

# ARQUEOLOGÍA 21

SEGUNDA ÉPOCA • ENERO JUNIO 1999

Revista de la Coordinación Nacional de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia



Rescate de un mastodonte en San Juan Unión,  
municipio de Taxco de Alarcón, Guerrero

Hallazgo de un mamut en Toluca, Estado de México

El Proyecto Arqueológico de la Pirámide de la Luna

Paleodieta en Dzibanché y Kohunlich: diferencias  
y tendencias preliminares

Huapalcalco y las tradiciones alfareras del Epiclásico

Alineamientos astronómicos en el Templo Mayor  
de Tenochtitlan

El radar de penetración terrestre (georadar): una  
herramienta para la prospección arqueológica

Notas astronómicas al calendario mesoamericano

¿El fin de la historia? Arqueología y museos en un  
mundo globalizado

Noticias

Informes del Archivo Técnico

Noticias de reuniones

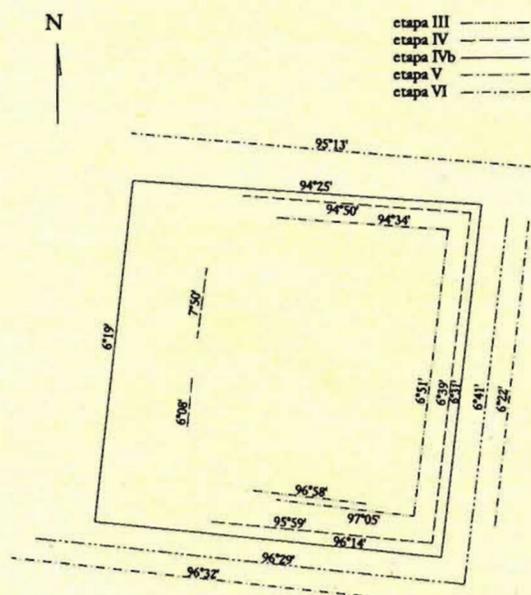
Reseñas



## Alineamientos astronómicos en el Templo Mayor de Tenochtitlan

Investigaciones arqueoastronómicas realizadas de manera sistemática durante las últimas décadas han revelado que las orientaciones arquitectónicas en Mesoamérica manifiestan una distribución no-aleatoria y que los edificios cívico-ceremoniales fueron orientados predominantemente con base en consideraciones astronómicas, ante todo hacia las posiciones del Sol en el horizonte en ciertas fechas del año trópico (Aveni, 1975, 1980, 1991a; Aveni y Gibbs, 1976; Aveni y Hartung, 1986; Tichy, 1991 y Šprajc, s.f.). Mientras que los alineamientos hacia las salidas y puestas del Sol en los solsticios y equinoccios han sido encontrados en diversos sitios arqueológicos, los grupos de orientaciones más frecuentes corresponden a otras fecha, cuyo significado es menos obvio. De acuerdo con varias hipótesis propuestas hasta el momento, las fechas solares registradas por las orientaciones pueden interpretarse en términos de su relevancia en el ciclo agrícola y en los cálculos relacionados con el sistema calendárico. Se ha sugerido, por ejemplo, que las fechas señaladas por los alineamientos están separadas por intervalos calendáricamente significativos. El modelo más elaborado de este tipo ha sido propuesto por Tichy (1991), quien argumenta que estos intervalos son múltiplos de 13 y de 20 días, y sugiere, por otra parte, que las orientaciones están distribuidas de acuerdo a un sistema geométrico basado en la unidad de medida angular de 4.5°. Algunos investigadores reconstruyeron posibles calendarios de horizonte para sitios particulares, asumiendo que los picos prominentes del horizonte local servían como marcadores naturales de las salidas y puestas del Sol en las fechas relevantes (*e. g.*: Ponce de León, 1982; Aveni *et al.*, 1988; Tichy, 1991:159ss.; Broda, 1993:258ss.; Iwaniszewski, 1994; Galindo, 1994: 129ss. y Morante, 1993, 1996).

Con el propósito de verificar tales hipótesis, emprendí mediciones precisas de los alineamientos en 37 sitios arqueológicos del Preclásico, Clásico y Postclásico en el centro de México. No sólo he medido las orientaciones de las estructuras cívico-ceremoniales, sino también los alineamientos hacia los cerros



● Fig. 1. Templo Mayor de Tenochtitlan; azimuts de las líneas medidas en las etapas tardías de la estructura.

prominentes en el horizonte local, situados dentro del ángulo de desplazamiento anual del Sol. Los análisis de los datos obtenidos muestran que las fechas de las salidas y puestas del Sol registradas tanto por las orientaciones arquitectónicas como por los montes prominentes del horizonte local exhiben patrones consistentes, estando separadas por intervalos que son predominantemente múltiplos de 13 y de 20 días y, por tanto, son significativos en términos del sistema calendárico mesoamericano; además, las fechas más recurrentes, señaladas en un gran número de sitios, aparentemente marcaban momentos claves de un ciclo agrícola ritual. Las regularidades detectadas sugieren que las estructuras ceremoniales más importantes fueron construidas en lugares cuidadosamente seleccionados, que hacían posible emplear ciertos picos circundantes como marcadores naturales de calendarios de horizonte. Tanto las orientaciones incorporadas en la arquitectura monumental de un sitio particular —a veces dominando toda la traza urbana— como los rasgos prominentes del horizonte local permitían el uso de un calendario observacional que, considerando que el año calendárico no mantenía una concordancia perpetua con el año trópico,

era necesario para predecir importantes cambios estacionales y para programar de manera eficaz las actividades agrícolas correspondientes (las evidencias y la argumentación detallada se presentan en Šprajc, 1997).

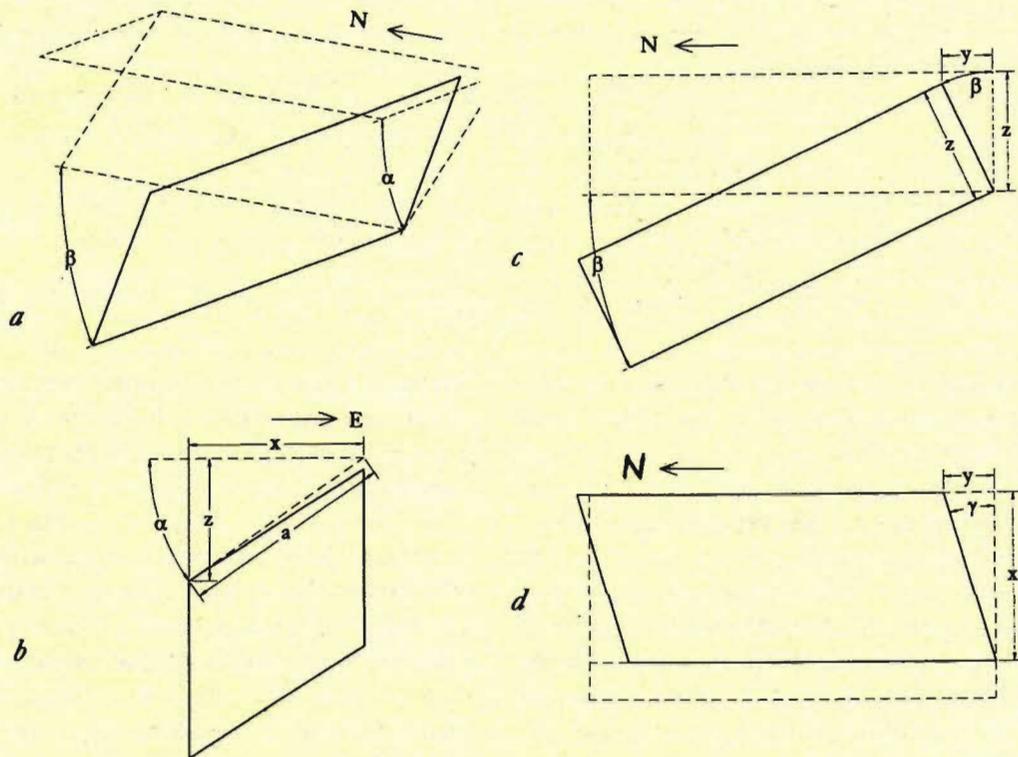
Los resultados de la investigación en el México central concuerdan con algunas ideas generales anteriormente expresadas por otros autores, pero difieren en detalles importantes que conciernen la estructura y el funcionamiento de los calendarios observacionales. Mientras que algunos de los modelos de Tichy (1991), por ejemplo, tienen bases reales —aunque sus hipótesis específicas no quedan corroboradas—, su esquema geométrico de orientaciones resulta ser difícilmente aceptable (Šprajc, 1997: 39ss., 70ss.).

El Templo Mayor de Tenochtitlan, uno de los edificios incluidos en el estudio citado, ejemplifica la función observacional y calendárica de los alineamientos encontrados en los sitios del centro de México a partir del periodo Preclásico.

### Arquitectura y cronología

Los restos del Templo Mayor de Tenochtitlan se ubican en el Centro Histórico de la Ciudad de México, al noreste de la Catedral metropolitana (longitud:  $99^{\circ}07'51''$  W; latitud:  $19^{\circ}26'03''$  N; asnm: 2240 m).<sup>1</sup> Los vestigios más tempranos del asentamiento en el área que después ocupó el recinto ceremonial del Templo Mayor de Tenochtitlan datan del Postclásico temprano (Vega Sosa, 1990; Leonardo López Luján, comunicación personal, mayo de 1997). Sin embargo, los restos arquitectónicos que han sido descubiertos hasta la fecha pertenecen, en su mayoría, al Postclásico tardío, incluyendo las diversas etapas constructivas del Templo Mayor, edificio principal del Recinto Sagrado de la

<sup>1</sup> Esta altura sobre el nivel del mar (asnm) fue reconstruida por González Aparicio (1973:17ss.) para el nivel del lago de Texcoco en la época prehispánica, por lo que es probable que corresponda también al nivel del terreno sobre el que fue edificada cada una de las etapas constructivas del Templo Mayor, aunque en la actualidad se encuentran, debido a hundimientos, en alturas menores y diferentes entre sí.



● Fig. 2. Presentación esquemática de una secuencia posible de los movimientos que resultaron en la inclinación actual de la Etapa II del Templo Mayor de Tenochtitlan; a) vista en perspectiva hacia el noreste; b) alzado, vista hacia el norte; c) alzado, vista hacia el este; y d) planta.

capital mexicana. Aunque no hay consenso en cuanto a la secuencia cronológica detallada de la construcción del Templo Mayor, parece que la Etapa II puede fecharse, de acuerdo con diferentes propuestas, en el siglo XIV d. C. (López Luján, 1993:73-77, fig. 14); es probable, por lo tanto, que el templo más temprano (actualmente tapado por la construcción de la llamada Etapa II) fuera erigido en el mismo siglo o incluso en el anterior.

Las investigaciones realizadas a la fecha (véase el historial y la bibliografía en López Luján, 1993:19ss.) han permitido distinguir siete principales épocas constructivas del Templo Mayor. Cada una de las superposiciones conocidas, todas semejantes en su forma, se caracterizan por una doble escalinata del lado poniente. Sobre el basamento de la Fase II se conservan también restos de los santuarios gemelos superiores, dedicados a los dioses Tláloc y Huitzilopochtli. No sólo las fuentes históricas de la época del

contacto, sino también la enorme cantidad de ofrendas y otros hallazgos arqueológicos, hacen referencia a las actividades rituales y complejo simbolismo asociados con el Templo Mayor (Marquina, 1960, 1964:180-204; Matos, 1981, 1982, 1984, 1988; Broda *et al.*, 1987; Boone, 1987 y López Luján, 1993).

#### Orientaciones arquitectónicas y alineamientos hacia las prominencias del horizonte

En la tabla 1 se presentan los datos acerca de las orientaciones del Templo Mayor de Tenochtitlan. Los azimuts medios este-oeste y nortesur (con márgenes de error estimados) aparecen en la segunda columna (A), en tanto que las alturas del horizonte correspondientes se dan en la tercera columna (B). Las declinaciones astronómicas calculadas para cada azimut y altura del horizonte, tomando en consideración los efectos de refracción atmosférica, se muestran

<i>estructura</i>	<i>A</i>	<i>h</i>	$\delta$	<i>fechas</i>
Templo Mayor				
Eta- pa II	97°42' ± 30'	2°02' ± 5'	-6°39' ± 30'	mar 3, oct 10 ± 1 <sup>d</sup>
	277°42' ± 30'	2°07' ± 5'	7°54' ± 30'	abr 9, sep 1 ± 1 <sup>d</sup>
	6°30' ± 30'			
etapas posteriores	95°36' ± 30'	1°55' ± 5'	-4°43' ± 30'	mar 9, oct 5 ± 1 <sup>d</sup>
	275°36' ± 30'	2°22' ± 5'	6°00' ± 30'	abr 4, sep 7 ± 1 <sup>d</sup>
	6°40' ± 30'			

● Tabla 1. Datos sobre las orientaciones del Templo Mayor de Tenochtitlan.

en la cuarta columna ( $\delta$ ),<sup>2</sup> mientras que la quinta presenta las fechas en las que el Sol tenía estas declinaciones.<sup>3</sup>

El azimut de orientación este-oeste de la Etapa II se basa en el del pasillo que separa los dos santuarios superiores, ya que probablemente éste reproduce la orientación intencionada del templo con particular fidelidad: en el dibujo del Templo Mayor que se encuentra en el plano de Tenochtitlan atribuido a Cortés está representado el rostro del Sol entre ambos santuarios superiores, sugiriendo que las observaciones se realizaban precisamente a lo largo del corredor que los separa (véanse Marquina, 1960:30, 113, fig. 1; 1964:183, fig. 6 bis; Aveni y Gibbs, 1976: 514, fig. 3 y Matos, 1988:146, fig. 115). Aunque ésta no es una prueba contundente de que la orientación del pasillo fuera la más relevante, parece indicativo, por una parte, que los demás paramentos este-oeste medidos en la

Etapa II tienen azimuts muy divergentes y, por la otra, que su promedio es muy cercano al azimut que actualmente manifiesta el pasillo (véase *infra*).

Los restos de las diversas etapas constructivas del Templo Mayor hoy día se encuentran considerablemente desplazados de su posición original, debido a los irregulares asentamientos que ha sufrido el complejo arquitectónico a través de los siglos (Mazari *et al.*, 1989 y Mazari, 1996) y que deben haber resultado también en desplazamientos horizontales. En la actualidad, el eje del pasillo intermedio que conforman los santuarios gemelos de la Fase II tiene el azimut de 97°32', pero éste debió ser originalmente más grande, ya que la estructura está inclinada, manifestando la mayor elevación en su extremo sureste.

Midiendo los desniveles de la plataforma superior del basamento,<sup>4</sup> he podido determinar los ángulos de inclinación aproximados en las direcciones norte-sur y este-oeste y, con base en estos datos, la magnitud probable de desplazamientos horizontales. Los cálculos, presentados detalladamente en el Apéndice, indican que el hundimiento del edificio debió estar acompañado por un ligero desplazamiento en el plano horizontal y que los alineamientos arquitectónicos este-oeste tuvieron en su inicio

<sup>2</sup> Los factores de refracción utilizados en estos cálculos (tomados de Hawkins, 1968:52, tabla 1; Thom, 1971:28ss., tabla 3.1 y Aveni, 1991a:148) fueron corregidos para la altitud sobre el nivel del mar, empleando la fórmula (7) de Hawkins (1968:53).

<sup>3</sup> Las fechas se dan en el calendario gregoriano (proléptico, *i. e.* reconstruido para el pasado antes de su instauración real), que representa la aproximación más cercana al año trópico. Debido a las variaciones precesionales en la oblicuidad de la eclíptica, por una parte, y en la longitud heliocéntrica del perihelio 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 la misma fecha del año trópico (o gregoriano). Las fechas en la tabla 1 fueron determinadas con base en las posiciones del Sol dadas en las tablas de Tuckerman (1964), (el procedimiento se describe con precisión en Šprajc, 1997:30ss.); las fechas que corresponden a la Etapa II son válidas para el siglo xv, mientras que las relacionadas con las etapas posteriores valen para el siglo xv d. C.

<sup>4</sup> Agradezco a Leonardo López Luján el haberme ayudado en estas mediciones, así como en los demás trabajos que realicé en el Templo Mayor. Asimismo quiero destacar que las mediciones, que en repetidas ocasiones efectué en este sitio arqueológico, fueron amablemente autorizadas por Eduardo Matos Moctezuma, director del Museo del Templo Mayor.

azimuts mayores que los actuales. La magnitud del desplazamiento horizontal puede haber sido entre 0' y 20', dependiendo de la secuencia de movimientos, por lo que he sumado al azimut medido del pasillo (97°32') el valor medio de 10'. Aunque el error estimado del azimut es, con base en estos cálculos,  $\pm 10'$ , es prudente considerar un margen de error más grande, ya que, por una parte, los cálculos valen para el comportamiento de un cuerpo rígido, en tanto que el edificio seguramente no se ha movido de manera uniforme en todos sus sectores. Por otra parte, es de suponer que los movimientos telúricos, que son tan comunes en la región y cuyos efectos pudieron haberse intensificado por las características del terreno lacustre, tal vez ocasionaron desplazamientos horizontales adicionales, irregulares e irreconstruibles. Cabe reiterar que el valor de 97°42' establecido corresponde al azimut medido a lo largo del pasillo entre los santuarios gemelos y corregido por el desplazamiento horizontal estimado; además no hay pruebas indiscutibles de que éste en realidad fuera el alineamiento más relevante para las observaciones; el azimut medio actual de todas las líneas este-oeste medidas en la Etapa II es de 97°24', pero este valor también tiene un margen de error, ya que los azimuts individuales son bastante divergentes. El margen de error de  $\pm 30'$  asignado al azimut de orientación este-oeste de la Etapa II del Templo Mayor (tabla 1) se basa en estas consideraciones.

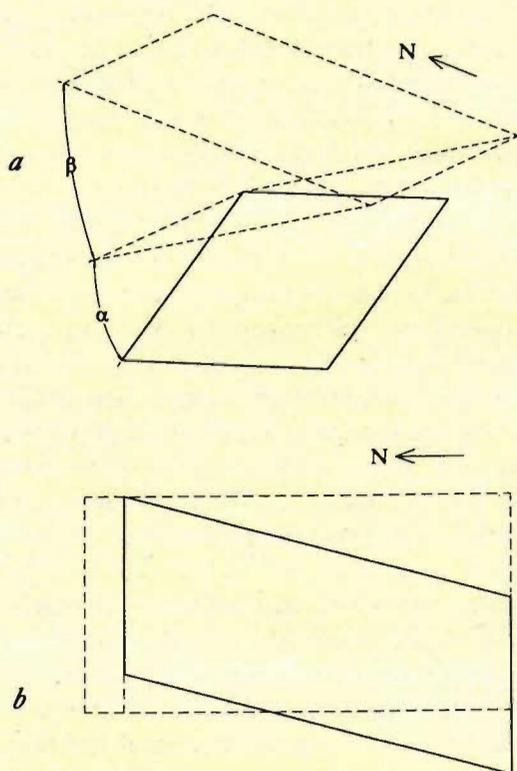
Aveni *et al.* (1988:296) y Ponce de León (1982:54) proporcionan para el pasillo de la Etapa II los azimuts de 97°46' y 97°25', respectivamente. Ponce de León (1982:54ss., láms. 12 y 13) también trató de evaluar los efectos del desplome de la estructura, midiendo el eje inferior que va a lo largo del pasillo al nivel de desplante actual del edificio, y concluyó que el azimut de 98°48', que estableció para este eje virtual, debe considerarse como cercano al azimut original del pasillo. Aunque el análisis de Ponce de León es cuidadoso y detallado, hay que advertir que el azimut obtenido con su procedimiento es, con toda probabilidad, demasiado grande: al

proyectar el eje del pasillo al nivel del terreno actual —a lo largo del plano perpendicular a la base o plataforma superior de la estructura (*ibid.*: láms. 12 y 13)—, obtenemos una línea que conecta dos puntos que, localizados sobre las fachadas anterior y posterior, en un principio no estaban en el mismo nivel, considerando que hoy día la parte posterior (este) del edificio se manifiesta más elevada que la anterior (oeste), y que los movimientos en otra dirección resultaron en la mayor elevación de la parte sureste de la estructura. El azimut de este alineamiento no reproduce la orientación original del pasillo, ya que depende de la secuencia de los hundimientos y de la posición de los ejes de movimientos rotatorios de la estructura.<sup>5</sup>

Los resultados de las mediciones indican que la orientación de la Etapa II, al menos en la dirección este-oeste, difiere de la que adoptaron las superposiciones subsiguientes. Midiendo los alineamientos entre las esquinas de los taludes conservados de las etapas tardías —o entre puntos cercanos a las esquinas que no están expuestas o conservadas—, he obtenido los azimuts que se presentan en la figura 1,<sup>6</sup> los valores medios aparecen en la tabla 1. Los azimuts de los alineamientos actuales tal vez difieren un poco de los originales, debido a los hundimientos, pero la fórmula discutida en el Apéndice y

<sup>5</sup> El alineamiento descrito y medido por Ponce de León correspondería al que originalmente manifestaba el pasillo sólo si la inclinación actual de la estructura fuese resultado de sólo dos movimientos sucesivos: el primero en torno a un eje norte-sur y el segundo alrededor de un eje este-oeste. Sin embargo, no cabe duda que los movimientos eran paulatinos y en diversas direcciones; al producirse el primer hundimiento de la parte norte del edificio, todo hundimiento siguiente de la parte poniente, moviéndose la estructura en torno a un eje horizontal norte-sur, aumentaba el azimut de todas las líneas este-oeste proyectadas al plano horizontal (nivel de desplante actual del edificio) a lo largo de los planos perpendiculares a la base (ya inclinada) de la estructura. Considerando que el desplome del edificio es particularmente acentuado en la dirección este-oeste, es probable que el azimut del eje virtual medido por Ponce de León excede el azimut original del pasillo.

<sup>6</sup> Agradezco la ayuda que me brindaron en estas mediciones a José Guadalupe Orta B. y a Pascual Medina M., topógrafos de la Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas del INAH; las mediciones se realizaron con una estación total y receptores GPS.



© Fig. 3. Presentación esquemática de otra secuencia posible de los movimientos que resultaron en la inclinación actual de la Etapa II del Templo Mayor de Tenochtitlan (cf. fig. 2); a) vista en perspectiva hacia el noreste; b) planta.

desarrollada para estimar los posibles desplazamientos horizontales de la Etapa II no es aplicable al caso de las etapas posteriores, ya que no se han movido como cuerpos rígidos: el grado de hundimientos observables en distintos puntos es proporcional a la distancia del sector central de la masa arquitectónica, que es el más elevado, puesto que el terreno preconsolidado por los primeros edificios superpuestos frenó los hundimientos (Mazari *et al.*, 1989:169 ss. y López Luján, 1993:70). Considerando que el nivel del terreno baja en todas las direcciones, como se observa sobre todo en los pisos conservados, es obvio que los hundimientos no resultaron en desplazamientos horizontales uniformes, por lo que podemos asumir que, al promediar los azimuts actuales, quedan cancelados los eventuales errores de valores individuales.

También Ponce de León (1982:31, 56ss., lám. 13) llegó a la conclusión de que la Etapa II tenía una orientación diferente de la que manifiestan las superposiciones posteriores. Al medir la línea a lo largo de los puntos centrales de las escaleras de las etapas tardías, obtuvo el azimut  $96^{\circ}02'$ . Suponiendo también para estas estructuras una desviación semejante al detectado en la Etapa II, sumó al azimut medido el valor de  $1^{\circ}23'$  —es decir, la diferencia entre el azimut actual ( $97^{\circ}25'$ ) y el original ( $98^{\circ}48'$ ) que determinó para el pasillo de la Etapa II— y concluyó que el valor resultante,  $97^{\circ}25'$ , ha de considerarse como azimut de orientación original de las fases constructivas posteriores a la segunda. Sin embargo, en vista de los argumentos expuestos, la conclusión parece difícil de aceptar, tanto por ser excesivo el valor de corrección determinado para la segunda etapa ( $1^{\circ}23'$ ) como por el hecho de que el edificio de la Etapa II se inclinó relativamente uniforme, mientras que los hundimientos de las etapas siguientes han sido muy desiguales, moviéndose distintos sectores de las estructuras en diferentes direcciones. Como se observa, el azimut medido por Ponce de León, sin corregir ( $96^{\circ}02'$ ), es bastante cercano al valor medio basado en los taludes ( $95^{\circ}36'$ ; tabla 1). No obstante, la línea medida a lo largo de los puntos centrales de las escalinatas de los edificios superpuestos no siempre reproduce con exactitud la orientación de cada uno de ellos, puesto que nunca pudo ser visualmente controlada por los constructores; también podemos recordar que las etapas sucesivas de la pirámide de Tenayuca poseen la misma orientación, pero sus ejes centrales este-oeste se van desplazando hacia el sur (Marquina, 1964: 168, láms. 49 y 50; Šprajc 1997:230ss., fig. 5.16).

Como se observa en la tabla 1, los azimuts norte-sur de las etapas tardías son prácticamente iguales a los de la Etapa II. Además, los valores citados, resultado de mis propias mediciones, concuerdan con el promedio de  $6^{\circ}42' \pm 23'$  establecido por Aveni *et al.* (1988:294, tabla 2) y basado en las líneas norte-sur; al observar que éstas no presentan divergencias notables, Aveni

*et al.* (1988:295) concluyeron que todas las fases constructivas poseían orientaciones muy parecidas. No obstante, los azimuts este-oeste de las etapas tardías son consistentemente menores que los que manifiesta la Etapa II, siendo sus promedios 95°48' (etapa III), 95°25' (Etapa IV), 95°19' (Etapa IVb) y 95°52' (Etapa VI) (fig. 1). Puesto que estos valores no difieren entre sí de manera significativa y sistemática, es probable que el promedio basado en ellos y citado en la tabla 1 represente la orientación intencionada de las etapas tardías del Templo Mayor con bastante fidelidad.<sup>7</sup> El hecho de que diversas estructuras adyacentes (Matos, 1981: 37, 41; 1984 y López Luján, 1993:78ss.) manifiestan orientaciones semejantes apoya la conclusión. Por ejemplo, los azimuts de los ejes este-oeste de los edificios C y F que flanquean la Etapa VI por sus lados norte y sur son 95°47' y 95°04', respectivamente. Ambas estructuras están inclinadas, sugiriendo que sus orientaciones originales eran muy parecidas a la de las etapas tardías del Templo Mayor: el Edificio C, en el lado norte, presenta la mayor elevación en su esquina suroeste, por lo que sus azimuts este-oeste originales debieron ser menores que en la actualidad, en tanto que los del Edificio F, llamado también Templo Rojo y situado en el lado sur, tal vez fueron mayores, ya que la parte más elevada de esta estructura es la esquina noroeste. El azimut este-oeste de la Estructura B está ubicada al poniente del Edificio C es

95°23', en tanto que el paramento sur del Edificio E, que ocupa el extremo norte del área excavada y es conocido también como Casa de las Águilas, manifiesta el azimut 95°06'. Parece, entonces, que la orientación de los edificios aledaños fue regida por la del Templo Mayor.

A pesar de la opinión común —reflejada también en los planos reconstructivos del recinto sagrado de Tenochtitlan (*e.g.* Marquina, 1964: 185, lám. 54; Villalobos, 1985:62, fig. 5)— de que las calles del Centro Histórico de la Ciudad de México reproducen la orientación del Templo Mayor y las estructuras asociadas (véanse Ponce de León 1982:30ss., foto 7 y Aveni *et al.*, 1988:303), podemos notar que las orientaciones de la mayoría de los edificios que han sido excavados están levemente desviadas, en el sentido contrario al de las manecillas de reloj, respecto a la traza urbana actual. Como se observa en el plano de Vega Sosa (1979: plano 1), también las estructuras excavadas en el área de la Catedral metropolitana manifiestan la misma desviación respecto a la planta de la Catedral, cuyos ejes concuerdan con la orientación de las calles circundantes.<sup>8</sup> El hecho de que la orientación de la traza urbana colonial coincida más bien con la de la Etapa II del Templo Mayor<sup>9</sup> sugiere que esta orientación, aunque no regía los edificios principales del recinto ceremonial en épocas tardías (salvo tal vez las líneas norte-sur), predominaba en tiempos tempranos de Tenochtitlan y persistió en ciertos edificios y calles, o incluso en la mayor parte de la traza urbana prehispánica, hasta la Conquista, cuando fue adoptada por la ciudad colonial.<sup>10</sup>

<sup>7</sup> El valor medio de 95°36' citado en la tabla 1 ha sido calculado con base en azimuts medios este-oeste de las etapas III, IV, IVb y VI; en la Etapa V sólo pudo medirse el talud sur (véase fig. 1), por lo que su azimut no se ha tomado en consideración en este cálculo.

El azimut de 97°06' que obtuvo Aveni (1991a:355; Aveni y Gibbs, 1976:512, tabla 1) no fue medido en la Etapa VI (Aveni *et al.*, 1988:294), sino en el extremo suroeste de la Etapa IV, que estaba expuesta antes de realizarse las amplias excavaciones del área dirigidas por Eduardo Matos Moctezuma (Leonardo López Luján, comunicación personal, junio de 1997). El azimut rebasa de manera considerable el promedio citado en la tabla 1, desde luego porque fue medido a lo largo de una sección más o menos corta de la parte poniente del talud sur: debido a hundimientos diferenciales, los taludes conservados están en la actualidad ligeramente abombados; además, los paramentos sur tienen azimuts consistentemente mayores que los paramentos norte (véase fig. 1).

<sup>8</sup> Las exploraciones recientes han corroborado estas desviaciones (Ávaro Barrera, comunicación personal, mayo de 1997).

<sup>9</sup> Por ejemplo, el azimut de la calle Guatemala es aproximadamente de 97°20', mientras que las calles Tacuba y Donceles tienen acimuts cerca de 98°10' (véase valores parecidos en Aveni *et al.*, 1988:296, tabla 3).

<sup>10</sup> Kubler (1972:102) menciona que la Ciudad de México todavía revela la forma de la capital azteca y que muchas calles centrales siguen el patrón de los canales desaparecidos. Puesto que no disponemos de la información arqueológica correspondiente a la ubicación de las calles prehispánicas en la inmediata cercanía del recinto ceremonial del Templo Mayor, en realidad no

<i>prominencia</i>	<i>A</i>	<i>h</i>	$\delta$	<i>fechas</i>
C. Tlálóc	93°11'	2°17'	-2°19'	mar 14, sep 28
C. Tlamacas	74°40'	0°58'	14°40'	abr 29, ago 13

● Tabla 2. Datos sobre las prominencias significativas del horizonte este del Templo Mayor de Tenochtitlan.

Puesto que la orientación del Templo Mayor cambió a partir de la Etapa III, cabe recordar que ésta, según varios investigadores, pertenece al reinado de Itzcóatl (Matos, 1988:73; López Luján, 1993:73ss., fig. 14), por lo que la modificación podría entenderse como parte del ambicioso programa de reformas por el que es conocido este gobernante. Las orientaciones de las estructuras excavadas en el área de la Catedral no se han medido con precisión, pero parece que la Estructura A (Templo de Tonatiuh) refleja el mismo cambio (Vega Sosa, 1979: plano 1): mientras que la primera etapa constructiva sigue la orientación de la Catedral y, por tanto, de la Etapa II del Templo Mayor, las superposiciones manifiestan la desviación en el mismo sentido que las etapas tardías del Templo Mayor. Sin embargo, mientras que la Estructura A es tardía, algunos de los demás edificios que comparten la misma desviación, notablemente las estructuras C y D,<sup>11</sup> pertenecen, según Vega Sosa (1990:13ss.), a los periodos tempranos de la ocupación del sitio (ca. 950-1350 d.C.). Es posible, entonces, que la nueva orientación incorporada en el Templo Mayor a partir de su tercera fase tenía antecedentes, pero llegó a predominar, al menos en el Recinto Sagrado, apenas en épocas tardías de Tenochtitlan.

sabemos si las calles actuales efectivamente reproducen (y, si es así, con qué precisión) la orientación de algunos edificios prehispánicos o de partes de la traza urbana de Tenochtitlan. Pero sí hay indicios arqueológicos que apoyan la opinión primero expresada por Marquina (1960:32) de que la calzada hacia Tlacopan estaba desplazada hacia el norte de la actual calle de Tacuba (Margarita Carballal, comunicación personal, junio de 1997; Carballal y Flores, 1989:76).

<sup>11</sup> Cabe subrayar que en este caso se trata de estructuras excavadas en el área de la Catedral, ya que las mismas letras fueron asignadas a otros edificios en la inmediata cercanía del Templo Mayor.

Los resultados del análisis de los datos acerca de los alineamientos hacia los rasgos prominentes del horizonte en diversos sitios arqueológicos del centro de México (Šprajc, 1997) sugieren que en el caso del Templo Mayor de Tenochtitlan deben haber sido particularmente importantes los cerros Tlálóc y Tlamacas, visibles en el horizonte este, ya que marcaban salidas del Sol en las fechas que, junto con las señaladas por las orientaciones arquitectónicas, componían esquemas de calendarios observacionales comparables a los que se han podido reconstruir para otros sitios (véase *ibid.*: 119ss.). Los azimuts (*A*), las alturas (*h*), las declinaciones ( $\delta$ ) y las fechas de salida del Sol correspondientes a los dos montes se presentan en la tabla 2.<sup>12</sup>

### Calendarios observacionales

Como se puede calcular con base en los datos presentados en las tablas 1 y 2, los intervalos que separan las fechas señaladas por las estructuras y ciertos cerros en el horizonte son, o se acercan a, múltiplos de 13 y 20 días. El Cerro Tlamacas llama la atención particularmente, ya que registra fechas separadas por intervalos de casi 105 y 260 días. Las fechas "ideales" y, además, comúnmente marcadas por orientaciones arquitectónicas y rasgos del horizonte en diversos sitios son 30 de abril y 13 de agosto (Šprajc, 1997:74ss.); éstas pudieron ser señaladas también por el Cerro Tlamacas, si se observaba el último contacto del disco solar con el horizonte, es decir, si para determinar las fechas correspondientes al alineamiento era relevante la posición tangencial del Sol sobre el cerro. La declinación del Sol requerida para que su limbo inferior esté alineado con el Cerro Tlamacas, observado en el Templo Mayor, es de 14°45'

<sup>12</sup> Los datos sobre las demás prominencias en el horizonte del Templo Mayor se presentan en Šprajc, 1997:305ss., tablas 5.4.20.2 y 5.4.20.3. En cuanto a los criterios metodológicos que justifican la selección de los rasgos del horizonte considerados en mis análisis comparativos, véase *ibid.*:16ss. Las fechas en la última columna de la tabla 2 son válidas para el siglo xv d. C., cuando probablemente fue elegido el lugar para la construcción del Templo Mayor (véase *supra*, nota 3).

(véase *ibid.*:27, 94ss.). Si para un periodo de cuatro años a mediados del siglo XIV d.C. —época probable de la selección del sitio para la construcción del Templo Mayor— examinamos las declinaciones calculadas para los momentos de salida del Sol en las fechas relevantes, con el fin de determinar los días exactos señalados por el centro y el limbo inferior del disco solar (el procedimiento se ejemplifica en Šprajc, 1997:239ss.), resulta que las fechas gregorianas en las que el Cerro Tlamacas estaba alineado con el centro del Sol son las que se presentan en la tabla 3. En cambio, el Sol salía sobre la cumbre del Cerro Tlamacas, tocándola con su limbo inferior, en las fechas citadas en la tabla 4.

Como se observa, los intervalos que separan las fechas señaladas por el alineamiento del Cerro Tlamacas con el centro del disco solar son 105 ó 106 y 259 ó 260 días. Pero si las fechas eran determinadas por la posición tangencial del disco solar sobre el cerro, el intervalo corto era 105 o, una vez en los cuatro años, 106 días, mientras que el intervalo largo era siempre 260 días.<sup>13</sup> Asumiendo que el intervalo de 260 días era particularmente importante, puesto que separaba las mismas fechas de *tonalpohualli*, podemos suponer que las fechas del calendario observacional del Templo Mayor de Tenochtitlan eran registradas por las posiciones tangenciales del Sol sobre el horizonte a lo largo de los alineamientos.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Nótese que el año 1344 del calendario gregoriano proleptico era bisiesto, por lo que el intervalo entre las fechas 14 y 13 de agosto de 1343 y 29 de abril de 1344, en las tablas 3 y 4, es 259 ó 260 días; en otros años el intervalo que separa las mismas fechas es un día más corto.

<sup>14</sup> Cabe advertir que los patrones cuatrienales de fechas exactas de los eventos (*i. e.* de determinadas declinaciones del Sol) presentan variaciones paulatinas a través del tiempo (de  $\pm 1$  día), debidas al sistema de intercalaciones del calendario gregoriano. Sin embargo, los patrones de intervalos se mantienen constantes durante épocas más largas. En las tablas 3 y 4 se presentan las fechas e intervalos para un lapso de cuatro años a media-

año	fecha	intervalo (días)	año	fecha	intervalo (días)
1341	abr 29	106	1341	abr 30	105
	ago 13			ago 13	
1342	abr 30	105	1342	abr 30	105
	ago 13			ago 13	
1343	abr 30	106	1343	abr 30	105
	ago 14			ago 13	
1344	abr 29	106	1344	abr 29	106
	ago 13			ago 13	
1345	abr 29	259	1345	abr 30	260
	-			-	
	-	-		-	-
	-	-		-	-

● Tablas 3 y 4. Fechas registradas por el centro del disco solar (tabla 3) y por el limbo inferior del disco solar (tabla 4) alineado con el Cerro Tlamacas, e intervalos intermedios, para un periodo de cuatro años a mediados del siglo XIV.

También llama la atención el intervalo de 46 días que separa las fechas señaladas por el Cerro Tláloc y el Cerro Tlamacas, ya que las fechas de registro poniente<sup>15</sup> de la Etapa II del Templo Mayor lo subdividen en intervalos de 26 ó 27 y 20 ó 19 días (véanse tablas 1 y 2). Hacia finales del siglo XIV —época probable de la construcción de la Etapa II del Templo Mayor

dos del siglo XV, pero los esquemas de intervalos serían prácticamente idénticos también si los reconstruyéramos para los siglos XIII o XV. Las fechas señaladas por las posiciones tangenciales del Sol siempre tenderían a separar intervalos de 260 días; aunque también el intervalo de 260 días en algunas ocasiones, inevitablemente, disminuiría o aumentaría un día, las "irregularidades" de este tipo serían mucho menos frecuentes que en el esquema de fechas registradas por el centro del disco solar.

<sup>15</sup> Las cuatro fechas que marca una orientación solar (dos en el oriente y dos en el poniente, salvo las orientaciones solsticiales) pueden designarse de manera conveniente como *días* o *fechas de registro oriente y poniente* de la estructura correspondiente (Ponce de León, 1982:8).

(López Luján, 1993:73ss.)—, el Sol salía sobre los cerros Tláloc y Tlamacas, tocándolos con el limbo inferior, en algunas ocasiones el 14 ó 15 de marzo y 29 ó 30 de abril, respectivamente, pero la mayoría de las veces el intervalo intermedio era de 46 días. Suponiendo que la precisión del calendario observacional era más importante en la época primaveral, antes del comienzo de las lluvias, es probable que la fecha de registro poniente de la Etapa II fuera 9 ó 10 de abril, separada por intervalos exactos de 26 (dos treceñas) y 20 días (una veintena) de las señaladas por los cerros Tláloc y Tlamacas. Tal registro poniente de la estructura pudo ser logrado si era determinante la posición tangencial del Sol sobre el horizonte y, además, si el azimut original de orientación este-oeste de la Etapa II era aproximadamente de  $97^{\circ}50'$  (declinación requerida:  $8^{\circ}06'$ ), es decir, unos  $8'$  más grande del que se presenta en la tabla 1 ( $97^{\circ}42'$ ). Éste ha sido determinado con base en el análisis del probable desplazamiento horizontal que sufrió la estructura a raíz de los hundimientos, aplicándose la corrección media de  $10'$  al azimut actual del pasillo entre los santuarios gemelos ( $97^{\circ}32'$ ) (véanse *supra*, y Apéndice); no obstante, de acuerdo con el cálculo presentado en el Apéndice, el azimut original pudo ser, en efecto, hasta  $20'$  más grande que el actual.<sup>16</sup>

Asimismo parece significativo que el intervalo entre las fechas de registro oriente y poniente de la Etapa II se aproxima a 39 días (tres treceñas). Sin embargo, el intervalo primaveral (entre 3 de marzo y 9 de abril), aunque presumiblemente más importante, es de 37 días. Si el azimut original de orientación fue cerca de  $97^{\circ}50'$ , como se ha sugerido arriba, y si se observaba el disco solar en su posición tangencial sobre el horizonte, la fecha de puesta del Sol a

lo largo del eje de la Etapa II era 9 ó 10 de abril, mientras que las salidas ocurrían en la misma fecha 3 de marzo, es decir, el intervalo entre las dos fechas no alcanzaba los 39 días. Las fechas “ideales” hubieran sido 1 ó 2 de marzo, trece días antes de la señalada por el Cerro Tláloc, y 9 ó 10 de abril, 20 días antes de la registrada por el Cerro Tlamacas. Sin embargo, dadas las alturas del horizonte, observando desde el Templo Mayor, estas fechas no pudieron ser señaladas con una sola orientación.<sup>17</sup>

Podemos conjeturar que las salidas del Sol el 1 ó 2 de marzo (trece días antes del orto sobre el Cerro Tláloc y 39 días antes del registro poniente del templo) eran señaladas por otras orientaciones. Podría pensarse que la Etapa II del Templo Mayor incorporaba dos orientaciones tenuemente diferentes, pero los alineamientos medidos no apoyan tal suposición.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> El registro de las fechas 2 de marzo y 10 de abril, separadas por el intervalo de 39 días, pudiese haberse logrado con un azimut de casi  $98^{\circ}05'$ , pero éste es difícilmente reconciliable con el argumento acerca de los probables efectos de hundimientos, puesto que implica un desplazamiento horizontal de más de medio grado (recuérdese que el azimut actual del pasillo entre las capillas es de  $97^{\circ}32'$ ), en tanto que, según el cálculo basado en la inclinación actual de la estructura, los azimuts este-oeste originales no disminuyeron más de  $20'$ . Aunque podríamos especular que la orientación actual es producto de movimientos irregulares e irreconstruibles y que el azimut intencional del eje este-oeste de la estructura fue cerca de  $98^{\circ}05'$ , con esta orientación en realidad no se hubiera establecido un calendario observacional ideal, ya que, al lograr mayor exactitud de un intervalo, se habría afectado la precisión de otros: puesto que la fecha de puesta del Sol correspondiente al azimut de  $98^{\circ}05'$  hubiese sido —a finales del siglo xv— invariablemente 10 de abril, mientras que las salidas del Sol sobre el Cerro Tlamacas ocurrían el 29 ó 30 de abril, la distancia entre ambos fenómenos habría variado entre 19 y 20 días; por otra parte, la salida del Sol sobre el Cerro Tláloc, correspondiendo mayormente al 14 de marzo, tampoco hubiera subdividido el lapso de 39 días entre las fechas de registro oriente y poniente de la estructura en intervalos ideales de 13 y 26 días.

<sup>18</sup> Los azimuts de las líneas este-oeste del sector norte del edificio son consistentemente menores que los del sector sur, siendo sus promedios  $96^{\circ}18'$  y  $98^{\circ}30'$ , pero las fechas que corresponden a estos azimuts no componen un esquema de calendario observacional que parezca significativo; puesto que los alineamientos del sector norte, por una parte, y los del sector sur, por la otra, no tienden a ser paralelos entre sí sino que los azimuts van aumentando de manera relativa y continua desde el norte hacia el sur (los valores extremos correspondientes a los taludes norte y sur del cuerpo superior son  $94^{\circ}08'$  y  $100^{\circ}$ ,

<sup>16</sup> De acuerdo con la argumentación expuesta (Apéndice), el desplazamiento de las líneas este-oeste pudo alcanzar el valor máximo, si la estructura primero sufrió fuertes asentamientos en la parte poniente y, luego, hundimientos menores de la parte norte; tal secuencia de movimientos es, en efecto, probable, considerando que los asentamientos más intensos del Templo Mayor parecen haber sido provocados por el peso de las escalinatas (véanse Mazari *et al.*, 1989:168ss., 178ss. y López Luján, 1993:70).

<i>Alineamiento</i>	<i>fecha</i>	<i>intervalo (días)</i>	<i>fecha</i>	<i>intervalo (días)</i>
	1380		1382	167
Cerro Tláloc, salida del Sol	mar 14		mar 14	
		26		27
T. Mayor, Etapa II, puesta del Sol	abr 9		abr 10	
		20		20
Cerro Tlamacas, salida del Sol	abr 29		abr 30	
		105		105
Cerro Tlamacas, salida del Sol	ago 12		ago 13	
		19		19
T. Mayor, Etapa II, puesta del Sol	ago 31		sep 1	
		28		27
Cerro Tláloc, salida del Sol	sep 28		sep 28	
	1381	167	1383	168
Cerro Tláloc, salida del Sol	mar 14		mar 15	
		26		26
T. Mayor, Etapa II, puesta del Sol	abr 9		abr 10	
		20		20
Cerro Tlamacas, salida del Sol	abr 29		abr 30	
		106		105
Cerro Tlamacas, salida del Sol	ago 13		ago 13	
		19		19
T. Mayor, Etapa II, puesta del Sol	sep 1		sep 1	
		27		27
Cerro Tláloc, salida del Sol	sep 28		sep 28	
	1382	167	1384	168
Cerro Tláloc, salida del Sol	mar 14		mar 14	

● Tabla 5. Esquema del posible calendario observacional relacionado con la Etapa II del Templo Mayor, para un periodo de cuatro años a finales del siglo xv.

Por otro lado, es posible que las fechas relevantes de salida del Sol fueran señaladas por algún (os) edificio(s) aledaño(s), formando parte de un calendario observacional en combinación con las fechas de puesta del Sol registradas por el Templo Mayor.<sup>19</sup> La hipótesis, desde luego,

respectivamente), parece que se trata de una peculiaridad de construcción y que los dos promedios citados, que corresponden a los lados norte y sur del edificio, no tienen relevancia. También cabe mencionar que los santuarios gemelos de la Estructura I de Teopanzolco, que es el único caso comparable conocido por el momento, evidentemente comparten una misma orientación.

<sup>19</sup> De esta manera parecen haber funcionado las orientaciones del Templo Mayor y el Templo Calendárico de Tlatelolco, y de las Estructuras I y II de Teopanzolco (Sprajc, 1997:268ss., 291 ss.).

no tiene sustento mientras no se encuentre la orientación requerida, incorporada en alguna estructura contemporánea a la Etapa II.

Por consiguiente, las evidencias disponibles sugieren que la preocupación de los arquitectos de la Etapa II del Templo Mayor fue ante todo la de orientar el edificio hacia el punto en el horizonte poniente donde se ocultaba el Sol 26 días después de que saliera sobre el Cerro Tláloc y 20 días antes de que sucediera el mismo evento en la dirección del Cerro Tlamacas. En la tabla 5 se presentan las fechas y los intervalos intermedios del calendario observacional que pudo haber estado en uso a finales del siglo

● Tabla 6. Esquema del posible calendario observacional relacionado con las etapas tardías del Templo Mayor de Tenochtitlan.

<i>alineamiento</i>	<i>fecha</i>	<i>intervalo (días)</i>	<i>fecha</i>
T. Mayor, etapas tardías, salida del Sol	mar 9	156	oct 4
T. Mayor, etapas tardías, puesta del Sol	abr 4	26 27	sep 7
Cerro Tlamacas, salida del Sol	abr 30	26 25	ago 13
		105	

xiv, suponiendo que la estructura estaba orientada con el azimut este-oeste de aproximadamente  $97^{\circ}50'$  y que las fechas eran registradas por las posiciones tangenciales del Sol sobre el horizonte. Podemos observar que en la mitad primaveral de cada año, el intervalo entre el registro poniente de la estructura y la salida del Sol sobre el Cerro Tlamacas es invariablemente de 20 días, mientras que la distancia entre la salida del Sol sobre el Cerro Tláloc y la fecha de registro poniente del edificio es de 26 días, salvo en el año 1382, cuando es 27 días. Notemos, de nuevo, que el intervalo largo que separa las salidas del Sol sobre el Cerro Tlamacas es siempre de 260 días. Asimismo podría ser significativo que el intervalo largo que separa las fechas de registro poniente de la estructura (por ejemplo, del 31 de agosto de 1380 al 9 de abril de 1381) es constantemente de 221 días, es decir, 17 treceñas.

En cuanto a la orientación tardía del Templo Mayor, los motivos astronómicos y calendáricos subyacentes parecen claros: el calendario observacional indiciado se compone de intervalos que son, o se aproximan a, múltiplos de treceñas. Los intervalos más cortos entre las fechas de registro oriente y poniente son de 26 ó 28 días, en tanto que las fechas de registro oriente/poniente consecutivas están separadas por intervalos de 155 ó 156 días; además, las puestas del Sol señaladas por la orientación del templo caían 25 días antes y después de las salidas del Sol sobre el Cerro Tlamacas (véanse tablas 1 y 2).

Cabe señalar que el esquema de intervalos que parece ideal hubiera sido el que se presenta

en la tabla 6 y en el que los intervalos cortos entre las fechas consecutivas tanto de registro oriente como de registro poniente de la estructura son siempre de 156 días (doce treceñas), mientras que los intervalos primaverales entre los días de registro oriente y poniente, así como entre este último y la salida del Sol sobre el Cerro Tlamacas, son de 26 días (dos treceñas). Los cálculos muestran que este esquema pudo haberse logrado si las declinaciones de registro oriente y poniente del edificio fueran cerca de  $-4^{\circ}27'$  y  $5^{\circ}55'$ , respectivamente. En el siglo xv, el Sol tenía estas declinaciones cuando tocaba con su limbo inferior los puntos del horizonte del Templo Mayor a lo largo del azimut de  $95^{\circ}25'$  ó  $275^{\circ}25'$ ; por consiguiente, las fechas ideales del calendario observacional, en efecto, pudieron ser registradas con una sola orientación arquitectónica, pero *únicamente si fueron determinantes las posiciones tangenciales del Sol sobre el horizonte* y, a la vez, si el azimut de orientación era de unos  $95^{\circ}25'$ , es decir,  $11'$  menor del que se cita en la tabla 1 ( $95^{\circ}36'$ ). Puesto que este último ha sido determinado con base en los azimuts medidos en los cuerpos inferiores —los únicos que se conservan— de las etapas tardías, es obvio que el margen de error que debemos considerar rebasa la corrección de  $11'$ , necesaria para obtener el valor ideal; por ende, es probable que, a partir de la Etapa III, el azimut intencionado de la orientación este-oeste del Templo Mayor fue cerca de  $95^{\circ}25'$ .<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Cabe advertir que las declinaciones (fechas) que corresponden a la orientación de la iglesia de San Luis en Huexotla (Estado de México), al parecer construida sobre las ruinas del templo principal de la ciudad prehispánica, son prácticamente idénticas (Šprajc, 1997:249).

A la luz de evidencias comparables de otros sitios resulta poco verosímil que los alineamientos hacia los cerros Tláloc y Tlamacas fueran fortuitos. Mientras que en apariencia no hay datos respecto a la eventual importancia del Cerro Tlamacas en tiempos prehispánicos, el significado simbólico y ritual del Cerro Tláloc está ampliamente documentado en las fuentes coloniales y corroborado por los vestigios arqueológicos en la cumbre de la montaña (Aveni *et al.*, 1988:298ss.; Broda, 1971:277ss.; 1991a:475ss.; 1991b:95; Iwaniszewski, 1986:256ss., 260; 1994 y Šprajc, 1997:255ss.). Varias fuentes tempranas sugieren que la selección del sitio donde se construyó el Templo Mayor fue condicionada por la presencia de cuevas, rocas y manantiales (López Luján, 1993:88ss.; y Ovando-Shelley y Manzanilla, 1997:222).<sup>21</sup> Por otra parte, analizando los asentamientos del Templo Mayor en términos de la mecánica de suelos, Mazari *et al.* (1989:155, 168, 177) y Mazari (1996:11ss.) concluyen que no existía un islote natural en este lugar y que el templo fue construido sobre una gigantesca plataforma artificial de unos 11 m de altura, sumergida cerca de 6 m bajo la superficie del lago. Esta interpretación, de ser correcta, podría apoyar la idea de que el sitio, aparentemente tan poco idóneo para la construcción de un templo, fue elegido precisamente por motivos astronómicos, ya que permitía aprovechar algunas prominencias del horizonte como marcadores de fechas significativas del calendario observacional.

### Discusión de algunas hipótesis anteriores

También Aveni, Calnek y Hartung (1988) argumentan que la ubicación del Templo Mayor de Tenochtitlan fue determinada por consideraciones astronómicas. Según observan, el Sol

sale sobre los cerros Telapón y Tepetzinco (Peñón de los Baños) unos 20 días antes y después, respectivamente, del equinoccio de primavera (*ibid.*:302 y Aveni, 1991b:67). Aunque su inferencia respecto a la importancia de los equinoccios se basa en datos indirectos (Aveni *et al.*: 289ss., 304ss., 307), es interesante su intento de reconstruir un calendario observacional compuesto por veintenas. El alineamiento hacia el Cerro Tepetzinco parece particularmente significativo: Aveni *et al.* (1988:302) afirman que el Sol sale en esta dirección el 8 de abril y 6 de septiembre y que la primera fecha cae 19 días —alrededor de un “mes”— después del equinoccio de primavera, pero en realidad la distancia es de 20 días, ya que —como lo comprueba la foto de Galindo (1994:166)— las fechas correspondientes son 9 de abril y 2 de septiembre. Además, Galindo (*ibid.*) hace ver que estas fechas son las de registro poniente del Templo Mayor. Puesto que la cumbre del Cerro Tepetzinco no es claramente definida y queda, además, por debajo del horizonte, y considerando la posibilidad de que el Sol sea observado en la posición tangencial sobre el horizonte, las fechas señaladas bien pudieron ser 9 ó 10 de abril y 31 de agosto o 1 de septiembre; según se ha argumentado arriba, éstas eran, en efecto, las fechas de puesta del Sol registradas por la Etapa II del Templo Mayor. El significado mítico del Tepetzinco, lugar donde fue depositada la cabeza de Cópil (Aveni *et al.*, 1988: 292, 302 y Broda, 1991b:86ss.), suscita la sospecha de que la dirección hacia el cerro efectivamente pudo haber influido en la ubicación del Templo Mayor de Tenochtitlan; recordemos, además, que esta eminencia rocosa tenía, según González Aparicio (1973:47ss., y 53), un papel importante en la planeación urbana de Tenochtitlan.

Aveni *et al.* (1988:292ss.) encuentran alusiones a la observación del Sol relacionadas con los cerros en el mito acerca de la fundación de Tenochtitlan, como lo narra Alvarado Tezozómoc en su *Crónica Mexicáyotl*. Cuando los mexicas, en el año 1 Técpatl (1324), visitaron el nopal que había brotado del corazón de Cópil, reconocieron en el lugar el sitio profetizado por Huit-

<sup>21</sup> En tanto que los indicios de la existencia de manantiales en la zona del recinto ceremonial del Templo Mayor han sido encontrados en diversas ocasiones (López Luján, 1993:88ss. y Ovando-Shelley y Manzanilla, 1997:222, 232), las referencias de cuevas y rocas no son conciliables con las características geológicas y geomorfológicas del área (Ovando-Shelley y Manzanilla, 1997:232ss.).

zilopochtli al observar los peñascos y cuevas hacia donde sale el Sol y hacia el norte. Después, supuestamente en la mañana siguiente, recibieron la señal decisiva, al divisar al águila sobre el nopal. Aveni *et al.* (1988:293) comentan que, según el relato, la escena fue vista desde lejos y que el águila, idéntica a Huitzilopochtli, ha de referirse al Sol, tal vez saliente, por lo que concluyen que la fundación de Tenochtitlan debió estar relacionada con la observación de la salida del Sol en un punto donde se cruzaban alineamientos relevantes hacia el este y el norte. Si el mito refleja la importancia de las elevaciones hacia el oriente como marcadores calendáricos, es posible que la referencia al cerro al norte se relacione con la Sierra de Guadalupe y su cumbre más alta, el Cerro Cuauhteppec, hoy día conocido también como Pico Tres Padres (*ibid.*:304);<sup>22</sup> por otra parte, también podría tratarse del Cerro Chiquihuite, que desde el Templo Mayor marca la dirección hacia el norte astronómico (Ponce de León, 1982:58).<sup>23</sup>

En su intento de reconstruir el calendario observacional del Templo Mayor, Drucker (1977:281ss., fig. 3) supone que tanto en Teotihuacan como en Tenochtitlan utilizaban esquemas observacionales compuestos por periodos de 20 días y centrados en el "intervalo núcleo" de 180 días, del 22 de septiembre al 20 de marzo. Para el azimut de 97°06' (medido por Aveni), Drucker calcula que corresponde, a mediados del siglo XIV d.C., a las salidas del Sol el 1 de marzo y 12 de octubre y a las puestas del Sol el 8 de abril y 2 de septiembre, y concluye que estas fechas, con la excepción del 8 de abril,

<sup>22</sup> Aveni (1991b:63) menciona varios sitios arqueológicos que parecen ejemplificar la importancia simbólica de la montaña ubicada al norte del centro ceremonial. Cabe agregar que los ejes norte-sur de las estructuras examinadas en los sitios arqueológicos del centro de México apuntan con mayor frecuencia a los cerros hacia el norte que hacia el sur (Šprajc, 1997:38).

<sup>23</sup> Ponce de León (1982:58) también observa que el eje solsticial de la pirámide y la traza urbana de Cholula pasa, prolongado hacia el poniente, por el Templo Mayor de Tenochtitlan, cruzando el Cerro Tehuicocone al norte del Itzacchuatl. Algunos comentarios sobre el eventual papel de este alineamiento en la selección del lugar para la construcción del Templo Mayor se encuentran en Šprajc, 1997:313ss.

representan días iniciales de tres de los periodos de 20 días que componen el esquema de calendario observacional. Las ideas de Drucker son sugerentes y, en términos generales, incluso cercanas a las interpretaciones propuestas aquí y en mi estudio comparativo (Šprajc, 1997), pero hay que decir que sus procedimientos de cálculo son erróneos, por lo que las fechas que determina no corresponden al azimut de 97°06' y, desde luego, tampoco a los azimuts de 97°42' y 95°36' que representan las dos orientaciones incorporadas en el Templo Mayor (tabla 1).<sup>24</sup> Además, no hay evidencias inequívocas que indiquen la importancia especial de las fechas 22 de septiembre y 20 de marzo, días claves del esquema de Drucker.

Aguilera (1990:74) afirma que el Templo Mayor era observatorio y que, junto con la línea del horizonte poniente, funcionaba como instrumento para medir el tiempo. Abogando en favor de la correlación fija del año calendárico mexicana con el año trópico, asocia ciertas fiestas del *xihuitl* con los solsticios, equinoccios y pasos del Sol por el zenit. Extraña la afirmación de que en los equinoccios el Sol estaba en el punto del horizonte poniente directamente enfrente de los templos gemelos (*ibid.*:75), pues sabemos, desde que se realizaron las primeras mediciones (Aveni y Gibbs, 1976:512ss., tabla 1), que la orientación del Templo Mayor

<sup>24</sup> Para obtener la fecha correspondiente a una determinada declinación del Sol en el pasado, Drucker (1977:278) multiplica el valor de declinación actual con una constante calculada para la época en cuestión con base en la fórmula de W. de Sitter. Ahora bien, la fórmula desarrollada por Sitter para calcular el ángulo de oblicuidad de la eclíptica en cualquier época (Thom, 1971:15) permite determinar los valores de declinación máxima/mínima del Sol (alcanzados en los solsticios), pero no es suficiente para fijar las *fechas exactas* en las que el Sol, en cierta época, tenía determinadas declinaciones (ni siquiera las solsticiales), ya que los momentos del año a los que corresponden ciertas declinaciones solares no sólo dependen de la oblicuidad de la eclíptica sino también de la duración de las estaciones que varía en función del movimiento secular del eje de los ápsides (línea que conecta el perihelio y el afelio) de la órbita de la Tierra (véase Šprajc, 1997:30ss.). Más aún, las declinaciones y fechas que determina Drucker (1977:282) como correspondientes al azimut de 97°06', considerando la altura del horizonte de 2°10' (tanto para el oriente como para el poniente), ni siquiera derivan de la fórmula que él mismo presenta (*ibid.*:278).

no se puede relacionar con los puntos equinociales sobre el horizonte. La autora no presenta datos que ejemplifiquen la supuesta relación entre las demás fechas referidas y las observaciones desde el Templo Mayor.

Galindo (1994:166ss.) observa que, según Sahagún, la fiesta de Yoaltecuhtli “se celebraba en el signo que se llama nahui ollin, a doscientos y tres días de la cuenta de tonalamatl”; agregando que *Nahui Ollin* era nombre calendárico del Sol, por lo que pudo haberse tratado de una celebración eminentemente solar, el autor concluye que, en la correlación de Sahagún, “según la cual el año prehispánico comenzaba el 2 de febrero, es decir, el 12 de febrero en el calendario actual, el día 203 del calendario coincide justamente con el 2 de septiembre, día en el que el Sol se pone enfrente, alineado al Templo Mayor” (*ibid.*:167). Hay que advertir, en primer lugar, que el número “203” representa una traducción inadecuada del término náhuatl usado en el *Códice Florentino*; el error fue corregido por Anderson y Dibble (1981:216) en su segunda edición de la obra: el texto relata que la fiesta se celebraba cada 260 días, sin mencionar relación alguna con el inicio del año.<sup>25</sup> Además, la fecha 2 de septiembre referida por Galindo se basa en el azimut de 97°25' determinado por Ponce de León (1982:31) para las etapas tardías del Templo Mayor; en vista de la argumentación presentada arriba, este azimut corresponde a la Etapa II, mientras que la orientación de las superposiciones posteriores—incluyendo la Etapa VII, es decir, el templo que vieron los conquistadores españoles—era diferente.<sup>26</sup> También el 4 de marzo, que Galindo (1994:167) asocia con el registro oriente del Templo Mayor y con el primer día del mes Tlacaxipehualiztli, según la correlación de Sahagún, corresponde al azimut de 97°25', por

lo que no pudo ser señalado por la orientación del Templo Mayor en la época de la Conquista.

Galindo (1994:167) hace referencia también a las fechas 27 de marzo y 12 de diciembre (gregorianas) mencionadas por Durán, y relaciona la primera con la puesta del Sol sobre el Cerro La Malinche; en el esquema de Durán, las dos fechas corresponden a los días 4 Ollin de *tonalpohualli*. Sin embargo, aparte de que la coincidencia de un mismo día del *tonalpohualli* con una misma fecha del año trópico, recurriendo sólo en intervalos de 42 años (Siarkiewicz, 1995: 94), difícilmente puede considerarse como relevante para explicar el significado de los alineamientos, hay que recordar que el calendario de Durán es ficticio—o un “calendario modelo”—, ya que su año “indígena” comienza de manera arbitraria con 1 Cipactli y 1 Cuahuitlehua (Atlcahualo), correspondiendo al 1 de marzo en el calendario juliano (véanse Prem, 1983a: 143ss., y tabla 3).

### La orientación del Templo Mayor y el comentario de Motolinía

Por último, cabe examinar las hipótesis que se han propuesto en relación con el famoso comentario en la obra de fray Toribio de Motolinía (1971:51), de que la fiesta de Tlacaxipehualiztli “caía estando el sol en medio de *Uchilobos*, que era equinoccio”. La importancia de este texto radica en que parece ser la única referencia documental que, de manera bastante explícita, relaciona un templo mesoamericano con observaciones astronómicas. No es de extrañar, por lo tanto, que haya habido diversos intentos de conciliar el dato de Motolinía con la disposición arqueológicamente atestiguada del Templo Mayor.

Aveni y Gibbs (1976:513ss.) señalaron que la orientación del templo no correspondía a las salidas del Sol en los equinoccios sobre el horizonte natural, pero sugirieron que las observaciones del Sol equinoccial pudieron haberse realizado en el Templo de Quetzalcóatl, situado, según algunas fuentes, al poniente del Templo Mayor:

<sup>25</sup> Agradezco la observación a Leonardo López Luján y Alfredo López Austin.

<sup>26</sup> La orientación de la Etapa VII no se ha determinado con mediciones, pero los restos de esta construcción indican que fue erigida encima de la anterior Etapa VI, aumentando sus dimensiones únicamente hacia arriba y conservando su orientación (López Luján, 1993:72, y comunicación personal, junio de 1997).

debido a la altura de este último, el Sol hubiera aparecido a lo largo del pasillo entre los santuarios gemelos, en realidad después de haberse desplazado considerablemente hacia el sur, alcanzando el azimut correspondiente a la orientación del Templo Mayor (*ibid.*:515, fig. 4 y Aveni, 1980: 27ss.; 1991a: 279ss., fig. 81).

Aveni, Calnek y Hartung (1988:294ss.) elaboraron la hipótesis con base en datos arqueológicos más recientes y propusieron que los mexicanos orientaron su primer Templo Mayor en la dirección este-oeste —es decir, hacia donde salía el Sol en los equinoccios—, pero al crecer la altura de las superposiciones, desviaron la orientación hacia el sur, para poder seguir observando el Sol equinoccial a lo largo del corredor entre los santuarios superiores desde algún punto situado en frente y en el eje del edificio. Al percibir la conformidad general de las orientaciones de las etapas tardías, Aveni *et al.* (1988: 297) interpretaron el hecho como indicio de que la altura del Sol advertida se mantenía constante, desplazándose el punto de observación con cada una de las sucesivas etapas constructivas, o que la intención de preservar la orientación equinoccial llegó a ser simplemente abandonada.

Tichy (1991:94) arguye que la asociación del Templo Mayor con los equinoccios propuesta por Aveni *et al.* (1988) es poco probable y que la orientación de la estructura debe explorarse en relación con las posiciones del Sol en el horizonte. Aunque la posibilidad de que existieran alineamientos inclinados, señalando posiciones astronómicamente significativas en alturas elevadas, no se puede descartar, e independientemente de las dudas en cuanto a la ubicación exacta del Templo de Quetzalcóatl (Aveni *et al.*, 1988:294)<sup>27</sup> —en todo caso no sabemos si éste fue el lugar de observaciones—, los patrones en la distribución acimutal de las orientaciones en la arquitectura mesoamericana su-

gieren que éstas, en efecto, registraban fenómenos astronómicos sobre el horizonte (Šprajc, 1997:9; s.f.).

Citando el dato de Motolinía respecto a la coincidencia de la fiesta de Tlacaxipehualiztli con el equinoccio, y en apoyo al argumento acerca del alineamiento equinoccial incorporado en el Templo Mayor, Aveni *et al.* (1988:291) observan que, según la correlación de Sahagún, el mes Tlacaxipehualiztli comenzaba el 4 de marzo del calendario gregoriano, por lo que la fiesta, usualmente celebrada al final del mes, habría caído en el 23 de marzo, muy cerca del equinoccio. La correlación de Sahagún que hace coincidir el primer día de Tlacaxipehualiztli con el 4 de marzo del calendario gregoriano se basa en la información recopilada en su época (Šprajc, 1997:106ss.; además, Sahagún en sus diversos escritos proporciona correlaciones diferentes: véase Bartl *et al.*, 1989), por lo que no puede ser relevante para interpretar el dato de Motolinía, que se refiere a un fenómeno astronómico relacionado con el Templo Mayor: aun si el edificio no fue destruido de inmediato, su función ritual y astronómica de seguro no sobrevivió más allá de la Conquista. Además, Motolinía (1971: 44) dice que “los indios naturales de la Nueva España, al tiempo que esta tierra se ganó [y] entraron en ella los españoles, comenzaban su año en principios de marzo”, y que el primer mes era Tlacaxipehualiztli (*ibid.*:45), mientras que, según Sahagún (1985:77ss.), el año indígena comenzaba a principios de febrero con el mes Atlcahualo, por lo que el inicio del siguiente mes Tlacaxipehualiztli, aunque coincidía con el 4 de marzo del calendario gregoriano, caía en febrero del calendario juliano, como también observan Aveni *et al.* (1988:291). Es decir, si nos basamos en la correlación de Sahagún y, a la vez, aceptamos como verídico el dato de Motolinía acerca de la coincidencia de la fiesta de Tlacaxipehualiztli (último día del mes) con el fenómeno solar en el Templo Mayor, nos vemos obligados a rechazar como falsa la información de Motolinía acerca del inicio del mes Tlacaxipehualiztli en marzo, lo cual parece arbitrario. Como se verá enseguida, los datos citados de

<sup>27</sup> Un edificio de planta mixta, quizás el Templo de Quetzalcóatl, fue parcialmente excavado en el área de la Catedral metropolitana, al sur del eje este-oeste del Templo Mayor (Vega Sosa, 1979: planos 1 y 2).

Motolinía son internamente coherentes<sup>28</sup> y, además, son congruentes con la orientación que ha sido determinada para las etapas tardías del Templo Mayor (tabla 1).

Tanto el comentario de Motolinía como el dibujo del Templo Mayor en el mapa de Tenochtitlan atribuido a Cortés han sido interpretados como referencias a la observación de *salidas* del Sol entre los santuarios gemelos (véanse Maudslay, 1990:272; Aveni y Gibbs, 1976:513; Aveni, 1991a:279). No obstante, el texto de Motolinía (1971:51) menciona que la fiesta de Tlacaxipehualiztli “caía estando el sol en medio de *Uchilobos*, que era equinoccio”, en realidad no es explícito y bien podría referirse al *ocaso* del astro en el eje del edificio.<sup>29</sup> En efecto, en el año 1519 el último día del mes Tlacaxipehualiztli cayó, según la correlación de Caso (1967:58, tabla IV), el 25 de marzo del calendario juliano, equivalente al 4 de abril del calendario gregoriano, que era precisamente la *fecha de registro poniente de las etapas tardías del Templo Mayor*. Por lo tanto, el comentario de Motolinía puede entenderse como referencia a la puesta del Sol en el eje del edificio en la fecha especificada. Esta interpretación concuerda no sólo con la correlación de Caso y su argumento (*ibid.*: 39, 51), basado en varias fuentes y apoyado por Prem (1991:395), de que la fiesta principal de cada mes era celebrada en su último día, sino también con la mención del mismo Motolinía (1971:45) de que “el postrer día del mes [era] solemne y muy festival entre ellos”.

Incluso el hecho de que Motolinía correlaciona la fiesta de Tlacaxipehualiztli con el equinoccio es sólo aparentemente contradictorio: como se

acaba de mencionar, en el calendario juliano, que estaba en uso en la época de Motolinía (hasta la reforma gregoriana, adoptada en México en 1583; Caso 1967:98ss.), la fiesta (y la puesta del Sol en el eje del Templo Mayor) cayó, en 1519, el 25 de marzo; la mención del fraile resulta comprensible y exacta, si recordamos que ese día, en el que se celebraba la concepción de Jesucristo (*Annunciatio Mariae*), era en la Edad Media comúnmente identificado con el equinoccio vernal (Newton, 1972:27 y McCluskey, 1989:S2; 1993:110ss., 114).<sup>30</sup> Por consiguiente, Motolinía según parece no se refirió al equinoccio astronómico, sino que tan sólo apuntó la correlación observada entre el día de la festividad mexicana, que en los últimos años antes de la Conquista coincidía con el fenómeno solar en el Templo Mayor, y la fecha del calendario cristiano que correspondía al día tradicional de equinoccio.

Considerando la enorme importancia de las ceremonias realizadas en el mes Tlacaxipehualiztli, atestiguada en las ofrendas del Templo Mayor y datos de otro tipo (Broda, 1970 y López Luján, 1993:270-289), es posible que la orientación del templo tuviera alguna relación con esta veintena, aunque la correspondencia era más simbólica que calendáricamente precisa y estable. Podemos notar que la fecha de la puesta primaveral del Sol señalada por la orientación tardía del Templo Mayor (4 de abril del calendario gregoriano) caía en algún día del mes Tlacaxipehualiztli durante unos 80 años; aunque puede ser fortuito, es un hecho que esta fecha de registro solar poniente del templo coincidió con el primer día de Tlacaxipehualiztli en la segunda mitad de los años cuarentas del siglo xv, es decir, justo en la época de Itzcóatl,

<sup>28</sup> Cabe precisar que los datos relevantes en el presente contexto y citados arriba son coherentes, pero al parecer no son del mismo autor: la mención de que el año principiaba en marzo con el mes Tlacaxipehualiztli y que el día festivo era el último de cada mes pertenece al propio Motolinía (1971:44ss.), mientras que la referencia al fenómeno solar en el Templo Mayor forma parte de una interpolación que “no es del texto de los *Memo-riales*” (*ibid.*:50).

<sup>29</sup> El hecho de que Marquina (1960:113), parafraseando a Motolinía, habla del Sol “frente a Huichilobos” muestra claramente que el texto es ambiguo.

<sup>30</sup> Aunque la fecha canónica de equinoccio eclesiástico establecida en 325 d.C. por el Concilio de Nicea era 21 de marzo, también sobrevivió la tradición romana que correlacionaba el equinoccio con el 25 de marzo (VIII. Kal. Aprilis) (Newton, 1972:22-27). Newton (*ibid.*:26ss.) menciona dos calendarios medievales —uno de ellos registrado por el venerable Beda— que atestiguan la convivencia de ambas tradiciones, ya que en cada uno de ellos está anotado el equinoccio para el 21 y, a la vez, para el 25 de marzo. Incidentalmente, Beda es uno de los autores a quienes cita Motolinía (1971:46) en su discusión sobre diversos calendarios.

gobernante responsable de la construcción de la Etapa III (Matos, 1988:73 y López Luján, 1993:73ss., fig. 14), que es la primera que manifiesta la nueva orientación. En este contexto parece significativo que, según las fuentes, las ceremonias de consagración del *Huey Teocalli* entrelazadas con los rituales de Tlacaxipehualiztli adquirieron relevancia a partir de Motecuhzoma Ilhuicamina (1440-1469), sucesor inmediato de Itzcóatl en el trono mexica (López Luján, 1993:272).<sup>31</sup>

### Posibles técnicas de observación

Todo parece indicar que el Templo Mayor, así como las demás orientaciones del centro de México, registraban fenómenos astronómicos en el horizonte, pero sólo podemos especular acerca de los probables métodos de observación. Posiblemente las salidas del Sol fueron observadas a lo largo del pasillo entre los santuarios gemelos, como lo sugiere el dibujo en el plano de Tenochtitlan de Cortés (véanse Marquina, 1960: 30, fig. 1; 1964:183, fig. 6 bis; Aveni y Gibbs, 1976:514, fig. 3; Matos, 1988:146, fig. 115; y Aveni, 1991a:280, fig. 81b). En este caso, las fechas correspondientes a la orientación pudieron ser determinadas con mayor facilidad y precisión si las observaciones se realizaban desde un punto alejado. Más aún, si el punto de observación se localizaba al nivel del terreno natural debió estar forzosamente lejos del templo: conforme crecía la altura de éste debía aumentar la distancia.<sup>32</sup> Si se mira desde la parte elevada de algún edificio situado a lo largo del

<sup>31</sup> Asimismo es interesante que, de acuerdo con el análisis arqueoiociológico, los peces cuyos restos fueron encontrados en la ofrenda 23 del Templo Mayor debieron haber sido capturados —y, por tanto, enterrados— en la época del año entre febrero y abril (Guzmán Camacho, 1997:104ss.); puesto que se trata de una de las ofrendas de consagración de la Etapa IVb (López Luján, 1993:237ss., figs. 105-110), los resultados del análisis concuerdan con los datos de que los rituales dedicatorios se realizaban en Tlacaxipehualiztli, que durante el reinado de Axayácatl (1469-1481), responsable de la ampliación IVb del Templo Mayor (*ibid.*: 75, fig. 14), correspondía a finales de marzo y la primera mitad de abril.

<sup>32</sup> Por ejemplo, si la plataforma superior de la última etapa constructiva tenía unos 30 m de altura (Marquina, 1960:44), el observador que quería ver la salida del Sol sobre el horizonte natural y,

eje del Templo Mayor, la distancia pudo ser menor. Por el momento, empero, no contamos con ningún dato que sugiera la localización del eventual lugar de observaciones.

Por otra parte, es probable que los santuarios superiores que daban hacia el poniente tuvieran elementos o dispositivos que permitieran observar el Sol o la proyección de sus rayos, en los momentos antes de la puesta del astro, y determinar las fechas relevantes. Aunque no hay evidencias contundentes al respecto, cabe mencionar algunos detalles arquitectónicos de la Etapa II que a lo mejor tuvieron alguna relación con observaciones astronómicas. Entre las jambas de la entrada al santuario de Tláloc y los dos pilares adosados se observan ranuras verticales que pudiesen haber facilitado la observación de los rayos solares proyectados sobre la pared interior oriente de la capilla en ciertas fechas, algunos momentos antes de la puesta del Sol. No obstante, la idea se ve debilitada porque las dos ranuras tienen azimuts muy divergentes: la que separa la jamba y el pilar norte está alineada con el azimut de  $94^{\circ}35' \pm 30'$ , mientras que aquella que está conformada por los elementos correspondientes del lado sur manifiesta el azimut de  $98^{\circ} \pm 30'$ . Cada una de las ranuras tiene casi 1.20 m de largo y entre 2 y 5 cm de ancho; los paramentos que las delimitan son bastante irregulares.

El santuario de Huitzilopochtli no tenía pilares comparables de mampostería. Sin embargo, las huellas del estuco, enmarcando espacios rectangulares sobre dos muros bajos que, adosados a las jambas, flanquean el acceso al interior del santuario, así como restos de madera encontrados sobre ambos muros durante las excavaciones, indican que a las jambas de este santuario estaban adosados pilares de madera (Francisco Hinojosa, comunicación personal, mayo de 1997). Llama la atención que las caras de las jambas son mucho más lisas y paralelas entre sí que las del santuario de Tláloc: el

a la vez, entre los santuarios superiores, tuvo que colocarse a más de 800 m de distancia, para que la altura del horizonte este coincidiera con la de la plataforma superior del Templo Mayor.

azimut de la jamba norte es de  $98^{\circ}48' \pm 30'$  y del sur es de  $97^{\circ}40' \pm 30'$ , pero hay que advertir que las líneas medidas son, de nuevo, cortas<sup>33</sup> y que los azimuts originales, dependiendo del espesor del estuco que recubría las jambas y que se conserva en fragmentos, no se pueden determinar con exactitud. A la idea expresada por Hartung (1975:196) de que las jambas de los templos posiblemente incorporaban alineamientos astronómicos, cabe agregar que ranuras angostas permitían el paso de los rayos solares y su proyección en la pared posterior del templo sólo en determinadas fechas; en realidad hubieran podido servir como dispositivos muy idóneos para observaciones astronómico-calendáricas precisas. Sin embargo, parece que los dos pilares de madera del Templo de Huitzilopochtli no estaban separados de las jambas, ya que en éstas no se contemplan restos del estuco a lo largo de las superficies que, según los indicios, corresponden al ancho de los pilares (agradezco la advertencia a Francisco Hinojosa, mayo de 1997). Por lo tanto, la suposición de que entre los pilares y las jambas existieran ranuras comparables a las que se observan en el santuario de Tláloc no deja de ser, en vista de las evidencias disponibles por el momento, más que una especulación.

Recordando la sugerencia de Hartung (1975: 193, figs. 3 y 4), basada en ilustraciones en algunos códices, de que las observaciones astronómicas pudieron haberse realizado desde el interior de los templos, también medí el azimut de la línea visual que conecta el centro de la piedra de sacrificio, encontrada *in situ* y empotrada en el piso frente al santuario de Huitzilopochtli, y el centro del pequeño basamento o pedestal cuadrangular construido sobre la banqueta adosada a la pared interior oriente. Considerando que el basamento seguramente soportaba la estatua de Huitzilopochtli (López Luján, 1993:71); también fue atractiva la idea de que pudiera haberse observado la proyec-

ción de la sombra de la piedra de sacrificio; sin embargo, las alturas de la piedra y del pedestal permiten concluir que la sombra de la piedra era arrojada por los rayos del Sol, unos momentos antes de su puesta en ciertas fechas, sobre la cara poniente de la banqueta y del pedestal, que es más ancho que la piedra, pero nunca pudo alcanzar la estatua, por lo que el fenómeno no era particularmente llamativo ni tampoco era posible determinar las fechas relevantes con mucha precisión, de no haber existido marcas sobre la banqueta o el pedestal. Asimismo, el azimut del alineamiento, de  $99^{\circ}37'$ , no coincide con ninguno de los demás que se han medido en el edificio, por lo que parece difícil suponer que fuera astronómicamente significativo.

Puesto que los azimuts de los alineamientos indicados por ciertos elementos de los santuarios superiores del Templo Mayor de la Fase II (jambas, ranuras entre los pilares y jambas, el alineamiento entre la piedra de sacrificio y el pedestal para la estatua de Huitzilopochtli) difieren mucho, las fechas de puestas del Sol correspondientes hubiesen caído varios días antes y después de las registradas por el azimut medio de orientación este-oeste de la estructura y citadas en la tabla 1. Aunque no podemos descartar la posibilidad de que algunos de estos alineamientos fueran astronómicamente significativos e intencionales —sobre todo si consideramos que algunos de los azimuts medidos tal vez difieren de los originales, tanto por la imposibilidad de reconstruir los espesores originales del estuco como por posibles errores de medición, debido a que se trata de líneas cortas—, sería demasiado aventurado especular al respecto, considerando que en otros sitios no se conservan alineamientos de este tipo que pudieran servir como datos comparativos.

Es posible, desde luego, pensar que las partes desaparecidas de los santuarios tuvieran algunos elementos arquitectónicos que permitieron observar la proyección de los rayos solares en las fechas relevantes (p. e. orificios, como los tiene la Estructura 1-sub o Templo de las Siete Muñecas en Dzibilchaltún; véase Šprajc,

<sup>33</sup> El paramento interior de cada jamba es trapezoidal, disminuyendo su ancho hacia arriba; la dimensión máxima de cada uno, a lo largo de su intersección con la cara superior horizontal del muro adosado, es de unos 185 cm.

1995). Si en el Templo Mayor se observaban juegos de luz y sombra a la puesta del Sol, los adyacentes edificios C y F (Templos Rojos), que comparten la misma orientación, pero tienen sus entradas del lado oriente, tal vez servirían para observar los fenómenos de este tipo a la salida del Sol en las fechas de registro oriente del Templo Mayor.

Para terminar esta discusión respecto a las posibles prácticas observacionales, volvamos, una vez más, al comentario citado de Motolinía (1971:51). Al hablar de la fiesta de Tlacaxipehualiztli y del fenómeno solar asociado en el Templo de Huitzilopochtli, el autor agrega que el edificio "estaba un poco tuerto", por lo que "lo quería derrocar *Mutixuma* y enderezallo". La nota, breve y aparentemente insignificante, no revela nada acerca de los métodos de observación empleados, pero sí sugiere que la orientación del templo no era sólo simbólica sino también funcional: considerando que los azimuts medios este-oeste de las etapas tardías no exhiben discrepancias significativas (véase *supra*), la imprecisión referida no pudo ser grande; si a pesar de ello fue detectada y, además, llegó a ser motivo de preocupación del más alto jerarca mexicana, parece obvio que las observaciones se hacían de manera continua y que la función de ciertos elementos constructivos era la de señalar alineamientos astronómicamente relevantes con exactitud. ¿Por qué estaba "tuerto" el edificio? Aveni *et al.* (1988: 297) piensan que la desviación pudo haber sido consecuencia de las dificultades que implicaba para los arquitectos el objetivo de conservar el alineamiento equinoccial en diversas etapas constructivas, cada una con mayor altura (véase *supra*). Otra explicación posible se relaciona con el fenómeno cuyos efectos han sido analizados arriba: las evidencias arqueológicas indican que los hundimientos representaban un problema serio para los constructores mexicanos, obligándolos a reforzar, corregir y renivelar continuamente sus templos (López Luján, 1993: 70; Francisco Hinojosa, comunicación personal, mayo de 1997). Como se ha argumentado, los asentamientos eran acompañados por li-

geros desplazamientos de alineamientos horizontales; ¿no habrá sido ésta la causa del desperfecto al que alude el padre Motolinía?

## Comentarios finales

Tomando en cuenta los datos comparativos de diversos sitios arqueológicos en el centro de México (Šprajc, 1997), podemos concluir que el Templo Mayor de Tenochtitlan fue construido en el lugar premeditado que empleó algunos picos prominentes del horizonte local como marcadores naturales de las posiciones del Sol en ciertas fechas relevantes del año trópico, mientras que las orientaciones arquitectónicas fueron diseñadas para registrar fechas que, junto con las señaladas por las prominencias del horizonte, formaban parte de esquemas observacionales compuestos por intervalos calendáricamente significativos y, por tanto, fáciles de manejar. Es más probable que los calendarios observacionales hayan tenido funciones prácticas, posibilitando una programación eficaz de las actividades agrícolas y los rituales correspondientes en el ciclo anual. Algunas fechas señaladas por los alineamientos tal vez marcaban momentos claves del ciclo agrícola, mientras que otras eran "auxiliares"; puesto que los intervalos que las separaban 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: recordemos que los días separados por múltiplos de 13 tenían el mismo numeral de treceena, en tanto que los fenómenos separados por múltiplos de 20 días ocurrían en las fechas del mismo signo de veintena en la cuenta de 260 días. 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 a lo largo de los alineamientos, y que las fechas apropiadas para realizar ciertas labores o ceremonias agrícolas tuvieron que determinarse con debida antelación (Šprajc, 1997:114ss.). No obstante, el hecho de que tanto

en el Templo Mayor como en otros sitios mesoamericanos, los alineamientos astronómicos se encuentran plasmados en la arquitectura cívico-ceremonial, a veces rigiendo patrones urbanos enteros, revela que la función utilitaria de la astronomía estaba envuelta en el ritual e íntimamente relacionada con la vida social, la religión y la ideología de las sociedades prehispánicas.

### Apéndice

Cálculo de desplazamientos horizontales resultantes de los hundimientos de la Etapa II del Templo Mayor de Tenochtitlan

Hoy día, la segunda etapa constructiva del Templo Mayor de Tenochtitlan está fuertemente inclinada, manifestando la mayor elevación en su esquina sureste. La medición de los desniveles de la plataforma superior del basamento ha permitido determinar los ángulos de inclinación aproximados a lo largo de los ejes norte-sur y este-oeste de la estructura, por lo que ha sido posible calcular la magnitud de los probables desplazamientos horizontales provocados por los hundimientos. Aunque se estima que la superficie del terreno que soporta las masas arquitectónicas del Templo Mayor se hundió en algunos puntos hasta 11 m (Mazari *et al.*, 1989: 155), podemos asumir, para fines del cálculo, que sólo se hundieron las partes poniente y norte de la estructura. La situación se presenta esquemáticamente en las figuras 2 y 3.

El rectángulo trazado en cada una de estas figuras con línea más gruesa representa la inclinación del basamento de la Etapa II del templo, tal como se observa en la actualidad, aunque intencionalmente exagerada para facilitar la visualización de los movimientos e ilustrar la derivación de la fórmula desarrollada para calcular la magnitud de desplazamientos horizontales. Podemos imaginar que el rectángulo representa la base del edificio, aunque también puede corresponder a la plataforma superior o a cualquier corte paralelo de la estructura, si consideramos movimientos uniformes que ca-

racterizan el comportamiento de cuerpos rígidos. Idealmente, los movimientos que ocasionaron la inclinación actual de la estructura pueden separarse en dos componentes: los que tenían un eje de rotación horizontal en la dirección norte-sur resultaron en mayor hundimiento de la parte poniente, mientras que la parte norte de la estructura quedó más hundida a raíz de los movimientos en torno a un eje horizontal este-oeste. La localización exacta de los puntos o ejes alrededor de los que en verdad rotaba el edificio a raíz de los hundimientos (por causas discutidas en Mazari *et al.*, 1989; Mazari, 1996 y López Luján, 1993:70) es irrelevante para el cálculo, ya que en la fórmula desarrollada intervienen sólo los ángulos de inclinación que son iguales en cualquier caso. Suponiendo que estos ejes horizontales siempre hubieran estado a lo largo de los lados este y sur de la base del edificio, podemos reconstruir dos secuencias ideales de los hundimientos.

El caso uno se ilustra en la figura 2. Si la estructura sufrió, en primer lugar, el hundimiento de su parte poniente y, por tanto, el movimiento en torno al eje este, y posteriormente el hundimiento de la parte norte resultante del movimiento rotatorio centrado en el eje sur, observamos que los azimuts norte-sur quedan iguales, en tanto que los azimuts este-oeste disminuyen en función de los ángulos de inclinación (fig. 2a, d): si el edificio se inclinó primero por un ángulo vertical  $\alpha$  en la dirección este-oeste y, después, por un ángulo vertical  $\beta$  en la dirección norte-sur (fig. 2a), los azimuts de las líneas este-oeste disminuyeron por el ángulo horizontal  $\beta$  (fig. 2d). En la figura 2b se observa que:

$$\frac{x}{a} = \cos \alpha \Rightarrow x = a \cos \alpha \quad (1)$$

$$\frac{z}{a} = \sin \alpha \Rightarrow z = a \sin \alpha \quad (2)$$

en tanto que la figura 2c permite expresar:

$$\frac{y}{z} = \sin \beta \Rightarrow y = z \sin \beta \quad (3)$$

Sustituyendo en la ecuación (3) el valor de  $z$  expresado en la ecuación (2), tenemos:

$$y = a \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \beta \quad (4)$$

Puesto que de la figura 2d se desprende que:

$$\tan \gamma = \frac{y}{x} \quad (5)$$

podemos sustituir en la ecuación (5) los valores de  $x$  y  $y$  expresados en las ecuaciones (1) y (4):

$$\tan \gamma = \frac{a \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \beta}{a \cos \alpha} \quad (6)$$

Por lo tanto:

$$\tan \gamma = \tan \alpha \operatorname{sen} \beta \quad (7)$$

El ángulo  $\gamma$  representa el decremento en los azimuts de las líneas este-oeste, si los movimientos que ocasionaron la inclinación del cuerpo se sucedieron como lo indica la figura 2a.

Los efectos de la secuencia invertida de los movimientos se ilustran en la figura 3: si consideramos que el primer movimiento se produjo en torno al eje sur, provocando el hundimiento de la parte norte, y el siguiente alrededor del eje este, resultando en el hundimiento de la parte poniente del edificio (fig. 3a), observamos que los azimuts norte-sur aumentaron, mientras que los azimuts de las líneas este-oeste quedaron iguales (fig. 3b). El incremento de los azimuts norte-sur puede calcularse con la misma fórmula (7), intercambiando los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ .

Hay que advertir que se trata, desde luego, de dos secuencias *ideales* de movimientos. No cabe duda que la estructura de la Fase II del Templo Mayor se estaba hundiendo de manera paulatina; sin embargo, las secuencias de movimientos particulares deben haber sido comparables a las descritas, teniendo efectos combinados que resultaron en el desplazamiento de *todos* los alineamientos horizontales dentro de los

rangos que se pueden calcular. La fórmula (7) permite estimar los valores *máximos* del desplazamiento en el plano horizontal de las líneas incorporadas en la estructura. Puesto que los valores máximos de los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  que definen la inclinación de la plataforma superior de la Etapa II son de  $8^{\circ}30'$  y  $2^{\circ}15'$ , respectivamente,<sup>34</sup> resulta que los alineamientos este-oeste/norte-sur pudieron sufrir un decremento/incremento azimutal de hasta unos  $20'$ . Hay que reiterar que éstos son, de acuerdo con el cálculo, los valores máximos para uno u otro grupo de alineamientos, y que los hundimientos paulatinos con distintas secuencias de movimientos de la estructura pudieron haber resultado en variaciones azimutales algo menores, aunque tanto en alineamientos este-oeste como en los norte-sur. Por consiguiente, el valor medio de  $10'$  de corrección que he considerado para disminuir/incrementar los azimuts norte-sur/este-oeste medidos en la Etapa II del Templo Mayor parece suficientemente realista.

<sup>34</sup> Los desniveles medidos en diferentes puntos de la plataforma no arrojan en todas partes los ángulos de inclinación  $\alpha$  y  $\beta$  exactamente iguales, lo que indica que la estructura, sufriendo hundimientos diferenciales, no se movió de acuerdo con el comportamiento de cuerpos rígidos; por lo tanto, los resultados obtenidos mediante la fórmula (7) deben considerarse con un margen de error adicional.

# b i b l i o g r a f í a

- Aguilera, Carmen  
1990. "The 'Templo Mayor' as a dual symbol of the passing of time", en R. van Zantwijk, R. de Ridder y E. Braakhuis (eds.), *Mesoamerican Dualism: Symposium ANT.8 of the 46th International Congress of Americanists, Amsterdam 1988*, Utrecht, RUU-ISOR, pp. 74-93.
- Anderson, Arthur J. O. y Charles E. Dibble  
1981. *Florentine Codex: General History of the Things of New Spain: Fray Bernardino de Sahagún. Book 2-The Ceremonies*, Santa Fe, The School of American Research-The University of Utah, 2a. ed. revisada (Monographs of the School of American Research núm. 14, part III).
- Aveni, Anthony F.  
1975. "Possible astronomical orientations in ancient Mesoamerica", en A. F. Aveni (ed.), *Archaeoastronomy in Pre-Columbian America*, Austin-London, University of Texas Press, pp. 163-190.
1980. "Conceptos de astronomía posicional empleados en la arquitectura mesoamericana antigua", en A. F. Aveni (comp.), *Astronomía en la América Antigua*, trad. de L. F. Rodríguez J.; orig. *Native American astronomy*, Austin, University of Texas Press, 1977; México, Siglo XXI, pp. 23-42.
- 1991a. *Observadores del Cielo en el México Antiguo*, trad. de J. Ferreiro; orig. *Skywatchers of Ancient Mexico*, Austin, University of Texas Press, 1980; México, FCE.
- 1991b. "Mapping the ritual landscape: debt payment to Tlaloc during the month of Atlcahualo", en D. Carrasco (ed.), *To Change Place: Aztec Ceremonial Landscapes*, Niwot, University Press of Colorado, pp. 58-73.
- Aveni, Anthony F., E. E. Calnek y H. Hartung  
1988. "Myth, environment, and the orientation of the Templo Mayor of Tenochtitlan", en *American Antiquity* 53 (2), pp. 287-309.
- Aveni, Anthony F. y Sharon L. Gibbs  
1976. "On the orientation of precolumbian buildings in central Mexico", en *American Antiquity* 41 (4), pp. 510-517.
- Aveni, Anthony F. y Horst Hartung  
1986. *Maya City Planning and the Calendar*, vol. 76, part 7, Philadelphia, Transactions of the American Philosophical Society.
- Bartl, Renate, Barbara Göbel y Hanns J. Prem  
1989. "Los calendarios aztecas de Sahagún", en *Estudios de Cultura Náhuatl* 19, pp. 13-82.
- Boone, Elizabeth Hill (ed.)  
1987. *The Aztec Templo Mayor*, Washington, Dumbarton Oaks.
- Broda, Johanna  
1970. "Tlacaxipeualiztli: A reconstruction of an Aztec calendar festival from 16th century sources", en *Revista Española de Antropología Americana* 5, pp. 197-274.
1971. "Las fiestas aztecas de los dioses de la lluvia: una reconstrucción según las fuentes del siglo XVI", en *Revista Española de Antropología Americana* 6, pp. 245-327.
- 1991a. "Cosmovisión y observación de la naturaleza: el ejemplo del culto de los cerros en Mesoamérica", en J. Broda, S. Iwaniszewski y L. Maupomé (eds.), *Arqueoastronomía y Etnoastronomía en Mesoamérica*, México, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, pp. 461-500.
- 1991b. "The sacred landscape of Aztec calendar festivals: myth, nature, and society", en D. Carrasco (ed.), *To Change Place: Aztec Ceremonial Landscapes*, Niwot, University Press of Colorado, pp. 74-120.
1993. "Astronomical knowledge, calendrics, and sacred geography in ancient Mesoamerica", en C. L. N.

- Ruggles y N. J. Saunders (eds.), *Astronomies and Cultures*, Niwot, University Press of Colorado, pp. 253-295.
- Broda, Johanna, David Carrasco y Eduardo Matos Moctezuma  
1987. *The Great Temple of Tenochtitlan: Center and Periphery in the Aztec World*, Berkeley-Los Angeles-London, University of California Press.
  - Carballal Staedtler, Margarita y María Flores Hernández  
1989. "Las calzadas prehispánicas de la Isla de México: algunas consideraciones acerca de sus funciones", en *Arqueología* 1, Segunda época, Coordinación Nacional de Arqueología del INAH, pp. 71-80.
  - Caso, Alfonso  
1967. *Los Calendarios Prehispánicos*, México, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM.
  - Drucker, R. David  
1977. "A solar orientation framework for Teotihuacan", en *Los Procesos de Cambio (en Mesoamérica y Áreas Circunvecinas): XV Mesa Redonda*, t. 2, Guanajuato, Sociedad Mexicana de Antropología-Universidad de Guanajuato, pp. 277-284.
  - Galindo Trejo, Jesús  
1994. *Arqueoastronomía en la América Antigua*, México, Conacyt-Editorial Equipo Sirius.
  - González Aparicio, Luis  
1973. *Plano Reconstructivo de la Región de Tenochtitlan*, México, INAH.
  - Guzmán Camacho, Ana Fabiola  
1997. *Análisis Arqueoictiológico de la Ofrenda 23 del Templo Mayor de Tenochtitlan*, tesis, México, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN.
  - Hartung, Horst  
1975. "A scheme of probable astronomical projections in Mesoamerican architecture", en A. F. Aveni (ed.), *Archaeoastronomy in Pre-Columbian America*, Austin-London, University of Texas Press, pp. 191-204.
  - Hawkins, Gerald S.  
1968. "Astro-archaeology", en *Vistas in Astronomy* 10, pp. 45-88.
  - Iwaniszewski, Stanislaw  
1986. "La arqueología de alta montaña en México y su estado actual", en *Estudios de Cultura Náhuatl* 18, pp. 249-273.
  - 1994. "Archaeology and archaeoastronomy of Mount Tlaloc, Mexico: A reconsideration", en *Latin American Antiquity* 5 (2), pp. 158-176.
  - Kubler, George  
1972. *Mexican Architecture of the Sixteenth Century*, Westport (Connecticut), Greenwood (Yale University Press, 1948).
  - López Luján, Leonardo  
1993. *Las Ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan*, México, INAH.
  - Marquina, Ignacio  
1960. *El Templo Mayor de México*, México, INAH.  
1964. *Arquitectura Prehispánica*, México, INAH, 2a. ed. (1a. ed. 1950).
  - Matos Moctezuma, Eduardo  
1981. *Una Visita al Templo Mayor de Tenochtitlan*, México, INAH.  
1982. Marquina, Ignacio (coord.), *El Templo Mayor: Excavaciones y Estudios*, México, INAH.
  - 1984. "Los edificios aledaños al Templo Mayor", en *Estudios de Cultura Náhuatl* 17, pp. 15-21.
  - 1988. *The Great Temple of the Aztecs: Treasures of Tenochtitlan*, London, Thames and Hudson.
  - Maudslay, A.  
1990. "A note of the position and extent

of the Great Temple”, en E. Matos Moctezuma (coord.), *Trabajos Arqueológicos en el Centro de la Ciudad de México*, México, INAH, 2a. ed. (1a. ed. 1979), (orig. publ. en 1912), pp. 269-272.

•Mazari Menzer, Marcos  
1996. *La Isla de los Perros* (con un apéndice), México, El Colegio Nacional.

•Mazari, Marcos, Raúl J. Marsal y Jesús Alberro  
1989. “Los asentamientos del Templo Mayor analizados por la mecánica de suelos”, en *Estudios de Cultura Náhuatl* 19, pp. 145-182.

•McCluskey, Stephen C.  
1989. “The mid-quarter days and the historical survival of British folk astronomy”, en *Archaeoastronomy* 13 (*Journal for the History of Astronomy*, suplemento del vol. 20), S1- S19.

1993. “Astronomies and rituals at the dawn of the Middle Ages”, en C. L. N. Ruggles y N. J. Saunders (eds.), *Astronomies and Cultures*, Niwot, University Press of Colorado, pp. 100-123.

•Morante López, Rubén Bernardo  
1993. *Evidencias del Conocimiento Astronómico en Xochicalco, Morelos*, tesis, México, ENAH.

1996. *Evidencias del Conocimiento Astronómico en Teotihuacan*, tesis, México, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

•Motolinía, Fray Toribio de Benavente  
1971. *Memoriales o Libro de las Cosas de la Nueva España y de los Naturales de Ella*, E. O’Gorman (ed.), México, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM.

•Newton, Robert R.  
1972. *Medieval Chronicles and the Rotation of the Earth*, Baltimore-London, The John Hopkins University Press.

•Ovando-Shelley, E. y L. Manzanilla  
1997. “An archaeological interpretation

of geotechnical soundings under the metropolitan Cathedral, Mexico City”, en *Archaeometry* 39 (1), pp. 221-235.

•Ponce de León H., Arturo  
1982. *Fechamiento Arqueoastronómico en el Altiplano de México*, México, Dirección General de Planificación, DDF.

•Prem, Hanns J.  
1983a. “Das chronologieproblem in der autochthonen Tradition Zentral-mexikos”, en *Zeitschrift für Ethnologie* 108, Heft 1, pp. 133-161.

1991. “Los calendarios prehispánicos y sus correlaciones: problemas históricos y técnicos”, en J. Broda, S. Iwaniszewski y L. Maupomé (eds.), *Arqueoastronomía y Etnoastronomía en Mesoamérica*, México, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, pp. 389-411.

•Sahagún, Fray Bernardino de  
1985. *Historia General de las Cosas de Nueva España*, México, Porrúa, 6a. ed.

•Siarkiewicz, Elzbieta  
1995. *El Tiempo en el Tonalámatl*, Varsovia, Universidad de Varsovia, Cátedra de Estudios Ibéricos (Monografías 3).

•Šprajc, Ivan  
1995. “El Satunsat de Oxkintok y la Estructura 1-sub de Dzibilchaltún: unos apuntes arqueoastronómicos”, en *Memorias del Segundo Congreso Internacional de Mayistas*, México, Instituto de Investigaciones Filológicas, Centro de Estudios Mayas, UNAM, pp. 585-600.

1997. *Orientaciones en la Arquitectura Prehispánica del México Central: Aspectos de la Geografía Sagrada en Mesoamérica*, tesis, México, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

s. f. “La astronomía en Mesoamérica”, en L. Manzanilla y L. López Luján (coords.), *Historia Antigua de México*, vol. 4, México, INAH-UNAM-Porrúa (en prensa), 2a. ed.

- Thom, A.  
1971. *Megalithic Lunar Observatories*,  
Oxford, Oxford University Press.
  
- Tichy, Franz  
1991. *Die geordnete Welt indianischer Völker:  
Ein Beispiel von Raumordnung und  
Zeitordnung im vorkolumbischen Mexiko*,  
Das Mexiko-Projekt der Deutschen  
Forschungsgemeinschaft 21, Stuttgart,  
Franz Steiner Verlag.
  
- Tuckerman, Bryant  
1964. *Planetary, Lunar, and Solar Positions:  
A. D. 2 to A. D. 1649*, Philadelphia, The  
American Philosophical Society.
  
- Vega Sosa, Constanza  
1979. "El Templo del Sol, su relación  
con el glifo chalcíhuitl; el Templo de  
Ehécatl-Quetzalcóatl", en C. Vega Sosa  
(coord.), *El Recinto Sagrado de México-  
Tenochtitlan: Excavaciones 1968-69 y 1975-  
76*, México, INAH, pp. 75-86.
  
- 1990. "La cronología relativa de México-  
Tenochtitlan", en *Mexicon* 12 (1), pp. 9-  
14.
  
- Villalobos Pérez, Alejandro  
1985. "Consideraciones sobre un plano  
reconstructivo del recinto sagrado de  
México-Tenochtitlan", *Cuadernos de  
Arquitectura Mesoamericana* 4, pp. 57-63.

