



Evaluación del desempeño del UTC(CNM) en los últimos 5 años



NOTA 1. Este trabajo ha sido desarrollado con recursos del gobierno federal de México. Solo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

NOTA 2. En este documento pueden aparecer marcas comerciales únicamente con fines didácticos y a fin de lograr un entendimiento claro de las técnicas y procesos descritos. En ningún caso esta identificación implica recomendación o aval del CENAM o de alguna otra institución del gobierno federal de México, ni tampoco implica que los equipos o materiales identificados sean necesariamente los mejores para el propósito para el que son usados. El CENAM y las demás instituciones no tienen compromisos con ninguna marca comercial en particular.



CONTENIDO



1. Introducción
2. El UTC(CNM)
3. Comparación Internacional
4. Resultados de la Comparación Internacional
5. Diseminación UTC(CNM)
6. Conclusiones
7. Referencias



CONTENIDO



1. **Introducción**
2. El UTC(CNM)
3. Comparación Internacional
4. Resultados de la Comparación Internacional
5. Diseminación UTC(CNM)
6. Conclusiones
7. Referencias



INTRODUCCIÓN



La definición de la unidad de tiempo del Sistema Internacional de unidades (SI), el segundo, adoptada en la 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas en 1967 [1], abrió la posibilidad de realizar la unidad de tiempo con muy alta exactitud. En la actualidad el segundo se realiza con incertidumbres del orden de 1 parte en 10^{15} o mejor [2], lo que constituye, la mejor medición hasta ahora lograda por la humanidad.

El **segundo (s)** se define como:

“La duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de cesio 133” [1]

Escala de Tiempo

En términos breves una escala de tiempo es el resultado de integrar (sumar) unidades de tiempo (que pueden ser, o no, coincidentes con la unidad de tiempo del SI) de manera continua e infinita, en donde el origen (el cero de la escala), una vez fijo, no se mueve.

Existen diferentes escalas de tiempo de amplio uso, entre ellas:

Greenwich Mean Time (GMT)

El GMT es una escala de tiempo basada en el paso del Sol Medio por el meridiano de Greenwich (específicamente por el viejo Observatorio Real de Greenwich, que es el punto de referencia).

Este tiempo está obsoleto pues en 1928 la Unión Astronómica Internacional introdujo el Tiempo Universal (UT) para reemplazarlo.

Tiempo Universal (UT)

El UT fue introducido en 1928, reemplazando al GMT. La razón principal para ello fue que el GMT estaba basado en la medición de la posición del Sol, y hay problemas asociados a la medición precisa de la posición del sol.

En cambio, el UT se basa en la medición de la posición de referencias astronómicas diferentes al Sol (tales como cuásares), lo que conlleva mayor precisión.

A pesar de su mayor precisión el UT sigue siendo una escala de tiempo no uniforme, pues en el fondo se basa en la medición del período de rotación del planeta y éste presenta anomalías.

Tiempo Atómico Internacional (TAI)

En 1967, después de que se adopta la actual definición del “segundo”, la BIPM (Oficina Internacional de Pesas y Medidas), localizada en París, Francia, coordina y promedia los datos provenientes de un gran número de relojes atómicos alrededor del globo para generar una escala de tiempo uniforme llamada TAI (Tiempo Atómico Internacional).

El objetivo del TAI es llevar a la realidad la definición del segundo SI de la manera más fiel posible. Como tal, sirve de referencia para la construcción de otras escalas con usos más específicos, y por ello su existencia no es muy conocida por el público en general. Actualmente el TAI tiene una exactitud en relación al segundo SI de aproximadamente (en 1990).

Tiempo Universal Coordinado (UTC)

El UTC es una escala de tiempo atómica internacional ampliamente utilizada en el ámbito civil. De hecho, hoy en día prácticamente todos los países del mundo definen sus horas locales en función de UTC, añadiendo o restando un número entero de horas según convenga a su localización geográfica.

En cierta forma, el UTC puede verse como la manera de reconciliar el TAI con el tiempo dado por la rotación de la Tierra (UT1). El UTC tiene la misma frecuencia del TAI pero cada cierto tiempo se le añaden (o sustraen) segundos extras, llamados "leap seconds" o segundos bisiestos, para mantenerlo sincronizado dentro de +/- 0,9 s de UT1. De esta manera, se obtiene la exactitud del tiempo atómico sin divorciarse completamente del fenómeno de la rotación terrestre. Esto se logra mediante las siguientes relaciones:

$$UTC - TAI = n \quad (1)$$

$$UTC - |UT1| \leq 0,9s \quad (2)$$

donde n es un número entero de segundos.

Segundos bisiestos (Leap Seconds)

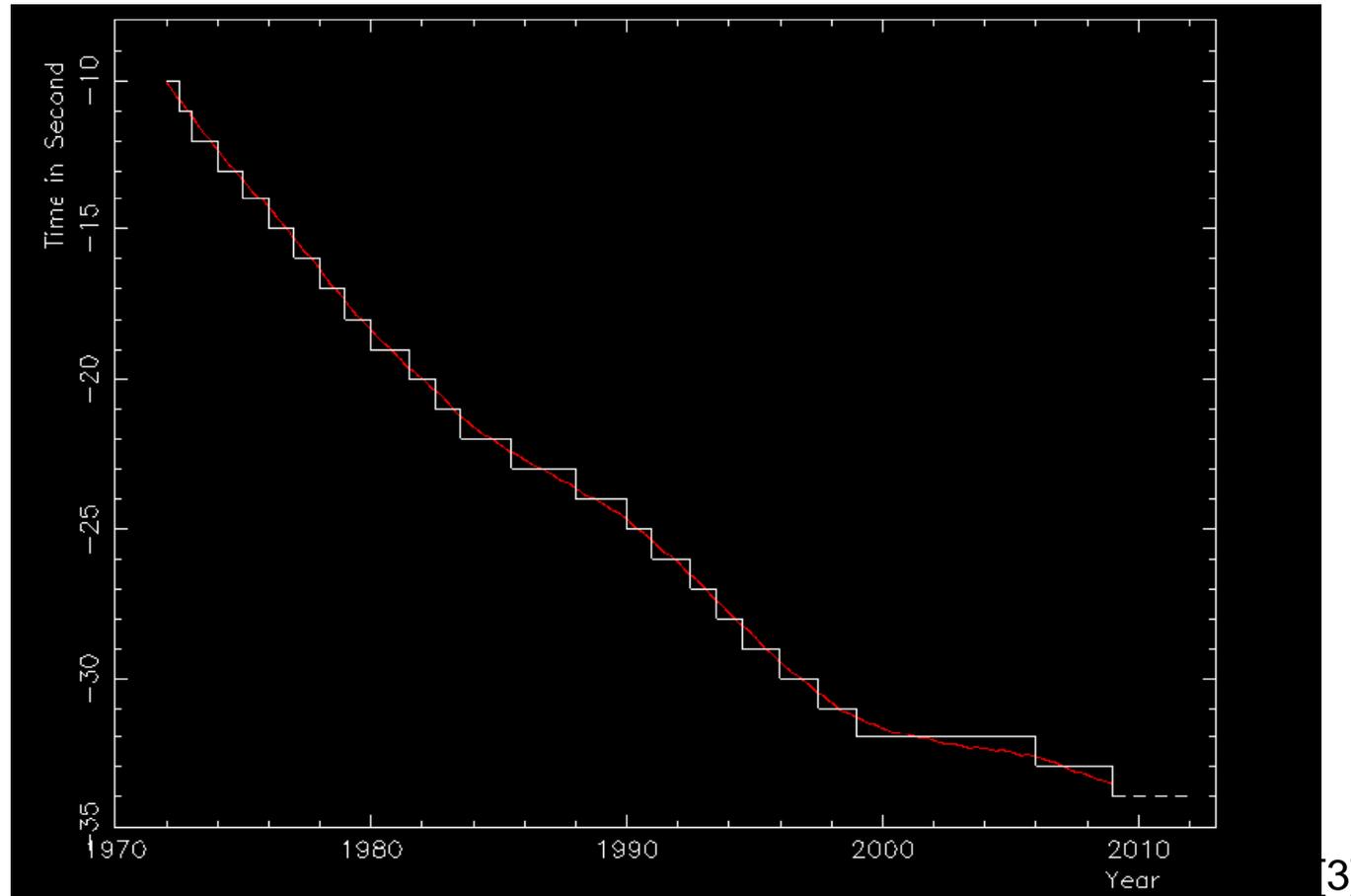
Los segundos bisiestos empezaron a usarse el 30 de Junio de 1972, y habitualmente se introducen al final del último minuto del último día de diciembre o del último día de junio, si hace falta. Hasta el momento se han introducido 33 s (todos ellos de retraso), por lo que se cumple la siguiente relación:

$$UTC - TAI = -33$$

El último segundo bisiesto se añadió el 31/Dic/2008. Esto quiere decir que a las 23h 59m 59s, siguió las 23h 59m 60s, y luego las 0h 0m 0s del 01/Ene/2009. A partir de ese momento, la relación entre TAI y UTC est la que se presenta arriba.

La decisión de agregar o no los segundos bisiestos depende del IERS, que es la institución encargada de proporcionar los parámetros asociados a la orientación y rotación de la Tierra.

Segundos bisiestos desde 1972



[3]



CONTENIDO



1. Introducción
- 2. El UTC(CNM)**
3. Comparación Internacional
4. Resultados de la Comparación Internacional
5. Diseminación UTC(CNM)
6. Conclusiones
7. Referencias



EL UTC(CNM)



El Centro Nacional de Metrología, CENAM, genera la escala de tiempo que constituye la predicción nacional al UTC, el UTC(CNM).

El UTC(CNM) es una escala de tiempo real generada por un conjunto de relojes atómicos que se mantienen en operación continua en los laboratorios de la División de Tiempo y Frecuencia del CENAM. Un reloj atómico de cesio (llamado Reloj Maestro) se mantiene en comparación interna permanente con todos los otros relojes atómicos del CENAM con el objeto de medir continuamente la diferencia de tiempo de cada reloj respecto a éste. Esta comparación es hecha por medio de la técnica denominada Comparación de Fase por Doble Mezclador [4]





CONTENIDO



1. Introducción
2. El UTC(CNM)
- 3. Comparación Internacional**
4. Resultados de la Comparación Internacional
5. Diseminación UTC(CNM)
6. Conclusiones
7. Referencias



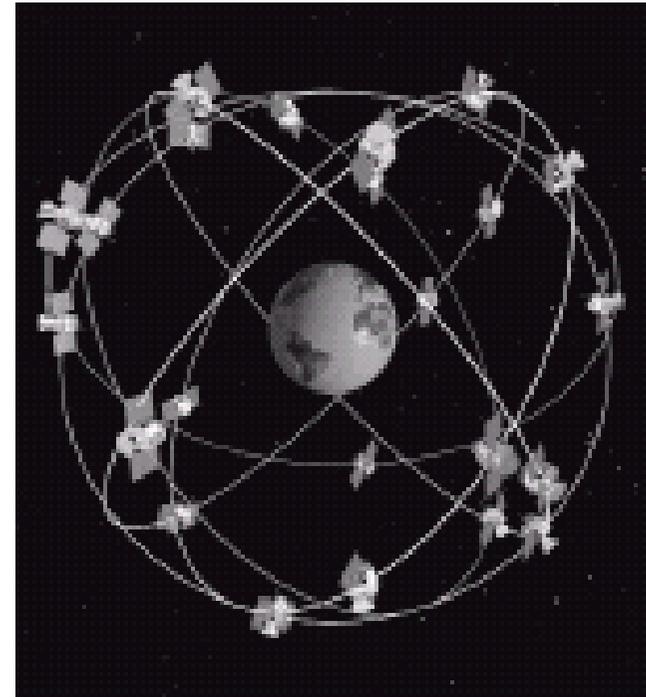
COMPARACIÓN INTERNACIONAL



Alrededor del planeta, alrededor de 55 países mantienen y generan su propia escala de tiempo UTC(k). El medio utilizado para comparar estas escalas de tiempo es mediante una técnica conocida como vista común del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Sistema de Posicionamiento Global

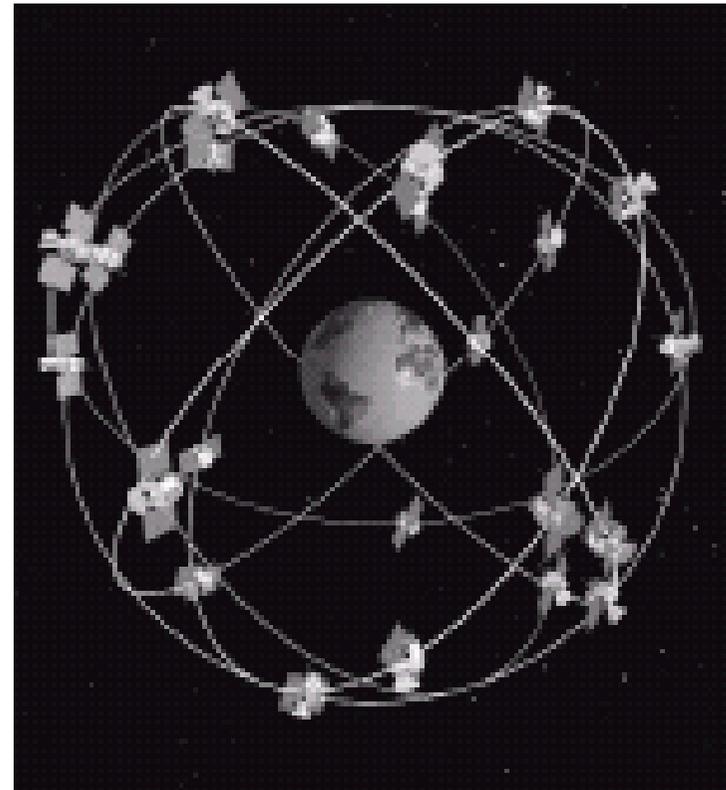
- ❑ GPS es el acrónimo para Global Positioning System.
- ❑ Sistema de posicionamiento que basa su funcionamiento en transmisión de señales de RF desde satélites.
- ❑ Provee a usuarios de información de alta exactitud sobre: posición, velocidad y tiempo.





Sistema de Posicionamiento Global
Continuación...

- ❑ El sistema GPS fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el objeto de simplificar la navegación de alta exactitud.
- ❑ Diseñado para resistir interferencias naturales e inducidas.
- ❑ Opera las 24 horas del día en todo tipo de condiciones de clima
- ❑ Gran variedad de aplicaciones para un número ilimitado de usuarios.





Sistema de Posicionamiento Global
Continuación...

- Constelación de 24 satélites.
- Relojes atómicos de Cesio y de Rubidio en cada satélite.
- Radio de las órbitas igual a 4,2 veces el radio de la tierra (20,200 km).
- 6 planos orbitales a 55° de inclinación del plano ecuatorial.
- Al menos 4 satélites siempre a la vista,



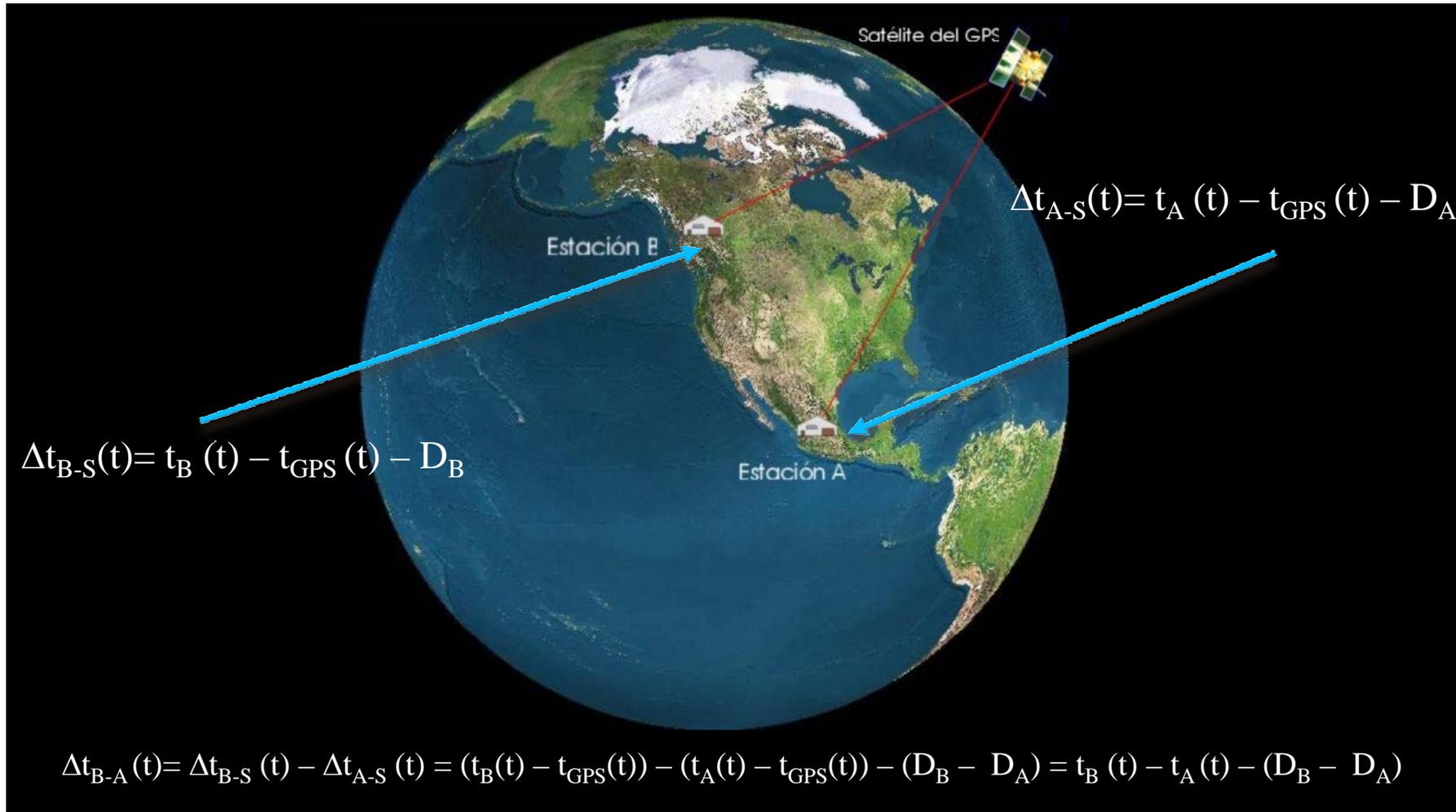


Vista Común del Sistema GPS



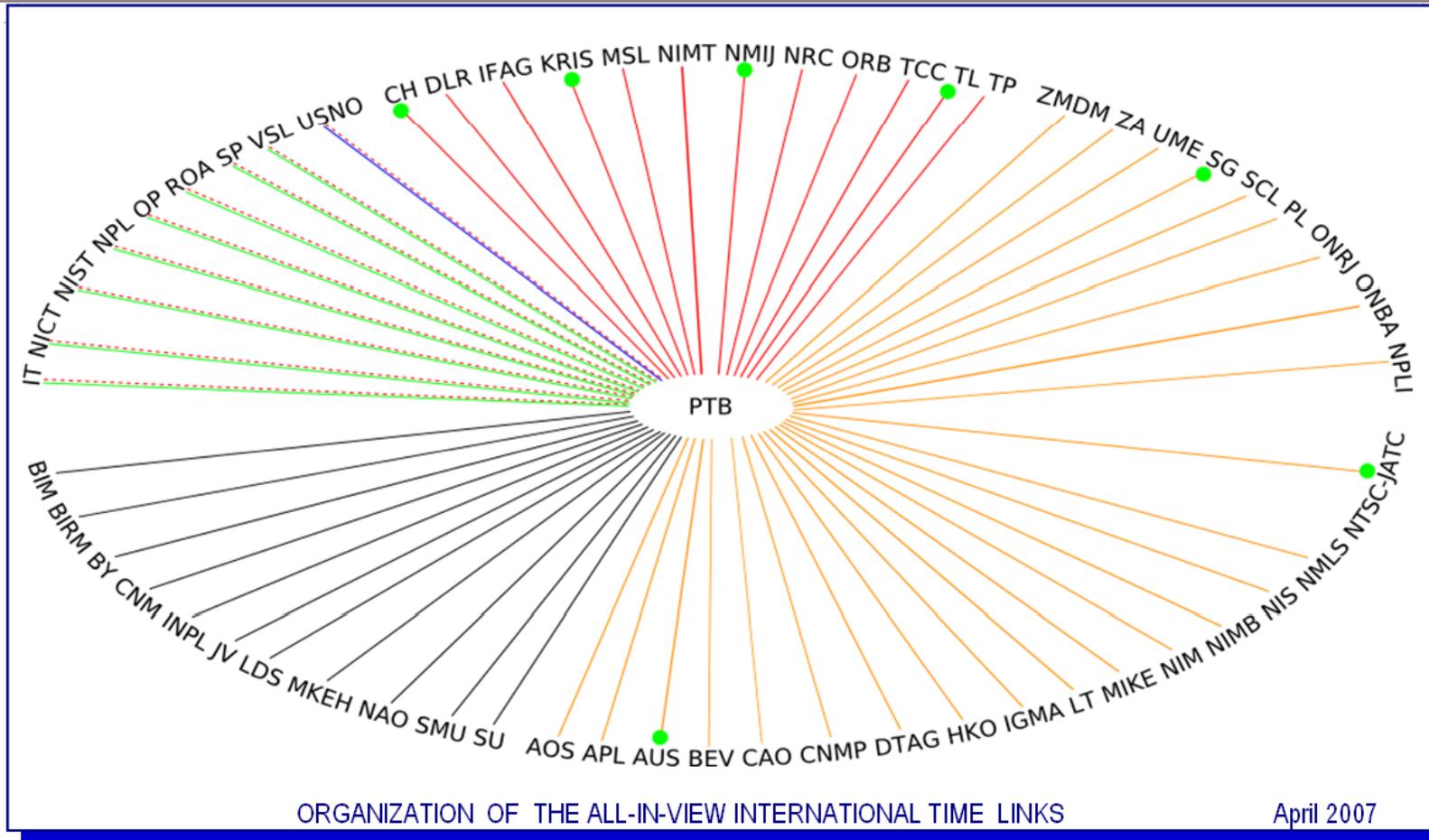


Vista Común del Sistema GPS
Continuación...





COMPARACIÓN INTERNACIONAL
Continuación...



| | | | |
|--|--|--|------------------------------------|
| | Laboratory equipped with TWSTFT (not yet used) | | |
| | TWSTFT by Ku band with X band back-up | | GPS AV multi-channel link |
| | TWSTFT link | | GPS AV multi-channel back-up link |
| | GPS AV single-channel link | | GPS AV dual frequency link |
| | GPS AV single-channel back-up link | | GPS AV dual frequency back-up link |



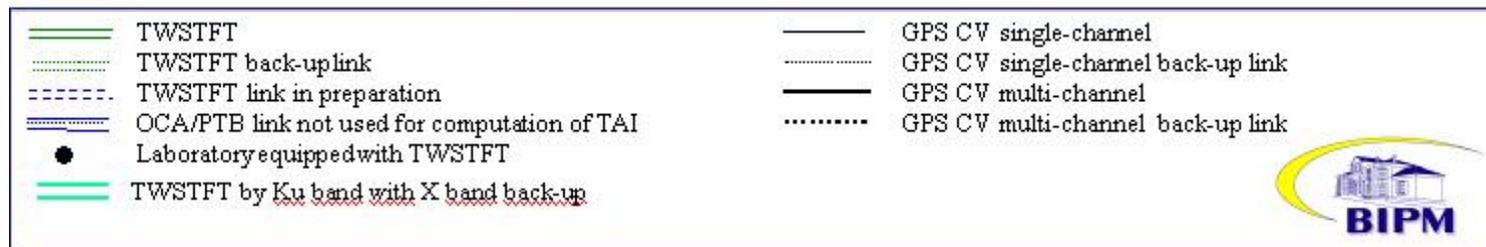
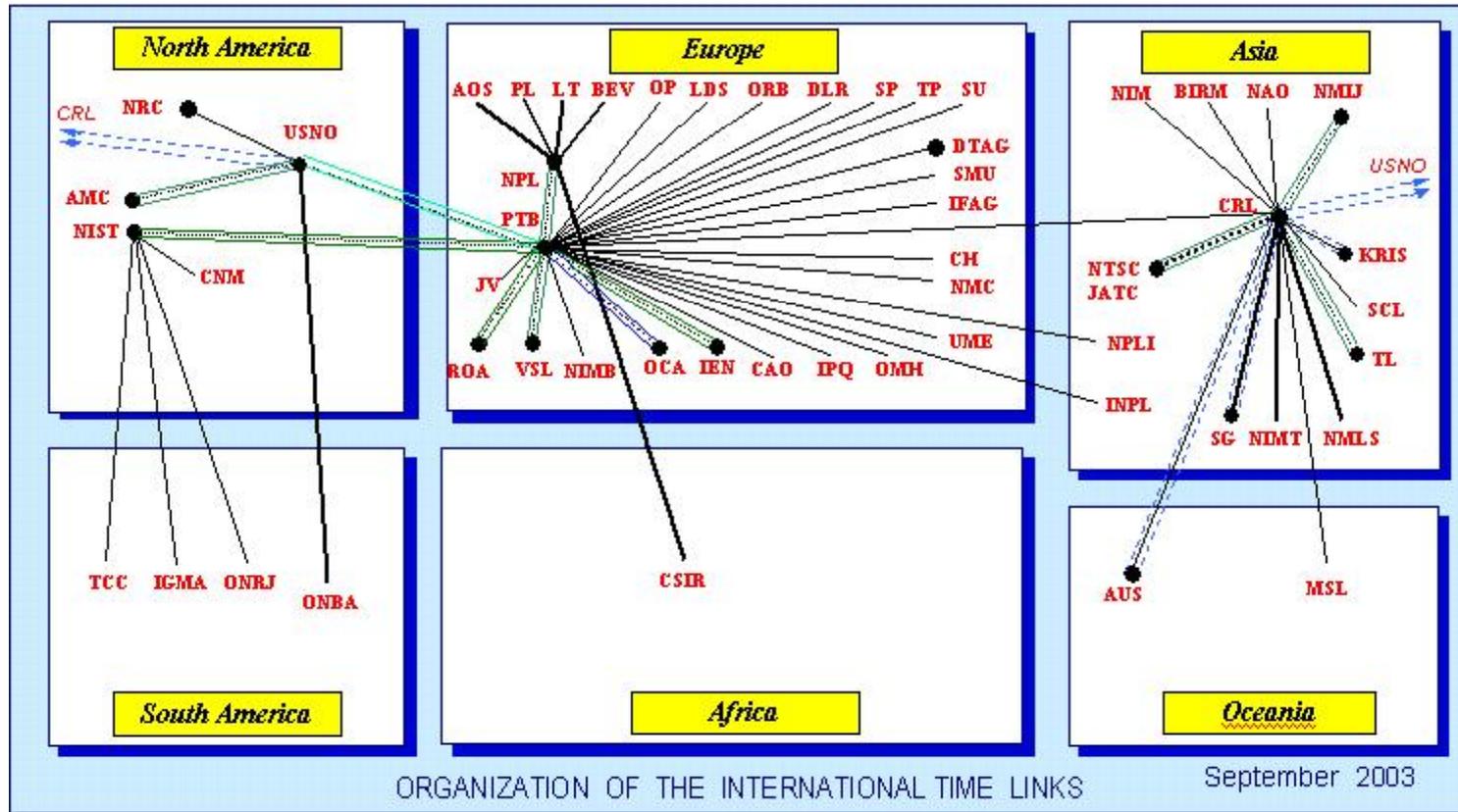
Encuentro Nacional de Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

- Electromagnetismo
- Temperatura y Propiedades Térmicas
- Tiempo y Frecuencia





COMPARACIÓN INTERNACIONAL
Continuación...



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

Electromagnetismo
Temperatura y
Propiedades Térmicas
Tiempo y Frecuencia





CONTENIDO



1. Introducción
2. El UTC(CNM)
3. Comparación Internacional
- 4. Resultados de la Comparación Internacional**
5. Diseminación UTC(CNM)
6. Conclusiones
7. Referencias



RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN INTERNACIONAL



El UTC(CNM) se ha mantenido permanentemente en comparación internacional, con alrededor de medio centenar de laboratorios, desde marzo de 1996. Los resultados de dicha comparación son públicos y pueden ser consultados en la circular T del BIPM.

CIRCULAR T 261 ISSN 1143-1393
 2009 OCTOBER 12, 10h UTC

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
 ORGANISATION INTERGOUVERNEMENTALE DE LA CONVENTION DU METRE
 PAVILLON DE BRETEUIL F-92312 SEVRES CEDEX TEL. +33 1 45 07 70 70 FAX. +33 1 45 34 20 21 tai@bipm.org

1 - Coordinated Universal Time UTC and its local realizations UTC(k). Computed values of [UTC-UTC(k)] and uncertainties valid for the period of this Circular. From 2009 January 1, 0h UTC, TAI-UTC = 34 s.

| Date 2009 | 0h UTC | AUG 31 | SEP 5 | SEP 10 | SEP 15 | SEP 20 | SEP 25 | SEP 30 | Uncertainty/ns | | |
|------------------------|--------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|------|------|
| MJD | | 55074 | 55079 | 55084 | 55089 | 55094 | 55099 | 55104 | uA | uB | u |
| Laboratory k | | [UTC-UTC(k)]/ns | | | | | | | | | |
| AOS (Borowiec) | | 5.0 | 4.8 | 4.8 | 3.7 | 4.4 | 4.5 | 4.7 | 1.5 | 5.1 | 5.4 |
| APL (Laurel) | | 22.5 | 16.6 | 25.0 | 10.2 | -7.5 | -15.6 | -7.4 | 1.5 | 5.1 | 5.3 |
| AUS (sydney) | | 1005.0 | 1013.5 | 1017.8 | 1027.1 | 1024.6 | 989.0 | 969.9 | 1.5 | 5.1 | 5.3 |
| BEV (wien) | | 26.7 | 17.4 | 19.8 | 26.0 | 29.4 | 27.1 | 32.6 | 1.5 | 3.2 | 3.6 |
| BIM (Sofiya) | | -7055.5 | -7050.0 | -7034.4 | -7030.0 | -7029.4 | -7031.1 | -7038.9 | 2.0 | 7.1 | 7.4 |
| BIRM (Beijing) | | -8574.3 | -8606.7 | -8644.8 | -8684.6 | -8724.3 | -8766.6 | -8814.9 | 2.0 | 20.0 | 20.1 |
| BY (Minsk) | | -8.2 | 0.8 | 18.2 | 24.8 | 32.7 | 44.2 | 42.6 | 2.0 | 7.1 | 7.4 |
| CAO (Cagliari) | | -3376.2 | -3406.5 | -3412.4 | -3435.9 | -3468.7 | -3471.2 | -3471.9 | 1.5 | 7.1 | 7.2 |
| CH (Bern) | | -4.8 | -3.4 | -6.0 | -7.0 | -11.1 | -9.0 | -3.7 | 0.5 | 1.6 | 1.7 |
| CNM (Queretaro) | | -9.9 | -10.0 | -8.6 | -14.4 | -11.0 | -18.5 | -21.3 | 2.5 | 5.1 | 5.7 |
| CNMP (Panama) | | 20.1 | 25.6 | 23.9 | 10.6 | -3.8 | 11.0 | 12.9 | 3.0 | 5.1 | 6.0 |
| DLR (Oberpfaffenhofen) | | 3.3 | 7.8 | 15.8 | 26.3 | 24.8 | 30.0 | 32.8 | 0.4 | 7.0 | 7.0 |
| DMDM (Belgrade) | | 5836.5 | 5851.9 | 5866.9 | 5892.2 | 5928.9 | 5962.4 | 5999.0 | 2.0 | 7.1 | 7.4 |
| DTAG (Frankfurt/M) | | -191.5 | -191.8 | -223.2 | -245.8 | -264.3 | -272.4 | -288.4 | 1.5 | 10.0 | 10.1 |
| EIM (Thessaloniki) | | 2.8 | 2.4 | 5.3 | -0.2 | 2.8 | 4.9 | 1.8 | 3.5 | 5.1 | 6.2 |
| HKO (Hong Kong) | | -12.5 | -9.9 | -5.7 | -5.2 | -5.5 | -3.9 | 4.6 | 2.5 | 5.1 | 5.7 |
| IFAG (wetzell) | | -166.6 | -161.3 | -160.4 | -152.4 | -150.9 | -144.6 | -145.2 | 0.7 | 5.1 | 5.2 |
| IGNA (Buenos Aires) | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| INPL (Jerusalem) | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |



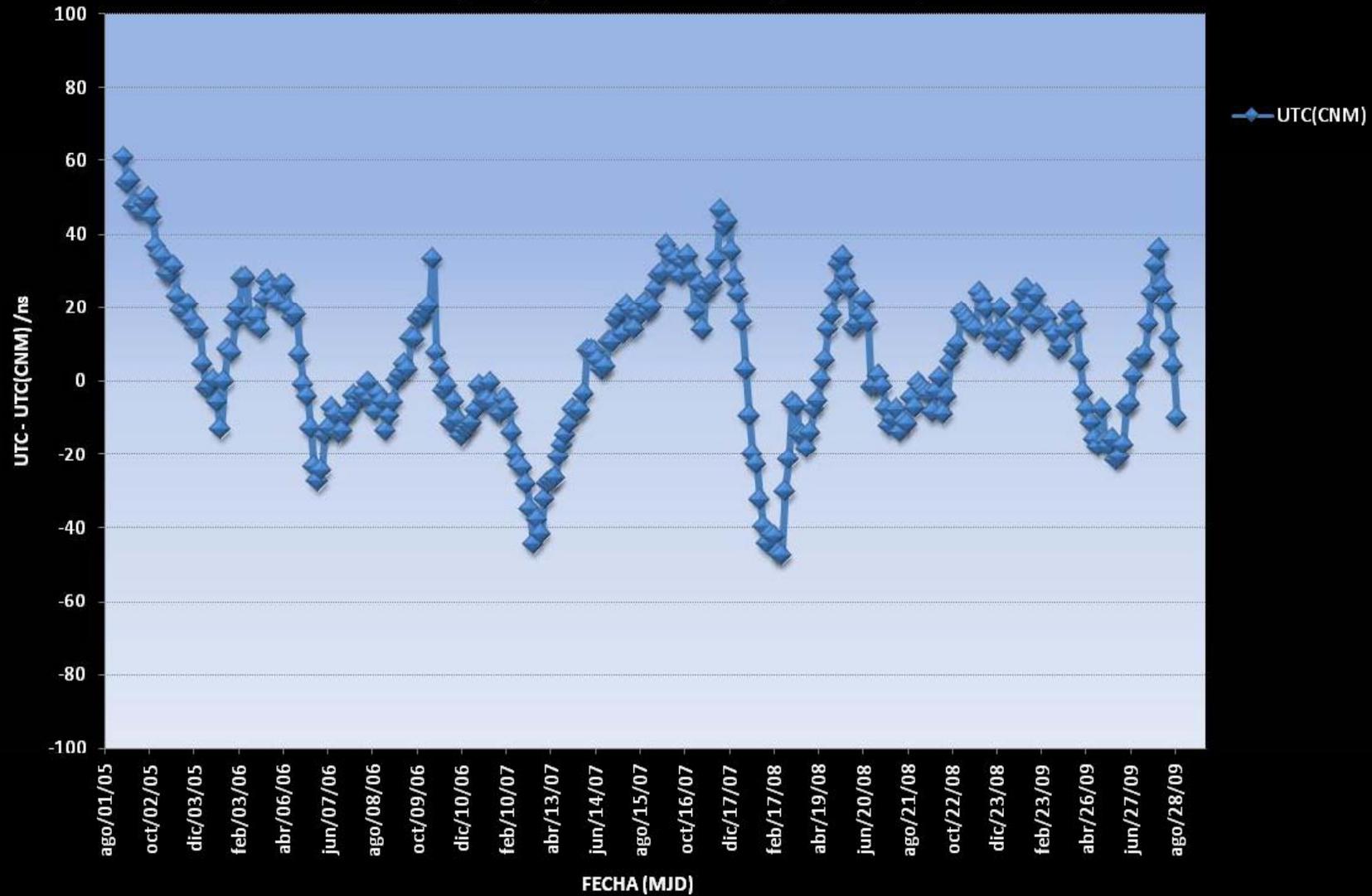
RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN INTERNACIONAL

Continuación...



UTC (CNM)

Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





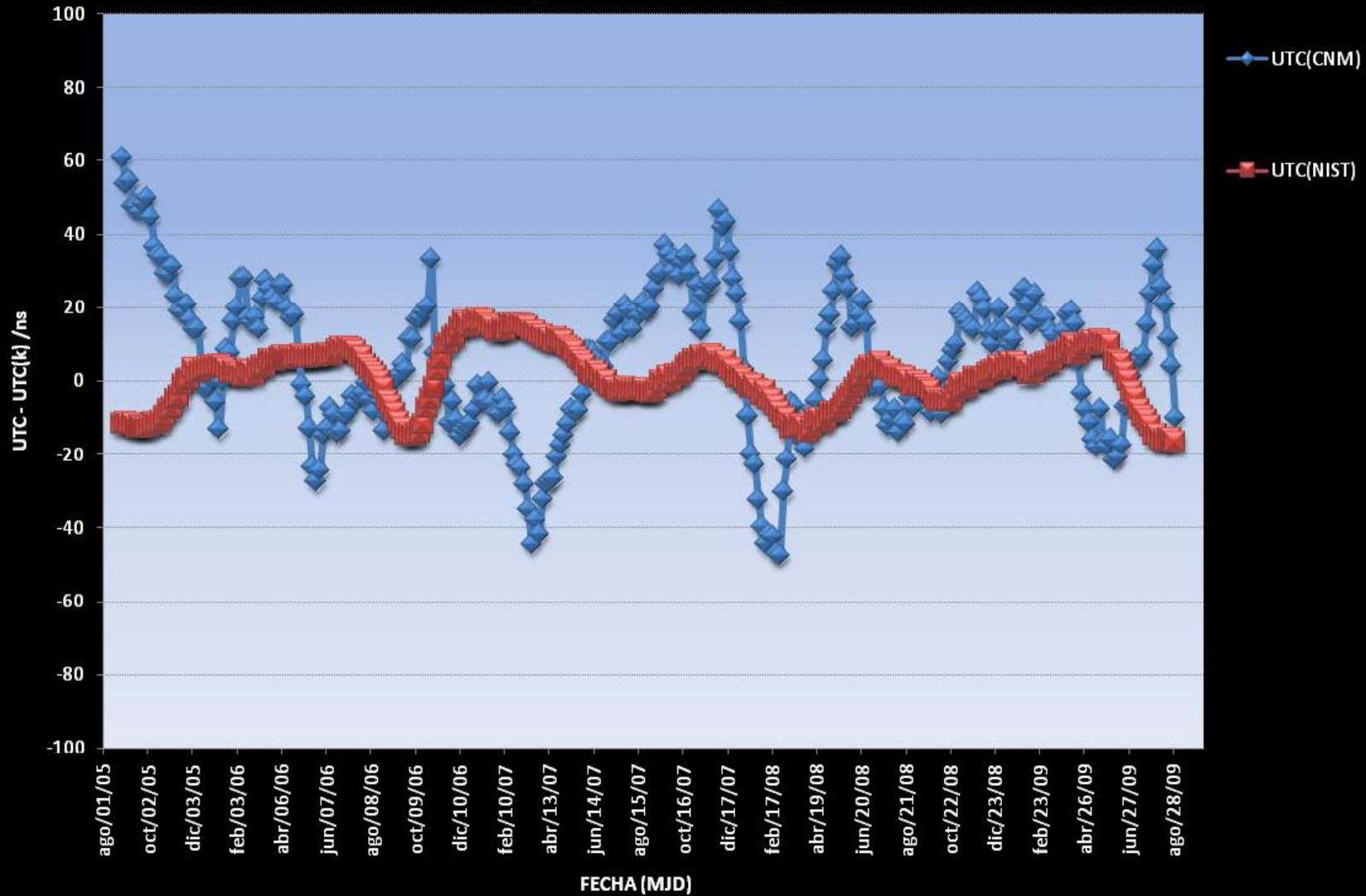
RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN INTERNACIONAL

Continuación...



UTC (k)

Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





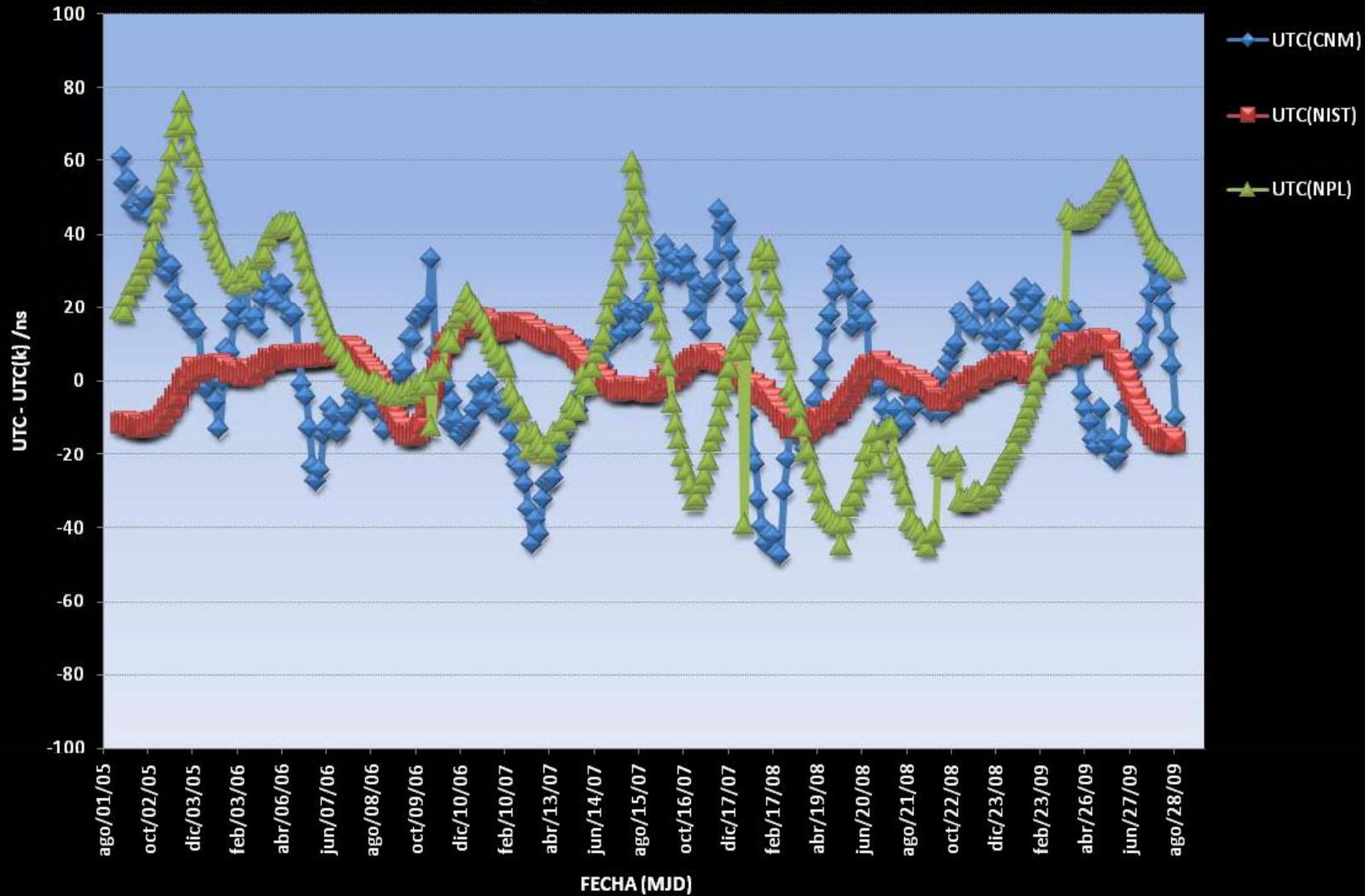
RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN INTERNACIONAL

Continuación...



UTC (k)

Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





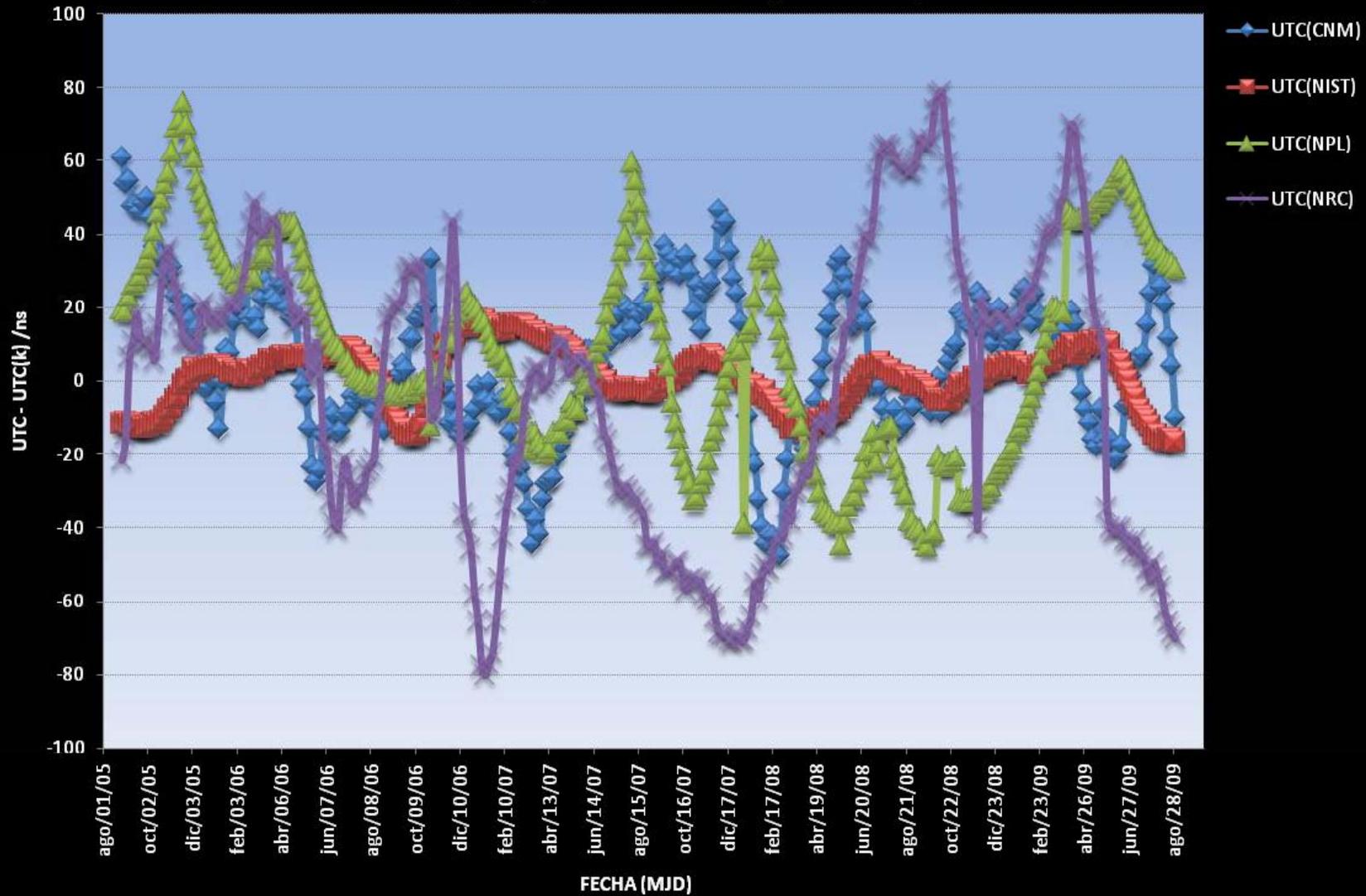
RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN INTERNACIONAL

Continuación...



UTC (k)

Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





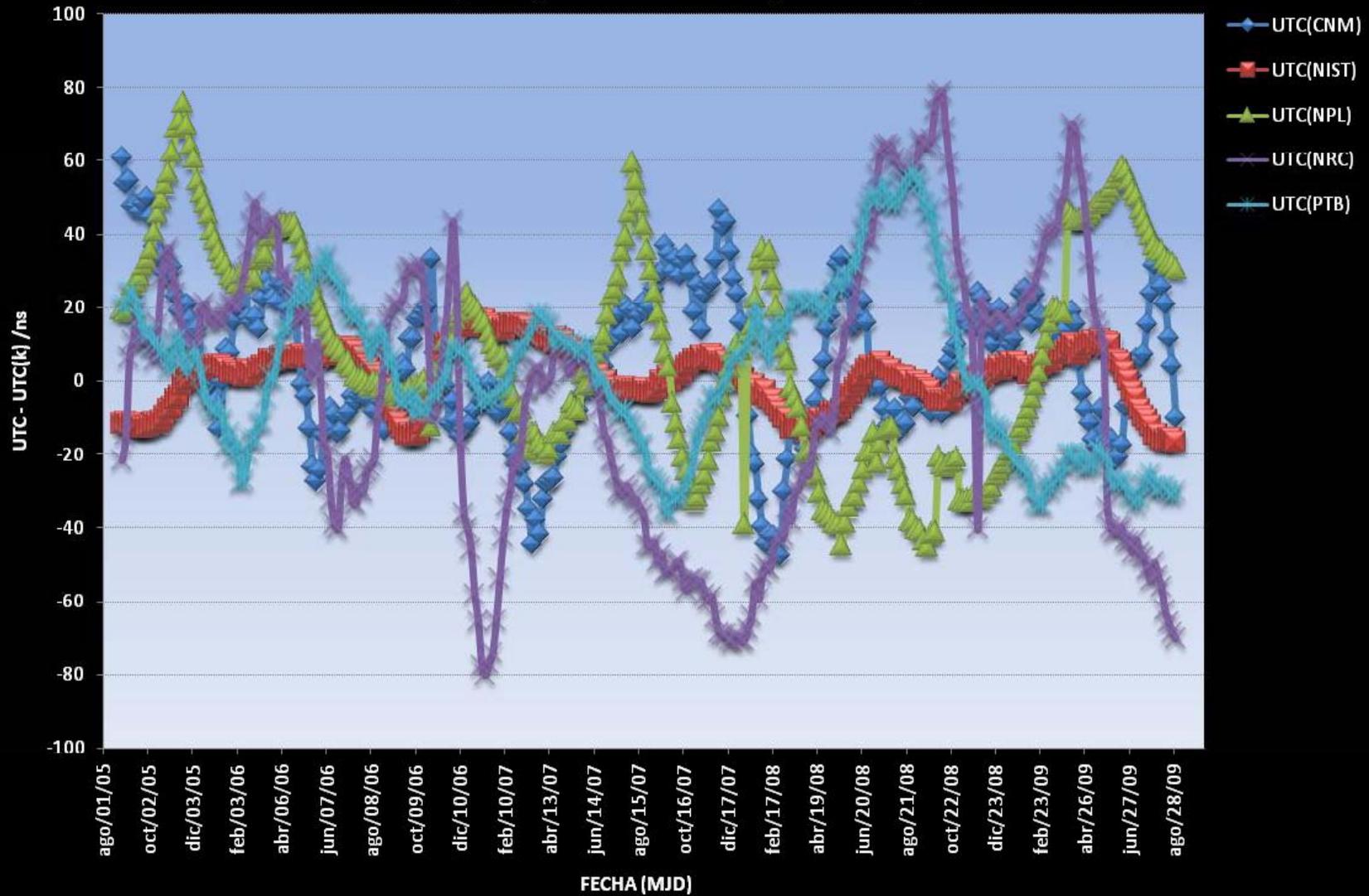
RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN INTERNACIONAL

Continuación...



UTC (k)

Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





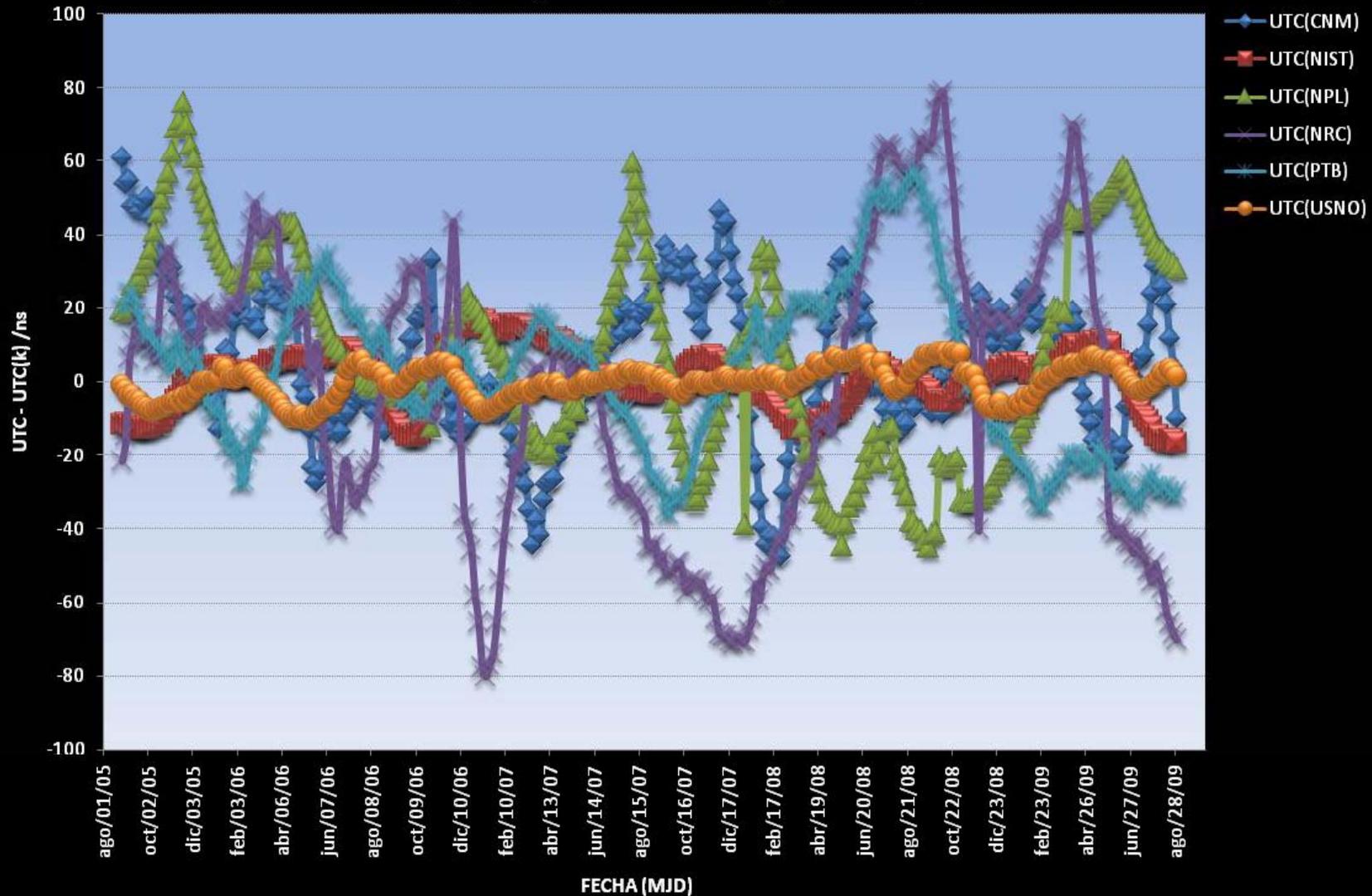
RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN INTERNACIONAL

Continuación...



UTC (k)

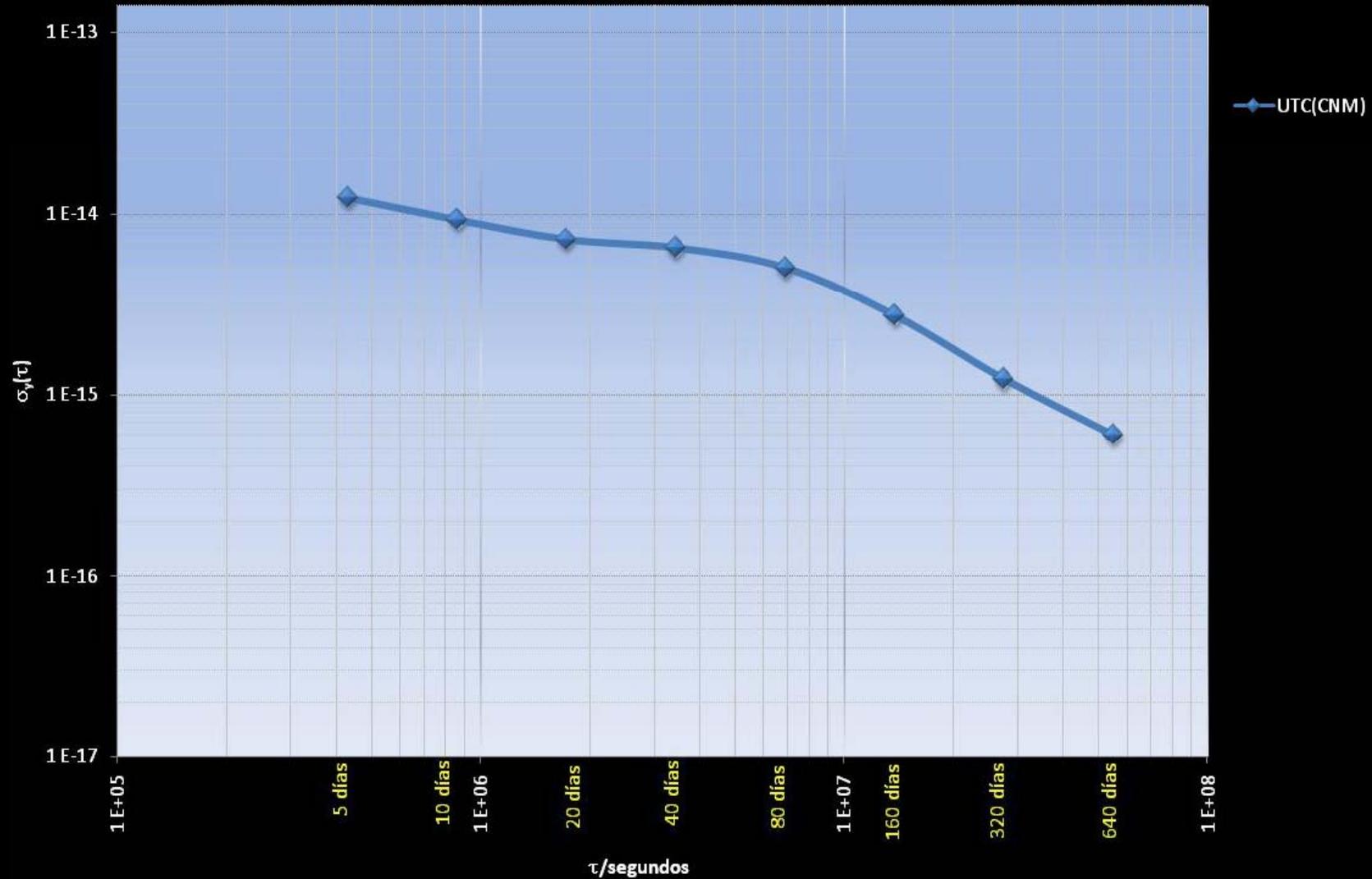
Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





Estabilidad del UTC (CNM)

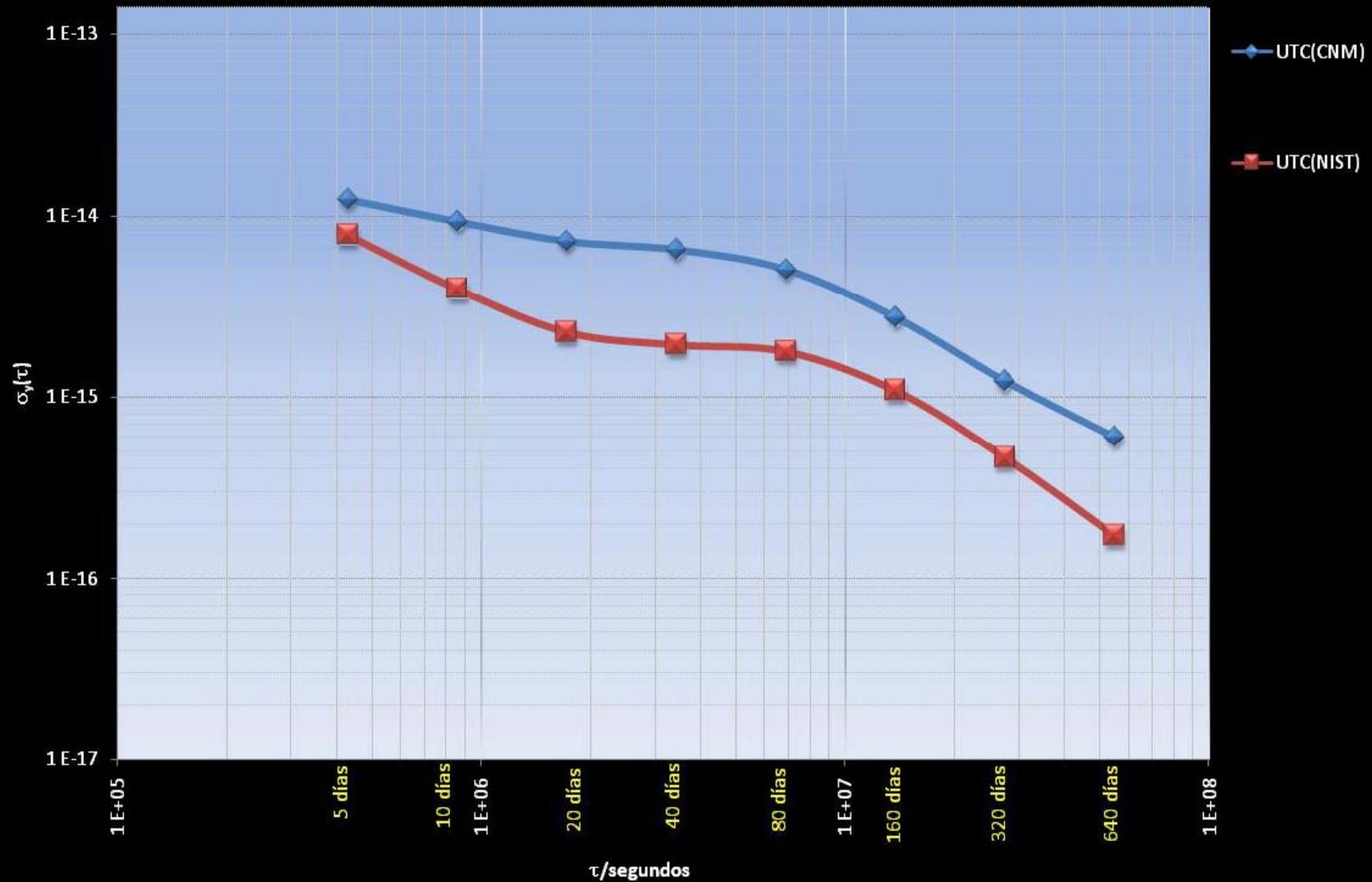
Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





Estabilidad de los UTC (k)

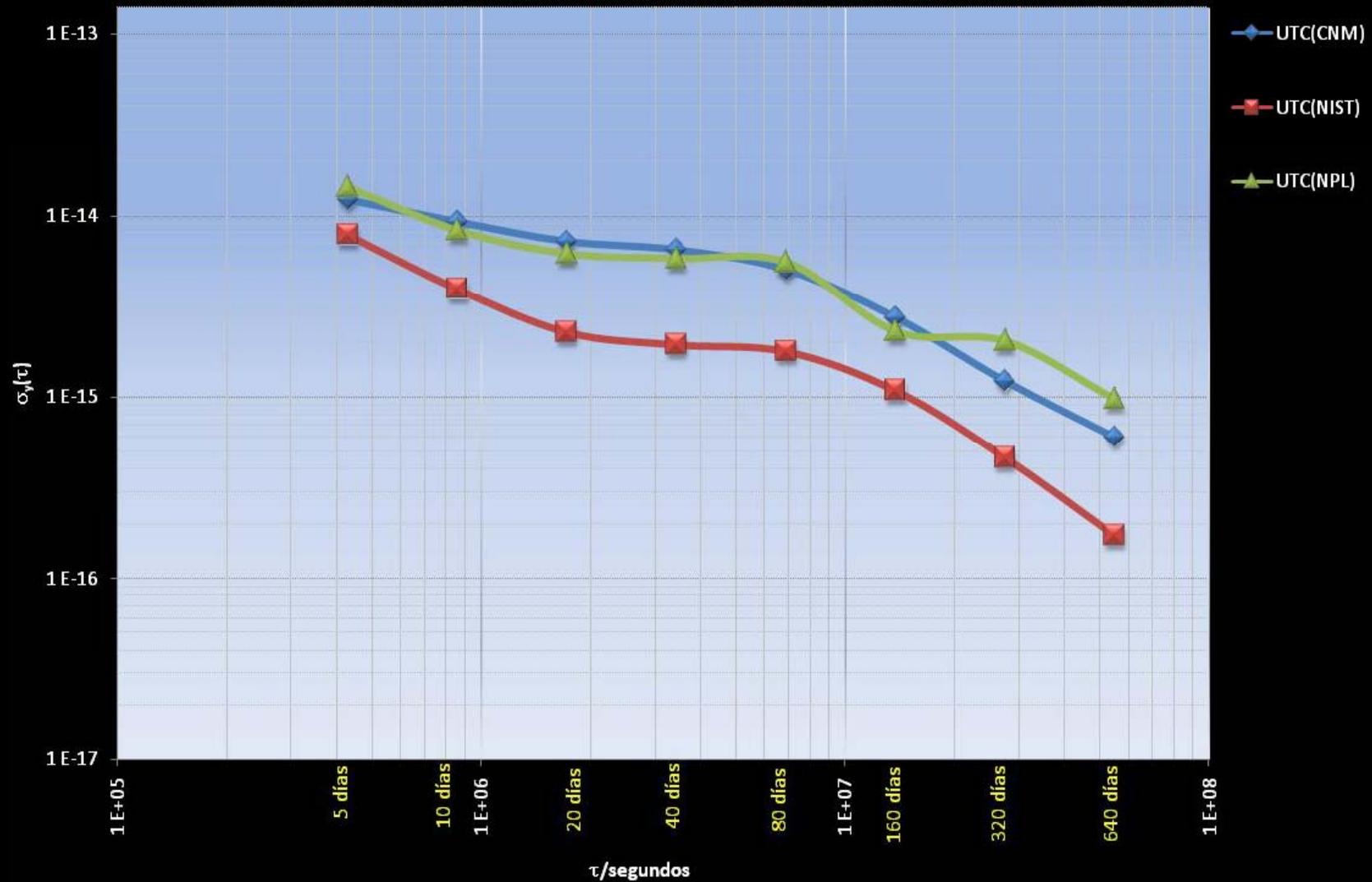
Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





Estabilidad de los UTC (k)

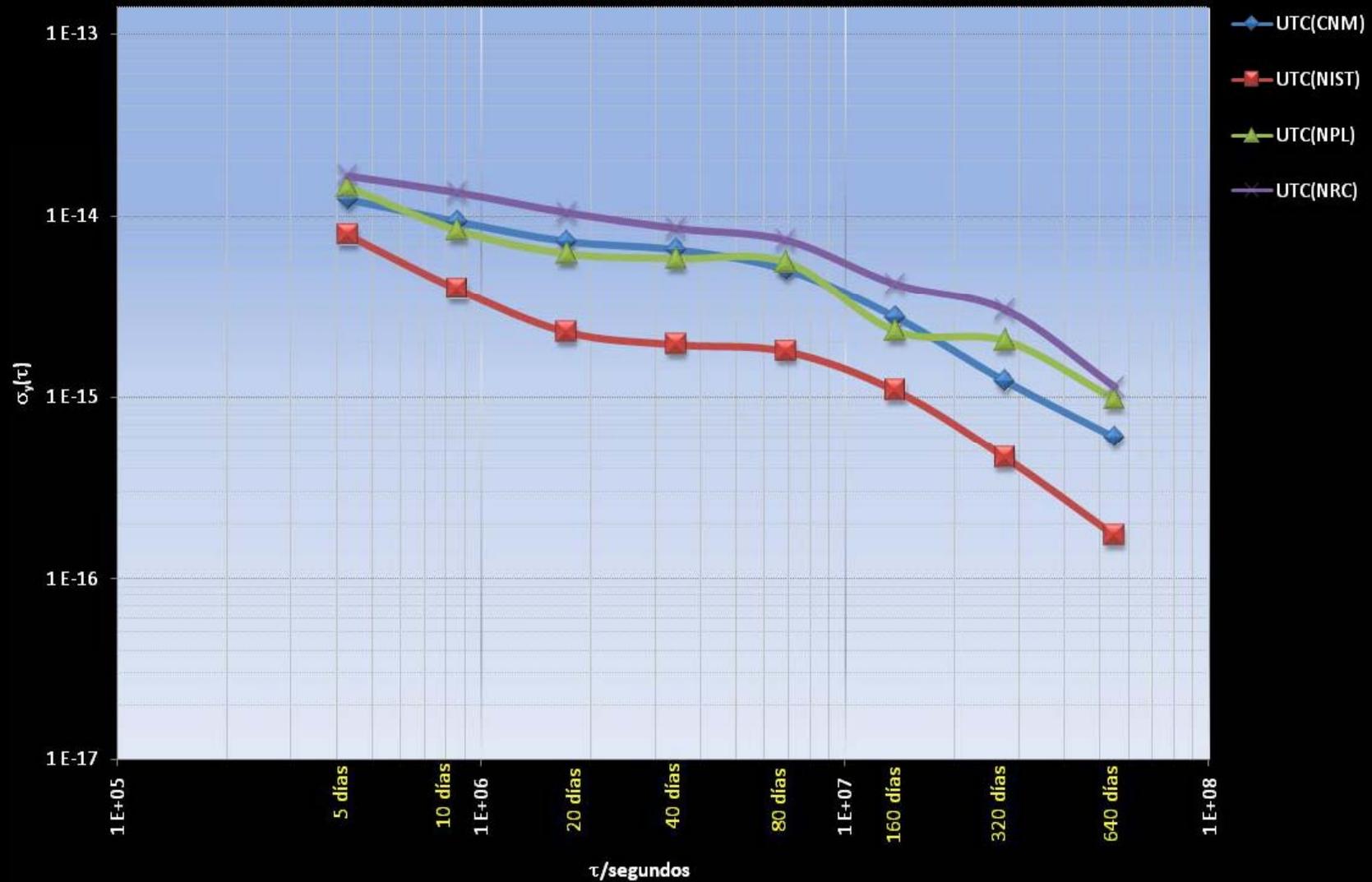
Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





Estabilidad de los UTC (k)

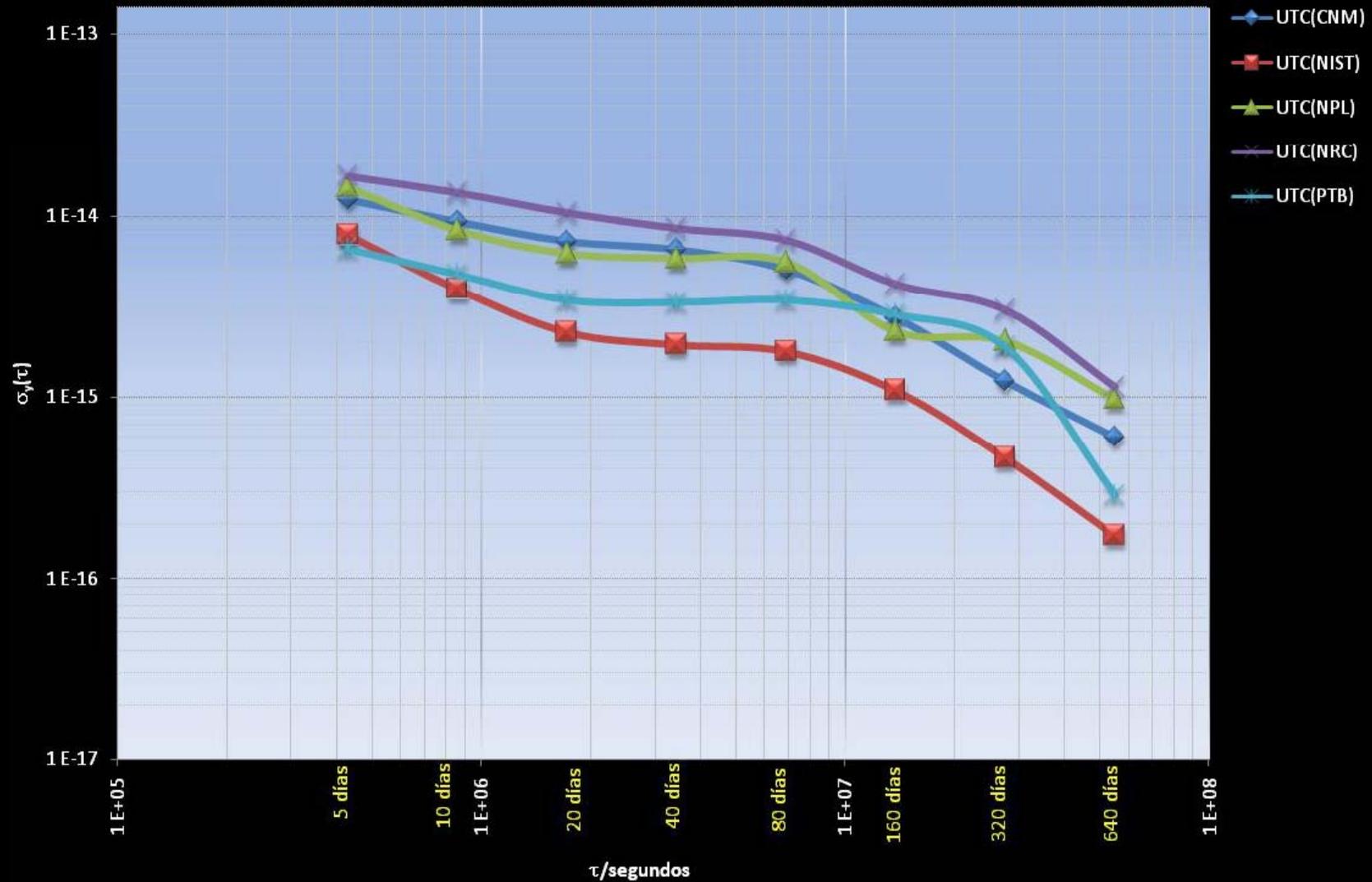
Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





Estabilidad de los UTC (k)

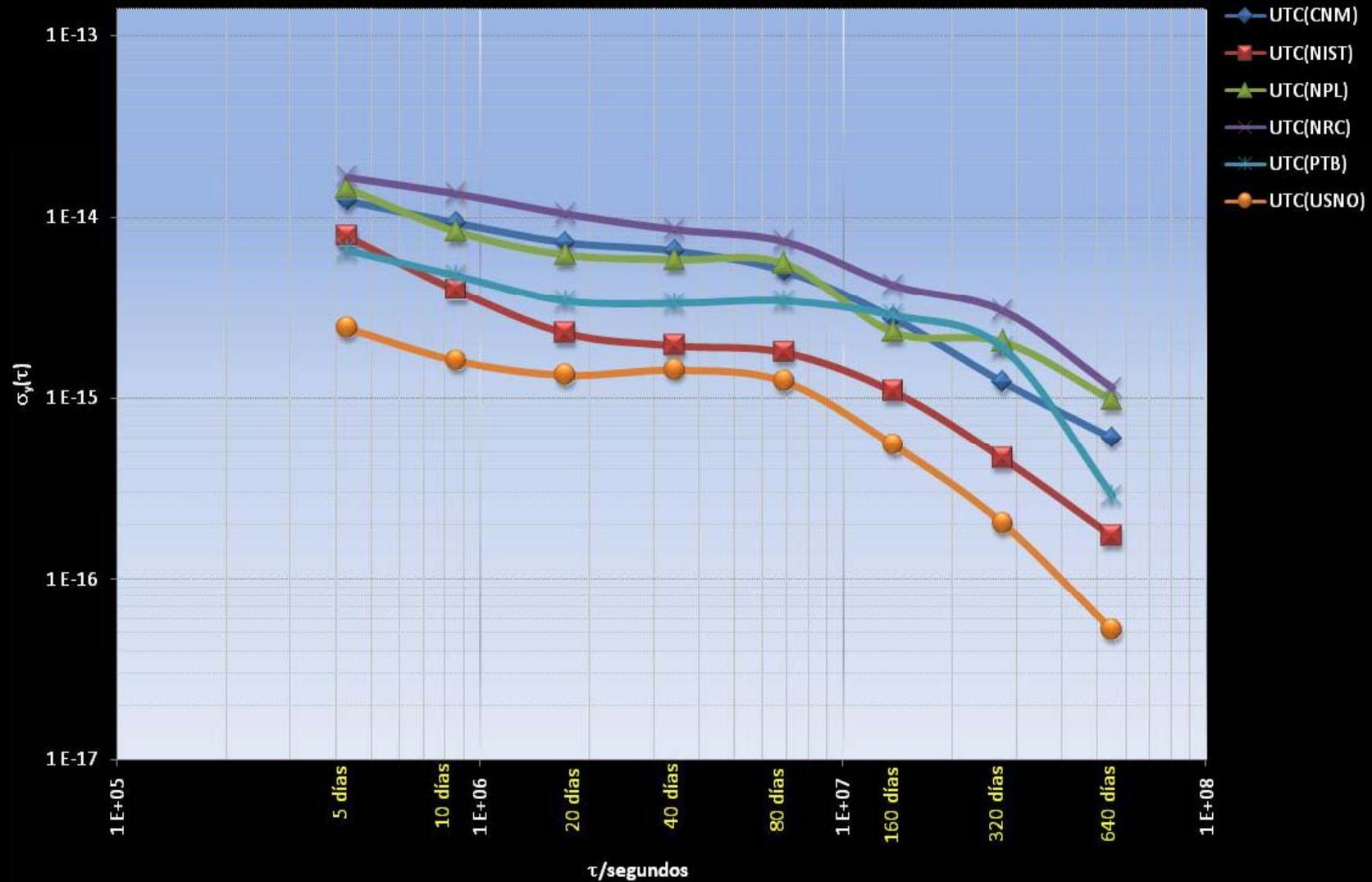
Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





Estabilidad de los UTC (k)

Período: MJD 53609 - 55074
(27 de agosto de 2005 - 31 de agosto de 2009)





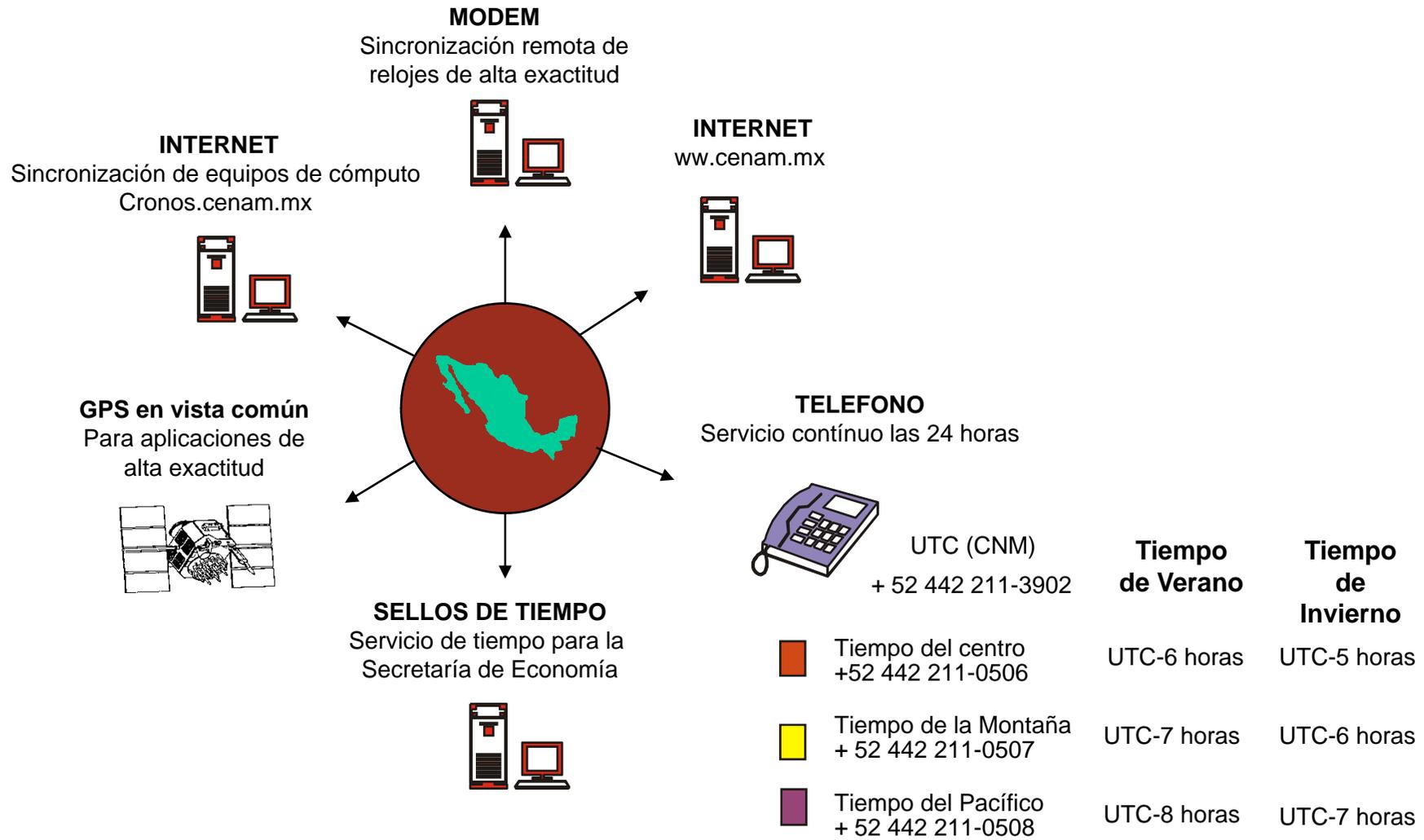
CONTENIDO



1. Introducción
2. El UTC(CNM)
3. Comparación Internacional
4. Resultados de la Comparación Internacional
- 5. Diseminación UTC(CNM)**
6. Conclusiones
7. Referencias



DISEMINACIÓN DEL UTC(CNM)





Tiempo del Centro



Tiempo de la Montaña

- Baja California Sur
- Chihuahua
- Nayarit
- Sinaloa
- Sonora

Tiempo del Pacífico

- Baja California





CONTENIDO



1. Introducción
2. El UTC(CNM)
3. Comparación Internacional
4. Resultados de la Comparación Internacional
5. Diseminación UTC(CNM)
- 6. Conclusiones**
7. Referencias



CONCLUSIONES



- ❑ La estabilidad del UTC(CNM) se mantiene, para casi todo τ , en partes en 10^{15} .
- ❑ Las características de exactitud y estabilidad del UTC(CNM) hacen de esta escala de tiempo una magnífica referencia de tiempo a nivel nacional.
- ❑ Es importante hacer notar que el CENAM deriva del UTC(CNM) la hora oficial para las tres zonas horarias de los Estados Unidos Mexicanos, a saber: Tiempo del Centro, Tiempo del Pacífico y Tiempo del Noroeste.
- ❑ El tiempo que el CENAM genera para estas tres zonas horaria hereda de manera directa las características metrológicas del UTC(CNM), por lo que la hora oficial de la nación generada por el CENAM posee una calidad metrológica muy alta.



CONTENIDO



1. Introducción
2. El UTC(CNM)
3. Comparación Internacional
4. Resultados de la Comparación Internacional
5. Diseminación UTC(CNM)
6. Conclusiones
- 7. Referencias**



REFERENCIAS



- [1] 13ª Conferencia general de Pesas y medidas, 1967.
- [2] Ver por ejemplo: S. Weyers *et al*, “Uncertainty evaluation of the atomic caesium fountain CSF1 of the PTB”, *Metrologia*, 2001, **38**, 343 – 352.
- S.R. Jefferts *et at*, “Accuracy evaluation of NIST-F1”, *Metrologia*, 2002, **39**, 321 – 336.
- [3] International Earth Rotation Service (IERS), Observatoire de Paris 61, Avenue del l’Observatoire – 75014 Paris, Francia.
- [4] “Characterization of Clocks and Oscillators”, Edited by D.B. Sullivan *et al*, NIST Technical Note 1337.
- [5] H. Montage Smith, “International Time and Frequency Coordination”, *Proc. Of the IEEE*, Vol 60, No 5, May 1972.
- [6] Jean Kovalevsky, “Astronomical Time”, *Metrologia*, Vol 1, No 4, 1965



Evaluación del desempeño del UTC(CNM) en los últimos 5 años



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

- Electromagnetismo
- Temperatura y Propiedades Termofísicas
- Tiempo y Frecuencia

