ASTRONOMÍA EN LA ARQUITECTURA DE CHICHÉN ITZÁ: UNA REEVALUACIÓN

Ivan Šprajc
Centro de Investigaciones Científicas
de la Academia Eslovena de Ciencias y Artes

Pedro Francisco Sánchez Nava
Dirección de Salvamento Arqueológico,
Instituto Nacional de Antropología e Historia

Resumen: Un estudio sistemático de los alineamientos en la arquitectura maya de las Tierras Bajas, realizado recientemente, ha revelado la existencia de patrones de orientación ampliamente difundidos durante épocas prolongadas y explicables únicamente con el uso de referencias astronómicas sobre el horizonte. Los análisis de una amplia muestra de datos nos han llevado a la conclusión de que los importantes edificios cívicos y ceremoniales fueron orientados, en su mayoría, hacia las salidas y puestas del Sol en ciertas fechas separadas por intervalos calendáricamente significativos, que sugieren el uso de calendarios observacionales fácilmente manejables y destinados para monitorear el deslizamiento del año calendárico respecto al trópico, aparentemente con la finalidad de facilitar la programación de las actividades agrícolas y los rituales correspondientes. Los resultados de esta investigación arrojan una nueva luz sobre el significado astronómico-calendárico de las orientaciones de los edificios principales de Chichén Itzá, uno de los sitios más importantes incluidos en nuestro estudio, y permiten rectificar algunas interpretaciones anteriores.

Palabras clave: Chichén Itzá, arquitectura, orientaciones, arqueoastronomía.

Abstract: A recently accomplished systematic study of architectural orientations in the Maya Lowlands has revealed the existence of widespread and enduring alignment patterns, which can only be explained with the use of astronomical references at the horizon. The analyses of a large data sample have led us to conclude that the important civic and ceremonial buildings were oriented predominantly to sunrises and sunsets on certain dates separated by calendrically significant intervals, which suggest the use of easily manageable observational schemes intended to monitor the slippage of the calendrical year relative to the year of the seasons, apparently with the purpose of ensuring a proper scheduling of agricultural activities and the corresponding rituals. The results of this research shed a new light on the astronomical and calendrical significance of orientations of the main buildings of Chichén Itzá, one of the most important sites included in our study, and allow a reassessment of former interpretations.

Keywords: Chichén Itzá, architecture, orientations, archaeoastronomy.

Recepción: 12 de abril de 2012.
Aceptación: 5 de julio de 2012.

ASTRONOMÍA EN LA ARQUITECTURA DE CHICHÉN ITZÁ: UNA REEVALUACIÓN

Ivan Šprajc
Centro de Investigaciones Científicas
de la Academia Eslovena de Ciencias y Artes

Pedro Francisco Sánchez Nava
Dirección de Salvamento Arqueológico,
Instituto Nacional de Antropología e Historia

Introducción

Los resultados de diversos estudios arqueoastronómicos realizados a la fecha en Mesoamérica demuestran que la distribución de los alineamientos en la arquitectura monumental exhibe grupos bien definidos, es decir, concentraciones de azimuts[1] alrededor de ciertos valores. La presencia de estos grupos en sitios diferentes y durante periodos prolongados sólo puede explicarse con el uso de referencias astronómicas sobre el horizonte: si las orientaciones fuesen fortuitas o condicionadas por rasgos topográficos o geomorfológicos locales, consideraciones militares u otros motivos, serían diferentes en distintos sitios, manifestando una distribución relativamente uniforme. Además, la distribución de las orientaciones sugiere que mayormente se refieren a los puntos de salida y puesta del Sol en ciertas fechas, cuyo significado puede explicarse en términos del ciclo agrícola (*cf.* Aveni, 1991 y 2001; Aveni y Hartung, 1986; Galindo, 1994; Tichy, 1991; Šprajc, 2001).

Uno de los sitios mesoamericanos que han sido objeto de varios estudios arqueoastronómicos es Chichén Itzá, Yucatán, México, que en la época de su auge, durante el Clásico Terminal y el Posclásico Temprano, fue el centro político más importante de las Tierras Bajas mayas del norte. Las orientaciones de los edificios más significativos del sitio han sido discutidas por diversos investigadores, pero algunos de los datos publicados, como vamos a mostrar, no corresponden a la realidad, por lo que también las interpretaciones derivadas de esta información carecen de fundamento.

Chichén Itzá no es un caso aislado; tanto para el área maya como para otras regiones mesoamericanas contamos con un corpus relativamente amplio de datos publicados sobre los alineamientos arquitectónicos (*cf*. Aveni, 1991: 350 ss., Apéndice A, 2001 y 2010; Aveni y Hartung, 1986: 73 ss., tabla 1; Aveni, Dowd y Vining, 2003). No obstante, esta información no permite interpretaciones más detalladas, ya que los datos son de precisión muy variable y no del todo confiables: normal-

[1] El *azimut* es el ángulo en el plano horizontal, medido desde el norte hacia la derecha o, visto desde arriba, en el sentido de las manecillas de reloj, teniendo valores de 0° a 360°.

mente se presenta un solo azimut, considerado como representativo de la orientación de la estructura, y casi siempre faltan las alturas del horizonte, necesarias para el cálculo de las declinaciones;[2] además, los azimuts no siempre corresponden a las líneas más relevantes, por lo que no necesariamente reproducen las orientaciones intencionadas de manera confiable.

En consideración a lo anterior, en el año 2010 iniciamos un proyecto de investigación titulado "Propiedades astronómicas de la arquitectura y el urbanismo en Mesoamérica",[3] cuyo objetivo ha sido estudiar las orientaciones arquitectónicas y su significado astronómico de manera sistemática, empleando una metodología más rigurosa que la que había sido aplicada en la mayoría de los estudios anteriores de esta índole, tanto en el proceso de obtención de los datos como en su análisis. En las primeras dos temporadas, llevadas a cabo en 2010 y 2011 y enfocadas en las Tierras Bajas mayas, realizamos mediciones en diversos sitios arqueológicos en los estados mexicanos de Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. La metodología empleada, presentada exhaustivamente en otro lugar (Sánchez y Šprajc, 2011a; Šprajc y Sánchez 2012: 978 ss.), incluye los criterios de selección de las estructuras que se considerarían en los análisis, las técnicas de medición y los métodos que, según argumentamos, permiten determinar las orientaciones intencionadas y sus posibles referentes astronómicos con suficiente precisión.[4]

[2] La coordenada celeste que permite identificar el fenómeno astronómico posiblemente relacionado con un alineamiento no es el azimut sino la *declinación*, que expresa la distancia angular medida desde el ecuador celeste (círculo imaginario en la esfera celeste, colocado en el plano del ecuador terrestre) hacia el norte o el sur (declinación positiva o negativa), teniendo valores de 0° a ±90°. Todos los cuerpos celestes que, observando en un mismo lugar, salen o se ponen en el mismo punto del horizonte tienen la misma declinación, cuyo valor depende de la latitud del lugar, el azimut y la altura del horizonte corregida por refracción atmosférica.

[3] Agradecemos a las autoridades del Instituto Nacional de Antropología e Historia el apoyo que recibimos en todas las etapas de la realización del proyecto, así como a la empresa patrocinadora *FBC Datec*, en particular a sus dueños, la Sra. Ma. de Lourdes Camarena Martínez y el Lic. Luis Arturo Fonseca Camarena. Asimismo debemos las gracias a la Lic. Elizabeth Flores Torruco, directora de la Zona Arqueológica de Chichén Itzá, y a su jefe de seguridad, Ricardo Náfate, por su eficiente apoyo y por las diversas facilidades otorgadas durante nuestros trabajos en este sitio.

[4] Subrayemos que en esta investigación estudiamos únicamente las orientaciones axiales de edificios —claramente indicadas por taludes, paramentos, muros y otros elementos constructivos que hacen patente una orientación en el plano horizontal— y su relación con los eventos astronómicos observables en el horizonte. Es decir, no medimos líneas inclinadas que pueden reconocerse en la disposición de ciertos elementos arquitectónicos, o líneas imaginarias que pueden trazarse entre diversos puntos o rasgos de una estructura, por ejemplo, las diagonales de los vanos de acceso. En varios estudios ya publicados encontramos intentos de relacionar las líneas de este tipo con diversos fenómenos astronómicos, pero los alineamientos interpretados de esta manera son tan numerosos y heterogéneos que resulta imposible realizar un análisis comparativo y verificar la intencionalidad de las correspondencias sugeridas. Para poder comprobar el supuesto significado astronómico de alineamientos de este tipo sería necesario, en primer lugar, elaborar una metodología rigurosa que permitiera clasificarlos de manera objetiva y, con ello, obtener una muestra de datos comparables en los que podría buscarse algún patrón. Tal objetivo quedó fuera de las ambiciones de nuestra investigación, limitada al estudio de los ejes de orientación principales y claramente reconocibles en la disposición de los edificios.

Estructura	A norte	Error A norte	A este	Error A este	H este	H oeste	δ este	δ oeste	Error δ	Fechas este		Fechas oeste		Intervalos este		Intervalos oeste	
Casa Colorada	11º 57’	0º30’	104º 43	1º	0º 00’	0º 00’	-13º 57	13º32’	1º	11-feb	30-oct	26-abr	17-ago	104	261	113	252
Edificio de las Monjas	10º 16’	1º	99º 18’	0º 30’	-0º 02’	-0º 04’	-8º 55’	8º28’	0º 30’	25-feb	16-oct	11-abr	1-sep	133	232	143	222
El Castillo, fachada norte	NA	NA	111º 43’	0º 12’	-0º 07’	-0º 07’	-20º 31’	19º59’	0º 12’	18-ene	23-nov	20-may	24-jul	56	309	65	300
El Castillo, fachada sur	NA	NA	113º 42’	0º 15’	-0º 07’	-0º 07’	-22º 21’	21º49’	0º 15’	8-ene	4-dic	30-may	14-jul	35	330	45	320
El Castillo, entrada oriente	21º 13’	0º 15’	109º 38’	0º 20’	-0º 07’	NA	-18º 35’	NA	0º 20’	26-ene	14-nov	NA	NA	73	292	NA	NA
El Castillo, entrada poniente	22º 44’	0º 15’	112º 28’	0º 20’	NA	-0º 07’	NA	20º41’	0º 20’	NA	NA	23-may	21-jul	NA	NA	59	306
El Osario	18º 24’	0º 30’	107º 03’	0º 20’	-0º 02’	-0º 03’	-16º 09’	15º42’	0º 20’	4-feb	6-nov	3-may	10-ago	90	275	99	266
Palacio de los Falos	19º 39’	1º	110º 22’	0º 30’	0º 00’	0º 00’	-19º 13’	18º47’	0º 30’	24-ene	17-nov	15-may	30-jul	68	297	76	289
Templo de la Serie Inicial	19º 04’	2º	108º 24’	2º	0º 00’	0º 00’	-17º 23’	16º58’	2º	31-ene	10-nov	8-may	6-ago	82	283	90	275
Templo de los Guerreros	19º 57’	0º 30’	109º 54’	0º 10’	-0º 01’	-0º 02’	-18º 47’	18º21’	0º 12’	26-ene	16-nov	13-may	1-ago	71	294	80	285
Templo Superior de los Jaguares	17º 31’	1º	108º 17’	0º 10’	0º 00’	-0º 02’	-17º 16’	16º50’	0º 12’	31-ene	10-nov	7-may	6-ago	82	283	91	274

Tabla 1. Datos sobre los alineamientos arquitectónicos en Chichén Itzá.

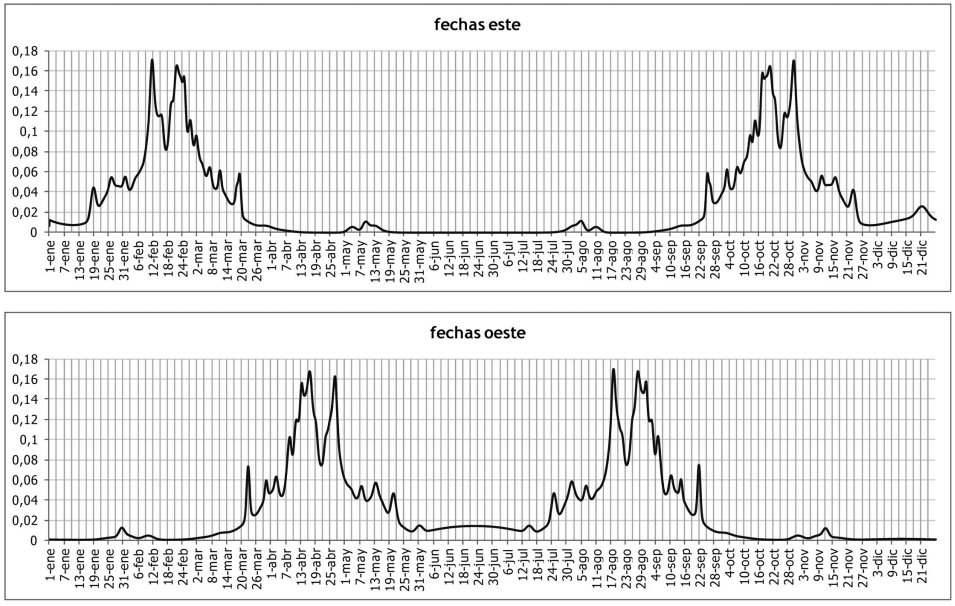
Los datos derivados de las dos temporadas de campo y presentados detalladamente en los informes respectivos (Sánchez y Šprajc, 2011a y 2011b), a los que se agregaron algunos obtenidos anteriormente con el suficiente rigor metodológico (Šprajc, 2004, 2008 y 2009; Šprajc y Morales-Aguilar, 2007; Šprajc *et al.*, 2009, en prensa), constituyen la muestra de 271 orientaciones medidas en 87 sitios de las Tierras Bajas mayas, la cual sirvió como base de datos para realizar diversos análisis. De acuerdo con los resultados preliminares (Šprajc y Sánchez, 2012; Šprajc *et al.*, 2011), las orientaciones incorporadas en la arquitectura cívica y ceremonial de las Tierras Bajas mayas eran astronómicamente funcionales, ante todo o exclusivamente, en dirección este-oeste.[5] Aunque es muy probable que algunas se refieran a los extremos de Venus o de la Luna, mayormente pueden relacionarse con las salidas y puestas del Sol en ciertas fechas. Al analizar la distribución de las orientaciones potencialmente solares, detectamos que las fechas de salida y puesta del Sol correspondientes tienden a estar separadas por intervalos que son múltiplos de 13 o de 20 días.

Para facilitar la comprensión, vamos a puntualizar que, a lo largo de un año, el punto de salida y puesta del Sol se desplaza a lo largo de los horizontes oriente y poniente, medio año hacia el sur y otro medio año hacia el norte, alcanzando los extremos norte/sur en los solsticios de junio/diciembre, por lo que cada alineamiento potencialmente solar —salvo los solsticiales— corresponde a dos fechas de salida y dos fechas de puesta del Sol, y cada par de fechas divide el año en dos intervalos cuya suma es 365 días. Los intervalos que separan las fechas de salida del Sol pueden designarse como *intervalos este*, y los intervalos entre las fechas registradas en el horizonte opuesto como *intervalos oeste*. Al graficar todos los intervalos este y oeste que corresponden a las orientaciones de nuestra muestra, observamos que su distribución no es uniforme: predominan los pares de intervalos en los que uno es múltiplo de 20 o de 13 días.

Las gráficas 1 y 2 presentan las distribuciones de frecuencias relativas de las fechas y los intervalos. Para obtener las curvas se tomaron en cuenta los posibles errores derivados de las incertidumbres de los azimuts y alturas del horizonte, por lo que los picos más pronunciados de cada curva representan los valores que posiblemente fueron logrados a propósito.[6] Los resultados de los análisis estadísticos

[5] Cabe advertir que los edificios medidos miran con sus entradas o fachadas principales en distintas direcciones, muchos hacia el norte o el sur, pero son sus azimuts este-oeste los que pertenecen a los grupos ampliamente difundidos. Por ello, y considerando otros argumentos más extensamente presentados en relación con las orientaciones en el centro de México (Šprajc, 2001: 69 ss.), podemos concluir que la ubicación de la entrada o de la fachada principal no necesariamente indica la dirección astronómicamente funcional de la estructura.

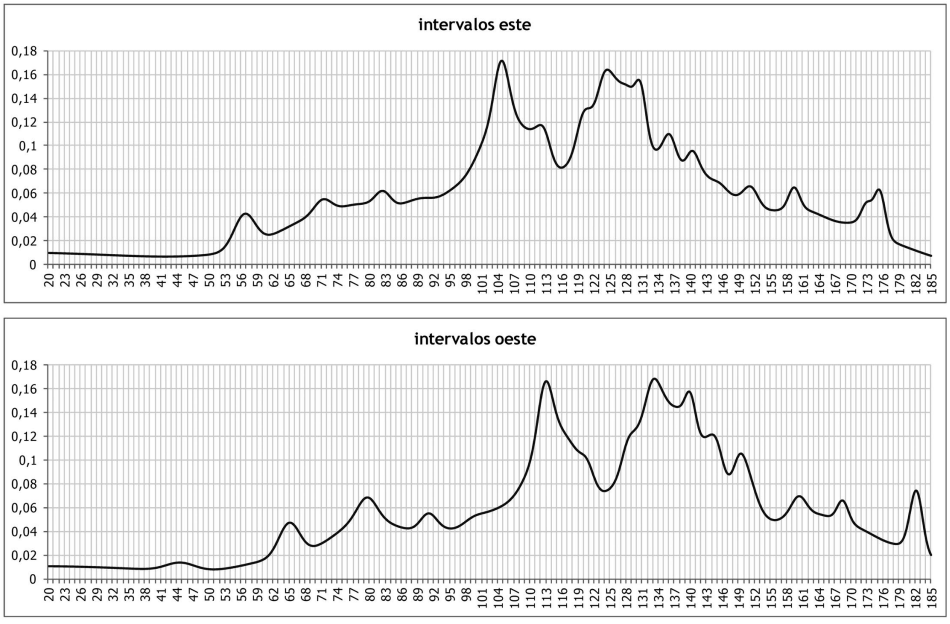
[6] A cada valor (fecha o intervalo) se le asignó el posible error (en días) calculado con base en las incertidumbres estimadas de los azimuts y las correspondientes alturas del horizonte, asumiendo la distribución normal centrada en el valor nominal y con la desviación estándar de la incertidumbre especificada. Las distribuciones normales de todos los valores fueron sumadas (empleando el software *Curvigram* versión 1.01 elaborado y amablemente proporcionado por Andrew G. K. Smith, *School of Chemistry and Physics*, *University of Adelaide*, Australia), obteniendo los datos para elaborar las curvas normalizadas (el área bajo la curva es igual a 100).



Gráfica 1. Distribución de frecuencias relativas de las fechas de salida (fechas este) y puesta del Sol (fechas oeste) registradas por las orientaciones en las Tierras Bajas mayas.

que hemos realizado indican que tales distribuciones de las fechas y los intervalos difícilmente pueden ser fortuitas. Cabe señalar que, aunque cada alineamiento corresponde a dos fechas en el horizonte oriente y dos en el poniente, esto no implica que ambos pares necesariamente fueran logrados deliberadamente, es decir, que la orientación haya sido funcional en ambas direcciones. Para tratar de determinar la direccionalidad de las orientaciones que conforman los grupos más evidentes, analizamos la distribución de las declinaciones que les corresponden en los horizontes este y oeste, suponiendo que la dirección funcional es indicada por mayor concentración de las declinaciones: las direccionalidades determinadas de esta manera concuerdan con las direcciones en las que las orientaciones correspondientes marcaban fechas separadas por intervalos calendáricamente significativos, es decir, múltiplos de 13 y de 20 días (Šprajc *et al.*, 2011).

La consistencia con la que las orientaciones registran los mismos grupos de fechas e intervalos en un área extensa y durante periodos prolongados indudablemente refleja la preocupación por monitorear el desfase del año calendárico (de 365 días) respecto al año trópico (o de las estaciones, cuya duración actual es de 365.2422 días) y la necesidad de determinar los momentos clave en el ciclo estacional. Los alineamientos que registraban las salidas y puestas del Sol separadas por múltiplos de periodos básicos del sistema calendárico mesoamericano no sólo permitían la determinación de ciertas fechas con base en observaciones directas, sino también facilitaban su predicción cuando las observaciones directas, por con-



GRÁFICA 2. Distribución de frecuencias relativas de los intervalos que separan las fechas señaladas por las orientaciones en las Tierras Bajas mayas en los horizontes este (intervalos este) y oeste (intervalos oeste).*

diciones climáticas adversas, no eran posibles: recordemos que, en la cuenta de 260 días, los múltiplos de 20 días conectan fechas con el mismo signo de veintena, mientras que las fechas separadas por múltiplos de 13 días tienen el mismo numeral de trecena; los múltiplos de 20 días conectan, además, las mismas fechas en los meses del año de 365 días (si no se interpone el periodo de cinco días agregados a los 18 meses). Un estudio sistemático realizado anteriormente en el centro de México, donde fue observada la misma regularidad, llevó a la conclusión de que las orientaciones en la arquitectura monumental permitían el uso de calendarios observacionales que facilitaban la programación de las actividades del ciclo agrícola, marcando tanto las fechas canónicas y ritualmente importantes como las "auxiliares", que permitían la anticipación oportuna de los momentos en que debieron realizarse las labores concretas y las ceremonias correspondientes (Šprajc, 2001). Una conclusión comparable es aplicable también en el caso de las Tierras Bajas mayas.

* Nótese que, aunque en la escala horizontal están anotados únicamente los intervalos cortos, cada par de fechas este/oeste registrado por una orientación divide el año en dos intervalos cuya suma es 365 días (por lo tanto, el intervalo de 105 días, por ejemplo, implica también la existencia del intervalo complementario de 260 días). No se incluyen los intervalos menores de 20 días, delimitados por las fechas cercanas a los solsticios (se trata de orientaciones que, considerando las incertidumbres estimadas, seguramente registraban los solsticios).

Las orientaciones en la arquitectura de Chichén Itzá, uno de los sitios más importantes incluidos en nuestra investigación, ejemplifican los criterios astronómicos y calendáricos que fueron empleados por los mayas en el diseño de su arquitectura monumental y en la planeación de sus núcleos urbanos. Las interpretaciones que se exponen a continuación derivan de los datos comparativos que hemos obtenido en nuestro estudio sistemático, ilustrando la utilidad de la metodología empleada y la necesidad de basar las conclusiones en patrones estadísticamente significativos.

Orientaciones de los edificios principales de Chichén Itzá

Los edificios que consideramos en nuestro estudio regional fueron seleccionados con base en la suposición de que los motivos astronómicos, relacionados con la religión, cosmovisión e ideología política, gobernaban principalmente el diseño arquitectónico y la planeación urbana en los núcleos cívicos y ceremoniales de los asentamientos. Por lo tanto —y estando conscientes de que tal selección siempre implica un grado de subjetividad— nos limitamos a estructuras cívicas y ceremoniales de mayor importancia y, entre ellas, escogimos las que, por su configuración y altura, parecían particularmente idóneas para observaciones astronómicas (*cf.* Sánchez y Šprajc, 2011a). Los datos sobre las orientaciones de los edificios de Chichén Itzá, seleccionados bajo estos criterios, están anotados en la tabla 1. En la primera columna están listados los nombres de las estructuras; el significado de los encabezados de las demás columnas y de las abreviaturas empleadas es el siguiente:

- *A norte*: azimut hacia el norte del alineamiento norte-sur; se omite el azimut hacia el sur, ya que siempre es 180° más grande;
- *error A norte*: posible error del azimut hacia el norte;
- *A este*: azimut hacia el este del alineamiento este-oeste; el azimut hacia el oeste (omitido) difiere por 180°;
- *error A este*: posible error del azimut hacia el este;
- *H este/oeste*: altura del horizonte este/oeste;
- δ *este/oeste*: declinación correspondiente al azimut hacia el este/oeste;
- *error* δ*:* posible error de declinación, estimado con base en las incertidumbres en los azimuts y alturas del horizonte;
- *fechas este/oeste*: fechas de salida/puesta del Sol que corresponden a la declinación este/oeste;[7]

[7] La declinación del Sol varía continuamente en el transcurso del año trópico, alcanzando los valores extremos de aproximadamente ±23.5° en los solsticios de verano (22 de junio ± 1 día) y de invierno (22 de diciembre ± 1 día). Por lo tanto, las declinaciones que corresponden a los alineamientos y cuyos valores se encuentran dentro de este rango pueden referirse a las salidas y puestas del Sol en ciertas fechas. El Sol alcanza cualquier declinación, salvo las solsticiales, dos veces al año, por lo que a cada declinación en la tabla 1 le corresponden dos fechas. Debido a las variaciones precesionales en la oblicuidad de la eclíptica, por una parte, y en la longitud heliocéntrica del perihelio

- *intervalos este/oeste*: intervalos entre las fechas este/oeste; cada par de fechas divide el año en dos intervalos, cuya suma es 365 días.

Los azimuts listados en la tabla 1 corresponden a las líneas más relevantes, por ejemplo a los ejes de los santuarios superiores o a las fachadas principales, o representan —cuando tales elementos no se conservan— promedios de los azimuts medidos a lo largo de diversos muros o paramentos. En el caso del Castillo se presentan los azimuts y los datos correspondientes para varios elementos arquitectónicos; la sigla NA significa que el dato no es aplicable. La magnitud del error asignado a cada dato refleja las incertidumbres que se deben a la disposición de los elementos constructivos relevantes y a su estado de conservación, o a las divergencias entre las diversas líneas medidas.

Como lo mencionamos en la Introducción, los datos publicados sobre las orientaciones en el área maya presentan deficiencias de distintos tipos, a las que también podemos atribuir las discrepancias que se observan, en algunos casos, entre los valores citados en la tabla 1 y los datos sobre las orientaciones en Chichén Itzá, publicados anteriormente por otros autores (*cf.* Aveni, 1991: 351 ss.; Aveni y Hartung, 1986: 73 ss.; Aveni, Milbrath y Peraza, 2004; Milbrath, 1988a, 1988b y 1999: 66 ss.; Galindo, 2000 y 2001; Galindo *et al.*, 2001).

Casa Colorada

La orientación de la Casa Colorada pertenece a uno de los grupos más comunes en las Tierras Bajas mayas. Según se ha argumentado (Šprajc y Sánchez, 2012; Šprajc *et al.*, 2011), estas orientaciones eran funcionales sólo hacia el oriente, marcando las salidas del Sol el 12 de febrero y el 30 de octubre; el intervalo que separa las dos fechas es de 260 días, equivalente a la duración del ciclo calendárico ritual, lo que significa que los eventos separados por este intervalo sucedían en las mismas fechas de la cuenta de 260 días. En la distribución de las fechas este en la gráfica 1 se observan claramente los picos centrados en este par de fechas, mientras que la distribución de los intervalos este en la gráfica 2 manifiesta la concentración más prominente alrededor del valor de 105/260 días. Entre más de 30 edificios mayas que pertenecen a dicho grupo, algunos ejemplos prominentes son la Estructura I de Becán, la Estructura I de Calakmul, la Estructura I de Comalcalco, la Casa de la Luna de Edzná, la Pirámide Pava de El Mirador, el Edificio Kinich Kak Moo de Izamal, la Estructura 4 de Pomoná, el Palacio Norte de Sayil (piso superior), la Estructura 1 de Tabasqueño y

---

de la órbita de la Tierra, por la otra (este último elemento determina la duración de las estaciones astronómicas), una misma declinación solar no necesariamente corresponde, en cualquier época, a exactamente la misma fecha del año trópico. Las fechas en la tabla 1 (gregorianas) valen para la época relevante (siglo 10 d.C.) y fueron determinadas mediante el sistema *Horizons,* elaborado por *Solar System Dynamics Group*, *Jet Propulsion Laboratory, NASA* (EE.UU.), y disponible en línea (http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi). Las incertidumbres menores en cuanto al fechamiento de las estructuras no tienen mayor relevancia, ya que ciertas declinaciones solares corresponden a las mismas fechas del año durante al menos dos o tres siglos.

el Templo III de Tikal (Šprajc, 2004 y 2008; Sánchez y Šprajc, 2011a y 2011b; Šprajc y Morales-Aguilar, 2007; Šprajc *et al.*, 2009, en prensa). Además, las orientaciones que registran las salidas del Sol el 12 de febrero y el 30 de octubre son comunes también en el centro de México, siendo los casos más sobresalientes la Pirámide del Sol de Teotihuacan y la Acrópolis de Xochicalco (Šprajc, 2001). Diversos datos, sobre todo etnográficos, sugieren que se trataba de fechas canónicas que delimitaban un ciclo agrícola ceremonial (*cf.* Milbrath, 1999: 15, 59; Šprajc, 2001: 107 ss.).[8]

Edificio de las Monjas

La orientación del Edificio de las Monjas pertenece al grupo cuya finalidad parece haber sido la de registrar las puestas del Sol en las fechas 11 de abril y 1 de septiembre, separadas por el intervalo de 143 (= 11 × 13) días: en la gráfica 2 se observa una pequeña concentración cerca de este valor en la distribución de los intervalos oeste, mientras que entre los intervalos este no se destacan los de 133/232 días, que corresponden al Edificio de las Monjas en el horizonte oriente (tabla 1) y que, además, no parecen calendáricamente significativos. Es probable, por lo tanto, que las orientaciones de este grupo fueran observacionalmente funcionales hacia el poniente.

El Castillo

La orientación del Castillo ha sido relacionada por varios investigadores con las puestas del Sol en las fechas de su tránsito cenital (Milbrath, 1988a, 1988b y 1999: 66 ss.; Aveni, Milbrath y Peraza, 2004: 136), así como con sus salidas en los días de su paso por el nadir o anticenit (Milbrath, 1988a y 1988b). Para evaluar estas hipótesis medimos las cuatro fachadas del santuario superior, así como los ejes de simetría de sus entradas oriente y poniente (tabla 1; los azimuts norte citados para las entradas oriente y poniente corresponden a las fachadas oriente y poniente, respectivamente).[9]

La fecha del tránsito del Sol por el cenit o el nadir puede definirse como el día en el que la diferencia entre el valor absoluto de la declinación del Sol y la latitud del lugar llega a ser más cercana a 0°.[10] Comparando la latitud del Castillo

[8] La importancia prehispánica de las dos fechas sobrevive en la popularidad de las fiestas dedicadas a la Virgen de la Candelaria (2 de febrero) y a Todos los Santos y Fieles Difuntos (1 y 2 de noviembre), que siguen siendo muy importantes para las comunidades indígenas actuales y cuyo contenido ritual tiene un significado evidentemente agrícola (v. bibliografía en Šprajc, 2001: 84 ss.). Por otra parte, el uso de un ciclo agrícola canónico de 260 días sobrevive entre los quichés de Momostenango, en Guatemala (Tedlock, 1991).

[9] Aunque la orientación intencionada de la subestructura del Castillo no se puede determinar con precisión, las mediciones que realizamos sugieren que era igual a la de la etapa expuesta.

[10] El Sol pasa por el cenit cuando su declinación es, a mediodía local, igual o más cercana a la latitud del lugar. Por el nadir, el Sol atraviesa cuando su declinación es, a medianoche local, igual o más cercana al valor de la latitud con signo opuesto.

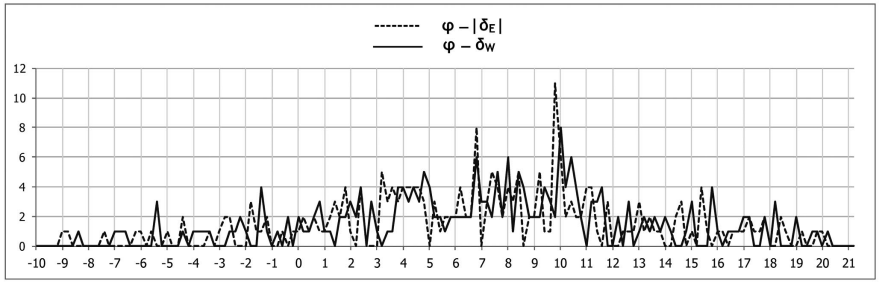
de Chichén Itzá —que es 20°41' norte— con las declinaciones que les corresponden a distintos alineamientos medidos en el edificio (tabla 1), podemos observar que las declinaciones oeste señaladas por la fachada sur y la entrada poniente, así como el valor absoluto de la declinación este que registra la fachada norte, manifiestan diferencias mínimas con respecto a la latitud del lugar, por lo que efectivamente corresponden con bastante precisión a los días del paso del Sol por el cenit (fachada sur y entrada poniente) y el nadir (fachada norte).

Hay que advertir, empero, que los pasos del Sol por el cenit pueden ser observados mediante diferentes dispositivos (*cf.* Aveni, 2001: 262 ss.), mientras que sus tránsitos por el nadir o anticenit no son visibles, por lo que las fechas correspondientes sólo podrían haberse inferido, asumiendo que el Sol sale en estos días en el punto directamente opuesto al de su puesta en los días de su tránsito cenital, o que el primer paso cenital anual está separado del siguiente primer paso por el nadir por un intervalo de aproximadamente 182 días (*cf.* Milbrath, 1988a: 61); sin embargo, las fechas determinadas bajo una u otra suposición no habrían coincidido (o sólo por casualidad).[11] Tratándose de un fenómeno que no es observable, y al no tener ningún dato sobre los posibles procedimientos empleados para determinar las fechas correspondientes, cualquier intento de relacionar los alineamientos con las posiciones del Sol en los días de su paso por el nadir resulta enteramente especulativo.

Es importante agregar que no sólo la hipótesis sobre la importancia del Sol anticenital, sino también la idea de que muchos edificios mesoamericanos registraban las puestas del Sol en los días de su paso por el cenit, muy arraigada y popular desde épocas incipientes del estudio de orientaciones, carece de sustento en nuestros datos. Como es bien conocido, las orientaciones mesoamericanas están desviadas, en su mayoría, en el sentido de las manecillas de reloj respecto a los rumbos cardinales, por lo que éstas habrían señalado los días del paso del Sol por el nadir en el horizonte oriente y los de su tránsito por el cenit en el horizonte poniente. En la gráfica 3 se encuentran registradas las diferencias entre las latitudes de los lugares en los que se midieron las orientaciones y las declinaciones (valores absolutos) que les corresponden en los horizontes oriente (línea punteada) y poniente (línea continua). En ninguna de las dos líneas observamos alguna concentración notable alrededor de 0°, como sucedería si la práctica de orientar edificios hacia las salidas/puestas del Sol en las fechas de su paso por el nadir/cenit hubiera sido común. Aunque, desde luego, no podemos descartar la posibilidad de que algunos edificios fueran intencionalmente orientados hacia estos eventos, las pocas correspondencias entre las declinaciones y latitudes sugieren que se trata de casos fortuitos, sobre todo porque para la gran mayoría de tales orientaciones existen explicaciones mucho más convincentes.

[11] Partiendo del intervalo de 182 días, las fechas del paso del Sol por el nadir podrían haberse determinado con cierta precisión, pero el alineamiento que señala las puestas del Sol en los días de su tránsito cenital no necesariamente coincide con la dirección hacia su salida en las fechas de su paso por el nadir, porque ésta varía en función de la altura del horizonte y la refracción.

Regresando al Castillo de Chichén Itzá, la intencionalidad de la correspondencia, mencionada arriba, entre las puestas del Sol en los días de su paso cenital y la entrada poniente del santuario superior es poco probable no sólo a la luz del análisis presentado, sino también porque el eje de esta entrada no se puede determinar con mucha precisión de manera visual: por tratarse de un solo par de jambas, resulta muy difícil establecer el punto de observación exactamente a lo largo de su eje de simetría, por lo que las fechas en las que el Sol se ponía a lo largo de este eje tampoco podrían haberse determinado de manera confiable. Es más probable que el alineamiento significativo fuera incorporado en la fachada norte del santuario, ya que ésta es la principal y porque las fechas de puesta del Sol a lo largo de la fachada, 20 de mayo y 24 de julio (foto 1), están separadas



Gráfica 3. Distribución de frecuencias de las diferencias (en grados anotados en la escala horizontal) entre las latitudes geográficas y los valores absolutos de las declinaciones este (δ_E) y oeste (δ_W) registradas por las orientaciones en las Tierras Bajas mayas (sólo se consideraron las declinaciones dentro del ángulo solar).

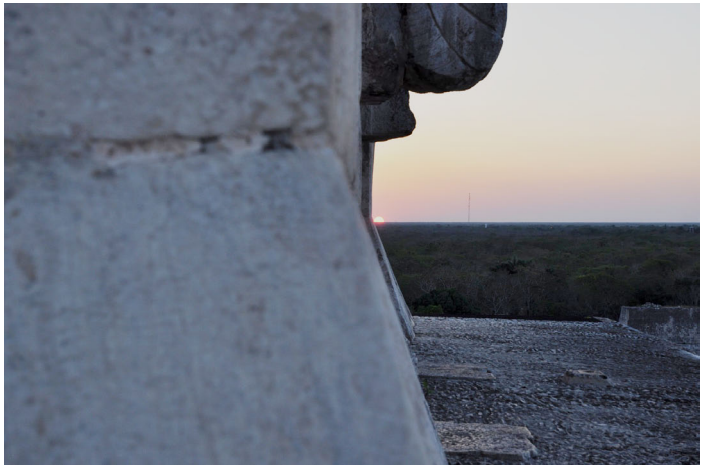


Foto 1. Chichén Itzá, El Castillo, puesta del Sol a lo largo de la fachada norte del santuario superior, el 21 de mayo de 2011. Nótese que el Sol se encuentra ligeramente a la derecha de la alineación, debido a que la fecha exacta fue el 20 de mayo.

Foto 2. Tulum, El Castillo, puesta del Sol a lo largo del eje de simetría del santuario superior, el 20 de mayo de 2011.

por los intervalos de 65 y 300 días, de los que el primero es múltiplo de 13 días, y el segundo, de 20 días (en cambio, las fechas de salida del Sol a lo largo de la misma fachada no delimitan intervalos calendáricamente significativos: tabla 1). Llama la atención que también el Castillo de Tulum, sólo unos siglos posterior al Castillo de Chichén Itzá, marcaba las puestas del Sol en las mismas fechas: la dirección que parece ser la más relevante es marcada con precisión por el eje de simetría que forman las jambas interiores y las columnas exteriores de la entrada al santuario superior, frente al cual se ubica, a lo largo de su eje, también una pequeña estela (foto 2).[12] Aunque en este caso las fechas registradas coincidían con bastante precisión con los días del paso del Sol por el cenit local, cabe notar que las mismas fechas eran marcadas también por edificios en otros sitios, por ejemplo las Estructuras I y X de Oxtankah, Quintana Roo, donde, por latitudes diferentes, no coincidían con las fechas del tránsito cenital del Sol (Sánchez y Šprajc, 2011a). Resulta más probable, por lo tanto, que la finalidad de estas orientaciones fuera tan sólo marcar las fechas separadas por intervalos calendáricamente significativos y, de alguna manera, relacionadas con el ciclo agrícola.

Aunque también la fachada sur marcaba las puestas del Sol separadas por un intervalo significativo ($320 = 16 \times 20$: tabla 1), es dudosa la intencionalidad de este alineamiento, considerando que, entre las orientaciones que hemos anali-

[12] La afirmación de Galindo (2007) de que el Sol se pone en el eje del Castillo de Tulum 13 días antes y después del solsticio de verano no concuerda con los resultados de nuestras mediciones, confirmados por la foto que tomamos el 20 de mayo de 2011 (foto 2).

zado, sólo el Templo de las Inscripciones de Palenque marca las puestas del Sol en el mismo par de fechas (Sánchez y Šprajc, 2011b).

Finalmente, cabe detenernos en el fenómeno más famoso relacionado con El Castillo de Chichén Itzá. Año tras año, miles de visitantes se reúnen durante los equinoccios, sobre todo en el de primavera, para observar el efecto de luz y sombra que se produce antes de la puesta del Sol sobre la balaustrada norte de la pirámide, dando la impresión del descenso de una serpiente de cascabel con triángulos dorsales iluminados (Rivard, 1969; Arochi, 1976; Carlson, 1999). Las cabezas de los ofidios que adornan las bases de la escalinata norte hacen este efecto aún más persuasivo. Rivard (1969: 52), quien fue el primero en describir este fenómeno con cierto detalle, caracterizándolo como una "hierofanía", observó:

> None of the other three stairways bears any decoration nor are large serpent heads to be found at its base. One might have expected such heads at the bottom of the southern stairway since the phenomenon is visible one hour after sunrise on the eastern side also. Their absence (if they were originally absent) would seem to indicate that the hierophany was of supreme significance only at the end of the day and not at its beginning.

Estas circunstancias, así como el hecho de que, alrededor del solsticio de invierno, un efecto comparable se observa en la escalera norte de una pirámide similar en Mayapán, también conocida como El Castillo (Arochi, 1991; Aveni, Milbrath y Peraza, 2004), sugieren la intencionalidad de ambos fenómenos. Cabe destacar, sin embargo, que el juego de triángulos iluminados en Mayapán es visible durante aproximadamente un mes antes y después del solsticio de diciembre, y que también el fenómeno de Chichén Itzá no cambia mucho durante unos días antes y después del equinoccio (Aveni, Milbrath y Peraza, 2004: 130 ss.). Por otra parte, la iluminación más atractiva de la balaustrada se produce aproximadamente una hora antes de la puesta del Sol. Por estas razones resulta imposible determinar —aun suponiendo la intencionalidad del efecto— cuál era la fecha que los constructores habrían querido conmemorar; incluso para ellos habría sido imposible fijar cualquier fecha tan sólo mediante la observación de este fenómeno.

Si el juego de luz y sombra en El Castillo de Chichén Itzá es resultado de un diseño arquitectónico consciente, sólo pudo haber tenido una función simbólica (como fue propuesto también por Aveni, 2001: 295 y 298 ss.), pero en tal caso es poco probable que los días celebrados hayan sido los equinoccios, si tomamos en consideración la distribución de las fechas que corresponden a nuestra muestra de orientaciones axiales en las Tierras Bajas mayas. Como se observa en la gráfica 1, hay un grupo de orientaciones que marca fechas cerca de los equinoccios, pero éstas no se encuentran centradas en los equinoccios astronómicos; las fechas este tienden a marcar el 19 de marzo y el 25 de septiembre, mientras que las fechas oeste están centradas en el 23 de marzo y el 21 de septiembre.

El primer par de fechas no delimita intervalos calendáricamente significativos, mientras que las fechas del segundo par corresponden a los llamados "días de cuarto" del año; junto con los solsticios, las fechas 23 de marzo y 21 de septiembre, cayendo dos días después y antes de los equinoccios de primavera y de otoño, respectivamente, dividen el año en cuatro periodos iguales de aproximadamente 91 (= 7 × 13) días. Es probable, por lo tanto, que las orientaciones de este grupo fueran funcionales únicamente hacia el poniente. Tal conclusión es adicionalmente apoyada por el hecho de que, según el análisis de la distribución de las declinaciones que corresponden a este grupo de orientaciones, las declinaciones oeste manifiestan una concentración más pronunciada que las declinaciones este (Šprajc *et al.*, 2011). Entre las estructuras que marcan estas fechas destacan la Estructura II de Chicanná, el Edificio de los Mascarones de Kohunlich, la Estructura I de Nakbé, la Estructura CA-14 de Oxkintok y el Complejo P de pirámides gemelas de Tikal (Šprajc, 2004; Šprajc y Morales-Aguilar, 2007; Sánchez y Šprajc, 2011a y 2011b; Šprajc *et al.*, en prensa); en el Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún, las mismas dos fechas son marcadas por el juego de luz y sombra producido a la puesta del Sol en el interior del edificio, debido a los pares de ventanas y orificios más pequeños en sus muros oriente y poniente (Šprajc, 1995).[13]

En relación con las fechas a las que podría referirse el juego de luz y sombra en El Castillo de Chichén Itzá, recordemos que las cuatro escalinatas del edificio —si es que efectivamente tenían 91 escalones cada una, como menciona Landa (Tozzer, 1941: 178)— podrían ser una alusión a la división del año en cuatro periodos iguales, pero en esta división no están involucrados los equinoccios verdaderos, sino las fechas 23 de marzo y 21 de septiembre. Incluso si había cabezas de serpiente al pie de cada escalinata, como también fue mencionado por Landa (*ibid.*), aunque nunca confirmado arqueológicamente, la importancia especial de la dirección norte es indicada no sólo por la entrada principal del santuario superior mirando hacia el norte, sino también por la disposición de la subestructura, cuya única escalera desciende desde el templo superior hacia el norte (Carlson, 1999: 140 ss.). Si la importancia de la escalera norte refleja el deseo de los constructores de presenciar el descenso de la serpiente iluminada cerca de la puesta del Sol, como lo sugirió Rivard (*vid supra*), esto estaría de acuerdo con los resultados de nuestros análisis mencionados arriba, según los cuales las orientaciones axiales registraban los días de cuarto del año en el horizonte poniente.

Según Ponce de León (1991: 430 ss.), el Sol equinoccial alcanza la altura equivalente a la inclinación de la escalinata oeste del Castillo precisamente cuando su azimut coincide con el de la escalinata; en otras palabras, en los equinoccios, los rayos del Sol ascendente se hacen rasantes a la escalera en el momento en

[13] No obstante su popularidad, la idea de que la orientación del Templo de las Siete Muñecas de Dzibilchaltún marcaba las posiciones equinocciales del Sol no tiene sustento en evidencias arqueológicas (Sánchez y Šprajc, 2011a).

que se alinean con su eje. Es interesante, sin embargo, que este autor menciona varios templos mesoamericanos en los que pudo haberse observado el fenómeno del "Sol rasante", pero en otros casos los azimuts y las inclinaciones de las escalinatas corresponden a las declinaciones solares en los días de cuarto del año. El Castillo de Chichén Itzá lo lleva a inferir, por lo tanto, que el conocimiento del equinoccio verdadero quizá fuese adquirido apenas durante el Posclásico (*ibid*.: 431, nota 17). Aunque se trata de una hipótesis interesante, faltan evidencias adicionales para apoyarla. También hay que recordar que el efecto del "Sol rasante" no es fácil de observar y que difícilmente hubiera permitido determinar las fechas intencionadas con precisión; podría haber tenido, sin embargo, un significado simbólico, y los casos analizados por Ponce de León hacen patente la necesidad de investigaciones sistemáticas adicionales, que arrojarían luz sobre la validez de la hipótesis del "Sol rasante".

El Osario

El azimut este-oeste del Osario (tabla 1) corresponde al eje de simetría indicado por las columnas serpentinas y las jambas de la entrada en el lado oriente del edificio superior. A lo largo de este eje prolongado hacia el oriente se localizan, recalcando su importancia, una plataforma redonda, la Plataforma de Venus del Osario, la Plataforma de las Tumbas y un *sacbé*, que conduce hasta un templo inmediatamente al norte del cenote Xtoloc, a unos 200 m de distancia de la pirámide del Osario (*cf.* Schmidt, 1999: 36). Es probable que el propósito de los constructores fuera registrar las salidas del Sol en las fechas 4 de febrero y 5 de noviembre, separadas por el intervalo de 91 (= 7 × 13) días (tabla 1). Las orientaciones que marcan estas fechas no son comunes en las Tierras Bajas mayas (gráficas 1 y 2), pero llama la atención que también el Templo de la Serie Inicial y el Templo Superior de los Jaguares de Chichén Itzá al parecer registraban fechas separadas por el intervalo de 91 días, aunque en el horizonte poniente (*vid infra*). Además, recordando la fecha 4 de febrero que registra El Osario en el horizonte oriente, quizá no sea fortuito que una de las dos fechas inscritas en una de las columnas de este edificio, para la que se determinó la posición 10.8.10.6.4 en la Cuenta Larga, corresponde en el calendario gregoriano proléptico (según la constante de correlación 584283) al 4 de febrero de 998 (Graña-Behrens *et al.*, 1999; Ringle y Bey, 2009: 343).

Palacio de los Falos

El motivo astronómico de la orientación de este edificio, que no se puede determinar con mucha precisión, no es evidente, pero es posible que marcara las puestas del Sol separadas por el intervalo de 78 (= 6 × 13) días (tabla 1).

Templo de la Serie Inicial

Debido al estado actual del edificio, no es posible establecer su orientación originalmente intencionada con precisión, pero hay razones para creer que señalaba las puestas del Sol en las fechas 7 de mayo y 6 de agosto, separadas por el intervalo de 91 (= 7 × 13) días (tabla 1): además de que también el Templo Superior de los Jaguares, cuya orientación pudo determinarse con precisión, registraba las mismas fechas de puesta del Sol (*vid infra*), en las gráficas 1 y 2 podemos observar que las orientaciones que tienden a marcar las mismas fechas e intervalos en el horizonte poniente son relativamente comunes en las Tierras Bajas mayas.

Templo de los Guerreros

El eje de simetría este-oeste del Templo de los Guerreros, prolongado hacia el poniente, pasa exactamente por el borde sur del Templo Superior de los Jaguares (foto 3), en lo que podemos ver una alineación intencional (*cf.* Ringle, 2009: 16). La altura del horizonte poniente en la tabla 1 es la del horizonte natural en esa dirección; las fechas de puesta del Sol correspondientes son 13 de mayo y 1 de agosto, separadas por 80 (= 4 × 20) días (foto 3). Prolongado hacia el oriente, el eje del edificio pasa por una pequeña prominencia visible a unos 2 km de distancia; en vista de su ubicación es posible que se trate de una estructura del pequeño sitio arqueológico de Kaanum (Garza y Kurjack, 1980).

Foto 3. Chichén Itzá, Templo de los Guerreros, puesta del Sol el 13 de mayo de 2011 (foto: cortesía de Ricardo Náfate, zona arqueológica de Chichén Itzá).

Además de que el Templo de los Guerreros comparte su orientación con el adyacente Templo de las Mesas, podemos mencionar que también la Estructura 36 de Dzibilchaltún, la Estructura D5-2 (Templo 1) de Toniná, la Casa de las Tortugas de Uxmal y la Estructura 421 (Templo del Sur) de Edzná manifiestan orientaciones prácticamente idénticas (Sánchez y Šprajc, 2011a).

Templo Superior de los Jaguares

El Juego de Pelota Grande comparte su orientación con el Templo Superior de los Jaguares, erigido sobre el edificio oriente de la cancha. La orientación del Templo Superior de los Jaguares ha sido relacionada con las puestas del Sol en los días de su tránsito cenital (Milbrath, 1988a: 63 ss., 1988b: 29 ss.) y en las fechas 29 de abril y 12 de agosto (Galindo, 2000 y 2001; Galindo *et al.*, 2001). Estas interpretaciones no son compatibles con los resultados de nuestras mediciones, ya que el azimut este-oeste del edificio, citado en la tabla 1 y medido a lo largo del eje central del edificio, claramente marcado por las columnas serpentinas y las jambas de la entrada al aposento interior, difiere notablemente de los valores 16°06', 286°, 285°39' y 285°46', publicados por Aveni (1991: 351), Aveni y Hartung (1986: 74), Milbrath (1988a: 64), Galindo (2000: 235) y Galindo *et al.* (2001: 261).[14] Considerando que el Templo Superior de los Jaguares forma parte del edificio este del Juego de Pelota Grande y que, según nuestras mediciones, todo el conjunto arquitectónico exhibe la misma orientación —observable también en los planos publicados—, llama la atención que el azimut de 16°06' atribuido por Aveni (1991: 351) y Aveni y Hartung (1986: 74) al Templo de los Jaguares discrepa del valor 17°24' que le asignan al Juego de Pelota Grande; este último es prácticamente igual al que determinamos nosotros para el Templo Superior de los Jaguares y casi perpendicular al que medimos a lo largo del eje este-oeste del edificio (tabla 1).

La orientación del Templo Superior de los Jaguares corresponde a las puestas del Sol en las fechas 7 de mayo y 6 de agosto, separadas por 91 (= 7 × 13) días (foto 4) y marcadas también en otros sitios (gráfica 1). Considerando el posible error en la declinación, el Templo de la Serie Inicial señalaba las mismas fechas, también en el horizonte poniente, mientras que El Osario probablemente registraba las salidas del Sol en las fechas 4 de febrero y 5 de noviembre, también separadas por 91 días (*v. supra*). Asimismo cabe notar que algunos autores relacionan los motivos iconográficos en el dintel de madera y en los murales del Templo Superior de los Jaguares con los ciclos del Sol y de Venus (Baudez y Latsanopoulos, 2010: 3; Milbrath, 1999: 183 y 196), por lo que podría ser signifi-

[14] La puesta del Sol en los días del tránsito cenital ocurre unos 4° al norte del eje del edificio. Las fotos publicadas por Milbrath (1988a: figs. 4 y 5, 1988b: figs. 4 y 5), en las que la luz solar en el día del paso cenital ilumina el interior del Templo Superior de los Jaguares, fueron evidentemente tomadas mucho antes de la puesta, cuando el Sol, estando a lo largo del eje del edificio, todavía tenía una altura considerable.

cativo que los extremos máximos norte de Venus, visibles en intervalos de 8 años en el horizonte poniente, ocurrían a principios de mayo (*cf.* Šprajc, 1996: tabla 1), muy cerca de la fecha de puesta del Sol registrada por el edificio.

Foto 4. Chichén Itzá, Templo Superior de los Jaguares, puesta del Sol el 7 de mayo de 2011.

El Caracol

De acuerdo con el enfoque metodológico adoptado en nuestro estudio de las orientaciones en las Tierras Bajas mayas (Sánchez y Šprajc, 2011a; Šprajc y Sánchez, 2012), los alineamientos que no constituyen ejes claramente indicados de los edificios quedaron excluidos de los análisis, ya que, sin tener una muestra significativa de casos análogos, no es posible sugerir la intencionalidad astronómicamente motivada de tales alineamientos. Es por ello que no incluimos a El Caracol, que, además de ser un edificio de planta redonda, está construido sobre dos plataformas irregulares y con orientaciones diferentes. Aveni, Gibbs y Hartung (1975) determinaron los ejes de las escalinatas que conducen a las plataformas; también trazaron diversas líneas a lo largo de las entradas del edificio y de los orificios que se conservan en la torre superior, sugiriendo varios eventos astronómicos con los que podrían relacionarse estos alineamientos (salidas y puestas del Sol en

ciertas fechas, de Venus en sus extremos y de algunas estrellas). Las hipótesis son viables, y la relación del edificio con el culto a Kukulcán, deidad vinculada con Venus, representa un dato contextual que hace particularmente probable la presencia de alineamientos venusinos. En general, sin embargo, hay que decir que varios de los alineamientos discutidos no pueden medirse con precisión[15] y que su propuesta función astronómica queda cuestionable, sobre todo porque no conocemos otros edificios que fueran del mismo tipo y que a la vez incorporaran alineamientos comparables.[16]

Discusión

Las orientaciones en Chichén Itzá exhiben una conformidad general con los patrones observados en las Tierras Bajas mayas. Aunque es posible que no todas las estructuras que hemos discutido tuvieran algún significado astronómico, sus orientaciones mayormente tienen paralelos en otros sitios, además de que algunas pertenecen a grupos ampliamente difundidos, por lo que su base astronómica es difícilmente negable.

De acuerdo con nuestra argumentación, varios edificios de Chichén Itzá señalaban fechas separadas por intervalos calendáricamente significativos. Dicho con más precisión, entre las fechas que le corresponden a un edificio en los horizontes oriente y poniente regularmente encontramos un par que delimita algún intervalo que es múltiplo de 13 o de 20 días, lo que difícilmente puede atribuirse al azar, ya que, como hemos mencionado, en varios casos los mismos días e intervalos son registrados también por otros edificios en el área maya. Por otra parte, la distribución de las fechas en el año sugiere su relación con momentos importantes en el ciclo agrícola: las fechas este que, de acuerdo con los argumentos presentados, fueron registradas a propósito (febrero y octubre-noviembre) aproximadamente delimitan el ciclo agrícola, mientras que las fechas en abril y mayo, marcadas en el horizonte poniente, corresponden a la época de quemas y de siembra. Por consiguiente, una de las funciones principales de los alineamientos, tanto en Chichén Itzá como en otros sitios, debe haber sido la de facilitar el manejo de calendarios observacionales que servían para determinar las fechas canónicas o ritualmente importantes del ciclo agrícola. El significado canónico o ceremonial de estas fechas es atribuible a las propiedades de los intervalos que las separan: los múltiplos de 13 y de 20 días no sólo facilitaban el manejo del calendario observacional; el hecho de que eran periodos constitutivos del ciclo

[15] El problema es particularmente notable en el caso de las entradas y las ventanas en la torre: debido a sus formas, los azimuts de las diagonales trazadas a distintas alturas varían considerablemente.

[16] Con base en estos y otros argumentos, las interpretaciones de Aveni, Gibbs y Hartung (1975) han sido severamente cuestionadas por Schaefer (2006a: 42 ss. y 2006b); no obstante, su crítica, aunque contiene elementos difícilmente refutables, en general nos parece excesiva, incluyendo también afirmaciones claramente objetables (*cf.* respuestas de Aveni, 2006a y 2006b).

sagrado de 260 días debe haber sido el motivo por el que también las fechas separadas por estos intervalos llegaron a ser sacralizadas. Mientras que las fechas canónicas determinadas de esta manera marcaban los momentos oportunos para ciertos rituales, los momentos exactos en los que convenía iniciar las labores agrícolas correspondientes seguramente dependían de las condiciones climáticas concretas, de la fase de la Luna o incluso de los augurios de las fechas calendáricas. Una discusión más amplia al respecto, incluyendo las analogías etnográficas relevantes, fue presentada en el estudio de las orientaciones en el centro de México (Šprajc, 2001: 132 ss. y 151 ss.).

Por otra parte, no necesariamente todas las fechas registradas por las orientaciones tenían una relación inmediata con los momentos más importantes del ciclo agrícola. La función de algunas pudo haber sido simplemente la de facilitar la *predicción* de los días más importantes, mediante los intervalos fáciles de manejar. Los estudios realizados hasta el momento sugieren que el rasgo más importante de los calendarios observacionales fue precisamente su aspecto anticipatorio, relacionado con su función práctica (Šprajc, 2001: 151 ss.; Aveni, Dowd y Vining, 2003: 162 ss.; sobre las analogías etnográficas del suroeste de los Estados Unidos, v. y Zeilik, 1985: S3, S17 y S21): los sacerdotes-astrónomos, que pudieron valerse de varios alineamientos, tuvieron mayores posibilidades para predecir con exactitud los momentos ritualmente importantes del ciclo agrícola, aun si las observaciones directas del Sol en las fechas clave fueron impedidas por la nubosidad.

En relación con esta interpretación podemos recordar que, según Thompson (1974: 94 ss.), los mayas modernos saben cuándo hacer la roza y quema —cuando aumenta la humedad— y, por lo tanto, no tienen la necesidad de determinar las fechas con base en el calendario o fenómenos astronómicos (*cf.* Aveni y Hartung, 1986: 8); una opinión similar fue expresada recientemente por Aimers y Rice (2006: 83). Sin embargo, el siguiente dato etnográfico obtenido entre los mayas de Quintana Roo pone en duda tales aseveraciones, sugiriendo que la realidad no es tan sencilla y que los cambios estacionales en la naturaleza no son indicadores suficientemente exactos y confiables de los momentos en que conviene emprender ciertas actividades:

> El agricultor, por su parte, ha de procurar que la quema se lleve a cabo antes de que lleguen las primeras lluvias, pues, de lo contrario, quedaría imposibilitado para hacerlo, perdiendo así la ocasión de usar el terreno talado. Para preservarse de este peligro, el milpero suele acudir a alguno de los dos escribas que hay en el cacicazgo, el cual, usando un almanaque impreso en Mérida, le puede anunciar la clase de tiempo que ha de hacer en cada uno de los meses venideros. (Villa Rojas, 1978: 315 ss.)

Si los campesinos actuales, no obstante su conocimiento de los cambios cíclicos en el medio ambiente, se rigen por un almanaque, resulta obvio que, en tiempos prehispánicos, al no haber un calendario que mantuviera la con-

cordancia permanente entre los años calendárico y trópico, la regulación de las labores agrícolas debe haberse basado en observaciones astronómicas. Casi todas las comunidades indígenas actuales usan el calendario cristiano, cuyos santos y fiestas marcan de manera constante las fechas en que deben realizarse ciertas labores y ceremonias asociadas, por lo que, hoy en día, tal vez resulta difícil evaluar o comprender de manera adecuada la importancia que deben haber tenido las observaciones astronómicas para la vida práctica en la época prehispánica. Sin embargo, de acuerdo con Tedlock (1991), los k'iche's de Momostenango, todavía en la actualidad, siguen regulando su ciclo agrícola con base en la observación de los astros, y podríamos mencionar otros ejemplos de la misma práctica documentados etnográficamente (*cf.* Milbrath, 1999: 12 ss., 30 ss.; Šprajc, 2001: 151 ss.).

Para varios sitios del centro de México se han podido reconstruir los calendarios observacionales compuestos por intervalos significativos que conectan fechas señaladas por los alineamientos (Šprajc, 2001). Un calendario observacional que pudo haber estado en uso en Chichén Itzá se presenta en la tabla 2, leyéndose las fechas y los intervalos en el sentido contrario al de las manecillas de reloj. Todos los intervalos que componen este esquema, con la excepción del de 66 días, son múltiplos de 13 días, lo que quizá no sea casual.[17] Sin embargo, podemos observar que algunas de las orientaciones que hemos medido, aunque marcan fechas que delimitan algún intervalo significativo, no se pueden incluir en este calendario observacional, porque las distancias entre estas fechas y las que aparecen en la tabla 2 no son múltiplos de 13 o de 20 días. Tal es el caso de las fechas 13 de mayo y 1 de agosto, señaladas por el Templo de los Guerreros y separadas por el intervalo de 80 días, así como de la Casa Colorada, cuya orientación pertenece al grupo más común en las Tierras Bajas mayas, marcando las salidas del Sol en las fechas 12 de febrero y 30 de octubre, que delimitan el intervalo de 260 días. Es posible que se usaran simultáneamente distintos calendarios observacionales (tal vez relacionados con diferentes grupos sociales), permitiendo contar con más fechas de referencia que hacían más confiable la programación de las actividades en el ciclo estacional. De ser así, también hay que considerar que en uno u otro esquema observacional posiblemente estaba involucrado algún edificio que no incluimos en el estudio. A pesar de estas reflexiones, es necesario subrayar que el esquema observacional propuesto en la tabla 2 es enteramente hipotético, ya que por el momento no contamos con analogías de otros sitios.

Finalmente, no hay que olvidar que un aspecto importante de los alineamientos astronómicos plasmados en la arquitectura y trazas urbanas antiguas fue el simbólico. Para ubicarse en el tiempo no era necesario construir suntuosos templos

[17] La suma de todos los intervalos en este esquema observacional es 365 días, mientras que la duración del año trópico es 365.2422 días, por lo que el observador obviamente hubiera notado, cada cuatro años aproximadamente, el incremento de un día en uno u otro de los intervalos.

Alineamiento	Evento	Fecha	Intervalo (días)	Fecha
			91	
El Osario	salida del Sol	4 de feb		5 de noviembre
			66 65	
Edificio de las Monjas	puesta del Sol	11 de abr		1 de septiembre
			26 26	
Templo de la Serie inicial, Templo Superior de los Jaguares	puesta del Sol	7 de mayo		6 de agosto
			13 13	
El Castillo, fachada norte	puesta del Sol	20 de mayo		24 de julio
			65	

TABLA 2. Un posible calendario observacional de Chichén Itzá.

y alinearlos con precisión. El simple objetivo de medir el tiempo mediante la observación de los cuerpos celestes hubiese podido lograrse sin construcciones monumentales, incluso sin artefactos arqueológicamente recuperables. Es evidente, por lo tanto, que los edificios orientados astronómicamente no servían única o estrictamente como observatorios. Debido al paralelismo observado, desde épocas remotas ya, entre el movimiento de los cuerpos celestes y la alternancia de los cambios estacionales en la naturaleza, y porque los intervalos entre los fenómenos astronómicos recurrentes son mucho más constantes que los que separan otros eventos cíclicos en el medio ambiente, el orden celeste, aparentemente inmutable y perfecto, llegó a considerarse superior al orden terrenal y humano, y debe haber sido el motivo principal de la divinización de los astros y de las creencias según las cuales los acontecimientos en el cielo condicionaban las transformaciones estacionales en la naturaleza. Puesto que el Sol era uno de los protagonistas del escenario celeste, seguramente llegaron a ser sagradas también las direcciones hacia los puntos de sus salidas y puestas que marcaban momentos importantes del año y que, por ende, representaban referentes espaciales del transcurso del tiempo cíclico. Por consiguiente, los alineamientos astronómicos incorporados en los templos o en las residencias de gobernantes, que como hombres-dioses eran responsables del debido desenvolvimiento de los ciclos naturales, pueden entenderse como el intento de sus diseñadores por recrear y perpetuar el orden cósmico en su entorno terrenal (*cf.* Aveni, 2001: 217 ss.; Aveni y Hartung, 1986: 8; Šprajc, 2001: 121 ss. y 412 ss.).

Comentarios finales

Las interpretaciones del significado astronómico-calendárico de las orientaciones arquitectónicas en Chichén Itzá, propuestas arriba, son congruentes con las regularidades observadas en un gran número de alineamientos axiales en las Tierras

Bajas mayas. A la luz de estos datos comparativos resultan inverosímiles algunas interpretaciones anteriores, ante todo las que relacionan ciertos alineamientos con los equinoccios y las fechas del paso del Sol por el cenit y el nadir. La popularidad de los equinoccios, reflejada en los peregrinajes modernos a diversos sitios arqueológicos, quizá se debe a prejuicios etnocéntricos derivados de la importancia atribuida a estos fenómenos en la astronomía moderna. Por otra parte, la observación de los pasos del Sol por el cenit en la época prehispánica resulta muy probable a la luz de los datos etnográficos y etnohistóricos (Aveni, 2001: 40 ss.). Es de imaginar que los días en los que sucedían estos fenómenos se determinaban mediante los dispositivos que permitían la observación del Sol vertical (*cf.* Aveni, 2001: 262 ss.), pero las evidencias de que las orientaciones marcaran las posiciones del Sol *en el horizonte* en esas fechas son, como hemos mostrado, prácticamente inexistentes.

En virtud de los argumentos expuestos podemos concluir que los edificios cívico-ceremoniales más importantes de Chichén Itzá fueron orientados hacia las salidas o puestas del Sol en ciertas fechas, permitiendo el manejo de calendarios observacionales que facilitaban la programación de las actividades agrícolas y de los ritos correspondientes en el ciclo anual. Si los intervalos entre las fechas registradas eran múltiplos de periodos básicos del sistema calendárico, era relativamente fácil predecir las fechas más importantes, conociendo la secuencia de intervalos involucrados y la mecánica del calendario formal. Este aspecto anticipatorio de los calendarios observacionales debe haber sido de suma importancia, si consideramos que las condiciones adversas de tiempo, sin duda, a veces impedían la observación directa de las salidas y puestas del Sol, y que las fechas apropiadas para realizar ciertas actividades y ceremonias agrícolas tuvieron que determinarse con debida anticipación.

No obstante, los alineamientos astronómicos no pueden comprenderse adecuadamente sólo en términos de su función práctica. Tanto en Chichén Itzá como en otros sitios están incorporados en edificios cívicos y ceremoniales de gran importancia, revelando que la función utilitaria de la astronomía estaba envuelta en el ritual e íntimamente relacionada con la vida social, la religión y la ideología política.

Al final es justo subrayar que muchas preguntas permanecen sin respuestas satisfactorias. Los estudios sistemáticos han permitido avances notables en la comprensión de las bases astronómicas de las orientaciones, detectando patrones que no pueden ser fortuitos, pero todavía ignoramos los detalles del manejo de los calendarios observacionales, así como los pormenores que conciernen su relación con las actividades de subsistencia y diversos aspectos de su función en la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

Aimers, James J. y Prudence M. Rice

2006 "Astronomy, Ritual, and the Interpretation of Maya 'E-Group' Architectural Assemblages", *Ancient Mesoamerica*, 17 (1): 79-96. Cambridge: Cambridge University Press.

Arochi, Luis E.

1991 "Concordancia cronológica arquitectónica entre Chichén Itzá y Mayapán", *Arqueoastronomía y etnoastronomía en Mesoamérica*, pp. 97-112, J. Broda, S. Iwaniszewski y L. Maupomé (eds.). México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas.

Aveni, Anthony F.

1991 *Observadores del cielo en el México antiguo*. México: Fondo de Cultura Económica (trad.: J. Ferreiro; orig.: *Skywatchers of Ancient Mexico*. Austin: University of Texas Press, 1980).

2001 *Skywatchers: A Revised and Updated Version of Skywatchers of Ancient Mexico*. Austin: University of Texas Press.

2006a "Evidence and Intentionality: On Method in Archaeoastronomy: Critique of Keynote Address", *Viewing the Sky through Past and Present Cultures: Selected Papers from the Oxford VII International Conference on Archaeoastronomy*, pp. 57-70, T. W. Bostwick y B. Bates (eds.). Phoenix: City of Phoenix Parks and Recreation Department (Pueblo Grande Museum Anthropological Papers, 15).

2006b "Schaefer's Rigid Ethnocentric Criteria: Reply to Rebuttal", *Viewing the Sky through Past and Present Cultures: Selected Papers from the Oxford VII International Conference on Archaeoastronomy*, pp. 79-83, T. W. Bostwick y B. Bates (eds.). Phoenix: City of Phoenix Parks and Recreation Department (Pueblo Grande Museum Anthropological Papers, 15).

2010 "Cosmology and Cultural Landscape: The Late Postclassic Maya of North Yucatán", *Astronomers, Scribes, and Priests: Intellectual Interchange between the Northern Maya Lowlands and Highland Mexico in the Late Postclassic Period*, pp. 115-132, G. Vail y C. Hernández (eds.). Washington: Dumbarton Oaks Research Library and Collection.

Aveni, Anthony F., Anne S. Dowd, y Benjamin Vining

2003 "Maya Calendar Reform? Evidence from Orientations of Specialized Architectural Assemblages", *Latin American Antiquity*, 14 (2): 159-178. Washington: Society for American Archaeology.

Aveni, Anthony F., Sharon L. Gibbs y Horst Hartung

1975 "The Caracol Tower at Chichen Itza: An Ancient Astronomical Observatory?", *Science*, 188 (4192): 977-985. Washington: American Association for the Advancement of Science.

Aveni, Anthony F. y Horst Hartung

1986 *Maya City Planning and the Calendar*. Transactions of the American Philosophical Society, vol. 76, part 7. Philadelphia: American Philosophical Society.

Aveni, Anthony F., Susan Milbrath y Carlos Peraza Lope
2004 "Chichen Itza's Legacy in the Astronomically Oriented Architecture of Mayapan", *Res: Anthropology and Aesthetics*, 45: 123-143. Cambridge: Peabody Museum of Archaeology and Ethnology / Harvard Art Museums.

Baudez, Claude-François y Nicolas Latsanopoulos
2010 "Political Structure, Military Training, and Ideology at Chichen Itza", *Ancient Mesoamerica*, 21 (1): 1-20. Cambridge: Cambridge University Press.

Carlson, John B.
1999 "Pilgrimage and the Equinox 'Serpent of Light and Shadow' Phenomenon at the Castillo, Chichén Itzá, Yucatán", *Archaeoastronomy: The Journal of Astronomy in Culture*, 14 (1): 136-152. College Park: The Center for Archaeoastronomy.

Galindo Trejo, Jesús
1994 *Arqueoastronomía en la América antigua*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología / Editorial Equipo Sirius.
2000 "La significación calendárico-astronómica de la arquitectura maya", *Arquitectura e ideología de los antiguos mayas: Memoria de la Segunda Mesa Redonda de Palenque*, pp. 231-251, S. Trejo (ed.). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
2001 "La observación celeste en el pensamiento prehispánico", *Arqueología Mexicana*, 8 (47): 29-35. México: Editorial Raíces / Instituto Nacional de Antropología e Historia.
2007 "La pintura mural de El Castillo de Tulúm como marco de la definición de una unidad calendárica mesoamericana", *La Pintura Mural Prehispánica en México: Boletín Informativo* XIII (26): 31-36. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas.

Galindo Trejo, Jesús, Daniel Flores Gutiérrez y María Elena Ruiz Gallut
2001 "Senderos celestes con visiones divinas: un estudio arqueoastronómico del Templo Superior de los Jaguares en Chichén Itzá", *La pintura mural prehispánica en México II: Área maya, tomo III: Estudios*, pp. 258-264, L. Staines Cicero (ed.). México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Estéticas.

Garza Tarazona de González, Sylvia y Edward Barna Kurjack Bacso
1980 *Atlas arqueológico del estado de Yucatán*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2 tomos.

Graña-Behrens, Daniel, Christian Prager y Elisabeth Wagner
1999 "The Hieroglyphic Inscription of the 'High Priest's Grave' at Chichén Itzá, Yucatán, México", *Mexicon*, 21 (3): 61-66. Markt Schwaben: Verlag Anton Saurwein.

Milbrath, Susan
1988a "Astronomical Images and Orientations in the Architecture of Chichén Itzá", *New Directions in American Archaeoastronomy*, pp. 57-79, A. F. Aveni (ed.). Oxford: BAR (British Archaeological Reports, International Series, 454).

1988b "Representación y orientación astronómica en la arquitectura de Chichén Itzá", *Boletin de la Escuela de Ciencias Antropológicas de la Universidad de Yucatán*, 15 (89): 25-40. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.

1999 *Star Gods of the Maya: Astronomy in Art, Folklore, and Calendars*. Austin: University of Texas Press.

Ponce de León H., Arturo

1991 "Propiedades geométrico-astronómicas en la arquitectura prehispánica", *Arqueoastronomía y etnoastronomía en Mesoamérica*, pp. 413-446, J. Broda, S. Iwaniszewski y L. Maupomé (eds.). México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas.

Ringle, William M.

2009 "The Art of War: Imagery of the Upper Temple of the Jaguars, Chichén Itzá", *Ancient Mesoamerica*, 20 (1): 15-44. Cambridge: Cambridge University Press.

Ringle, William M. y George J. Bey III

2009 "The Face of the Itzas", *The Art of Urbanism: How Mesoamerican Kingdoms Represented Themselves in Architecture and Imagery*, pp. 329-383, W. L. Fash y L. López Luján (eds.). Washington: Dumbarton Oaks Research Library and Collection.

Rivard, Jean-Jacques

1969 "A Hierophany at Chichén Itzá", *Katunob* 7 (3): 51-57. Greeley, Colorado: Colorado State College, Museum of Anthropology.

Sánchez Nava, Pedro Francisco e Ivan Šprajc

2011a "Propiedades astronómicas de la arquitectura y el urbanismo en Mesoamérica: Informe de la temporada 2010" (manuscrito). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Archivo Técnico.

2011b "Propiedades astronómicas de la arquitectura y el urbanismo en Mesoamérica: Informe de la temporada 2011" (manuscrito). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Archivo Técnico.

Schaefer, Bradley E.

2006a "Case Studies of Three of the Most Famous Claimed Archaeoastronomical Alignments in North America", *Viewing the Sky through Past and Present Cultures: Selected Papers from the Oxford VII International Conference on Archaeoastronomy*, pp. 27-56, T. W. Bostwick y B. Bates (eds.). Phoenix: City of Phoenix Parks and Recreation Department (Pueblo Grande Museum Anthropological Papers, 15).

2006b "No Astronomical Alignments at the Caracol: Rebuttal to Critique", *Viewing the Sky through Past and Present Cultures: Selected Papers from the Oxford VII International Conference on Archaeoastronomy*, pp. 71-77, T. W. Bostwick y B. Bates (eds.). Phoenix: City of Phoenix Parks and Recreation Department (Pueblo Grande Museum Anthropological Papers, 15).

Schmidt, Peter J.
1999 "Chichén Itzá: resultados y proyectos nuevos (1992-1999)", *Arqueología Mexicana*, 7 (37): 32-39. México: Editorial Raíces / Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Šprajc, Ivan
1995 "El Satunsat de Oxkintok y la Estructura 1-sub de Dzibilchaltún: unos apuntes arqueoastronómicos", *Memorias del Segundo Congreso Internacional de Mayistas*, pp. 585-600. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Filológicas, Centro de Estudios Mayas.
1996 *Venus, lluvia y maíz: Simbolismo y astronomía en la cosmovisión mesoamericana*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia (Colección Científica, 318).
2001 *Orientaciones astronómicas en la arquitectura prehispánica del centro de México*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia (Colección Científica, 427).
2004 "Astronomical Alignments in Río Bec Architecture", *Archaeoastronomy: The Journal of Astronomy in Culture*, 18: 98-107. College Park: The Center for Archaeoastronomy.
2008 "Alineamientos astronómicos en la arquitectura", *Reconocimiento arqueológico en el sureste del estado de Campeche, México: 1996-2005*, pp. 233-242, I. Šprajc (ed.). Oxford: Archaeopress (British Archaeological Reports, International Series, 1742; Paris Monographs in American Archaeology, 19).
2009 "Propiedades astronómicas de la arquitectura prehispánica en la isla de Cozumel, Quintana Roo, México", *Los Investigadores de la Cultura Maya*, 18 (II): 113-136. Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.

Šprajc, Ivan, y Carlos Morales-Aguilar
2007 "Alineamientos astronómicos en los sitios arqueológicos de Tintal, El Mirador y Nakbé, Petén, Guatemala", *Proyecto Arqueológico Cuenca Mirador: Informe final temporada 2007*, tomo I: 123–158, N. M. López (ed.). Guatemala: Instituto de Antropología e Historia.

Šprajc, Ivan, Carlos Morales-Aguilar y Richard D. Hansen
2009 "Early Maya Astronomy and Urban Planning at El Mirador, Peten, Guatemala", *Anthropological Notebooks*, 15 (3): 79-101. Ljubljana: Slovenian Anthropological Society.

Šprajc, Ivan, Heinz-Dieter Richter y Pedro Francisco Sánchez Nava
En prensa "El tiempo registrado en el espacio urbano: alineamientos astronómicos en la arquitectura de Tikal, Petén, Guatemala", *XXVI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*. Guatemala: Instituto de Antropología e Historia / Asociación Tikal.

Šprajc, Ivan y Pedro Francisco Sánchez Nava
2012 "Orientaciones astronómicas en la arquitectura maya de las Tierras Bajas: nuevos datos e interpretaciones", *XXV Simposio de Investigaciones Arqueo-*

lógicas en Guatemala, vol. 2: 977-996, B. Arroyo, L. Paiz y H. Mejía (eds.). Guatemala: Instituto de Antropología e Historia / Asociación Tikal.

Šprajc, Ivan, Pedro Francisco Sánchez Nava, y Krištof Oštir
2011 "Astronomical Significance of Architectural Orientations in the Maya Lowlands: New Data, Analyses and Interpretations", ponencia presentada en la conferencia *SEAC 2011*, 20 de septiembre de 2011, Évora, Portugal.

Tedlock, Barbara
1991 "La dialéctica de la agronomía y astronomía maya-quichés", *Arqueoastronomía y etnoastronomía en Mesoamérica*, pp. 179-192, J. Broda, S. Iwaniszewski, y L. Maupomé (eds.). México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas.

Thompson, J. E. S.
1974 "Maya Astronomy", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 276: 83-98. London: The Royal Society.

Tichy, Franz
1991 *Die geordnete Welt indianischer Völker: Ein Beispiel von Raumordnung und Zeitordnung im vorkolumbischen Mexiko*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag (Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 21).

Tozzer, Alfred M.
1941 *Landa's* Relación de las cosas de Yucatán: *A Translation*. Cambridge: Harvard University (Papers of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology, 18).

Villa Rojas, Alfonso
1978 *Los elegidos de Dios: Etnografía de los mayas de Quintana Roo*. México: Instituto Nacional Indigenista.

Zeilik, Michael
1985 "The Ethnoastronomy of the Historic Pueblos, I: Calendrical Sun Watching", *Archaeoastronomy*, 8 (*Journal for the History of Astronomy*, supplement to vol. 16): S1-S24. Cambridge: Science History Publications.