

# **La utilidad del horario de verano**

Alán Dávila and Jorge A. López

University of Texas at El Paso

## **Resumen**

Dado que el número de horas de luz solar varía durante el año, muchos países han modificado su horario en el verano para una mejor utilización de la luz natural. Este fenómeno, sin embargo, pierde validez en el ecuador o en los polos donde la duración del día o no se modifica, o se modifica de manera máxima, respectivamente. Lo cual nos hace preguntarnos ¿aporta beneficios el uso del horario de verano en países tropicales como México? En este estudio se estima el número de horas de actividad que suceden anualmente sin luz solar con y sin la modificación del horario de verano. La conclusión de esta investigación es que, con un horario de actividades de 6 am a 10 pm y un horario de verano de abril 6 a octubre 26, se lograrían ahorros considerables de luz eléctrica en todo el país. Sin embargo, los ahorros que se obtienen en México son mucho menores a los posibles debido a que una gran parte del país está bajo un huso horario equivocado. Este ahorro se podría extender al resto del país si se adoptasen los husos horarios correctos.

## **Abstract**

Given that daylight hours vary through the year, several countries have modified their standard time during the summer in order to get more advantage from natural light. Nevertheless, this phenomenon cannot be used at the equator or the poles where the duration of the day is not changed or is totally changed, respectively. For this reason we ask ourselves: would daylight savings time represent benefits to tropical countries such as Mexico? We will count in this study the number of hours of activity without sun light with and without daylight savings time. The conclusion of this research is that with a schedule of activities from 6 am to 10 pm and daylight savings time from April 6 to October 26, there could be considerable electric light savings in Mexico. Nevertheless, the savings obtained in Mexico are less than what is possible to attain since great part of the country uses wrong time zones. These savings could reach all the country if the correct time zones were used.

PACS: 01.75.+m

## 1. Introducción

El horario de verano fue concebido por Benjamín Franklin en 1784 cuando, como embajador de los Estados Unidos en Francia, les sugirió a los franceses adelantar los relojes una hora en el verano para reducir el consumo de velas. Aunque la propuesta no prosperó, el tema fue retomado en 1907 para ser aplicado por primera vez durante la primera guerra mundial por Australia, Inglaterra, Estados Unidos y Alemania. Aunque después de la guerra se regresó a la hora estándar, con el inicio de la segunda guerra mundial se volvió a adoptar el *Horario de Guerra*, llegando a convertirse en ley en los Estados Unidos en 1966.

La idea tras la aplicación del horario de verano es la de aumentar el aprovechamiento de luz solar, la cual varía debido al movimiento de la tierra alrededor del sol. Las estaciones del año existen debido a la combinación de la inclinación del eje de rotación de la tierra respecto a la eclíptica solar y la rotación de la tierra respecto al sol. Estos factores hacen que la tierra reciba mayor cantidad de luz en el hemisferio norte durante el verano boreal, y más en el hemisferio sur durante el verano austral.

La cantidad de horas a la que cualquier región es expuesta al sol varía dependiendo de la posición de la tierra respecto al sol. En el hemisferio norte, el punto álgido de duración del día ocurre en el solsticio de verano (aproximadamente el 21 de junio), mientras que el día más corto sucede en el solsticio de invierno, alrededor del 24 de diciembre. Los puntos de cruce, es decir, cuando las noches y los días tienen duración igual, son denominados equinoccios y ocurren en marzo y septiembre.

La diferencia entre el número de horas con o sin luz depende a su vez de la posición geográfica. Debido a que el ecuador no varía su posición aparente respecto al sol durante todo el año, todos los puntos en este círculo imaginario siempre están expuestos a la misma cantidad de horas de luz, 12 exactamente. Lugares cercanos a este círculo, como Bogotá, Colombia, sufren variaciones de la longitud del día de tan solo algunos minutos.

La contraparte a esta situación se da en los polos. Debido a que ciertas regiones de los polos son ocultadas completamente de la luz solar en sus respectivos inviernos, y expuestas continuamente en sus veranos, la iluminación diurna en los polos varía desde cero horas hasta 24 horas. Lugares nórdicos, como San Petersburgo en Rusia, son famosos por sus días con *soles de medianoche*.

Tomando todo esto en cuenta, resultaría absurdo tratar de modificar el horario de actividades en lugares cercanos al ecuador, donde el número de horas con iluminación diurna no varía, o en lugares polares donde esta iluminación va desde cero horas en el invierno, a 24 horas al día en el verano. Obviamente, el uso del horario de verano se debe limitar tan solo a cierta región donde esta modificación resulte en un mejor aprovechamiento de la luz solar. La determinación de esta región es el propósito del presente estudio.

## **2. Definición del problema**

El problema principal en la determinación de la utilidad del uso del horario de verano radica en la definición de lo que se entiende por *utilidad*; en México esto ha hecho que la aplicación del horario de verano sea tan controversial que ha llegado a convertirse en un problema político. Y es que un cambio de horario modifica no tan solo el consumo de energía eléctrica, sino también comportamientos sociales, índice de accidentes viales, delincuencia, etc. Inclusive, dentro del tema del consumo eléctrico, el estudio se complica debido a la existencia de empresas de consumo continuo, *i.e.*, aquellas que funcionan 24 horas a puertas cerradas. Un estudio completo de la utilidad del horario de verano para un país en particular, por fuerza necesitaría recurrir a simulaciones para tomar en cuenta a los diferentes consumidores energéticos, accidentes, etc. Nuestras metas son mucho más modestas.

En el presente estudio excluirémos todos los aspectos sociales del problema, así como posibles beneficios a empresas de consumo continuo, y nos limitaremos tan solo a medir la

diferencia entre el número de horas con luz artificial que un individuo experimentaría con y sin el horario de verano durante un año.

### 3. Cálculo de la ganancia de horas-luz

Suponiendo que en un día  $i$ , donde  $1 \leq i \leq 365$ , el sol sale a una hora  $H_S^i$ , y un individuo se despierta a una hora  $H_D$ , esta persona requerirá de  $H_S^i - H_D$  horas de iluminación en la mañana si  $H_S^i > H_D$ , (es decir, si el individuo se levanta antes de la salida del sol), o de cero horas si  $H_S^i < H_D$ , (correspondiente a despertarse ya con luz solar). Asimismo, si el sol se pone a  $H_P^i$  y el individuo se acuesta a una hora  $H_A$ , requerirá de  $H_A - H_P^i$  horas de luz artificial en la noche si la hora de acostarse es posterior a la de la puesta del sol (*i.e.* si  $H_A > H_P^i$ ), o de cero horas en caso opuesto.

Matemáticamente, el número de horas en las que la iluminación artificial es necesaria en un día  $i$ , está dada por la función:

$$(1) \quad N(i, H_D, H_A) = (H_S^i - H_D) \Theta(H_S^i - H_D) + (H_A - H_P^i) \Theta(H_A - H_P^i),$$

donde la función escalón es  $\Theta(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$ . Así pues, la cantidad anual de horas en las

que se necesitará electricidad para iluminación nocturna, sin usar el horario de verano, será

$$(2) \quad C_{SHV} = \sum_{i=1}^{365} N(i, H_D, H_A).$$

Si se usa el horario de verano de una fecha inicial  $I$  a una fecha final  $F$ , las horas de acostarse y despertarse serán  $H_D$  y  $H_A$  del inicio del año a la fecha  $I$ , se reducirán a  $H_D - 1$  y  $H_A - 1$  durante el período de tiempo de  $I$  a  $F$ , y volverán a  $H_D$  y  $H_A$  en el resto del año. En este caso, la cantidad total de horas en las que se necesitará iluminación artificial es

$$(3) \quad C_{CHV} = \sum_{i=1}^{I-1} N(i, H_D, H_A) + \sum_{i=I}^F N(i, H_D - 1, H_A - 1) + \sum_{i=F+1}^{365} N(i, H_D, H_A).$$

En consecuencia, la ganancia anual que resultaría de la aplicación del horario de verano, es decir, el ahorro de horas con iluminación artificial, es simplemente la diferencia entre  $C_{SHV}$  y  $C_{CHV}$ :

$$(4) \quad G(H_D, H_A, I, F) = C_{SHV} - C_{CHV} = \sum_{i=I}^F N(i, H_D, H_A) - \sum_{i=I}^F N(i, H_D - 1, H_A - 1).$$

Si  $G > 0$ , el uso del horario de verano aporta una ganancia neta, y en caso opuesto, no representa ahorro alguno.

#### 4. Formulación de horarios

Para evaluar  $G(H_D, H_A, I, F)$ , es necesario conocer los horarios de actividad,  $H_D$  y  $H_A$ , así como el horario de salidas y puestas de sol,  $H_S^i$  y  $H_P^i$ , y las fechas de aplicación del horario de verano,  $I$  y  $F$ . Debido a que estos horarios varían de acuerdo a la geografía y sociología individual,  $G$  deberá ser estimada para diferentes localidades geográficas y horarios de actividades. A continuación se explica como se obtienen expresiones matemáticas para representar al horario solar, al de actividades y al horario de verano.

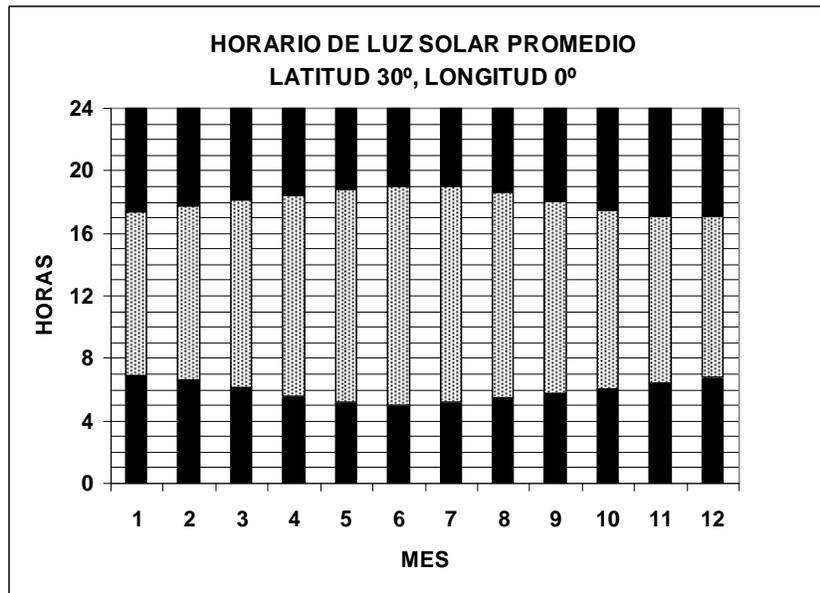


Figura 1. Horario de luz solar promedio de cada mes durante un año en una región a latitud 30° y longitud 0°.

#### 5. Horario solar.

La ganancia,  $G(H_D, H_A, I, F)$ , intrínsecamente depende del horario de salida y puesta del sol,  $H_S^i$  y  $H_P^i$ , los cuales, a su vez, dependen de la localidad geográfica. Es posible determinar  $H_S^i$  y  $H_P^i$  para cualquier punto sobre la tierra a partir del movimiento terrestre. Para nuestros propósitos, nos limitamos a usar un ajuste a datos medidos.

La figura 1 muestra el horario de luz solar que, en promedio, se observa a una latitud de 30° y una longitud de 0°, equivalente al centro del meridiano como lo estaría Ojinaga, Chihuahua. La parte punteada representa las horas con luz solar. Las funciones  $H_S^i$  y  $H_P^i$

se pueden aproximar con un ajuste polinomial como se muestra en las figuras 2 y 3, respectivamente; ajustes similares serán utilizados para diferentes latitudes y longitudes.

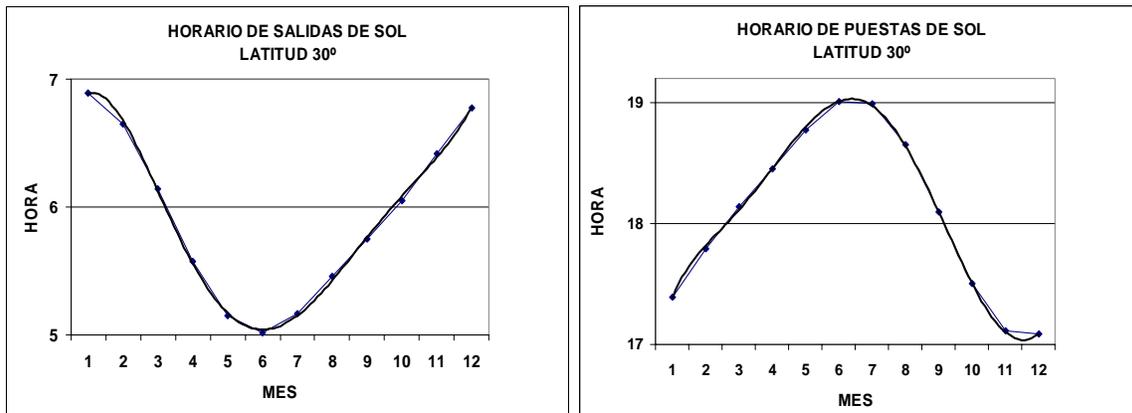


Figura 2 y 3. Ajuste polinomial a las horas de salida y puesta de sol promedio de cada mes durante un año en una región a latitud 30°.

## 6. Horario de actividades humanas.

Los horarios de actividades  $H_A$  y  $H_D$  son, tal vez, los términos más inciertos en el presente estudio. Debido a esto, el presente estudio se realizará usando varias combinaciones de  $H_A$  y  $H_D$ . El siguiente ejemplo servirá para ilustrar un posible horario y sus consecuencias en el cálculo de  $G(H_D, H_A, I, F)$ .

La figura 4 muestra un ejemplo en el que un individuo empezaría el día a las 6:00 am y lo concluiría a las 8:00 pm. Las rectas horizontales negras representan a  $H_A$  y  $H_D$  durante todo el año si no se implementa el horario de verano. Por el contrario, si se usa el horario de verano,  $H_A$  y  $H_D$  estarían dadas por las líneas horizontales de enero a marzo, la punteada de arriba y la punteada de abajo, respectivamente, de abril a septiembre, y de nuevo por las horizontales en el resto del año. La misma gráfica muestra los horarios de salida y puesta del sol a una latitud de 30° y longitud 0°.

Como la parte inferior de la gráfica lo indica, de enero a marzo y de octubre a diciembre, esta persona se levantaría antes del amanecer, y, de no ser usado el horario de verano, se levantaría con luz solar de abril a septiembre. Por el contrario, si se implementase el horario de verano, esta persona empezaría sus actividades de noche prácticamente durante todo el año. Por el otro lado, la parte superior de la figura indica que, al irse a la cama a las

8:00 pm, se necesitaría luz eléctrica entre 1 y 3 horas al día durante el año sin el horario de verano, y entre cero y 1 hora al día durante abril y septiembre si se implementase el horario de verano.

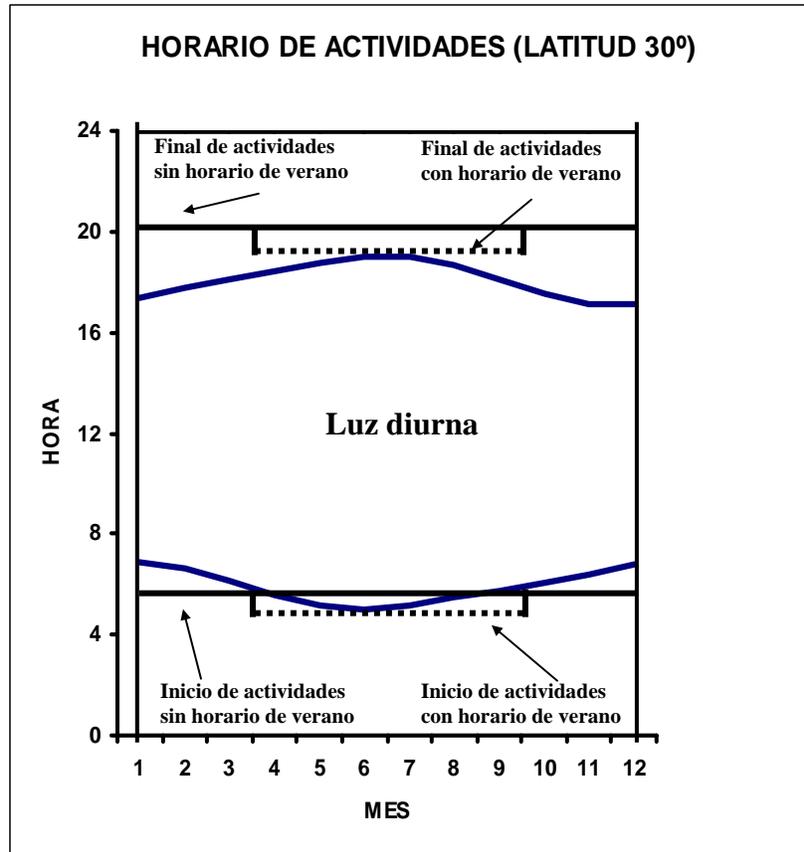


Figura 4. Gráfica del horario de luz solar promedio por mes y horario de actividades con y sin horario de verano durante un año.

En este ejemplo, el horario de verano aumentaría el uso de iluminación artificial en las mañanas y lo reduciría en las noches. La ganancia neta del horario de verano dependerá de que el uso de iluminación artificial extra en las mañanas, sea menor que el ahorro en las noches.

## 7. Calendario del horario de verano.

Aunque comúnmente el horario de verano se aplica entre abril y octubre, el presente estudio permite considerar a las fechas  $I$  y  $F$  como variables y determinar los valores que

produzcan una ganancia máxima. Contando los días del año de 1 a 365, el inicio y final del horario de verano,  $I$  y  $F$ , obviamente satisfacen  $1 \leq I \leq F \leq 365$ .

### **8. Ganancia en función de latitud y horarios**

El formalismo anterior nos dice que para saber si la aplicación del horario de verano en alguna ciudad resultará en algún ahorro de horas de luz artificial, es necesario conocer  $H_D$ ,  $H_A$ ,  $I$ ,  $F$  y la latitud y longitud del punto geográfico. Así pues, la ganancia en una zona dada con, por ejemplo, un horario de actividades de 6 am a 10 pm y con horario de verano de abril 6 ( $i = 96$ ) a octubre 26 ( $i = 299$ ), estaría dada por  $G(6, 22, 96, 299)$ . A continuación se presentan resultados de la evaluación de  $G$  para una variedad de valores de  $H_D$ ,  $H_A$ ,  $I$ ,  $F$  y latitudes y longitudes.

### **9. Ganancia en función al horario de actividades.**

Los horarios de actividades fueron variados entre 6 a.m.  $< H_D < 8$  a.m. y 8 p.m.  $< H_A < 12$  a.m. Un resultado inmediato es que tanto los horarios cortos (eg. de 8 a.m. a 8 p.m.), como los largos (de 6 a.m. a 12 p.m.), no aportan ganancia alguna al ser usados con o sin el horario de verano. Esto es debido a que, independientemente del horario de verano, en las latitudes de interés los horarios cortos empiezan y terminan con luz solar eliminando así la posibilidad de que el horario de verano tenga efecto alguno. Lo mismo, pero de noche, sucede con los horarios largos. El horario de actividades que dio los mejores resultados en términos de reducción del número de horas de luz artificial fue el de 6 a.m. a 10 p.m., que, convenientemente, permite las canónicas ocho horas de sueño.

### **10. Ganancia en función de la latitud.**

Tomando entonces  $H_D=6$  a.m. y  $H_A=10$  p.m., se estudió la variación de  $G(H_D, H_A, I, F)$  con la latitud, la figura 5 muestra estos resultados. Lleno desde el ecuador ( $0^\circ$ ) hasta los polos ( $90^\circ$ ), en una trayectoria de longitud  $90^\circ$ , es decir en el centro del meridiano, se pudo detectar el incremento de la ganancia de un mínimo en el ecuador, hasta un máximo alrededor de  $60^\circ$ , para de ahí en adelante decaer rápidamente. Como referencia, Panamá está a latitud  $8^\circ$ , y San Petersburgo a latitud  $59^\circ$ . La ganancia está medida en la cantidad de horas de luz artificial que se ahorraría en un año.

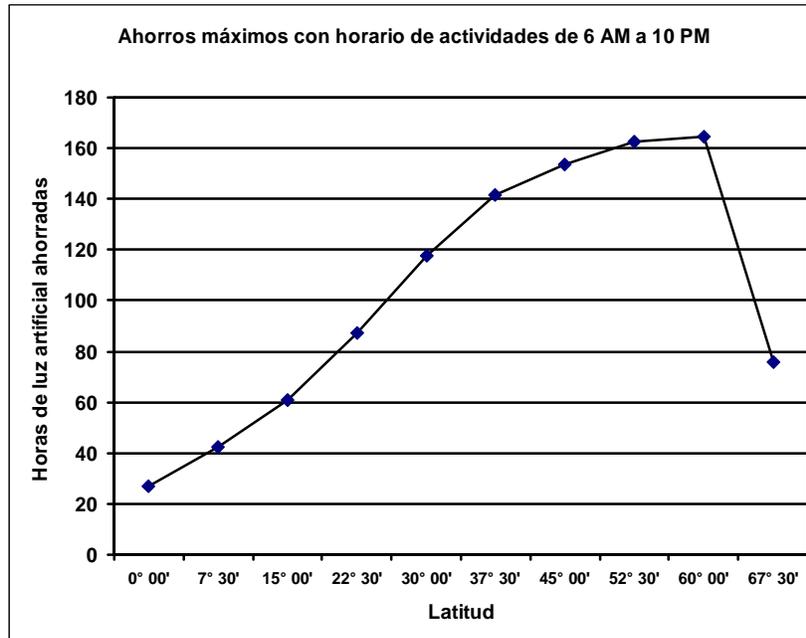


Figura 5. Gráfica comparativa de horas de luz artificial ahorradas anualmente en función de la latitud.

La figura 5 indica que para tener ganancias mayores del 50% del máximo, la aplicación del horario de verano se debe limitar latitudes entre, aproximadamente, 20° y 65°; México queda en esta región.

Aparentemente sorprendente, la ganancia cerca del ecuador no es cero, sino de alrededor de 20 horas al año. Esta ganancia, que corresponde a un promedio de tres minutos al día, es producida por una pequeña fluctuación del horario solar en el verano que, en el amanecer, coincide casi exactamente con  $H_D$ .

México, que se encuentra entre latitudes de 15° y 32°, puede obtener ganancias anuales que van de 60 a 120 horas de ahorro de luz eléctrica. Sin embargo, para calcular el ahorro real que el horario de verano deja en México, se deben de tomar en cuenta otros factores tales como la longitud y la duración del horario mismo.

## 11. Ganancia en función de la longitud.

El hecho de que todos los puntos dentro de un meridiano tengan la misma hora, hace que los puntos hacia el oriente del centro del meridiano tengan el horario unos minutos atrasados, mientras que los occidentales lo tengan adelante. Esto, a su vez, introduce una dependencia de la ganancia  $G$  en la ubicación geográfica dentro del meridiano.

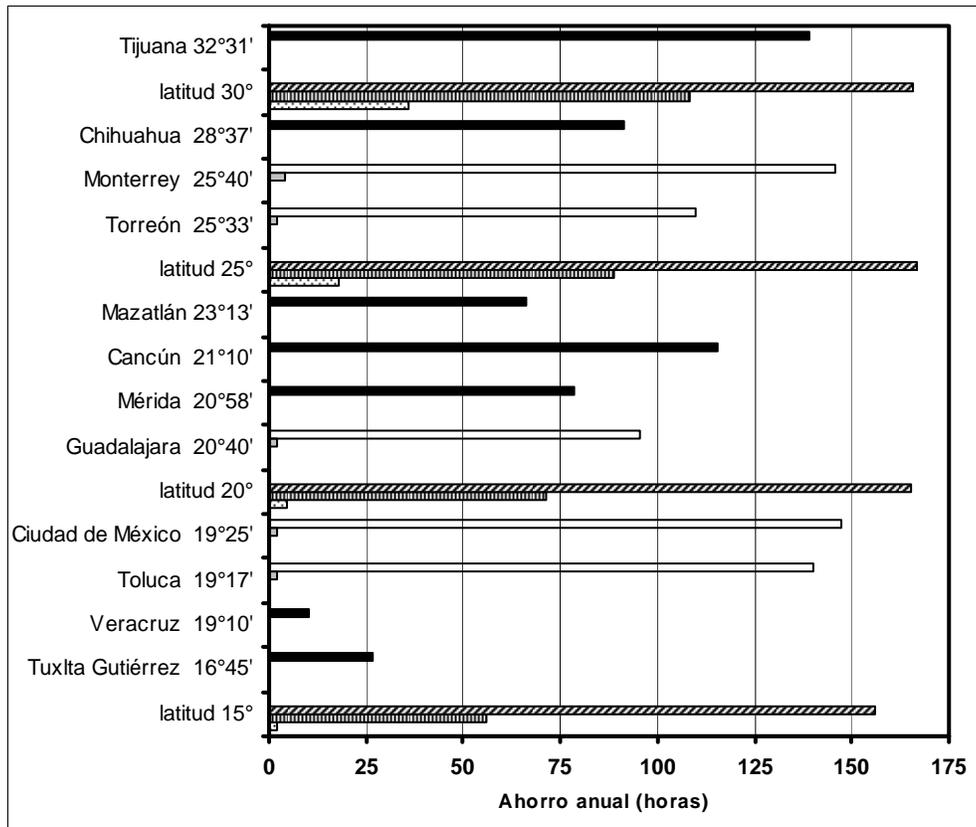


Figura 6. Ahorros anuales para latitudes 15°-30° y ciudades de México.

La figura 6 muestra, entre otras cosas, los valores de la ganancia obtenidos en cuatro latitudes del territorio mexicano: 15°, 20°, 25° y 30° (ver barras punteadas, con rayas verticales y diagonales). Estos valores fueron calculados con  $H_D = 6$  a.m.,  $H_A = 10$  p.m.,  $I = 6$  de abril, y  $F = 26$  de octubre. La variación de  $G(H_D, H_A, I, F)$  con la longitud está indicada para cada latitud por medio del uso de tres barras. En cada grupo, la barra superior representa la ganancia correspondiente a la parte oriental del meridiano, la barra del medio al centro del meridiano, y la inferior al límite occidental del meridiano. Como ilustración, la ganancia a latitud 20° va de 5 horas en límite oeste del huso, a 70 en el centro, para llegar a más de 160 horas de ahorro anual en el extremo oriental del meridiano.

Hay que aclarar que la ganancia mínima para  $15^\circ$  es cero, pero, para propósitos de la ilustración, se usa un tamaño pequeño (2 horas) para evitar que la barra desaparezca de la gráfica.

Estos cálculos son válidos para el extremo oriental, centro y occidental de los tres husos horario que se usan en México,  $90^\circ$ ,  $105^\circ$  y  $120^\circ$ . Comparando el comportamiento de estos resultados al ir de  $15^\circ$  hasta  $30^\circ$ , se observa que la variación de  $G$  se amplía para latitudes más sureñas debido al incremento del grosor del meridiano. Como se verá al estudiar el caso de México, este efecto tiene graves consecuencias para el posible ahorro energético.

## 12. Ganancia en función de $I$ y $F$ .

Otras variables que afectan la ganancia, son las fechas de inicio y terminación del horario de verano,  $I$  y  $F$ . Aunque comúnmente  $I$  se escoge entre febrero y abril, y  $F$  entre septiembre y noviembre, hemos tomado a  $I$  y  $F$  como variables para determinar el máximo de  $G(H_D, H_A, I, F)$  en función de estas variables. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos para 9 ciudades alrededor del mundo con horario de actividades de 6 am a 10 pm.

La tabla 1 muestra, en su parte izquierda, la ganancia máxima posible y los valores de  $I$  y  $F$  que producirían esta ganancia. La parte derecha muestra la ganancia que se logra con los valores  $I$  y  $F$  que actualmente se usan. El Paso, Texas, por ejemplo, obtiene un ahorro de 100.8 horas de luz artificial ahorradas anuales con las fechas actuales (6 de abril a 26 de octubre, en 2003); de modificar el inicio al 1 de febrero y la terminación a cualquier fecha entre septiembre 1 y diciembre 31, la ganancia aumentaría 7% hasta 108 horas de luz artificial ahorradas anuales. Cuando el inicio o terminación del horario se indica con un rango de valores, la ganancia es independiente de la fecha que se escoja siempre que esté dentro del rango.

Ciudad	Horario de verano óptimo			Horario de verano actual		
	Inicio	Final	Ganancia	Ganancia	Inicio	Final
México	1/2	23/9	0	0	6/4	26/10
Washington	1/1-21/2	23/9-1/12	129	120.3	6/4	26/10
El Paso	1/2	23/9-1/12	108	100.8	6/4	26/10
Berlín	1/2	23/9-1/12	156	145.2	30/3	26/10

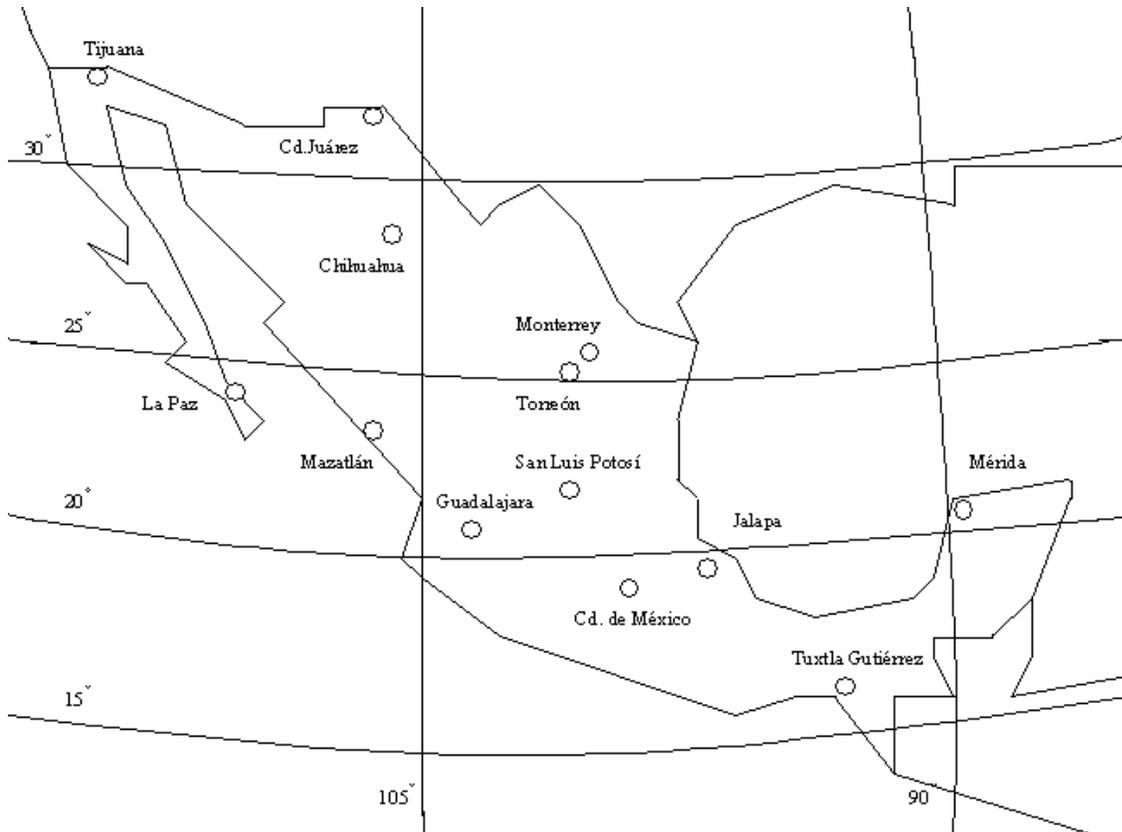
Londres	1/2	23/9-1/12	160.5	147.6	30/3	26/10
Madrid	1/2	8/11-1/12	4.5	4.5	30/3	26/10
Moscú	1/2	23/9-1/12	137.7	134.1	29/3	26/10
París	1/2-16/3	23/9-1/12	92.7	92.7	29/3	26/10
Roma	1/2	23/9-1/12	133.5	128.1	30/3	26/10

Tabla 1. Comparación de ganancias obtenidas con el horario de verano actual y el óptimo

Dos resultados saltan a la vista, las fechas *I* y *F* aceptan variaciones amplias sin afectar las ganancias de gran manera y, la Ciudad de México no logra ahorro alguno bajo cualquier combinación de *I* y *F*. La siguiente sección estudiará el segundo punto más a fondo.

### 13. El caso de México.

Por orden del Presidente Álvaro Obregón, México se incorporó a la convención de la Conferencia Internacional sobre Meridianos de 1884 en 1922. Desde esa fecha se adoptó el huso horario del meridiano 105° al oeste de Greenwich para toda la región de Baja California hasta los Estados de Veracruz y Oaxaca, y el del meridiano 90° para el resto del país. Modificaciones posteriores ajustaron a Baja California al 120° en 1945, y a Campeche, Quintana Roo y Yucatán al horario del 75° en 1982. El horario de verano se implementó temporalmente en 1931, permanentemente en Baja California en 1945, en Yucatán en 1981, y en Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas en 1988, para después generalizarse a todo el país por decreto oficial el 4 de enero de 1996 por el Presidente Zedillo. Chihuahua adoptó el huso del 105° en 1996.



Desde su adopción, los husos horarios fueron distorsionados, presumiblemente, para evitar dividir al centro del país en dos horarios. Aplicado de manera correcta, *cf.* figura 7, el huso horario de 90°, abarcaría desde Quintana Roo hasta la longitud 97.5° que corresponde, aproximadamente, a la ubicación de Poza Rica, Jalapa o Oaxaca. Asimismo, el huso de 105° cubriría el resto del centro de México hasta Sinaloa y Chihuahua. Debido a esto, exceptuando a unos cuantos estados como Yucatán, Quintana Roo, Sinaloa, Chihuahua y Baja California Norte y Sur, más de la mitad del país está obligada a vivir una hora más temprano que su horario solar. Para entender el efecto que este error tiene sobre la ganancia del horario de verano, hay que calcular  $G(H_D, H_A, I, F)$  con el huso horario correcto y con el incorrecto.

#### 14. Ganancias con el huso correcto.

La evaluación de  $G(H_D, H_A, I, F)$  usando el huso correcto fue hecha en una sección anterior (*cf.* figura 6) para los extremos oriental, centro y occidental de los husos horarios de 90°, 105° y 120° en las latitudes de 30°, 25°, 20° y 15°. Repitiendo este estudio para ciudades

de la república mexicana que usan el huso horario adecuado se obtienen los resultados adicionales que se muestran en la figura 6.

En esta figura se muestran, en negro, los ahorros obtenidos en ciudades que apropiadamente usan el huso de 90°, Tuxtla Gutiérrez, Veracruz, Mérida, y Cancún, así como en ciudades del meridiano 105°, Mazatlán y Chihuahua, y del 120°, Tijuana. Los ahorros obtenidos en estas ciudades son comparables a los obtenidos para el centro y los extremos del meridiano en latitudes de 30°, 25°, 20° y 15°, mostrados con barras punteadas, rayadas verticalmente y rayadas diagonalmente en la figura 6.

En el caso, por ejemplo, de latitud 25°, el meridiano 105° abarca desde longitud 97.5°, un poco al sur de Matamoros, hasta longitud 112.5°, un poco al noroeste de La Paz, con el centro un poco al norte de Durango. Las ganancias obtenidas en estos puntos van de 18 a 164 horas de ahorro; cantidades nada despreciables y comparables a ahorros que se lograrían en el centro de meridianos en latitudes mucho más nórdicas. Este escenario contrasta con los ahorros que se obtienen en los casos de ciudades con husos incorrectos.

### **15. Ganancias con el huso incorrecto.**

Aunque para las cuatro latitudes estudiadas con el huso correcto se obtienen rangos de ganancias considerables, las ganancias reales obtenidas en ciudades aledañas que tienen el huso horario incorrecto, son sumamente menores.

La figura 6 muestra, en gris, las ganancias obtenidas en cinco ciudades mexicanas que están bajo el huso horario incorrecto. Junto a estos resultados también se muestran, en barras blancas, las ganancias que se obtendrían si estas ciudades estuviesen en el huso horario apropiado. De nuevo hay que aclarar que las barras grises de Toluca, México D.F., Guadalajara y Torreón corresponden a cero ganancias.

Es obvio que estas ciudades, todas del centro del territorio nacional, logran ahorros magros con la aplicación del horario de verano, pero que podrían lograr ahorros mucho más grandes. Monterrey, por ejemplo, que al estar a 25°40' podría lograr ahorros aproximados

de 140 horas al año, logra tan solo una ganancia de 5 horas. El horario de actividades adoptado,  $H_D=6$  am y  $H_A=10$  pm, en Monterrey es, de hecho, de 5 am a 9 pm, lo que provoca que el inicio de actividades sea antes la salida del sol, creando así demanda considerable de luz eléctrica por las mañanas.

El contraste de las barras grises con las blancas, y con la mismas negras, es impresionante. Las ciudades que están en los husos horarios correctos logran ahorros considerables con el horario de verano, mientras que las ciudades que viven a destiempo no. De norte a sur, de Durango a Chiapas, de Nuevo León a Colima, y en el mismo Distrito Federal, el horario de verano no trae consigo beneficio alguno.

## 16. Conclusiones

El uso del horario de verano debe estar limitado a cierta región geográfica. La diferencia entre el número de horas de luz eléctrica que se necesitan con y sin el horario de verano, se puede usar como criterio para determinar la utilidad del horario de verano.

Para calcular el ahorro de horas de luz eléctrica,  $G(H_D, H_A, I, F)$ , es necesario modelar el horario solar, determinar un horario de actividades, y fechas iniciales y finales del horario de verano. Esto da como resultado inmediato que un horario de actividades de 6 am a 10 pm y un horario de verano de abril 6 a octubre 26, produce ganancias considerables.

Estudiando las ganancias en función de la latitud, yendo desde el ecuador ( $0^\circ$ ) hasta los polos ( $90^\circ$ ), se detectó un incremento gradual de la ganancia, el cual llegó a su máximo alrededor de  $60^\circ$ , para después decaer rápidamente. La zona de mayor ganancia máxima posible se encontró a latitudes al norte de  $20^\circ$  y más al sur de  $65^\circ$ ; fuera de esta región la aplicación del horario de verano es de dudosa utilidad.

En el caso específico de México, el hecho de que los husos horarios no se apeguen a los meridianos geográficos hace que más de la mitad del país viva una hora más temprano que su horario solar natural. Esto a su vez hace que la ganancia posible en la mayoría de las ciudades sea mínima, exceptuando los casos de estados que viven dentro del huso horario

apropiado como Quintana Roo, Yucatán, Veracruz, Chihuahua, Sinaloa, Sonora, y las California.

Las recomendaciones del presente estudio saltan a la vista: la parte central del país puede llegar a tener ahorros considerables de energía eléctrica siempre y cuando se adhieran al huso horario correcto, el del 105°.