todas las regiones puedan avanzar juntas y responder de forma más adecuada a las expectativas de los usuarios.

Los diversos estudios realizados, junto con los debates de la próxima Reunión Preparatoria de la Conferencia ([RPC23-2](#)) y del Grupo de Trabajo 7A, prepararán el terreno para la revisión de la Resolución 655 durante la CMR-23.

En última instancia, el objetivo es satisfacer las necesidades de los usuarios a medida que nos acercamos al ecuador del siglo XXI.

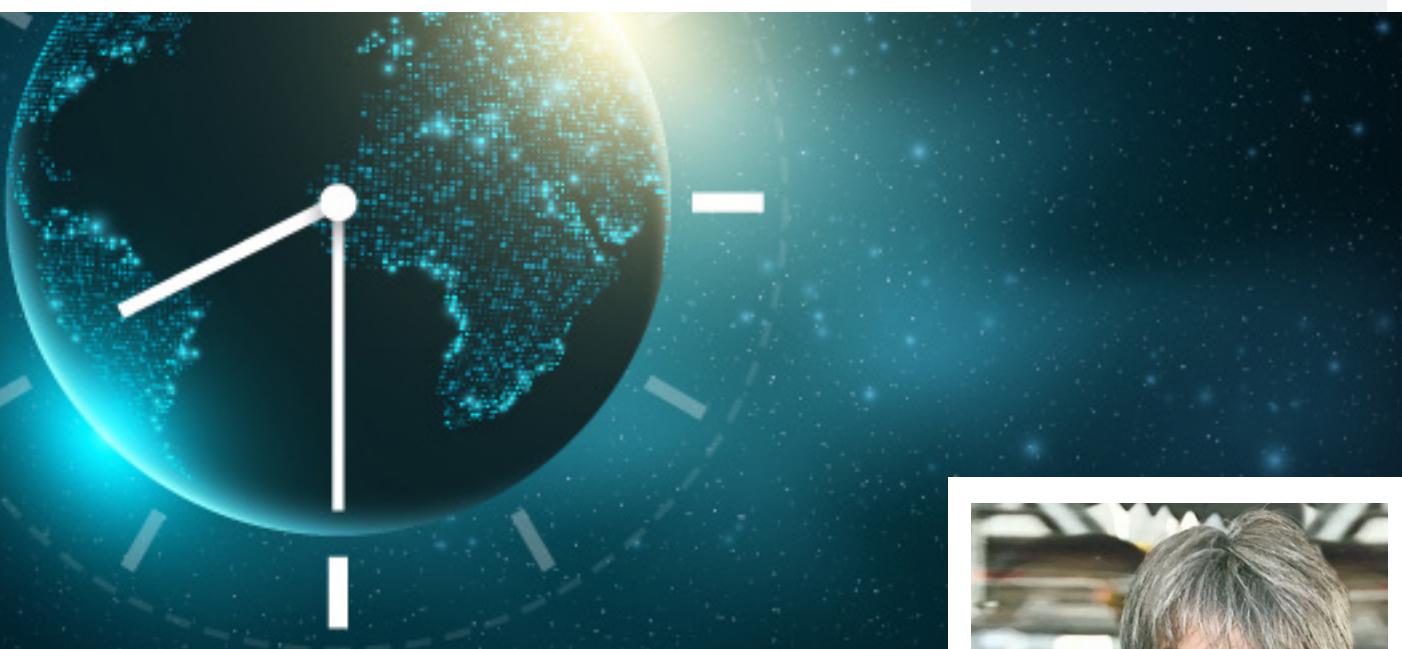


*En noviembre de 2022 la CGPM tomó una decisión sobre una escala de tiempo de referencia continuo.*

## Resoluciones de la Conferencia General de Pesos y Medidas

En noviembre de 2022 se tomó una decisión sobre una escala de tiempo de referencia continuo.

[Descargar](#)  
(véase la Resolución 4 en la página 23)



# Tiempo universal coordinado: Una visión de conjunto

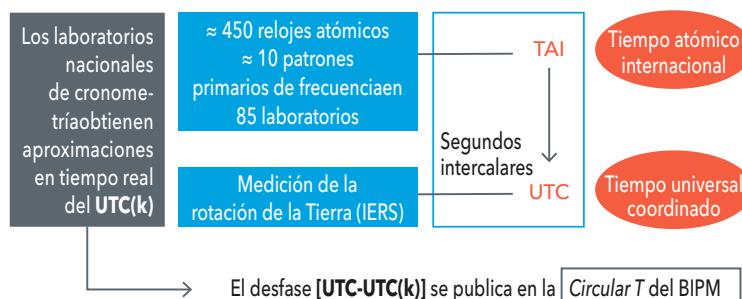
Patrizia Tavella, Directora, Departamento de Tiempo, BIPM

El tiempo universal coordinado (UTC) es la escala de tiempo de referencia a nivel mundial calculada por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM), la organización internacional que se ocupa de todo lo relacionado con la ciencia y las normas de la medición.

El UTC se basa en unos 450 relojes atómicos, cuyo mantenimiento compete a 85 laboratorios nacionales de cronometría de todo el mundo. Los relojes proporcionan datos de medición periódicos al BIPM, así como aproximaciones locales en tiempo real del UTC, conocidas como UTC(k), para uso nacional (véase la figura).

*“El UTC se basa en unos 450 relojes atómicos, cuyo mantenimiento compete a 85 laboratorios nacionales de cronometría de todo el mundo.”*

Patrizia Tavella



Fuente: BIPM

La unidad de escala, el segundo, y la escala de tiempo de referencia, el UTC, se definen y obtienen bajo la autoridad de la Conferencia General de Pesos y Medidas ([CGPM](#)), en la que gozan de representación 64 Estados Miembros y 36 Economías y Estados Asociados.

El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS) determina y publica la diferencia entre el UTC y el ángulo de rotación de la Tierra que indica el UT1. Cuando dicha diferencia se aproxima a 0,9 segundos, se anuncia un nuevo segundo intercalar, que se aplica en todos los laboratorios de cronometría.

Diversos servicios de tiempo y frecuencia, regulados por el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT ([UIT-R](#) - uno de los tres Sectores de la Unión Internacional de Telecomunicaciones) se encargan de transmitir el UTC y la diferencia entre el UT1 y el UTC.

### Cómo obtiene el UTC el BIPM

En primer lugar, el BIPM calcula una media ponderada de todos los relojes atómicos designados para obtener el tiempo atómico internacional (TAI). El algoritmo para calcular el TAI es complejo e implica procesos de estimación, predicción y validación específicos para cada tipo de reloj.

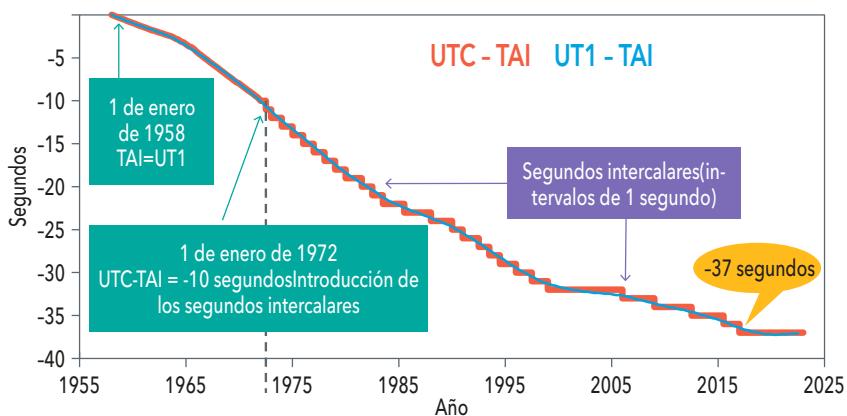
Del mismo modo, las mediciones utilizadas para comparar relojes a distancia se basan o bien en los sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS) o bien en otras técnicas, como la transferencia bidireccional de señales horarias y frecuencias por satélite, o a través de fibras ópticas. Todos estos datos deben procesarse para compensar el retardo causado por factores tales como la ionosfera, el campo gravitacional o el movimiento de los satélites.

En última instancia, el UTC se obtiene partiendo del TAI, al que se suma o se resta un segundo intercalar, según proceda, y manteniendo el mismo tictac del segundo atómico.

### La armonización del UTC con la rotación irregular de la Tierra

En la década de 1970, al comienzo de la era de los relojes atómicos, se acordó armonizar el UTC con la rotación irregular de la Tierra, ya que el UTC permitía estimar el ángulo de rotación terrestre UT1 con una tolerancia de 0,9 segundos. Esto era necesario, en gran medida, para los sistemas de navegación basados en observaciones celestes. Al principio, el UTC se corregía en intervalos de tiempo y frecuencia muy reducidos. A partir de 1972, empezaron a utilizarse segundos intercalares completos (véase la figura).

*“Desde el punto de vista de la gestión de sistemas complejos, la aplicación de los segundos intercalares a todos los relojes de los satélites al mismo tiempo es un riesgo.”*



Fuente: BIPM

## Las empresas tecnológicas utilizan alternativas al segundo intercalar

Los segundos intercalares se aplican siguiendo la secuencia de etiquetado de segundos que se muestra a continuación. Un segundo intercalar insertado se etiqueta como 23:59:60, una hora que la mayoría de los sistemas digitales modernos no prevé.

A raíz de esta discrepancia, han proliferado numerosos métodos ad hoc que están ganando en popularidad como alternativas al segundo intercalar.

Google, por ejemplo, "distribuye" el segundo adicional a lo largo de las 24 horas anteriores, Facebook de las 18 horas posteriores, Microsoft de los dos últimos segundos y Alibaba de un intervalo de 24 horas centrado en el segundo intercalar.

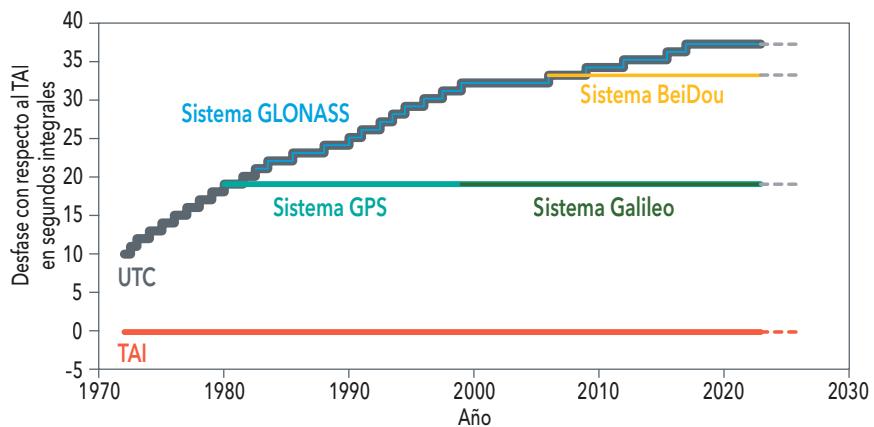
**23:59:59  
23:59:60  
00:00:00**

## Riesgos asociados a los segundos intercalares

Desde la perspectiva de la gestión de sistemas complejos, la aplicación del segundo intercalar en todos los relojes satelitales al mismo tiempo supone un riesgo. De ahí que la mayoría de los sistemas mundiales de navegación por satélite (salvo el GLONASS) optaran desde el principio por sincronizar sus relojes y su escala horaria con el UTC, sin añadir ningún segundo intercalar.

En consecuencia, la hora GPS actual se adelanta a la UTC en 18 segundos. Lo mismo ocurre con el sistema Galileo, mientras que BeiDou se adelanta en cuatro segundos (véase la figura).

Esta situación genera confusión entre los usuarios el día que se aplica un segundo intercalar. También es motivo de inquietud el riesgo de anomalías capaces de socavar la fiabilidad de infraestructuras nacionales esenciales.



Fuente: BIPM

Esta figura ilustra el desfase entre el UTC, las escalas de tiempo internas de los sistemas mundiales de navegación por satélite, y el TAI.

## Mantener el UTC armonizado con la rotación de la Tierra

En la 27<sup>a</sup> reunión de la Conferencia General de Pesos y Medidas, que se celebró en noviembre de 2022, se decidió conservar el proceso existente para mantener el UTC armonizado con la rotación de la Tierra. No obstante, se previó un límite de tolerancia mayor de nueve décimas de segundo -que entraña ajustes mayores pero menos frecuentes- para garantizar la continuidad del UTC durante al menos los próximos 100 años.

El BIPM colabora actualmente con el UIT-R y otras organizaciones en la definición de un nuevo proceso, que se espera entre en vigor en 2035. Este incluiría un nuevo valor de tolerancia identificado para el desfase entre el UT1 y el UTC, con el objetivo de que el UTC siga siendo eficiente y eficaz para las aplicaciones de cronometría actuales y futuras.

*“El BIPM colabora actualmente con el UIT-R y otras organizaciones en la definición de un nuevo proceso, que se espera entre en vigor en 2035.”*



Adobe Stock

# Escalas de tiempo en vigor

Vadim Nozdrin, Consejero de la Comisión de Estudio 7 del UIT-R - Servicios científicos

Aunque todos los eventos pueden definirse por tres coordenadas espaciales y una coordenada temporal, el tiempo se ha de definir de manera normalizada y sincronizada en todo el mundo con una exactitud extrema. En esencia, una escala temporal es una serie ordenada y convenientemente numerada de puntos en una escala.

Hoy en día se utilizan en mayor o menor grado cuatro escalas temporales:

- UT1** – tiempo universal
- ET** – tiempo efímero
- TAI** – tiempo atómico internacional
- UTC** – tiempo universal coordinado



*“El tiempo se ha de definir de manera normalizada y sincronizada en todo el mundo con una exactitud extrema.”*

Vadim Nozdrin

El tiempo universal o UT1 se determina a partir de la observación de la rotación de la Tierra. Es proporcional al ángulo de rotación de la Tierra sobre su eje. El coeficiente de proporcionalidad se selecciona de tal manera que 24 horas UT1 se acerca a la duración media de un día y la fase se determina para que cero horas UT1 corresponda a la medianoche media en el meridiano de Greenwich (Reino Unido).

Se entiende que un segundo UT1 es una 1/86 400 parte del día solar medio. Hasta 1960, esto equivalió a un segundo en el sistema internacional de unidades (SI).

El UT1, calculado y gestionado por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS, antes conocido como el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra), fue la escala temporal aceptada de forma general en todo el mundo hasta 1972.

Sin embargo, los astrónomos han demostrado que el año tropical, entendido como el intervalo entre dos pasos consecutivos del Sol a través del equinoccio de primavera, ofrece mayor estabilidad temporal que un día. Dicho de otro modo, se mide más exactamente el tiempo utilizando el movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol que la rotación de la Tierra.

El tiempo efímero o ET se determina utilizando el valor de la longitud media del Sol. Se seleccionó de manera que UT1 y ET coincidieron aproximadamente en 1900.

El tiempo universal o UT1 se determina a partir de la observación de la rotación de la Tierra.

Se determinó que un segundo de ET correspondía a una 1/31 556 925,9747 parte del año tropical el 31 de diciembre de 1899 (o a las 12.00 ET del 0 de enero de 1900 según la definición técnica de la BIPM). Esta equivalencia se utilizó como unidad del segundo en el SI desde 1960 hasta 1967.

A diferencia de las dos escalas de tiempo anteriores, el tiempo atómico internacional o TAI se basa en un intervalo de tiempo determinado por un fenómeno físico. La Oficina Internacional de la Hora (BIH) coordina este patrón de tiempo utilizando los relojes atómicos que están en funcionamiento en laboratorios nacionales de todo el mundo.

El segundo atómico ha sido la unidad de tiempo del SI desde 1967. Se define como la duración de 9 192 637 770 oscilaciones de la radiación emitida en la

“

*Le temps universel est un temps déduit à partir de l'observation de la rotation de la Terre.*



transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

Se acordó oficialmente que el punto a partir del cual se empieza a contar el tiempo coincidiría en el 1 de enero de 1958 para TAI y UT1. Desde entonces, el tiempo atómico está determinado por la Sección Horaria de la BIPM, que recopila y procesa las horas que dan cerca de 450 relojes atómicos ubicados en 85 países.

Con todo, pronto surgió la idea de unificar las diferentes escalas horarias para aumentar la exactitud, lo que llevó a la adopción de una nueva norma de tiempo global coordinada en 1972.

El tiempo universal coordinado o UTC se determina por el sistema de ecuaciones siguiente:

$$\text{UTC}(t) - \text{TAI}(t) = n \text{ s}$$

(donde  $n$  es un número entero, actualmente  $n = 34$  s)

$$|\text{UTC}(t) - \text{UT1}(t)| < 0.9 \text{ s}$$

No obstante, las variaciones en la velocidad de rotación de la Tierra generan divergencias entre UT1 y TAI. En tales casos, el IERS puede decidir regular el segundo en relación con la desviación prevista entre las escalas. En consecuencia, los segundos intercalares se añaden (o, cuando proceda, se sustraen) al final de un mes.

“

*Se acordó oficialmente que el punto a partir del cual se empieza a contar el tiempo coincidiría en el 1 de enero de 1958 para TAI y UT1.*



## Gestión de las desviaciones

A pesar de que la hora normalizada UTC está calculada y distribuida por la BIPM, los usuarios de todo el mundo tienen acceso a los valores UTC locales establecidos a través de los laboratorios nacionales (UTC(k)), que ascienden a 85 aproximadamente en todo el mundo y que están coordinados tanto con UTC como entre ellos.

Los laboratorios locales representados por UTC(k) sirven de norma de referencia en sus territorios respectivos a través de diversos sistemas, como la radiodifusión en el servicio de frecuencias patrón y de señales horarias (SPSH) y el servicio de frecuencias patrón y de señales horarias por satélite (SFPSHS), a través de los satélites de radiodifusión y en los servicios fijo, de radionavegación y de meteorología por satélite, así como en las redes terrenales por fibra óptica o cable coaxial.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) desempeña una función clave en la definición y distribución mundial de frecuencias patrón y señales horarias precisas. El Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) recomienda que todas las emisiones de frecuencias patrón y de señales horarias sean conformes con el UTC.

La BIPM establece que la desviación máxima entre UTC y UTC(k) no debe ser superior a  $\pm 1$  milisegundos. A efectos de las radiocomunicaciones, el UIT-R recomienda un margen más estrecho, de  $\pm 100$  nanosegundos.



*El UIT-R recomienda que todas las emisiones de frecuencias patrón y de señales horarias sean conformes con el UTC.*



## Escalas de tiempo

### Tiempo Universal

El UT es la designación general de las escalas de tiempo basadas en la rotación de la Tierra.

En las aplicaciones que requieren un control preciso de las señales de tiempo, en las que no se pueden tolerar imprecisiones ni de unas centésimas de segundo, es necesario especificar formas de UT específicas:

**UT0** es el tiempo solar medio, del meridiano origen, obtenido a partir de observaciones astronómicas directas.

**UT1** es el UT0 con correcciones de los ligeros movimientos con relación al eje de rotación de la Tierra (variación polar). El UT1 se corresponde de forma directa con la posición angular de la Tierra en la rotación diurna y la fórmula recomendada por la UIT a efectos de las radiocomunicaciones (Rec. UIT-R TF.460).

**UT2** es el UT1 con corrección de los efectos de las pequeñas fluctuaciones estacionales en la velocidad de rotación de la Tierra.

Se pueden consultar las definiciones de estos términos y los conceptos implicados en las publicaciones del [IERS](#) (París, Francia).

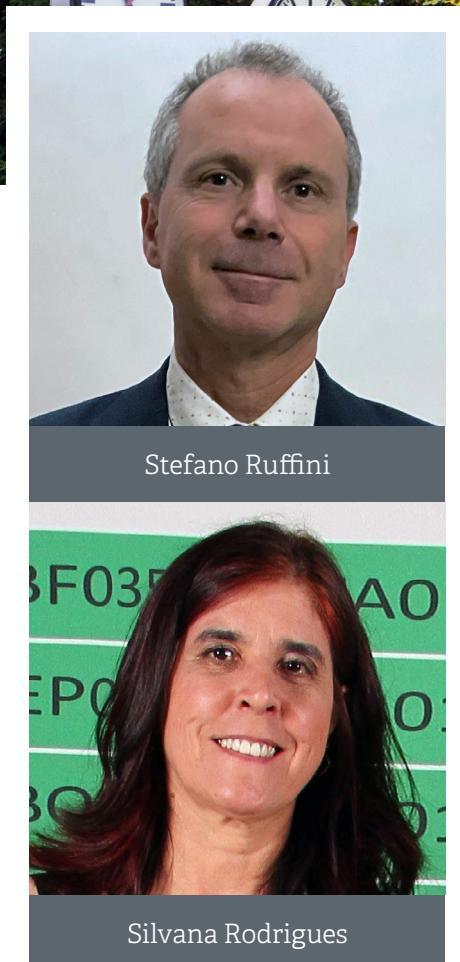
### Tiempo Atómico Internacional

**TAI** La escala de referencia de TAI, basada en el segundo (SI), como se obtiene con arreglo al geoide rotativo, la forma el BIPM con la información de reloj facilitada por establecimientos colaboradores. Es una escala continua, es decir, en días, horas, minutos y segundos, desde el 1 de enero de 1958 (aprobada por el CGPM en 1971).

### Tiempo Universal Coordinado

**UTC** El UTC es la escala de tiempo mantenida por el BIPM, con la participación del IERS, y constituye la base de una difusión coordinada de frecuencias patrón y señales horarias. Aunque corresponde exactamente en cuanto al régimen de transcurso con el TAI, difiere de él en un número entero de segundos.

La escala de UTC se ajusta mediante inserción u omisión de segundos (segundos intercalares positivos o negativos) necesarios para asegurar una concordancia aproximada con UT1.



# Sincronización e impacto de las discontinuidades en el UTC

Stefano Ruffini, Relator, Cuestión 13/15, Comisión de Estudio 15 del UIT-T, y Silvana Rodrigues, Ingeniera de Sistemas Jefa Principal, Huawei

Para que las redes de telecomunicaciones funcionen con eficacia, es fundamental que la sincronización sea precisa.

La sincronización es más importante que nunca en las redes 5G actuales, y lo será aún más en las redes móviles del futuro, cuando las tecnologías de radiocomunicaciones emergentes deban responder a casos de utilización cada vez más exigentes, como la creación de redes sensibles al tiempo para vehículos automatizados o el control robótico en fábricas inteligentes.

## Sincronización de tiempo

En ocasiones, las referencias de sincronización de tiempo en el ámbito de las telecomunicaciones se asocian a escalas de tiempo continuo, frente a las escalas de tiempo que utilizan segundos intercalares.

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones del UIT ([UIT-T](#), uno de los tres Sectores de la Unión Internacional de Telecomunicaciones) incluye un grupo de expertos sobre sincronización de redes y calidad de funcionamiento de la distribución de señales horarias (que se ocupa de la Cuestión 13 de la Comisión de Estudio 15 del UIT-T).

Las aplicaciones analizadas en la Cuestión 13/15 suelen requerir escalas de tiempo continuas. Los requisitos de calidad asociados se basan, de hecho, en una señal de tiempo de referencia continua ideal (por ejemplo, si se expresa en referencia a los términos de las métricas especificadas en las Recomendaciones UIT-T [G.810](#) y [G.8260](#)).

## Tipos de sincronización

En el ámbito de las telecomunicaciones pueden aplicarse diferentes tipos de sincronización:

- **Sincronización de frecuencia:** se producen acontecimientos importantes en la misma frecuencia.
- **Sincronización de fases:** se producen acontecimientos importantes en el mismo instante.
- **Sincronización de tiempo:** se producen acontecimientos importantes en el mismo instante; dichos acontecimientos comparten la escala de tiempo y la época.

Por regla general, la sincronización de frecuencia se rige por el tiempo universal coordinado (UTC), que es la escala de tiempo de referencia internacional. Por ejemplo, la Recomendación UIT-T G.810 contiene la nota siguiente: La frecuencia de referencia para sincronización de redes es la frecuencia que genera la escala de tiempo UTC.

## Escala de tiempo continua para la sincronización de frecuencia

Es importante utilizar una escala de tiempo continua en las aplicaciones que utilizan la sincronización de frecuencia con saltos de fase que pueden restar calidad.

Lo mismo sucede en el caso de la sincronización de tiempo. De hecho, los requisitos que se están analizando actualmente en el marco de la Cuestión 13/15 derivan principalmente de las especificaciones del proyecto 3GPP (3rd Generation Partnership Project), donde se requiere de forma explícita que se utilice la escala de tiempo continua.

“Para que las redes de telecomunicaciones funcionen con eficacia, es fundamental que la sincronización sea precisa.”

Stefano Ruffini y Silvana Rodrigues

**G.810:** Definiciones y terminología para redes de sincronización

**G.8260:** Definitions and terminology for synchronization in packet networks (Definiciones y terminología para la sincronización en redes de paquetes)

“Es importante utilizar una escala de tiempo continua en las aplicaciones que utilizan la sincronización de frecuencia con saltos de fase que pueden restar calidad.”

Una de esas especificaciones es la [TS 38.401](#), en la que se afirma lo siguiente:

*"... tiempo continuo sin segundos intercalares trazable con respecto a la referencia de tiempo común para todos los gNB en una zona de unidifusión DDT sincronizada. Si la zona de unidifusión DDT no está aislada, la referencia de tiempo común será trazable con respecto al tiempo universal coordinado (UTC)."*

gNB = Nodo B (NR) 5G

TDD = Dúplex por división en el tiempo

## Riesgo de interferencia con estaciones de base no sincronizadas

Las señales dúplex por división en el tiempo (DDT) se pueden transmitir en sentido ascendente o descendente de acuerdo con una atribución específica de intervalos de tiempo. Para ello, es necesario disponer de trazabilidad del UTC a fin de coordinar la transmisión del inicio de las tramas radioeléctricas entre estaciones de base adyacentes, lo que evita las interferencias o la peor situación posible, a saber, la interrupción del servicio.

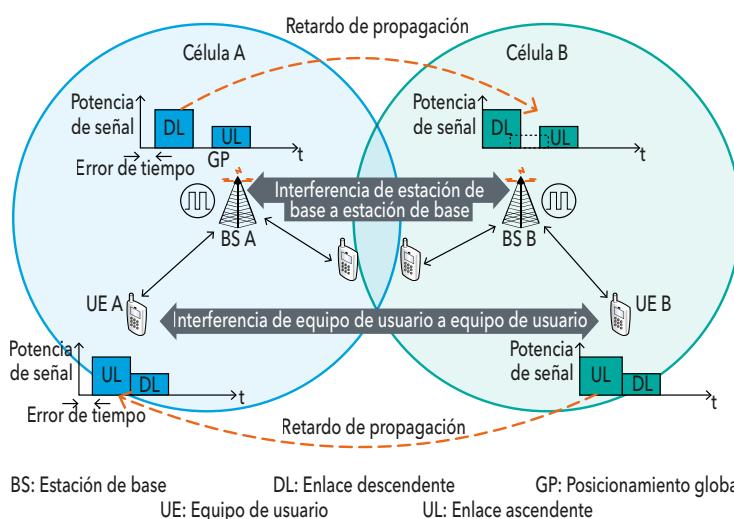
Se pueden producir interferencias de una estación de base a otra estación de base si esta última no se ha sincronizado correctamente y el error de sincronización de tiempo supera ciertos límites predefinidos (véase un ejemplo relacionado con la comutación del enlace descendente y el enlace ascendente en las dos figuras que se muestran más abajo).

En la Recomendación UIT-T G.8271, Apéndice VI (Time synchronization aspects in TDD based mobile communication systems) se indica lo siguiente:

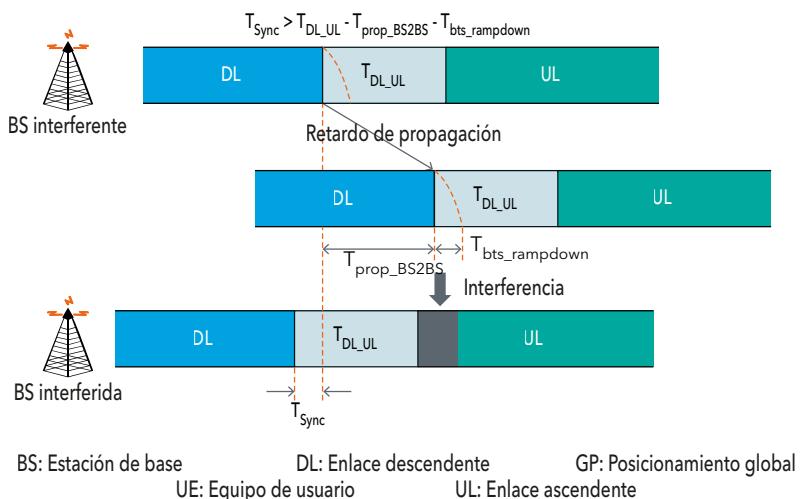
*"Habida cuenta de la necesidad de una escala de tiempo continua para el 3GPP, en este caso la aplicación real podría utilizar el contenido de la información distribuida sobre el UTC que no resulta afectado por los segundos intercalares, como la hora GPS cuando la referencia se transmite a través de una señal de GPS."*

**“**Actualmente, la hora GPS se utiliza de forma generalizada en las aplicaciones de telecomunicaciones dado que es la única escala de tiempo sin segundos intercalares disponible en todo el mundo. **”**

### Visión general de los patrones de interferencia en los sistemas de multiplexación por división en el tiempo



### Interferencia de estación de base a estación de base en el punto de conmutación del enlace descendente al enlace ascendente



Fuente: Apéndice 6, Figura VI.5/G.8271

### Temps Hora GPS sin segundos intercalares

Actualmente, la escala de tiempo del sistema de posicionamiento global (GPS) se utiliza de forma generalizada en las aplicaciones de telecomunicaciones dado que es la única escala de tiempo sin segundos intercalares disponible en todo el mundo.

Las soluciones de GPS existentes evitan las perturbaciones del reloj utilizando informaciones y escalas de tiempo que no contienen segundos intercalares. La escala de tiempo del protocolo de tiempo de precisión (PTP), por ejemplo, se basa en el tiempo atómico internacional o en la hora GPS.

En el caso de las aplicaciones que requieren información normalizada sobre "hora del día", como las aplicaciones de carga o de indicación de tiempo de alarma, es posible que también sea necesario recuperar el tiempo UTC. Estas aplicaciones deben estar preparadas para gestionar los "saltos temporales" ocasionales y repentinos.

### UTC sin segundos intercalares

Las telecomunicaciones podrían resultar beneficiadas si se adoptaran medidas para definir un UTC continuo sin segundos intercalares adicionales (o que se apliquen ajustes periódicos tras intervalos de tiempo suficientemente largos a fin de impedir el funcionamiento normal de las redes resulte afectado).

“

Las telecomunicaciones podrían resultar beneficiadas si se adoptaran medidas para definir un UTC continuo sin segundos intercalares adicionales.”





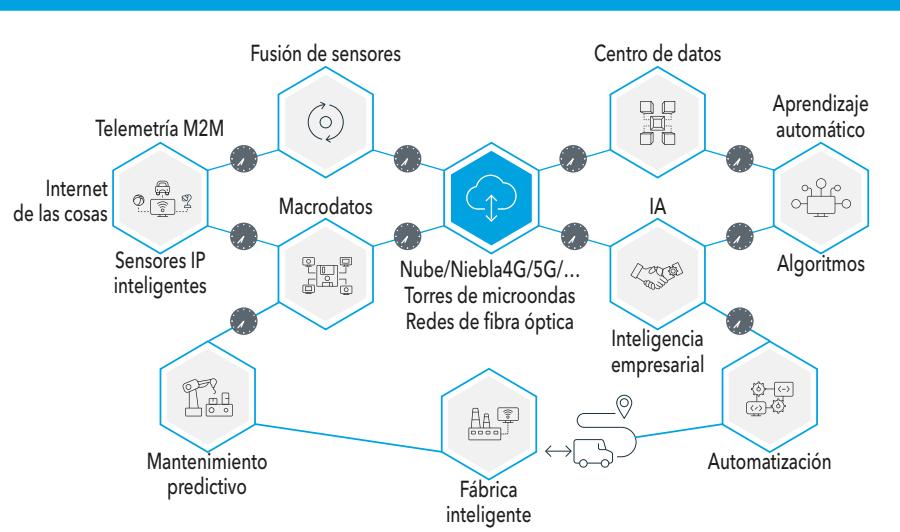
## El impacto del UTC en la Industria 4.0

Tomasz Widomski, Cofundador, Elroma

La economía global depende del Sistema mundial de navegación por satélite (SMNS), que proporciona la referencia del tiempo universal coordinado para modernas infraestructuras críticas de todo el mundo.

*“La economía global depende del SMNS, que proporciona la referencia del UTC para modernas infraestructuras críticas de todo el mundo.”*

### Cadena de suministro mundial



Tomasz Widomski

Esto incluye redes inteligentes distribuidas, redes de telecomunicaciones 5G, sistemas de control del tráfico y vehículos autónomos. Es compatible con los servicios de radiodifusión, los mercados financieros y las ciudades inteligentes, y también con los sistemas Industria 4.0 migrados a la nube.

## Desafíos del segundo intercalar para la Industria 4.0

La naturaleza no continua del UTC, que requiere que se añada periódicamente un segundo intercalar, afecta a todos los países y a todos los segmentos de todas las economías. Constituye un problema particular para la estabilidad y ciberseguridad de la Industria 4.0, las industrias y los servicios modernos que dependen de la arquitectura de sistemas distribuidos.

Hace años que se observan problemas relacionados con el segundo intercalar. Sin embargo, debido a la automatización en crecimiento exponencial y a la estrecha interdependencia de los sistemas Industria 4.0, es necesario cancelar con urgencia los segundos intercalares futuros.

La situación se complica ante la ausencia de normas de revisión de los segundos intercalares, el escaso diálogo entre las comunidades de tecnología de la información (TI) y de metrología del tiempo, la diversidad en la puesta en marcha de los receptores del SMNS y los diferentes enfoques utilizados para la prestación de servicios entre los sistemas mundiales de navegación por satélite (como el Sistema de posicionamiento global o GPS, Galileo, GLONASS y BeiDou) y los sistemas regionales (como el Sistema de navegación por satélite regional indio o IRNSS).

## Escenarios de perturbación

Algunos problemas derivados de la adición de segundos intercalares al UTC son los siguientes:

- 1. Discrepancias de tiempo** en los sistemas distribuidos, donde la validez de los datos viene determinada por la diferencia entre las indicaciones de hora del sensor remoto y el servidor receptor local de la gestión centralizada. Estas discrepancias pueden hacer que se acepten datos no válidos (retardo mal calculado) y, en consecuencia, que el mantenimiento predictivo de la Industria 4.0 sea incorrecto. Estos riesgos irán en aumento a medida que se incrementen la creación de redes sensibles al tiempo (TSN), el cálculo coordinado en el tiempo (TCC) y la creación de redes de baja latencia futuras.
- 2. Fallos de firmware o software** para la Internet de las cosas (IoT) y los dispositivos de TI basados en sistemas operativos Windows, Linux o Unix. Todos los sensores o dispositivos que se producen hoy en día contienen firmware basado en uno de esos sistemas. Los picos de tiempo imprevistos introducidos por el segundo intercalar ponen en riesgo la estabilidad del núcleo de los sistemas operativos. Alteran la cronología de eventos de bajo nivel por la que se rigen la gestión de la simultaneidad y los procesos sistémicos de bajo nivel. La falta de concordancia de la cronología puede provocar el error informático "pánico en el núcleo" o "kernel panic", del que el sistema operativo no se puede recuperar con facilidad o rapidez.



*Debido a la estrecha interdependencia de los sistemas Industria 4.0, es necesario cancelar con urgencia los segundos intercalares futuros.*

En estas situaciones, el segundo intercalar UTC puede desencadenar un efecto dominó a gran escala y provocar la interrupción de los sistemas de alimentación y las telecomunicaciones, además de alterar los ferrocarriles, el control del tráfico aéreo y la automatización de procesos de la Industria 4.0. Se continuarán produciendo tales fallos antes o después mientras no se eliminan los segundos intercalares.

## Riesgos para la industria

Actualmente, nos enfrentamos a la posibilidad de que, por primera vez en la historia, sea necesario en el futuro introducir un segundo intercalar negativo. Y este experimento será peligroso en el entorno operativo de producción de la Industria 4.0.

Aunque el segundo intercalar UTC es el riesgo principal para la Industria 4.0, no es el único. Desde que se lanzó el primer receptor GPS comercial en la década de 1990, varios cientos de millones de receptores comerciales del SMNS se han desplegado y utilizado como referencias UTC. Sin embargo, cada uno de ellos calcula el UTC con una diferencia de una fracción de segundo, debido a las variaciones de los algoritmos internos y en función de la constelación del SMNS que estén utilizando.

La exactitud en la sincronización UTC también depende de las condiciones meteorológicas, la calidad de la instalación de las antenas, las interferencias y la ciberseguridad, como las interferencias deliberadas o el redireccionamiento del SMNS. Todos estos factores también presentan el riesgo de experimentar errores internos del SMNS, como el [error de GPS 13,5 microsegundos \(μs\) en el GPS del SVN23 en enero de 2016](#), o desbordamientos, como el [reinicio del número de semanas del GPS](#) cada 19,7 años.

Otras constelaciones del SMNS son imperfectamente similares.

## Sincronización en aras de la ciberseguridad

Sin duda, necesitamos un cambio en el paradigma de seguridad, que empieza por reconocer que la sincronización exacta del tiempo es un elemento importante de la ciberseguridad de la Industria 4.0.

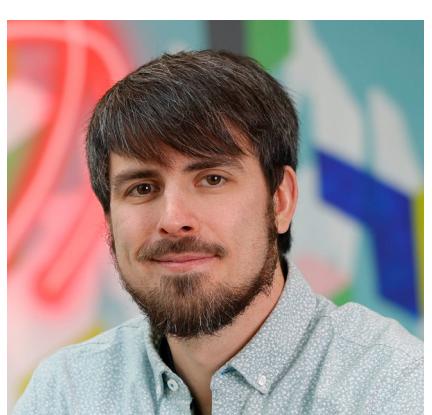
Un buen ejemplo es el [Decreto Presidencial EO13905 de los Estados Unidos](#) sobre "Fortalecimiento de la resiliencia nacional por medio del uso responsable de los servicios de posicionamiento, navegación y control del tiempo", que se publicó en febrero de 2020 y que abrió la puerta a nuevas constelaciones de satélites comerciales de órbita terrestre baja (LEO). Además, y lo que es crucial, este Decreto Presidencial ha propiciado varios protocolos de sincronización de redes informáticas, como el protocolo de tiempo de red (Network Time Protocol, NTP) y el protocolo de tiempo de precisión (Precision Time Protocol, PTP) IEEE 1588, que proporcionan el UTC desde las instituciones nacionales de metrología.

Aunque el NTP se diseñó intrínsecamente para utilizar el UTC, el PTP puede trabajar con cualquier escala de tiempo, incluso con el equivalente coherente del tiempo atómico internacional (TAI).



*Necesitamos un cambio en el paradigma de seguridad, que empieza por reconocer que la sincronización exacta del tiempo es un elemento importante de la ciberseguridad de la Industria 4.0.*





Oleg Obleukhov



Ahmad Byagowi

# La sincronización temporal en los centros de datos

Oleg Obleukhov, Ingeniero de Producción, Meta y Ahmad Byagowi, Científico de Investigación, Meta

La sincronización temporal es sumamente importante para casi todas las aplicaciones de software de un centro de datos. El tiempo permite correlacionar y ordenar eventos simultáneos entre millones de servidores.

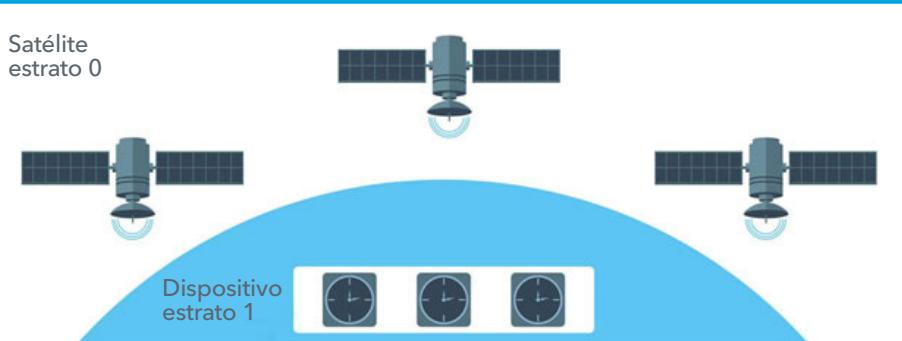
En el ámbito de la seguridad, el control fiable del tiempo es crucial para la expiración e invalidación de la memoria caché, los certificados de corta duración y la detección de intrusiones. Gracias a la sincronización temporal, los ingenieros pueden correlacionar las entradas de registro en las que se utiliza con frecuencia el tiempo universal coordinado (UTC).

Dado que el volumen de transacciones está en constante aumento, las diferencias temporales, aunque sean tan solo de un par de milisegundos, pueden generar problemas graves. Por lo tanto, la manera en que el tiempo llega al centro de datos y se propaga en su interior es crucial.

## Sistemas mundiales de navegación por satélite

Hay varias maneras de propagar el tiempo exacto a los centros de datos. En muchos casos, el proceso comienza con la recepción de una difusión de radiofrecuencias procedentes de constelaciones del sistema mundial de navegación por satélite (SMNS), como GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou, por conducto de dispositivos especiales denominados dispositivos de tiempo.

### Interacción entre los satélites del SMNS y los dispositivos de tiempo



Fuente: [Oleg Obleukhov y Ahmad Byagowi, Meta](#)

## Representación esquemática de la interacción entre los satélites del SMNS y los dispositivos de tiempo

Debido a las irregularidades en la rotación de la Tierra, la diferencia entre el tiempo atómico internacional (TAI) monótono creciente y el UTC fluctúa de manera constante, y llega a alcanzar un límite de  $\pm 500$  milisegundos. En este punto, el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS) emite una instrucción para que se añada o suprima un segundo intercalar del UTC.

Esta situación se agrava cuando cada constelación implementa su tiempo operativo propio y pasos de conversión al UTC adicionales. Por ejemplo, la hora GPS tiene una diferencia constante de 19 segundos respecto del TAI, mientras que GLONASS se basa en el UTC.

Esta complejidad afecta a menudo a los dispositivos de tiempo y, como sucede con otras partes móviles, genera problemas ocasionales.

## Dispositivo de tiempo de código abierto

En el marco del proyecto Open Compute de Meta, hemos iniciado un flujo de trabajo del proyecto [Time Appliances Project](#) dedicado al desarrollo de un dispositivo de tiempo de código abierto. Queremos liberar a la industria de las soluciones patentadas, facilitar la transparencia y reducir en gran medida el coste del dispositivo de tiempo.



*La sincronización temporal es sumamente importante para casi todas las aplicaciones de software de un centro de datos.*

Ahmad Byagowi y Oleg Obleukhov



**¿Es el momento de dejar atrás el segundo intercalar?**

[Leer el artículo.](#)

Al implementar el software de dispositivo de tiempo de código abierto, tuvimos que manejar una lógica compleja que se basa en diferentes constelaciones e indicadores de segundo intercalar para producir el TAI. Publicamos un [artículo](#) con una descripción exhaustiva de nuestro enfoque, nuestras motivaciones y el proceso de fabricación de nuestro dispositivo de tiempo:

Una vez sincronizado el dispositivo de tiempo, estamos preparados para propagar el tiempo por una red con conmutación de paquetes.

## Protocolo de tiempo de red

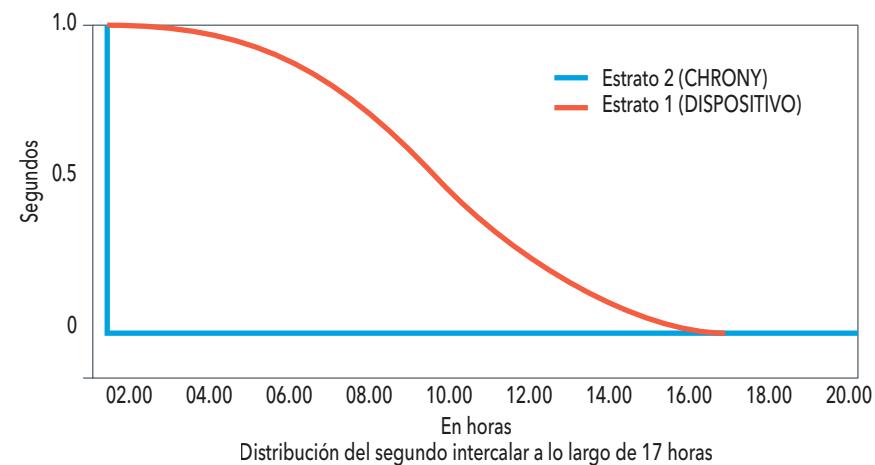
El protocolo de tiempo de red (Network Time Protocol, [NTP](#)) es uno de los tipos de sincronización temporal más frecuentes en los centros de datos. Es una tecnología muy fiable de eficacia demostrada. La mayoría de los servidores y dispositivos de usuario final de todo el mundo se apoyan en el NTP para mantener la hora actualizada.

En Meta, utilizamos un [NTP innovador con baja fluctuación](#) que validamos regularmente con equipos de cronometría extremadamente precisos y exactos. El NTP puede reducir la sincronización a cientos de microsegundos de manera fiable, con una ventana de incertidumbre inferior a 100 milisegundos.

Así, hay dos maneras de gestionar un evento intercalar: escalonar el reloj o distribuir.

[Se sabe que el escalonamiento \(stepping\) genera problemas](#), por lo que el smearing (técnica de distribuir el tiempo a lo largo de un periodo de horas para contabilizar los segundos intercalares) es la opción preferida en la mayoría de

## Desviación con respecto a la "hora real"



Fuente: [Oleg Obleukhov y Ahmad Byagowi](#), Meta

## Algunos componentes para la fabricación de un dispositivo de tiempo

OCP  
Tioga Pass



NVIDIA Mellanox ConnectX-6 Dx



Time Card de Facebook



Fuente: [Oleg Obleukhov y Ahmad Byagowi](#), Meta

los casos. Nuestro equipo nos permite medir el impacto de la distribución del segundo intercalar hasta unos pocos nanosegundos (véase la figura).

A partir de estas mediciones, sabemos que el tamaño de los ajustes puede llegar a decenas de microsegundos por minuto, por lo que son lo suficientemente grandes como para dañar el software si no se utiliza un reloj monótono. Esto conlleva más presión para nuestros equipos de ingeniería y suele provocar problemas en diferentes partes de la infraestructura.

[La industria digital](#) está sujeta a presiones similares. Vistos los desafíos que enfrentamos, nos sentimos reticentes a aplicar por primera vez un segundo intercalar negativo.

## Protocolo de tiempo de precisión

Aunque el NTP es adecuado para prácticamente todas las aplicaciones de usuario actuales, cada vez nos resulta más difícil, e incluso en ocasiones imposible, utilizarlo para sistemas de almacenamiento distribuido, cuyas exigentes aplicaciones requieren garantías mucho más estrictas.

Por ese motivo, algunas empresas como Meta [despliegan](#) soluciones de sincronización adicionales, como el protocolo de tiempo de precisión (Precision Time Protocol o PTP), que reducen la ventana de incertidumbre a nanosegundos.

Este nivel de precisión impide distribuir un segundo intercalar de forma segura. Por lo tanto, el PTP se utiliza principalmente con el TAI. Cuando se precisa conversión a UTC, debe realizarse de manera independiente para cada cliente, lo que conlleva la degradación de la ventana de incertidumbre en varios órdenes de magnitud.

## Ha llegado la hora

Apoyamos la decisión de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas ([BIPM](#)) de suspender la práctica del segundo intercalar de aquí a 2035.

El UTC fijo se irá alejando con lentitud de la hora solar observada, pero aumentará la estabilidad de sistemas críticos. La introducción de una hora intercalar y el ajuste del horario de verano cada pocos milenios constituirán un enfoque mucho más seguro y sostenible para todos.



*Apoyamos la decisión de la BIPM de suspender la práctica del segundo intercalar de aquí a 2035.*



# El programa del Centro Nacional de Cronometría del Reino Unido

Helen Margolis, Jefa de Asuntos Científicos del Tiempo y la Frecuencia, Laboratorio Nacional de Física, Reino Unido

En ocasiones, nos referimos al tiempo como servicio público invisible. Los servicios críticos, como las telecomunicaciones, las redes eléctricas, la banca y el transporte, dependen de la disponibilidad de señales de temporización cada vez más exactas.

Sin embargo, muchas organizaciones no son conscientes de su dependencia del tiempo o no entienden de dónde procede este tiempo.

## Dependencia excesiva del SMNS

En la mayoría de los casos, las señales de temporización proceden de los sistemas mundiales de navegación por satélite (SMNS). No obstante, son señales débiles, por lo que son vulnerables a las interferencias deliberadas, al redireccionamiento o a las interferencias naturales generadas por fenómenos como las tormentas solares. Esta vulnerabilidad, junto con el escaso conocimiento del grado de dependencia que tienen las infraestructuras críticas del SMNS, supone un riesgo importante.



“

*Los servicios críticos, como las telecomunicaciones, las redes eléctricas, la banca y el transporte, dependen de la disponibilidad de señales de temporización cada vez más exactas.*

Helen Margolis

En el Reino Unido, este riesgo se describió en un estudio de Blackett de 2018 ([Satellite-derived time and position: a study of critical dependencies](#)) y se añadió al Registro Nacional de Riesgos en 2020. Tanto el estudio de Blackett como el Registro han dejado claro que es necesario poner en marcha medidas para incrementar la resiliencia a la interrupción del SMNS, incluso mediante la adopción de sistemas auxiliares en caso necesario.

### UTC(NPL), una fuente de tiempo alternativa

El Laboratorio Nacional de Física (National Physical Laboratory o NPL) es el instituto nacional de metrología del Reino Unido y se ocupa del mantenimiento de la escala de tiempo UTC(NPL) -única implementación del tiempo universal coordinado (UTC) en territorio nacional- y de su difusión entre los usuarios.

Sin embargo, los servicios existentes dentro de nuestras fronteras están limitados en cuanto a la exactitud que pueden ofrecer o a su alcance geográfico. El servicio de señales horarias radioeléctricas MSF y el servicio de hora de Internet son relativamente poco exactos, mientras que nuestro servicio NPLTime® de conexión por fibra del sector financiero solo está disponible en una zona concreta del Reino Unido.

Para responder a las necesidades de los usuarios, que son cada vez más exigentes, y reducir la dependencia excesiva del SMNS que caracteriza a las infraestructuras críticas nacionales, el NPL dirige un programa orientado a mejorar de forma significativa la infraestructura y las capacidades horarias en todo el Reino Unido.

### El programa del Centro Nacional de Cronometría

El elemento central de este programa es la elaboración de una escala de tiempo nueva y más resiliente que, tras su puesta en servicio completa, pasará a ser la fuente del UTC(NPL).

Se ha concebido como una red de cuatro sitios separados físicamente pero conectados, y cada uno de ellos contendrá varios máseres de hidrógeno (emisores de ondas electromagnéticas), además del equipo de medición de señales, corrección de frecuencia y distribución asociado, de manera que se podrán implementar varias escalas de tiempo. Los enlaces de transferencia temporal entre sitios mantendrán la alineación de las implementaciones de escala de tiempo con la escala de tiempo denominada UTC(NPL), y utilizarán múltiples métodos para garantizar la resiliencia.

Se corregirá el propio UTC(NPL) para que se mantenga dentro de las desviaciones de frecuencia y tiempo definidas del UTC, apoyándose en patrones primarios de fuentes de cesio dentro de la red. Se podrá comutar entre diferentes implementaciones de escala de tiempo cuando sea necesario, dentro del mismo sitio o en sitios distintos. Se está desarrollando un software para vigilar, controlar y automatizar el funcionamiento de la nueva infraestructura.

“

*Para responder a las necesidades de los usuarios, que son cada vez más exigentes, y reducir la dependencia excesiva del SMNS que caracteriza a las infraestructuras críticas nacionales, el NPL encabeza un programa orientado a mejorar de forma significativa la infraestructura horaria.*



Una fuente de cesio fabricada por el NPL

[Más información.](#)

## Estímulo a la innovación

También se están poniendo a disposición de los usuarios industriales y académicos las señales horarias y de frecuencia de la escala de tiempo UTC(NPL) vigente en el Reino Unido, por medio de nodos de innovación nuevos ubicados en las universidades de Strathclyde, Surrey y Cranfield.

En colaboración con [Innovate UK](#), apoyamos la investigación sobre generación de horas y frecuencias, su divulgación y sus aplicaciones, y promovemos el desarrollo de la cadena de suministro industrial. Los tres nodos de innovación, que utilizan métodos de transferencia de tiempo y frecuencia diferentes para conectarse al UTC(NPL), podrían utilizarse como modelo de la futura infraestructura de distribución del Reino Unido.

### Una escala de tiempo continua para un mundo digital

Evidentemente, la nueva escala de tiempo del Reino Unido se ha diseñado de manera que la gestión de los segundos intercalares sea acorde con las normas internacionales. Por ello, ofrecerá la capacidad de distribuir la información sobre el segundo intercalar a los nodos de acceso de usuarios. Sin embargo, no todos los protocolos de difusión del tiempo manejan correctamente los segundos intercalares, y la posibilidad de que se añada -por primera vez en la historia- un segundo intercalar negativo supone un riesgo para la resiliencia.

Por estos motivos, las principales partes interesadas del Reino Unido consideran que el cambio a un UTC continuo sin segundos intercalares constituye la mejor opción para obtener una escala de tiempo de precisión resiliente que contribuya a la economía digital moderna.

## Visión futura

Nuestro objetivo a largo plazo es crear una red troncal de tiempo y frecuencia extremadamente precisa que recorra la totalidad del país. Las derivaciones de esa red troncal proporcionarán múltiples servicios con diferentes niveles de rendimiento, algunos de ellos con conexión por fibra y otros basados en tecnologías de radiodifusión.

Todas estas señales podrían ser trazadas con respecto al UTC(NPL) como punto de referencia máximo en el Reino Unido. El objetivo es proporcionar un servicio de tiempo resiliente en el que puedan confiar todos los usuarios, estén donde estén.



*Nuestro objetivo a largo plazo es crear una red troncal de tiempo y frecuencia extremadamente precisa que recorra la totalidad del país.*





# El sistema de navegación por satélite BeiDou y el segundo intercalar UTC

Yuting Lin, Ingeniera Superior, Centro de Navegación por Satélite de Beijing; Yuanxi Yang, Investigador, Laboratorio Estatal Principal de Ingeniería de la Geoinformación y Bijiao Sun, Miembro del Equipo de Ingeniería, Laboratorio Estatal Principal de Ingeniería de la Geoinformación, China

La existencia de un servicio horario preciso, estable y continuo es un requisito básico para el desarrollo social y económico nacional. Actualmente, los sistemas de navegación por satélite son compatibles con el método de servicio horario más habitual y ofrecen la máxima precisión y cobertura.

## El sistema de tiempo de BeiDou

El sistema mundial de navegación por satélite BeiDou (BDS) se ha convertido en un componente esencial de esta infraestructura de registro del tiempo, y el BDS-3 de tercera generación se completó y realizó sus últimos lanzamientos de satélite en 2020. Actualmente, la constelación del BDS cuenta con 45 satélites operativos, incluidos 15 satélites BDS-2 y 30 satélites BDS-3, que proporcionan servicios de usuario conjuntos. Su precisión horaria es superior a 20 nanosegundos, lo que representa un nivel de fiabilidad del 95 %.



Yuting Lin



Yuanxi Yang



Bijiao Sun

Para obtener su hora de referencia, el BDS se rige por el tiempo del sistema de navegación por satélite BeiDou (BDT), que utiliza el segundo del Sistema Internacional de Medidas (SI) a efectos de la acumulación continua sin segundos intercalares.

La época inicial del BDT fueron las 00:00:00 del 1 de enero de 2006, tiempo universal coordinado (UTC). El BDT se remite al UTC mantenido por el laboratorio nacional de cronología de China, con una diferencia de 50 nanosegundos como máximo (módulo 1 segundo) entre el BDT y el UTC. Las correcciones de segundo intercalar entre el BDT y el UTC se difunden por medio de mensajes NAV.

Desde 1972, se ha actualizado el UTC en 27 ocasiones con segundos intercalares positivos, y por última vez el 31 de diciembre de 2016. Actualmente, la diferencia entre el UTC y el tiempo atómico internacional (TAI) es de 37 segundos.

### Impacto de los segundos intercalares en los sistemas BeiDou

El segundo intercalar afecta a los usuarios de BeiDou que adoptan el BDT, en lugar del UTC, como referencia de tiempo, bien para la sincronización temporal, la determinación de las mediciones de órbita o el procesamiento de los datos, bien para otros fines.

Aunque los sistemas espaciales se ocupan de recibir y reenviar los parámetros de los segundos intercalares, su propio sistema no resulta afectado por los segundos intercalares.

Los sistemas de navegación por satélite prestan servicios horarios a infraestructuras críticas, como la alimentación eléctrica, las comunicaciones y las finanzas. Debido a su necesidad crucial de continuidad temporal, el procesamiento frecuente de los segundos intercalares restaría seguridad a su funcionamiento.

Los actuales sistemas terrenales procesan el segundo intercalar y lo difunden a sus usuarios por medio de un mensaje NAV. Con todo, la generación e inserción de esos parámetros conlleva una carga de trabajo considerable e introduce riesgos de cálculo en el sistema operativo.

La hora de salida del receptor BDS tras recibir la señal de satélite es la hora UTC. Por ello, el receptor debe tener en cuenta los parámetros de corrección del segundo intercalar y corregir la diferencia temporal.

Si se cancelaran los segundos intercalares, el desfase temporal (o el número entero de segundos) entre el BDT y el UTC se predefiniría en los sistemas como constante fija, lo que simplificaría el funcionamiento y la aplicación de los sistemas, mejoraría la estabilidad sistémica y propiciaría la compatibilidad e interoperabilidad de múltiples sistemas mundiales de navegación por satélite.

*“La existencia de un servicio horario preciso, estable y continuo es un requisito básico para el desarrollo social y económico nacional.”*

Yuting Lin, Yuanxi Yang and Bijiao Sun

*“Aunque los sistemas espaciales se ocupan de recibir y reenviar los parámetros de los segundos intercalares, su propio sistema no resulta afectado por los segundos intercalares.”*

## Propuestas de reforma del UTC

Ante el impacto y los riesgos derivados de la ejecución de tales ajustes, cada vez más voces demandan una reforma del UTC y la cancelación de los segundos intercalares. El tema del futuro del UTC se sometió a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para debate ya en 1999.

En ese momento, el representante de China en la UIT propuso continuar estudiando el tema y adoptar una decisión tras definir con claridad las ventajas y desventajas conexas. Posteriormente, los países y organizaciones interesados siguieron debatiendo sobre el segundo intercalar en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2015, cuando se decidió no modificar el UTC antes de 2023.

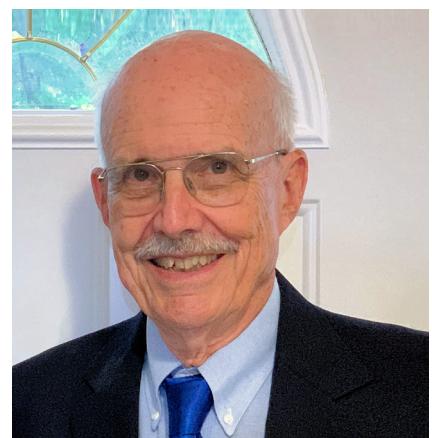
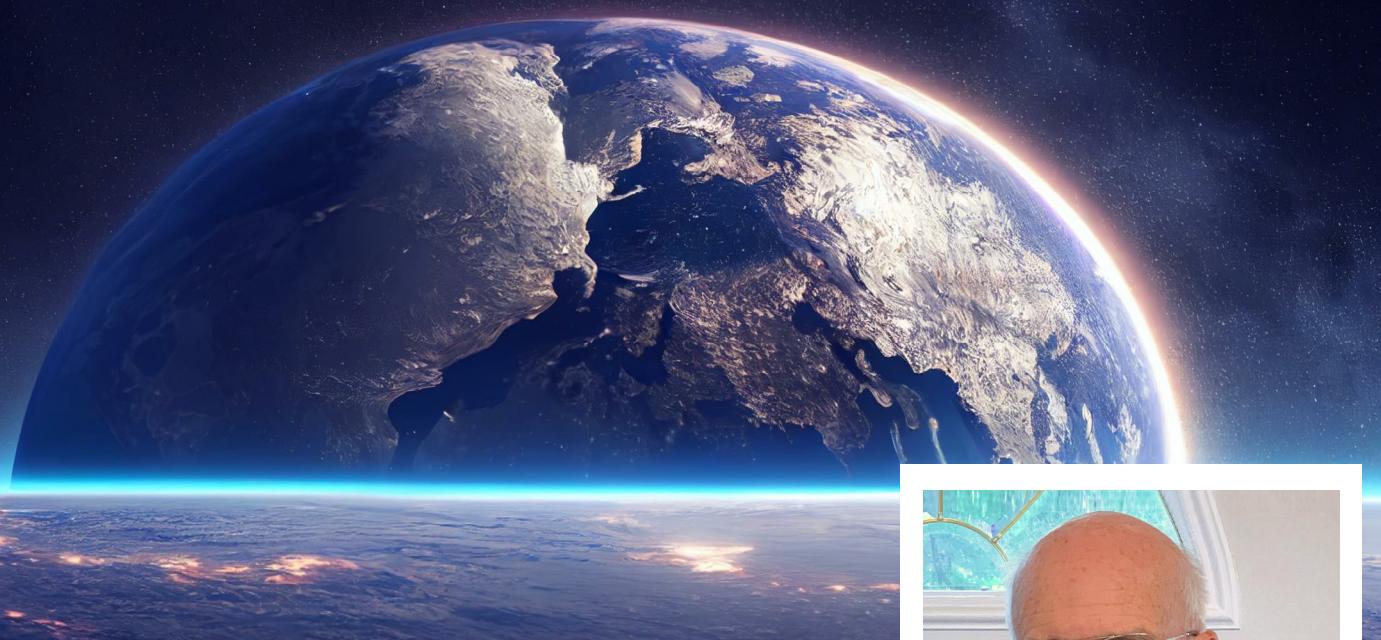
Ahora, debido al progreso de la ciencia y la tecnología, la necesidad de reformar el UTC es aún más apremiante.

En consecuencia, cabe tener en consideración tres puntos clave:

- 1. Un UTC futuro debería ser más continuo**, estable y exacto. Al tratarse del patrón de tiempo universal de economías y sociedades cambiantes, debería estar más adaptado a las necesidades de los usuarios y a los avances constantes de la ciencia y la tecnología.
- 2. Se precisa una duración de segundo** nueva a fin de absorber la diferencia entre la duración del segundo atómico definida por el UTC y la duración del segundo físico basada en la rotación desigual de la Tierra. De esta manera, ya no se necesitaría un segundo intercalar para 10 000 años. Evidentemente, antes de la entrada en vigor de la nueva duración del segundo, se debería conceder tiempo suficiente a los usuarios para evaluar los sistemas y software existentes con una perspectiva integral y actualizarlos a fin de evitar posibles riesgos operativos.
- 3. Se debería mantener de alguna forma la conexión del UTC con el tiempo universal 1** (UT1, basado en la rotación de la tierra). El UT1 sigue utilizándose de manera mayoritaria en algunos ámbitos e industrias, como la astronomía, la geodesia y la exploración espacial, entre muchos otros. Por lo tanto, también se deben tener en cuenta y satisfacer las necesidades de estos usuarios.



*Debido al progreso de la ciencia y la tecnología, la necesidad de reformar el UTC es aún más apremiante.*



## Impacto real en la astronomía

Dennis McCarthy, Representante de la Unión Astronómica Internacional ante el Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia y la BIPM

Las aplicaciones astronómicas que utilizan la definición actual de tiempo universal coordinado (UTC) para acceder al UT1, que es el tiempo universal basado en la rotación de la Tierra, resultarían afectadas por cualquier cambio en la definición de UTC.

El ángulo de rotación de la Tierra en un sistema de referencia celeste se describe con arreglo al ángulo UT1. La definición actual de UTC asegura que la diferencia entre el UT1 y el UTC (esto es., UT1-UTC) no excede de 0,9 segundos, de manera que las aplicaciones que no requieren una gran precisión pueden acceder fácilmente al UT1 por medio del UTC.

Si se vuelve a definir el UTC, quizás sea necesario cambiar la estrategia de las aplicaciones que utilizan el UTC como representación poco precisa del UT1, actualizar su software básico e informar a sus usuarios sobre estos cambios. Cualquier modificación de la definición de UTC también podría generar inquietud entre los productores y usuarios de datos astronómicos.

“

*Las aplicaciones astronómicas que utilizan la definición actual de UTC para acceder al UT1 resultarían afectadas por cualquier cambio en la definición de UTC.*

Dennis McCarthy

Ces Se trata, entre otras, de las aplicaciones siguientes:

- telescopios, antenas y otros instrumentos terrenales orientados a direcciones exactas;
- software y aplicaciones astronómicos que aplican la definición actual de UTC;
- datos astronómicos de almanaques y sitios web que utilizan la definición actual de UTC; y
- provisión de valores y parámetros observados o previstos para describir la orientación de la Tierra respecto de los sistemas de referencia astronómica.

### Orientación de los telescopios, antenas e instrumentos terrenales

Actualmente, las aplicaciones de apuntamiento astronómico que requieren que el UT1 tenga más precisión consultan las estimaciones actuales y previstas del UT1-UTC en Internet, GPS o BeiDou.

Sin embargo, la definición actual de UTC no admite una diferencia superior a nueve décimas de un segundo entre los valores UT1-UTC. Si esto cambiara, se tendría que modificar gran parte del software existente para permitir más dígitos en UT1-UTC.

Con todo, si la exactitud que presenta el UTC en este momento cubre las necesidades operativas actuales de los telescopios relativos al UT1, cabe presuponer que se cumpliría el mismo requisito de exactitud en  $\pm 1$  segundo en UT1-UTC, en cuyo caso los ajustes de software serían mínimos.

Se espera que sea posible resolver estas cuestiones si se permite un margen de tiempo suficiente para la aplicación de una nueva definición de UT1-UTC.

### Software y aplicaciones astronómicos

De forma similar, quizás sea necesario modificar el software y las aplicaciones existentes que presuponen que el UTC equivale básicamente al UT1, de manera que se podrían aplicar correcciones para incluir los valores UT1-UTC. Se espera que las aproximaciones actuales y previstas del UT1-UTC de Internet, y también del GPS o BeiDou, den respuesta a esta necesidad, pero puede que sea preciso realizar cambios en su software y procedimientos.

Una vez más, estos problemas pueden solicitarse si se prevé un margen de tiempo suficiente.



*Quizás sea necesario modificar el software y las aplicaciones existentes que presuponen que el UTC equivale básicamente al UT1.*



## Datos astronómicos de almanaques y sitios web

Las efemérides (cuadros predictivos de las posiciones de los planetas, cometas o satélites) y las predicciones de fenómenos astronómicos se calculan con una escala de tiempo continua independiente de la rotación de la Tierra. Por lo tanto, estos cálculos no resultarían afectados por los cambios en la definición de UTC. Sin embargo, es posible que la información resultante dependa del UTC como hora de referencia.

Los ajustes en el UTC son imprevisibles y se anuncian tan solo unos meses antes de su implementación. Las efemérides astronómicas de fechas futuras más alejadas en el tiempo podrían contener errores debido a los ajustes en el UTC no previstos.

En consecuencia, las efemérides expresadas en UTC se beneficiarían de la eliminación de los ajustes asociados al segundo intercalar, que provocan el error de predicción del UT1-UTC. De hecho, se descartaría la posibilidad de que se produjera este error.

## Provisión de los valores observados y previstos del UT1-UTC

El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia ([IERS](#)), establecido por la Unión Astronómica Internacional ([UAI](#)) y la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica ([UIGG](#)), es responsable de proporcionar los valores observados y previstos del UT1-UTC. En este sentido, se ocupa de anunciar los ajustes de un segundo en el UTC, que se denominan "segundos intercalares".

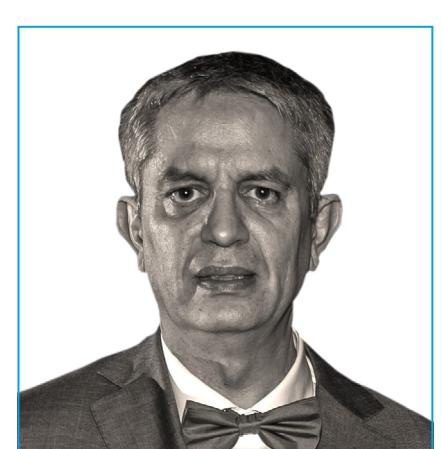
Los cambios propuestos para la definición de UTC podrían permitir una diferencia superior a 0,9 segundos entre el UT1 y el UTC. En este caso, la función del IERS (que es, actualmente, la de anunciar los segundos intercalares) se alteraría. Sin embargo, la redefinición de UTC propuesta aumentaría la importancia de las actividades del IERS, con una atención renovada por la provisión de datos del UT1-UTC, que podrían llegar a facilitarse en tiempo real.

En resumen, la redefinición del UTC repercutiría sin duda en las iniciativas astronómicas. No obstante, si se concediera un margen de tiempo suficiente, la comunidad astronómica podría adaptarse a ese impacto sin perturbar los procedimientos en curso.



*Los cambios propuestos para la definición de UTC podrían permitir una diferencia superior a 0,9 segundos entre el UT1 y el UTC.*





## Difusión de la hora: una perspectiva histórica

Christian Bizouard, Astrónomo, Observatorio de París (SYRTE) y Centro de Orientación de la Tierra del IERS

La difusión de la hora basada en la rotación de la Tierra, determinada por el tiempo solar medio ( $t$ ) de un meridiano de referencia, es una práctica antigua que ha evolucionado con el desarrollo de las tecnologías y sus aplicaciones.

Ya en el siglo XVIII, la divulgación de la hora se realizaba a través de relojes mecánicos, que permitían mantener un registro del tiempo en movimiento en distancias largas, en especial en el mar. Facilitaban el cálculo de la rotación del meridiano principal respecto de la hora sideral de Greenwich (GST). Por tanto, la ascensión recta ( $\alpha$ ) de un objeto celestial en el meridiano local podría determinar la longitud del meridiano local [ $\alpha - GST(t)$ ] y permitir una navegación y mapas cada vez más precisos.

En el siglo XIX, la divulgación de la hora adquirió una importancia crucial para los horarios ferroviarios. En 1884, el aumento del comercio y las comunicaciones internacionales impulsó la adopción de la hora solar media de Greenwich como tiempo universal (UT). Con todo, los relojes fabricados no eran lo suficientemente estables como para estar sincronizados con el tiempo de rotación de la Tierra, y tenían que ser ajustados al UT mediante observaciones astronómicas cada pocos días.

A principios del siglo XX, varios servicios de radiodifusión del mundo comenzaron a emitir en el huso horario local en relación con el UT. En 1912,

*“Ya en el siglo XVIII, la divulgación de la hora se realizaba a través de relojes mecánicos.”*

Christian Bizouard

la Oficina Internacional de la Hora (BIH) del Observatorio de París comenzó a recopilar datos para mantener el UT.

## La irregularidad del tiempo universal

La invención del reloj de cuarzo cambió las reglas de juego en la década de 1930, al poner al descubierto la irregularidad del UT, con una variación estacional de 20 milisegundos (ms) aproximadamente. Las comparaciones de las efemérides planetarias confirmaron oscilaciones adicionales del UT de hasta cinco segundos a lo largo de períodos de varios decenios.

De acuerdo con los registros antiguos de eclipses solares, la duración de un día aumenta a largo plazo a una velocidad de 1,8 milisegundos por año natural (ms/cy), lo que provoca una disminución parabólica del UT, según se ha registrado a lo largo de períodos prolongados.

Para la década de 1950, el oscilador de cuarzo se podía acoplar a un resonador atómico para obtener una estabilidad de cronometría mejorada.

Ante las pruebas obtenidas sobre la inestabilidad de la rotación de la Tierra, se comenzó a distinguir entre el tiempo astronómico tradicional (UT1) y el UT más estable determinado por los relojes atómicos. En 1958 se adoptó el tiempo atómico internacional (TAI) con fines científicos. Trece años después, el segundo TAI se convirtió en el patrón horario aceptado de forma general para todas las actividades humanas.

## Alineación del tiempo atómico con el UT1

En 1972, el tiempo universal coordinado (UTC) pasó a ser la base del control del tiempo internacional ampliamente aceptada. El UTC es estable como el TAI, salvo que, en ocasiones, se le aplica un desplazamiento de un segundo para que coincida con la realidad astronómica o para mantener una diferencia de 0,9 segundos con el UT1.

Por el contrario, el TAI no se ha ajustado y se ha ido adelantando al UT1 desde 1972, hasta alcanzar una diferencia de 27 segundos.

Por lo tanto, el UTC mantiene un compromiso constante entre la estabilidad del control del tiempo atómico y la realidad de los días y noches de la Tierra.

En 1987, las actividades astronómicas de la BIH se integraron en el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS), que ahora se denomina Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia.

La decisión de introducir un cambio de un segundo en el UTC conlleva la necesidad de ejercer la vigilancia astronómica del UT1 en relación con el UTC. Actualmente, en su publicación semestral Bulletin C (1 de enero y 1 de julio), el Centro de Orientación de la Tierra (Earth Orientation Center) del IERS anuncia si se añadirá un segundo intercalar al UTC el 30 de junio o el 31 de diciembre. Entre 1972 y 2017, el UTC se ajustó en 27 segundos intercalares, cuyas ocurrencias son tan impredecibles como las variaciones a largo plazo de la duración del día a lo largo de varios decenios.



*La invención del reloj de cuarzo cambió las reglas de juego en la década de 1930.*

## Segundos intercalares

Durante los últimos 50 años, se han añadido 27 segundos intercalares al UTC.

## ¿Qué cambió en la década de 1990?

Hasta la década de 1990, las necesidades de la navegación relacionadas con el apuntamiento astronómico estuvieron cubiertas por la radiodifusión del UTC, complementada en ocasiones con una corrección del UT1-UTC de 0,1 segundos como máximo, que se corresponde con la precisión de un arco ecuatorial de 45 metros. Hasta la fecha, el Observatorio de París publica estas actualizaciones del UT1-UTC en función de las necesidades en el Bulletin D del IERS.

Sin embargo, tras la aparición de los sistemas mundiales de navegación por satélite (SMNS) en la década de 1990, la precisión horaria anterior quedó obsoleta. Para obtener un posicionamiento en tiempo real con un margen de un metro, se debe conocer el UT1 con un margen de 2 milisegundos como mínimo.

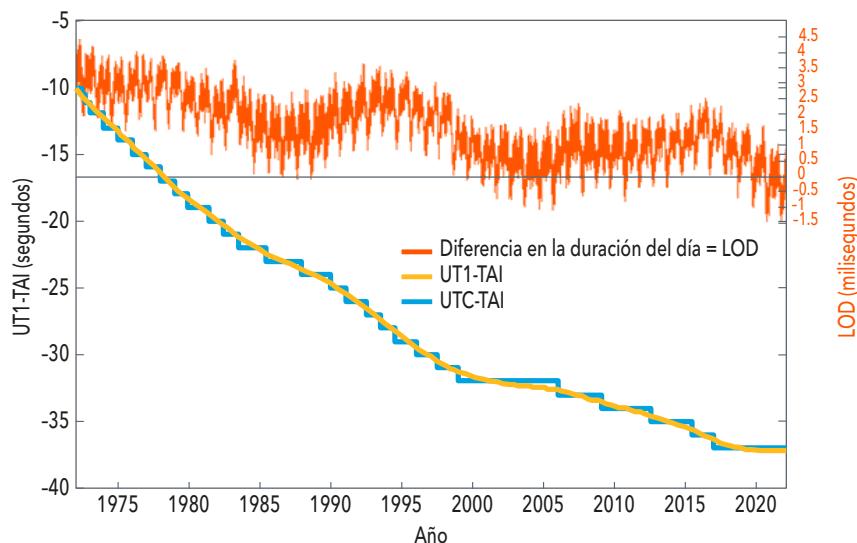
Los SMNS y otras técnicas de astronomía geodésica se basan en los valores del UT1–UTC determinados mediante interferometría de muy larga base (VLBI). Sus valores operativos diarios alcanzan una precisión de 30 microsegundos ( $\mu$ s) aproximadamente, según se indica en el Bulletin A del IERS, y los valores finales con una precisión de 7  $\mu$ s se publican entre 20 y 30 días después en la serie C04, Bulletin B, del IERS.

## Supresión del segundo intercalar

Durante los últimos 20 años, la sincronización estricta del UT1 con el UTC ha perdido gran parte de su sentido, y la mayoría de los debates mantenidos desde el año 2000 se han orientado a eliminar el sistema del segundo intercalar.

Hasta la década de 2020, la duración del día rebasaba los 86.400 segundos TAI (véase la figura); por tanto, nuestros días son cada vez más cortos y, dado que el segundo del UT1 es en promedio ligeramente más rápido que el segundo del UTC, el programa del segundo intercalar resulta cada vez menos predecible.

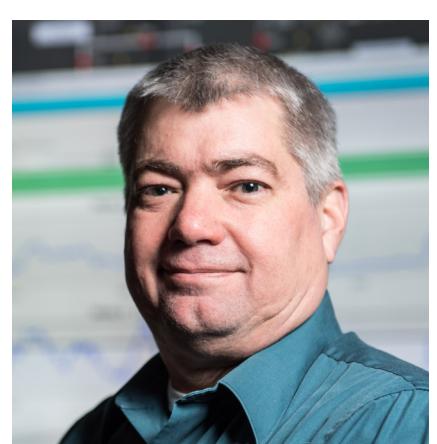
### Diferencias en el UT1-TAI y el UTC-TAI desde 1972



Fuente: Christian Bizouard, Observatorio de París

Nuestros días son cada vez más cortos y, dado que el segundo del UT1 es en promedio ligeramente más rápido que el segundo del UTC, el programa del segundo intercalar resulta cada vez menos predecible. ”

El Centro de Operaciones de Infraestructuras Eléctricas (Electricity Infrastructure Operations Center, EIOC) del PNNL proporciona un entorno de centro de control realista para fines de formación y pruebas tecnológicas avanzadas.



## Sincronización de las redes eléctricas

Jeff Dagle, Ingeniero Eléctrico Jefe, Pacific Northwest National Laboratory ([PNNL](#))

La utilización de un sistema moderno de alimentación interconectado exige la máxima precisión, ya que múltiples entidades deben mantenerse coordinadas de forma constante y estrecha para gestionar una infinidad de generadores y demás componentes, sincronizados entre sí.

Los operadores de sistemas mantienen un registro del tiempo y utilizan el tiempo universal coordinado (UTC) en diferentes aplicaciones avanzadas. Con todo, los errores de medición y distribución del tiempo no provocarán forzosamente fallos en el sistema de alimentación. La red eléctrica puede funcionar sin una referencia de tiempo común.

No obstante, es posible que las aplicaciones avanzadas que requieren información de hora precisa y exacta resulten alteradas, lo que generaría dudas sobre su fiabilidad.

En este artículo se explica cómo se utiliza el tiempo de precisión en las operaciones del sistema de alimentación, prestando una atención especial al papel del UTC.

*En los últimos decenios, el tiempo de precisión asequible y generalizado que facilitan los sistemas mundiales de navegación por satélite ha propiciado técnicas de medición avanzadas.*

Jeff Dagle

## Aplicaciones de centro de control

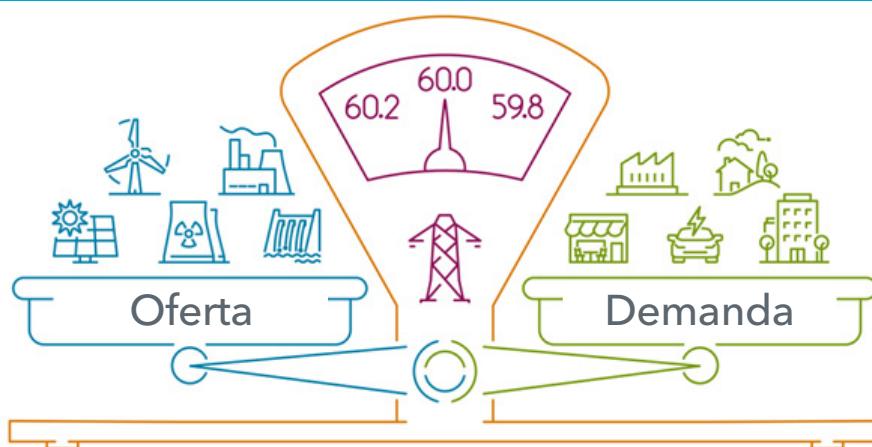
En condiciones normales, los centros de control utilizan los husos horarios locales dominantes. Aunque el UTC se utiliza en ocasiones para los registros de datos automatizados, rara vez se emplea con fines de comunicación entre humanos, a diferencia de otras industrias en tiempo real que abarcan varios husos horarios (por ejemplo, el control del tráfico aéreo). Por consiguiente, es importante especificar el huso horario al intercambiar información con otras organizaciones.

Se requiere información de tiempo precisa para registrar los eventos y coordinar las acciones. En el caso de las aplicaciones con participación humana, las pantallas y otros sistemas de automatización se pueden corregir al segundo de precisión más cercano.

## Redespacho de generación

Los cambios en la oferta o la demanda eléctricas provocan la aceleración o ralentización del sistema, medidas en décimas o centésimas de hercio (Hz). El redespacho de generación es un proceso continuo que no requiere una referencia al tiempo, a pesar de que la medición de frecuencias precisa es un requisito indispensable para el buen funcionamiento del programa.

Equilibrio entre generación y carga para mantener la frecuencia del sistema en todo momento; ejemplo para una red de 60 Hz.



Fuente: PNNL

## Registros de secuencia de eventos

Cuando se produce un problema a gran escala (normalmente, un corte del suministro), la recopilación de la información del evento requiere un nivel de precisión suficiente para analizar la secuencia de fallos en cascada. Habida cuenta del rápido funcionamiento de los dispositivos automáticos de protección y control, es preciso resolver los eventos individuales con una precisión de

milisegundos a fin de formular la secuencia de eventos y llevar a cabo un análisis de las causas iniciales.

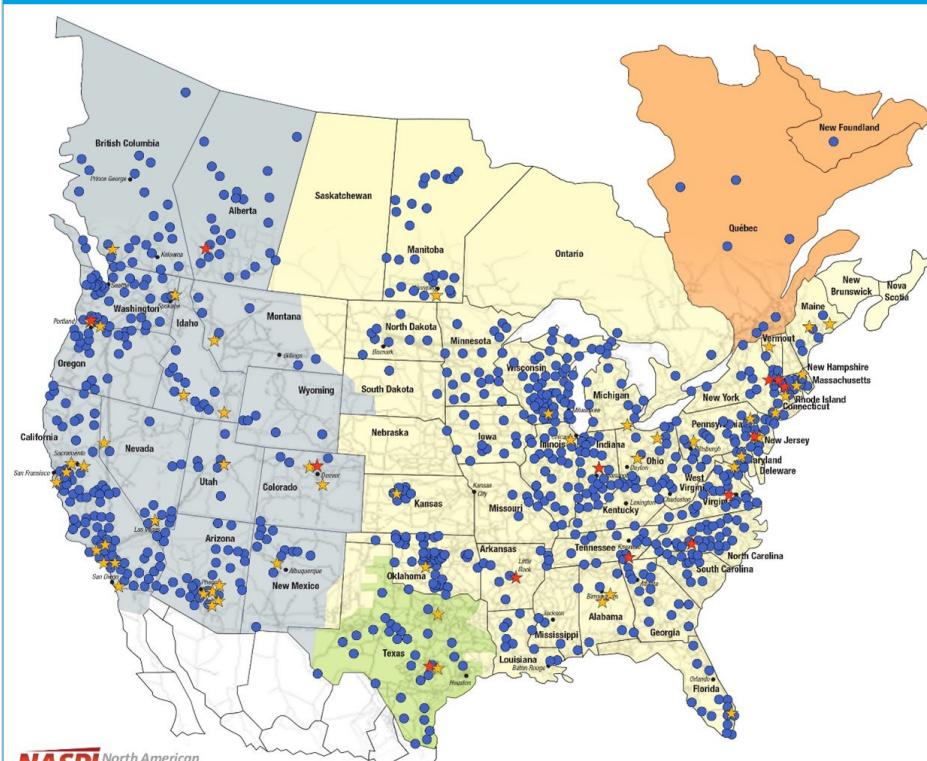
Además, cuando un evento transciende a varias organizaciones, los investigadores intentan recabar datos sincronizados respecto de una misma referencia de tiempo. Por ejemplo, la North American Electric Reliability Corporation (NERC) necesita esos registros con un margen de  $\pm 2\text{ms}$  respecto del UTC.

## Sistemas de medición avanzada

En los últimos decenios, el tiempo de precisión asequible y generalizado que facilitan los sistemas mundiales de navegación por satélite (SMNS) ha propiciado técnicas de medición avanzadas. En todo el mundo, se han puesto en marcha sincrofases (PMU) que necesitan una fuente de sincronización temporal con precisión superior a 10 microsegundos ( $\mu\text{s}$ ), y se ha adoptado el UTC como referencia de tiempo porque las mediciones son compartidas por diferentes organizaciones.

Se están implantando sistemas de medición avanzada en otros servicios públicos para diferentes aplicaciones fuera de línea y en tiempo real. Dado que estos sistemas se implantan para aplicaciones cada vez más críticas, los requisitos conexos de sincronización fiable del tiempo están adquiriendo más importancia.

### PMU conectados de la red eléctrica de América del Norte



*Casi todas las normas internacionales de ingeniería con requisitos de sincronización temporal remiten al UTC.*



Fuente: North American SynchroPhasor Initiative (NASPI) y PNNL

● Ubicaciones de PMU

★ Concentrador de datos de propiedad de las transmisiones

★ Concentrador de datos regional

Elaborado con la información disponible en mayo de 2017

## Planes de protección y control avanzados

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) ha elaborado la nueva norma internacional sobre automatización de subestaciones (IEC 61850), que puede exigir hasta 1μs de precisión para aplicaciones específicas. También en esta ocasión, se remite al UTC como referencia de interés.

Otros planes de protección y control avanzados dependen de métodos de sincronización temporal avanzados, como los planes de localización y protección de ondas progresivas. Al compartir los datos entre organizaciones o integrar productos de varios proveedores en un programa común, es importante especificar que se utiliza el UTC.

## El impacto de los segundos intercalares

La utilización del UTC como referencia de sincronización temporal va mucho más allá de la industria de la alimentación eléctrica. Casi todas las normas internacionales de ingeniería con requisitos de sincronización temporal recurren al UTC. Es crucial contar con una referencia de tiempo común al intercambiar datos entre múltiples organizaciones o ubicaciones.

En ocasiones, se aplican ajustes en el UTC para mantener la sincronización rotacional de la Tierra. En algunos casos, durante ese proceso de ajuste los PMU han experimentado perturbaciones asociadas al segundo intercalar, evidentemente debido a las incoherencias de implementación entre los sistemas de diferentes proveedores o a la aplicación insuficiente de parches por parte de los usuarios finales.

Aunque la ejecución del segundo intercalar progresivo debería ser un proceso sencillo, invariablemente surgen problemas imprevistos durante el evento.

Los segundos intercalares se podrían evitar por completo si se cambiara a una referencia temporal diferente, como el tiempo atómico internacional (TAI). Sin embargo, ante la amplia aceptación y prevalencia del UTC, no se ha impulsado este cambio desde ninguna instancia.

Si se mantiene el UTC como norma internacional pero se introducen menos ajustes de segundo intercalar, se podría aumentar notablemente el valor del sector de las infraestructuras eléctricas en el futuro.

Possiblemente una solución a largo plazo razonable sería abandonar el segundo intercalar en favor del minuto intercalar, lo que implicaría ajustar nuestros relojes una vez por siglo, no cada par de años.



*Posiblemente una solución a largo plazo razonable sería abandonar el segundo intercalar en favor del minuto intercalar, lo que implicaría ajustar nuestros relojes una vez por siglo, no cada par de años.*



## Pasado, presente y futuro del UTC

Andreas Bauch, Científico Principal, PTB (Instituto Nacional de Metrología) y Karsten Buckwitz, Asesor Principal del Espectro, BNetzA (Agencia Federal de Redes), Alemania

Desde hace mucho tiempo, y por mucho tiempo más, se considera que el acceso fiable a información de tiempo precisa es un elemento indispensable para el correcto funcionamiento de las modernas infraestructuras de todo el mundo. La mayoría de usuarios, industrias y organizaciones, así como expertos en cronometría, coinciden en la necesidad de establecer una única escala de tiempo de referencia universal, y mediante su decisión de 1975, reafirmada en 2018, la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM) recomendó definir el tiempo universal coordinado (UTC) como única escala de tiempo de referencia internacional y como base para la hora civil.

El UTC ofrece ventajas considerables en comparación con otras escalas de tiempo:

- Su mantenimiento es responsabilidad de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM), sujeta a la autoridad de la CGPM, con contribuciones de laboratorios de cronología de muchos países y con la participación de cientos de físicos y metrólogos. De esta manera, conserva su independencia e imparcialidad respecto de países, poderes políticos o entidades comerciales concretos.



Andreas Bauch



Karsten Buckwitz

- Aunque se reconoce ampliamente que el UTC es, en la práctica, la fuente de temporización y frecuencias de muchos países, solo unos pocos Estados especifican que el UTC, más el desfase correspondiente, constituye la hora legal. Un ejemplo es Alemania, que se rige por el UTC más un desfase de una o dos horas dependiendo de la estación, de conformidad con la Ley de Unidades y Tiempo de 2008.
- El UTC se difunde por medio de una aproximación local en tiempo real o UTC(k), facilitada por el instituto nacional de metrología o el instituto designado de cada país. En el plano nacional, estas entidades se ocupan de la aplicación y difusión del UTC(k) y, en algunos casos, de la hora legal. En Alemania, el Instituto Federal de Física y Técnica (Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB) difunde la hora legal a través de la estación de radio de frecuencia patrón DCF77 a 77,5 kilohercios (kHz), pero también a través de la red telefónica pública e Internet.

### El papel de la UIT en la difusión de las señales horarias

El Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) y su Grupo de Trabajo 7A desempeñan un papel esencial en la definición de la base técnica y reglamentaria para la difusión ininterrumpida de las señales horarias en todo el mundo. El establecimiento de códigos de tiempo nuevos y la protección de los servicios de frecuencias patrón y señales horarias continúan siendo tareas importantes y en curso del Grupo de Trabajo 7A, con el apoyo de las organizaciones internacionales competentes.

En los debates que mantienen todas las partes implicadas desde hace decenios, se ha llegado al acuerdo de no utilizar escalas de tiempo alternativas como fuentes de temporización. Más bien, la concretización del UTC debería adaptarse a las necesidades de los usuarios en el siglo XXI.

Las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones anteriores realizaron pruebas para actualizar el UTC, y la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2015 (CMR-15) analizó la viabilidad de conseguir una escala de tiempo de referencia continua modificando el UTC o con otros métodos. La CMR-15 debatió sobre este asunto en respuesta a la decisión tomada durante el ciclo anterior en la Resolución 653 (CMR-12).

En virtud de la posterior Resolución 655 (CMR-15), el Director de la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT informará a la próxima CMR-23 acerca de los resultados de las actividades relacionadas con los distintos aspectos de las escalas de tiempo de referencia actuales y potenciales, y sobre el contenido y la estructura de las señales horarias que deben difundir los sistemas de radiocomunicaciones.

### La visión de Alemania

Varios países han ayudado al Grupo de Trabajo 7A a prepararse para el debate de la CMR-23, como Alemania, por medio de un equipo de preparación que ha trabajado de forma exhaustiva en el tema entre 2015 y 2022. Alemania acogió

*“La mayoría de usuarios, industrias y organizaciones, así como expertos en cronometría, coinciden en la necesidad de establecer una única escala de tiempo de referencia universal.”*

Andreas Bauch y Karsten Buckwitz

*“La concretización del UTC debería adaptarse a las necesidades de los usuarios en el siglo XXI.”*

con agrado el Informe Final UIT-R TF.2511 relativo al contenido y la estructura de las señales horarias que deben difundir los sistemas de radiocomunicaciones y las distintas cuestiones relacionadas con las escalas de tiempo de referencia actuales y potenciales, incluidas sus repercusiones y aplicaciones en las radiocomunicaciones, junto con la correspondiente nota al Director de la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT.

Alemania respalda por completo las conclusiones y sugerencias del Informe, que probablemente conformarán la base del Informe del Director de la Oficina para la CMR-23.

## Actualización de la resolución sobre escalas de tiempo de la UIT

Muchas administraciones, incluida Alemania, han pedido que se revise la Resolución 655 (CMR-15), „Definición de escala de tiempo y difusión de señales horarias a través de sistemas de radiocomunicaciones”. Esta revisión es fundamental para finalizar el proceso y adaptar el UTC de cara al futuro.

Los debates sobre el tema mantenidos desde 2012 han producido algunas conclusiones y lecciones clave significativas:

- la BIPM es responsable de definir y publicar la escala de tiempo de referencia UTC de acuerdo con la Resolución 2 de la 26<sup>a</sup> CGPM, celebrada en 2018;
- la CGPM establecerá el calendario y el límite futuro para la cantidad UT1-UTC, de acuerdo con la Resolución 4 de la 27<sup>a</sup> CGPM de 2022; y
- la tarea de definir las propiedades del UTC no forma parte de las labores de regulación del espectro del UIT-R.

## Continuación del diálogo, abierto a todos los interesados

Se invita a los usuarios, industrias y organizaciones interesados, así como –evidentemente– a los expertos en cronometría, a sumarse al Grupo de Trabajo 7A en un diálogo necesario y fundamental sobre estos asuntos. Estas conversaciones se están desarrollando de conformidad con el Memorando de Entendimiento entre la UIT y la BIPM, además de la actualización prevista para la Resolución 655 en la CMR-23.



*Se invita a los usuarios, industrias y organizaciones interesados, así como –evidentemente– a los expertos en cronometría, a sumarse al Grupo de Trabajo 7A en un diálogo necesario y fundamental sobre estos asuntos. //*



# El registro del tiempo y la necesidad de congruencia astronómica

Rev. Paul Gabor, Vicedirector, Observatorio Vaticano, Estados Unidos

En las secciones 37d y 38b-b de su Timeo, Platón presenta el tiempo como el movimiento diurno y anual de los cuerpos celestes, como una "imagen móvil de la eternidad". Son incontables los textos clásicos de todo el mundo que coinciden en que los ciclos astronómicos constituyen la base simbólica del propio tiempo, según lo perciben y viven las sociedades humanas.

Los calendarios son un reflejo práctico de este principio. Su historia muestra el deseo universal por disponer de programas de cronometría que vinculan simbólicamente las vidas humanas con los ciclos cósmicos, el día del calendario con el día solar.

Los símbolos están arraigados en el "inconsciente colectivo" (siguiendo la terminología junguiana). Por lo tanto, buceemos un poco y examinemos qué podrían suponer los cambios en el registro del tiempo para los fundamentos simbólicos de una sociedad.

*“Los ciclos astronómicos constituyen la base simbólica del propio tiempo, según lo perciben y viven las sociedades humanas.”*

Rev. Paul Gabor

## Comprensión pública de la ciencia

Un informe sobre comprensión pública de la ciencia ([Public Understanding of Science](#)) publicado en 1985 por la Real Sociedad del Reino Unido y denominado Informe Bodmer (Bodmer Report) puso de relieve la desconexión existente entre el público general y las ciencias. Para poner fin a esa situación, promovía la ejecución de programas de comunicación y educación científicas, junto con la participación pública.

Sin embargo, ha sucedido más bien lo contrario, y el sentir contra la ciencia ha aumentado, e incluso se ha exacerbado, en los últimos 28 años.

La idea de que la educación, por sí sola, generará cambios sociales se deriva de la antropología reduccionista, característica de la Ilustración del siglo XVIII. La creencia de que las personas, al comprender los motivos racionales, se sienten empujadas a aceptar el punto de vista experto implica que la única salida para las mentes racionales es aceptar los argumentos técnicos y pragmáticos. Nuestras vidas contienen múltiples dimensiones no técnicas, y se cree que todas esas dimensiones pueden examinarse de manera racional.

Al mismo tiempo, los símbolos compartidos son uno de los vínculos más importantes que mantienen unida a una sociedad humana, cualquiera que sea. Si "nosotros" sentimos que "ellos" menosprecian "nuestros" símbolos, se produce un enfrentamiento.

Como científicos, debemos cuestionarlo todo. Lamentablemente, esta idea se ha traducido en que cada vez más personas piensan que los expertos y otras figuras de autoridad han estado pisoteando sus preciadas tradiciones.

El debate público en torno a la pandemia de la COVID-19 ha puesto de manifiesto la desconfianza de muchas personas hacia el asesoramiento experto. Uno de los motivos podría ser la alienación social: las personas se sienten apartadas del proceso de decisión, se sienten forasteros en su mundo, abatidas por ola tras ola de cambio rápido, incesante e incomprensible.

## La sensibilidad de unificar las normas

La unificación de las normas que rigen cualquier conjunto de sistemas y tecnologías es una acción racional y práctica. Sin embargo, desde otra perspectiva la imposición de la uniformidad constituye un gesto simbólico de poder, conquista y dominación.

Por lo tanto, debemos ser doblemente cuidadosos en este ámbito. El cambio insensible puede percibirse como una falta de respeto, y la unificación de las normas, como una conquista.

**"Los calendarios son un vínculo entre la humanidad y el cosmos."**

— L. E. Doggett,  
"Calendars"

(En P. K. Seidelmann, ed.,  
*Explanatory Supplement  
to the Astronomical  
Almanac*. University Science  
Books, 1992, págs. 575-608.).)

“Como científicos, debemos cuestionarlo todo.”

## La tranquilidad de la congruencia astronómica

El principio de congruencia astronómica (astronomical conformity) es crucial para las señales horarias civiles por motivos mucho más que puramente prácticos. Aunque los esquemas de registro del tiempo, como la semana de siete días, poseen el aire misterioso de la atemporalidad mítica, su historia muestra un grado de flexibilidad sorprendente, siempre y cuando se mantenga el simbolismo subyacente.

El simbolismo depende de la percepción general y muestra cierta ambigüedad en su relación con hechos exactos. Por tanto, siempre y cuando percibamos colectivamente el tiempo civil como un reflejo de los fenómenos astronómicas, se podrá mantener el simbolismo.

La resolución 4 de la última Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM 2022) nos permite avanzar justo en ese sentido. No sugiere que se tenga que disociar el registro del tiempo civil de la rotación de la Tierra de forma definitiva, sino que presenta un compromiso temporal, que incluye un proceso para proteger la congruencia astronómica de los programas de registro del tiempo civil a largo plazo.

Al describir la medida como temporal y evitar la "eliminación", "supresión" o "interrupción" del segundo escalar, evitamos que este asunto en concreto contribuya al malestar y la alienación públicos.

Al fin y al cabo, nadie puede dar por hecho que tiene la solución "última". Es más, como nos enseña la historia de la cronometría, las desviaciones respecto de la congruencia astronómica no perduran.

## El compromiso actual

En conjunto, el mecanismo del segundo intercalar de 1972 en el que se apoya la definición de tiempo universal coordinado (UTC) sigue ofreciendo un equilibrio adecuado entre la practicidad de una escala de tiempo continua y el simbolismo de la congruencia astronómica. Lleva medio siglo en funcionamiento y, aunque requiere cierto esfuerzo por parte de algunos grupos de usuarios del tiempo, esos 50 años de práctica han demostrado que podemos gestionar las discontinuidades ocasionales de un segundo.



*50 años de práctica han demostrado que podemos gestionar las discontinuidades ocasionales de un segundo.*





## Cuenta atrás para la CMR-23

Los Estados Miembros de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) se reunirán en Dubái (Emiratos Árabes Unidos) del 20 de noviembre al 15 de diciembre de 2023 en la próxima Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones ([WRC-23](#)).

Los resultados serán cruciales para la elaboración de los marcos técnicos y reglamentarios futuros de los servicios de radiocomunicaciones de todo el mundo.

La Conferencia brinda a los Estados Miembros de la UIT la oportunidad de actualizar el [Reglamento de Radiocomunicaciones](#) (a saber, el tratado internacional que regula el uso del espectro de frecuencias y las órbitas de satélite asociadas). Gracias al Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, los países pueden dar acceso a tecnologías y servicios nuevos, como los sistemas inalámbricos terrenales y de satélite, sin dejar de proteger al mismo tiempo los servicios existentes y garantizando que todos los sistemas radioeléctricos puedan coexistir sin interferencias perjudiciales.

La revolución digital ha abierto la puerta a una variedad de aplicaciones nuevas, que aumentan la demanda del limitado espectro radioeléctrico mundial. En el caso de los servicios espaciales, cada vez más usuarios también están interesados en los limitados recursos orbitales.

En algunos casos, el crecimiento de la demanda exige cambios en el marco reglamentario.

## Adaptación y avance constantes

El Reglamento de Radiocomunicaciones (que se remonta a 1906) ha aprovechado en todo momento los avances tecnológicos para conseguir un uso más eficaz del espectro y facilitar el acceso a él.

Todas las modificaciones del tratado han aplicado las pautas siguientes:

- abordar las necesidades de los **servicios nuevos y existentes**;
- garantizar la **disponibilidad oportuna** del espectro, así como las disposiciones reglamentarias correspondientes;
- mantener los beneficios de las **bandas de frecuencias armonizadas a escala mundial**.

## Sentando las bases

En la próxima Conferencia, los Miembros de la UIT de todo el mundo intentarán encontrar soluciones para la introducción de nuevas tecnologías, proporcionar un marco reglamentario estable para las redes de satélites, propiciar la modernización de los sistemas de radiocomunicaciones del planeta y proteger los servicios existentes.

El producto de la última Reunión Preparatoria de la Conferencia (RPC23-2), que se celebrará en Ginebra (Suiza) del 27 de marzo al 6 de abril, sentará las bases para tomar esas decisiones cruciales en la CMR-23.

El proyecto de [Informe de la Reunión Preparatoria de la Conferencia](#) contiene resultados de estudio importantes del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) antes de la CMR-23, así como las actuaciones propuestas para resolver los aspectos problemáticos del orden del día de la Conferencia.

## Propuestas consolidadas para el espectro

Los preparativos regionales son un elemento clave para el éxito de la reunión cuatrienal de la UIT encargada de actualizar el Reglamento de Radiocomunicaciones.

En virtud de la Resolución 72 (Rev. CMR-19), la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT contribuye a los preparativos regionales y a la creación de consenso interregional organizando tres talleres interregionales de la UIT durante el ciclo



**CMR-23: Reglamentación internacional de los servicios por satélite**  
[Más información](#)



**Por qué la CMR-23 será decisiva para los servicios terrenales**  
[Más información](#)



**CMR-23: Garantizar servicios de radiodifusión de alta calidad**  
[Más información](#)



**CMR-23: Preparativos técnicos para los servicios científicos**  
[Más información](#)

de estudios de cuatro años comprendido entre las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones.

Seis importantes organizaciones regionales de telecomunicaciones respaldan los debates y la creación de consenso entre gobiernos, reguladores y proveedores de servicios y equipos de telecomunicaciones de las seis regiones que conforman el mundo.

La UIT ha celebrado dos [talleres interregionales sobre los preparativos para la CMR-23](#), a finales de 2021 y a finales de 2022. El tercer taller interregional del periodo previo a la CMR-23 tiene previsto abordar algunos de los temas más complejos que se espera tratar en la Conferencia.



## Revista Actualidades de la ITU – Cuenta atrás para la CMR-23

[Descargue su ejemplar](#)

### Las organizaciones regionales de telecomunicaciones destacan los principales temas de debate de la CMR-23



Estados Árabes, ASMG  
[Más información](#)



África, ATU  
[Más información](#)



Europa, CEPT  
[Más información](#)



Comunidad de Estados Independientes, CEI  
[Más información](#)



Américas, CITEL  
[Más información](#)



Asia y el Pacífico, APT  
[Más información](#)

# Manténgase al día // // Manténgase informado

// Tendencias tecnológicas mundiales //  
// Opiniones de los líderes del pensamiento digital //  
// Lo último en eventos e iniciativas de la UIT //

## Suscríbase a nuestras publicaciones:

### Boletín



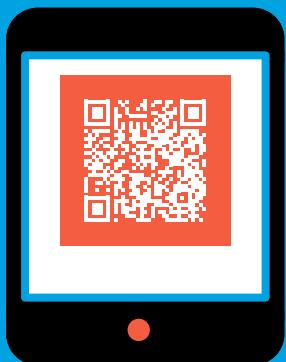
// Quincenal //

### Blog de noticias



// Últimas tendencias //

### Actualidades de la UIT



// Seis ediciones al año //

### Podcasts de la UIT



// Entrevistas de actualidad //

### Comunicados de prensa y avisos a los medios



// Actualizaciones periódicas //