



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA.**

**Unidad Xochimilco.**

División de Ciencias y Artes para el Diseño.

Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño.

Conservación de Patrimonio Cultural

**Recreación digital de monumentos arqueológicos para el análisis y divulgación del  
Patrimonio Cultural, La pirámide B de Tula Grande**

Idónea comunicación de resultados que para obtener el grado de Maestría presenta:

Marcos Román Huerta Carpizo

Tutor: Jorge González Aragón Castellanos

Lector: Gilberto García Quintana

Coordinador del Área: Luis Fernando Guerrero Baca

México D.F., 13 de noviembre de 2020

## Índice

Resumen .....	3
Introducción.....	4
Objetivos .....	8
Estado del arte .....	8
1. Marco Teórico y referentes institucionales.....	10
2. Marco Histórico .....	15
3. Propuesta metodológica .....	25
3.1 Antecedentes, entorno físico, referencias y analogías. ....	27
3.2 Registro fotográfico y levantamiento en sitio .....	28
3.3 Dibujo bidimensional.....	31
3.4 Modelado 3D.....	32
3.5 Texturas y materiales.....	35
3.6 Iluminación y fondos .....	39
3.7 Personajes y objetos cotidianos .....	42
3.8 Render .....	43
4. Caso de estudio: La pirámide B de Tula Grande .....	45
4.1 Antecedentes y referencias .....	45
4.2 Levantamiento y registro fotográfico en Tula y en el MNA .....	54
4.3 Dibujo vectorizado de los pilares, relieves y almenas .....	56
4.4 Modelado 3D.....	58
4.5 Texturas y materiales, la policromía de Tlahuizcalpantecuhtli.....	61
4.6 Iluminación y fondos de la pirámide B .....	63
4.7 Personajes y objetos cotidianos .....	63
4.8 Renders de la Pirámide B .....	64
Conclusiones.....	65
Bibliografía .....	68
Anexo A Referencias visuales y fotografías de Tula.....	75
Anexo B, Dibujos vectorizados.....	83
Anexo C, modelados .....	90
Anexo D, Renders .....	95

## Resumen

Una de las utilidades de los medios digitales es la capacidad descriptiva gráfica de presentar estructuras arquitectónicas físicamente inexistentes, lo que permite proponer, mediante la reconstrucción virtual, las partes faltantes de un edificio.

La recreación digital permite la visualización realista de monumentos, edificios y objetos antiguos deteriorados o incompletos que, de otro modo, sería imposible observar y comprender; ayuda a la recreación y demostración de las hipótesis arqueológicas, facilita la comprensión del vestigio en las tareas pedagógicas de difusión y de divulgación y ayuda al público a comprender la forma, la historia y el simbolismo del monumento.

En este trabajo se presenta una propuesta metodológica para generar el modelo digital de un monumento arqueológico, el principal problema que se presenta para llevar a cabo esta tarea es que estas estructuras generalmente están en ruinas, no tienen el acabado con que fueron terminadas y carecen de muchas de sus partes, también es común encontrar fragmentos de diferentes etapas constructivas, lo que hace confusa la interpretación.

Es preciso realizar el acopio de todas las referencias visuales para poder dibujar cada uno de sus elementos; revisar los dibujos, pinturas y estampas en la bibliografía, encontrar partes similares en otras construcciones, realizar levantamientos, hacer un registro fotográfico de todos los detalles y digitalizar volúmenes mediante fotogrametría. Con las referencias completas, se inicia el proceso de dibujo bidimensional y posteriormente el modelado, el texturizado, la ambientación para, finalmente generar la representación visual del monumento.

Para ejemplificar el procedimiento, se llevará a cabo el modelo de la pirámide B de Tula Grande durante su periodo de apogeo (900-1100) porque la forma y el simbolismo de este edificio representa el desarrollo de todo un nuevo sistema religioso, político y cultural basado en el mito unificador de Quetzalcóatl y porque posee muchos elementos arquitectónicos típicos de Mesoamérica.

## Introducción

Explicar no es simular, la descripción por sí sola no consigue el objetivo de representar el aspecto que tuvo un monumento arqueológico en su época de apogeo de manera vivencial. Una de las utilidades de los medios digitales es la capacidad descriptiva gráfica de representar estructuras arquitectónicas físicamente inexistentes, lo que permite proponer, mediante la reconstrucción virtual, las partes faltantes de un edificio.

Dibujar algo es poner en relieve las características pertinentes de lo dibujado, por tanto, el autor debe conocer esas características, hace falta instrucción en el tema para elaborar una reproducción utilizable del objeto, las interpretaciones del dibujante no informado, basadas sólo en lo que ve en ese momento, serán probablemente engañosas o vagas (Arnheim, 2008, 167). El dibujo es una parte esencial en la investigación científica porque exige una observación meticulosa, y el análisis e interpretación de lo observado.

El dibujo de registro debe mostrar proporciones y ángulos exactos, establecer la concavidad o convexidad de determinada parte y distinguir unas partes de otras, esta clase de propiedades son las que queremos saber. La mejor representación será la que omita el detalle innecesario y escoja características reveladoras, los datos pertinentes deben ser comunicados sin ambigüedad, “esto se logra mediante factores perceptuales como simplicidad de la forma, agrupamiento ordenado, traslapeo claro, distinción de figura y fondo, empleo de la iluminación y la perspectiva para interpretar los valores espaciales” (Arnheim, 2008, 167).

La recreación digital permite la visualización clara de la forma de los monumentos, edificios y objetos antiguos deteriorados o incompletos que de otro modo sería imposible observar y comprender; ayuda a la creación y demostración de las hipótesis planteadas por los arqueólogos e historiadores, facilita la comprensión del vestigio arqueológico en las tareas pedagógicas de difusión y de divulgación, además de ayudar al público a comprender la historia y simbolismo del monumento.

El presente trabajo no se inicia con una hipótesis para comprobar o rechazar sino con preguntas de investigación que nos llevan a formular un método; se presenta una propuesta para generar el modelo digital de un monumento arqueológico en su época de apogeo.

La primera pregunta de investigación es: ¿Qué? o ¿Qué se va a hacer en este proyecto? Y la respuesta es la recreación digital de un monumento arqueológico en su momento de apogeo, el principal problema que se presenta para llevar a cabo esta tarea es que estas estructuras generalmente están en ruinas, muchas de ellas no poseen el acabado con que fueron terminadas y se pueden notar pérdidas y faltantes en su estructura, también es común encontrar fragmentos de diferentes etapas constructivas superpuestas, lo que hace aún más confusa la interpretación.

La segunda pregunta es ¿Para qué? y se responde recordando que México es uno de los países con mayor riqueza arqueológica, por tanto, también debería ser considerado como uno de los líderes mundiales en la aplicación de tecnologías para la preservación, divulgación e investigación del patrimonio, sin embargo, según la Red Temática Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural, dirigida por el INAH, la difusión y divulgación a través de nuevas tecnologías es escasa, por lo tanto, existe una gran área de desarrollo con retos y posibilidades. (Jiménez-Badillo, 2016, 35)

Existen en México cerca de cincuenta mil sitios arqueológicos documentados dentro del registro público de monumentos y zonas arqueológicas, de esos solo 197 están protegidos por el INAH, por tanto, el trabajo de registro y divulgación por hacer es enorme.

El modelo digital no es sustitutivo sino complementario, es una reducción de su referente original. Si se tiene al objeto real dentro de un espacio expositivo, se puede complementar la información con un modelo que describa su estado original, su función y, si se trata de una herramienta, su mecánica de uso. También se puede situar al objeto en su entorno geográfico y temporal original de manera virtual. (Barceló, 2018) En un recorrido virtual interactivo, el usuario tiene una experiencia vivencial del espacio y puede recorrerlo sin la necesidad de visitar zonas de difícil o nulo acceso y que son susceptibles a deterioros,

debido a su naturaleza digital, las herramientas generadas con el modelo pueden ser distribuidas rápidamente en diversos dispositivos y plataformas. Las herramientas digitales tienen una importante identificación y familiaridad con las nuevas generaciones, esto ayuda también a la empatía de los jóvenes con el conocimiento del patrimonio. (Barceló, 2018)

De acuerdo con la carta del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios de la UNESCO (ICOMOS) de 2008, la interpretación y la presentación de los sitios patrimoniales son elementos esenciales para la comprensión y apreciación del público. (ICOMOS, 2008, 3). A partir de los años sesenta del siglo pasado, con el desarrollo de los museos de sitio se popularizó la idea de reconstruir virtualmente las estructuras mediante modelos, primero en pinturas y maquetas y actualmente con modelos digitales.

La tercera pregunta es ¿Cómo se hace? Y la respuesta es la que dará pie al método propuesto en este trabajo. Para llevar a cabo la recreación digital de un monumento arqueológico es preciso realizar el acopio de todas las referencias visuales para dibujar cada uno de sus elementos; es necesario revisar las pinturas y grabados en la bibliografía, encontrar partes similares en otras construcciones en donde estén menos deterioradas, realizar levantamientos en sitio, hacer un registro fotográfico de todos los detalles y, en donde sea posible, digitalizar volúmenes mediante fotogrametría para tener una referencia tridimensional. Con los datos completos, se inicia el proceso de dibujo vectorizado bidimensional y posteriormente el modelado tridimensional.

La geometría obtenida directamente del objeto real mediante digitalización con escáneres laser, escáneres de luz estructurada o mediante fotogrametría es la mejor opción para realizar el registro del elemento porque presenta de manera muy detallada cada fragmento y detalle en el volumen. Sin embargo, en el caso de la recreación del monumento, el modelo fotogramétrico se utiliza solamente como referencia para el modelado debido a que la geometría obtenida es muy compleja en cuanto al número de polígonos que la conforman, lo que demanda más recursos de hardware, y porque el modelo presenta el aspecto actual con sus deterioros y faltantes.

Con base en el registro fotográfico, se realiza el dibujo bidimensional de todos los relieves escultóricos, el dibujo vectorizado es más fluido y limpio que el trazo realizado con medios analógicos y tiene la ventaja de que se puede reproducir a cualquier escala sin perder resolución ni calidad, puede utilizarse como base para generar modelos tridimensionales y para dibujar texturas.

Con base en el levantamiento, en las referencias visuales y en los dibujos vectorizados, se realiza el modelo tridimensional mediante procesos de extrusión y biselado, con partes generadas por revolución y otras por subdivisión, cada elemento se hace por separado y solo al final se reúne todo en un modelo completo. Es indispensable justificar cada elemento para evitar conjeturar respecto a la forma, finalmente, se asignan texturas y materiales para representar el acabado que la hipótesis arqueológica indica que tuvo el monumento.

Para ejemplificar el procedimiento de elaboración de la recreación digital de un monumento arqueológico, se modelará la pirámide B o templo de Tlahuizcalpantecuhtli de Tula Grande durante su periodo de apogeo (900-1100) debido a que el simbolismo de este edificio representa, en palabras de Leonardo López Luján y de Alfredo López Austin, el desarrollo de todo un nuevo sistema religioso, político y cultural basado en el mito unificador de Quetzalcóatl que cambió a toda la región durante el periodo Epiclásico (López y López, 2017, 40) y además porque el edificio posee muchos elementos representativos de la Arquitectura Mesoamericana.

La información de la recreación se basa en los trabajos de los especialistas del sitio avalados por el INAH: Guadalupe Mastache, Robert Cobean y Elizabeth Jiménez. La pirámide B de Tula ha estado en medio de la polémica por la manera apresurada en que se realizó su reconstrucción física sobre el vestigio a cargo de Jorge Acosta, no es un objetivo en este trabajo entrar a esa discusión, la recreación digital presenta la hipótesis arqueológica, el modelo digital no afecta al bien patrimonial, solo lleva a cabo la sustitución de la realidad por su representación y solamente presenta una recreación hipotética del pasado en el presente.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar un método para realizar el modelo digital de un monumento arqueológico en su época de apogeo mediante el análisis de la forma, de analogías y de referencias bibliográficas, con el uso de programas de modelado 3D y dibujo vectorizado, como una herramienta de registro, de análisis y de divulgación del patrimonio cultural.

### **Objetivos Particulares.**

- Caracterizar la evolución y utilidad del dibujo de monumentos arqueológicos para el registro, análisis y la divulgación del patrimonio.
- Establecer una propuesta metodológica para realizar el modelo digital de un monumento arqueológico en su época de apogeo mediante el análisis de la forma, de analogías y de referencias bibliográficas, con el uso de programas de modelado 3D y dibujo vectorizado.
- Ejemplificar la propuesta metodológica mediante el proceso de acopio de referencias, dibujo, modelado y texturizado de la interpretación geométrica que constituye la reconstrucción digital, basada en la hipótesis arqueológica, de la pirámide B de Tula Grande durante su periodo de apogeo (900-1000 D.C.)

### **Estado del arte**

Entre los meses de marzo y septiembre de 2010 se presentó en el Museo Nacional de Antropología la exposición titulada “Seis Ciudades Antiguas de Mesoamérica” ([Seis ciudades de Mesoamérica, 2011](#)) a cargo del INAH; como complemento a la colección se presentaron ilustraciones digitales en gran formato de las ciudades en su época de apogeo, las imágenes fueron realizadas por la empresa Tlamachqui dirigida por el arquitecto Juan Monsiváis y fueron generadas por medio de una recreación digital 3D.



Las ciudades presentadas en la exposición eran: Monte Albán, Palenque, Tajín, Teotihuacán, Tenochtitlan, y Tlatelolco. El curador fue Eduardo Matos Moctezuma y contó con el apoyo de varios especialistas para cada ciudad, entre ellos los arqueólogos: Nelly Laura Filloy Nadal, Patricia Castillo Peña, Alejandro Sarabia, Bertina Olmedo y Diana Magaloni Kerpel. La presentación de imágenes generadas mediante modelos virtuales en el principal museo de antropología del país con el apoyo de tantos especialistas constituye un paso importante en el aprovechamiento de estas nuevas herramientas. ([Seis ciudades de Mesoamérica, 2011](#)).

En el ámbito internacional de la recreación digital arqueológica existen muchos proyectos, destaca *Rome Reborn* que es una iniciativa que comenzó a mediados de los noventa dedicada a la construcción de modelos digitales de la antigua ciudad como se veía alrededor del año 320 D.C. *Rome Reborn VR* es una serie de aplicaciones de realidad virtual y animaciones que presentan recorridos individuales de la ciudad como el Foro Romano, el Coliseo, el Palacio Imperial, el Panteón y una vista panorámica de la ciudad.

“El proyecto ha sido ampliamente difundido por publicaciones como Newsweek el New York Times o Scientific American y las animaciones han sido publicadas en internet dentro del sitio Smarthistory que es el más popular en el mundo dedicado a divulgación histórica” ([About us, 2018](#)).

*Rome reborn* fue presentado como proyecto destacado en SIGGRAPH 2008, la convención que presenta los avances de la graficación por computadora, las animaciones se exhibieron en pantalla gigante a la entrada del centro de convenciones de Los Ángeles California.

El Proyecto Templo Mayor ha incorporado recientemente técnicas de registro digitales. Con la dirección de Leonardo López Luján y la colaboración de un equipo dirigido por Saburo Sugiyama de la *Universidad Prefectural de Aichi* de Japón se han realizado levantamientos topográficos tridimensionales que georreferencian los edificios y las plazas que están actualmente expuestos de la zona arqueológica. Los modelos vectoriales conservan la geometría y los rasgos particulares del objeto original. “Hasta noviembre de 2015 se ha obtenido la topografía de un área de 18 mil metros cuadrados” ([Jiménez-Badillo, 2017, 73](#)).

En 2015 la televisora mexicana Canal Once presentó la producción original *México en la edad de hielo* a cargo del documentalista Fabricio Feduchy. La serie es un trabajo de divulgación del patrimonio paleontológico de México, el documental presenta, mediante recreaciones virtuales, la forma en que se veía el país durante el pleistoceno y los fenómenos que provocaron la extinción de la megafauna. La serie se produjo para ser transmitida por televisión y se realizó una adaptación especial para ser proyectada en el domo del planetario Luis Enrique Erro. ([México en la edad del hielo, 2015](#))

Las recreaciones digitales de monumentos arqueológicas y de edificios históricos son utilizadas actualmente para generar animaciones didácticas que presentan el aspecto que tuvieron a través del tiempo y para mostrar procesos constructivos. Un ejemplo es el documental animado *Notre Dame de París, la prueba de los siglos* de Emmanuel Blanchard, producción francesa realizada a propósito de actual restauración obligada por el incendio de 2019 que dañó seriamente al monumento.

La animación presenta el proceso de más de 700 años de construcción y restauración de la catedral de Notre Dame. El documental utiliza modelos 3D del edificio y de los personajes, así como animación por medio de captura de movimiento, fue realizado por el estudio francés independiente *SolidAnim* especializado en animación y producción virtual. ([SolidAnim, 2020](#))

## **1. Marco Teórico y referentes institucionales**

En 1939, en el marco del XXVII Congreso Internacional de Americanistas, se creó el Comité Internacional para el Estudio y distribuciones Culturales de América, en el participó Paul Kirchhoff, quien nació en Horst Alemania y llegó a México por el inicio de la segunda guerra mundial, en 1943 crea el concepto de *Mesoamérica*. ([Matos, 2017b, 90](#))

Miguel Othón de Mendizábal establece las diferencias entre las culturas establecidas al norte del país y las mesoamericanas, menciona como características propias de estas últimas a el uso de la pirámide como elemento de la arquitectura, el plano general de sus

grandes ciudades sagradas, la religión politeísta y panteísta y un profundo conocimiento de los fenómenos celestes. (Matos, 2017b, 90)

El desarrollo del turismo cultural y la idea de fortalecer la identidad nacional promovieron, en los años cuarenta, el rescate y la reconstrucción de las zonas arqueológicas del país. Si bien se realizaron intervenciones prudentes y respetuosas, la presión gubernamental apresuró la reconstrucción de algunos edificios. Salvador Diaz-Berrio califica como un exceso, por ejemplo, a la reconstrucción física que se realizó de la pirámide B de Tula a cargo de Jorge R. Acosta. (Díaz-Berrio, 2004, 44) Sin embargo, como se mencionó anteriormente, no se busca discutir este punto, sino ejemplificar un método basado en una hipótesis arqueológica aceptada por el INAH.

La carta de Venecia, de 1964, define como monumento histórico a “La creación arquitectónica aislada, así como el conjunto urbano o rural que da testimonio de una civilización particular, de una evolución significativa, o de un acontecimiento histórico. Se refiere no sólo a las grandes creaciones sino también a las obras modestas que han adquirido con el tiempo una significación cultural” (ICOMOS, 1964, 1).

La carta de Venecia también señala que la restauración de un monumento solo debe realizarse en ciertos casos justificados, menciona que “la restauración es una operación que debe guardar un carácter excepcional y que tiene como fin el conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento y enfatiza el respeto hacia los materiales antiguos y los documentos auténticos” (UNESCO, 1964). Todo trabajo de conservación debe estar respaldado por una investigación para no falsear la información que se presenta al público sobre el monumento arqueológico. De acuerdo con el restauro científico, toda intervención al monumento debe ser justificada, reconocible y documentada.

En México y en otros países se ha vivido tensión y desacuerdos entre los defensores del respeto al patrimonio existente y los partidarios de la reconstrucción sobre los vestigios encubierta con el nombre de restauración, justificándola como didáctica, más atractiva para el turismo o bien fundamentada y según Diaz-Berrio “también por ser, en realidad, más

atractiva políticamente, más visible y más inaugurable, y por significar más obra, más gasto y más ganancias” (2002, 22).

A partir de los años sesenta se construyen los museos de sitio, en ellos los visitantes reciben más información de los edificios antes y después de las intervenciones. En los museos es posible reconstruir, pero de manera virtual, los monumentos arqueológicos mediante maquetas, dioramas y actualmente con herramientas digitales sin afectar las ruinas originales. El museo de sitio es el lugar ideal para documentar el estado de la zona arqueológica antes de ser intervenida y presentar los procesos de consolidación y, en su caso, de restauración, para permitir que el público conozca el aspecto que tenía al ser encontrada y los trabajos que se han llevado a cabo a lo largo del tiempo.

El Consejo Internacional de monumentos y de sitios (ICOMOS), fue fundado en 1965 con el objetivo de conservar y proteger monumentos, conjuntos y sitios del patrimonio cultural.

El patrimonio cultural en México se ordena y se clasifica conforme el marco jurídico vigente; *La Ley Federal sobre Monumentos y Zonas arqueológicas, históricos y Artísticos* de mayo de 1972 con su actualización publicada en el Diario Oficial de la Federación en 2018. Esta ley determina que un *bien cultural arqueológico* es todo testimonio material creado y/o producido antes del establecimiento de la cultura hispánica, es común escuchar que a una pieza arqueológica también se le denomine como *prehispánica o precolombina*. (DOF 16-02-2018)

Los *monumentos históricos* son aquellos que fueron construidos a partir de la llegada de los españoles y hasta el siglo XIX. Pueden ser bienes muebles o inmuebles. La misma Ley denomina *monumentos artísticos* a todos aquellos producidos a partir del siglo XX. (DOF 16-02-2018). Se conoce como “patrimonio paleontológico a los vestigios de animales cuyo origen se remonta a millones de años y hasta su desaparición hace aproximadamente 10,000 años” (DOF 16-02-2018)

La carta internacional para la gestión del patrimonio arqueológico, adoptada por la Asamblea general del ICOMOS en 1990, menciona en su apartado sobre presentación, información y reintegración, que mostrar ante el gran público el patrimonio arqueológico es un medio esencial para promocionarlo y dar a conocer los orígenes y el desarrollo de las sociedades modernas y que además es el medio más importante para demostrar la necesidad de proteger el patrimonio. La presentación debe constituir una divulgación del conocimiento científico y estar sometida a revisiones frecuentes. (ICOMOS, 1990) Por lo tanto, hace evidente la necesidad de documentar toda representación visual que se haga del patrimonio para su divulgación.

La Carta de ICOMOS de 2008 para la Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural de 2008 destaca la importancia de la presentación e interpretación como elementos de conservación del patrimonio, son herramientas básicas para la apreciación y comprensión del público. (ICOMOS 2008)

La carta menciona que las fuentes de información para la interpretación y presentación se deben basar en evidencias obtenidas a partir de métodos científicos o de tradiciones culturales vivas, En cuanto a las reconstrucciones visuales la carta menciona:

Las reconstrucciones visuales, ya sean realizadas por artistas, arquitectos o diseñadas mediante ordenador se deben basar en un análisis detallado y sistemático de los datos medioambientales, arqueológicos, arquitectónicos e históricos, incluyendo el estudio de las fuentes escritas, orales e iconográficas, así como de la fotografía. Las fuentes de información en las que se basen tales reproducciones deben documentarse de forma clara y es preciso facilitar reconstrucciones alternativas, cuando esto sea posible, basadas en las mismas evidencias para su comparación (ICOMOS, 2008)

La *Carta de Londres* emitida en el King's College en 2006 con versión corregida en 2009 se generó a raíz del análisis crítico de investigadores como Nick Ryan y Joan Barceló, especialistas en recreación de objetos y monumentos arqueológicos. La carta de Londres menciona los riesgos en la credibilidad y validez de las reconstrucciones virtuales arqueológicas. El documento establece una serie de recomendaciones para el uso de los

métodos y de los resultados de la visualización tridimensional en el campo de la investigación, divulgación y difusión del patrimonio cultural, sus objetivos son:

- Proporcionar un punto de referencia ampliamente aceptado por todos los profesionales implicados en este campo
- Promover el rigor intelectual y técnico en tales usos
- Permitir que métodos y criterios de evaluación apropiados puedan ser determinados y aplicados
- Estimular el debate sobre cuestiones metodológicas
- Ofrecer unos sólidos fundamentos sobre los que la comunidad de especialistas pueda elaborar criterios y guías mucho más detalladas
- Garantizar que las estrategias de sostenibilidad y correcto acceso puedan ser decididas y aplicadas
- Permitir que la visualización tridimensional rigurosa contribuya plenamente al estudio, interpretación y gestión de los bienes culturales ([The London charter, 2009](#))

En 2011, dentro del *Fórum Internacional de Arqueología Virtual*, celebrado en España, se establecen los *Principios de Sevilla*, lineamientos basados en la Carta de Londres que tienen como objetivo convertir a la arqueología virtual en una disciplina científica. Los principios son: interdisciplinaridad, finalidad, complementariedad, autenticidad, rigor histórico, eficiencia y transparencia científica. ([Seville principles, 2011](#))

En 2014 se fundó la Dirección de Innovación Académica en la Secretaría Técnica del INAH con el objetivo de crear estrategias y apoyar proyectos e iniciativas “que permitan una mayor sensibilización hacia la investigación y difusión del patrimonio, su investigación y su difusión aprovechando las nuevas tecnologías digitales”. ([Jiménez-Badillo, 2016, 35](#))

Para 2015 surge la Red Temática Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural a cargo del INAH y de CONACYT que, entre otras tareas, se encarga de mostrar y promover el trabajo de registro y de reconstrucciones digitales de zonas arqueológicas del país. ([Jiménez-Badillo, 2016, 36](#))

En 2014 y en 2015 se llevaron a cabo las dos primeras emisiones del Congreso Internacional de Patrimonio Cultural y Nuevas Tecnologías organizados por el INAH. Reunieron en México a diferentes especialistas internacionales relacionados con el

patrimonio cultural y el uso de nuevas tecnologías. El Congreso dejó tres grandes conclusiones:

- México, gracias a su enorme patrimonio material, puede ser considerado uno de los líderes regionales en la aplicación de tecnologías para la preservación e investigación del patrimonio. Sin embargo, la difusión a través de nuevos medios está desarticulada debido a las acciones dispersas y a la falta de líneas claras sobre su desarrollo.
- La riqueza del patrimonio inmaterial de México es inabarcable. El uso de tecnologías digitales para su preservación y difusión es casi nulo, por lo que existe una gran área de desarrollo con ineludibles retos y enormes posibilidades.
- Casi todos los trabajos que implican el uso de nuevas tecnologías para la difusión del conocimiento en zonas arqueológicas, museos e instituciones culturales son desarrollados por empresas privadas. (Jiménez-Badillo, 2016, 36)

Esto último puede ser positivo para el desarrollo de empresas creativas en el país, pero puede ir en contra de las instituciones que salvaguardan la historia y el patrimonio porque “obedece a una relación cliente-proveedor y la legitimidad de la información podría estar comprometida” (Jiménez-Badillo, 2016, 36).

## 2. Marco Histórico

En Mesoamérica, al periodo ocurrido aproximadamente entre el 650 y el 1000 se le conoce como Epiclásico, es el tiempo de transición ocurrido entre el periodo Clásico y el Posclásico. A partir de la caída de Teotihuacan los centros urbanos en distintas regiones establecieron nuevas formas de organización política, militar y religiosa. Libres del dominio teotihuacano, establecieron nuevas formas de gobierno que habrían de caracterizar el periodo Posclásico. (López, 2001, 17)

El Epiclásico fue el tiempo de expansión del mito unificador de Quetzalcóatl, capaz de combinar dioses patronos diferentes y de Tollan, su mítica ciudad originaria. Para los pueblos Mesoamericanos, cada grupo étnico tenía un dios patrono que le daba una profesión y una lengua lo que le daba una identidad fundamental en sus relaciones políticas hacia el exterior y también legitimaba a la autoridad gubernamental; la autoridad real se basaba en la supuesta proximidad entre el soberano y el dios patrono, “el gobernante era

como un hermano mayor para sus súbditos que funcionaba como intermediario con la deidad". (López y López, 2017, 40)

Los regímenes del Posclásico consiguieron un dominio regional mediante una estructura político-económica muy formalizadas. Sus capitales no eran solamente alianzas militares sino órganos jurisdiccionales de complejidad administrativa. López Austin y López Luján llaman a este sistema como *Zuyuano* debido a que Zuyúa es uno de los nombres que daban a *Tollan*, lugar mítico del que proclaman ser originarios. (2017, 40)

El sistema Zuyuano es multiétnico; respetaba la diversidad con la concepción de que los hombres fueron creados por el mismo dios, pero en grupos diferentes, cada grupo era un elemento complementario dentro de un sistema complejo al servicio de los dioses con una misión particular.

El sustento mítico y religioso de la ideología zuyuana, a pesar del apoyo militar de los difusores, intentaba convencer en lugar de imponer. Puede considerarse como una adecuación mítico-religiosa a las necesidades políticas; acentuaría algunos mitos y desarrollaría otros, aumentaría o disminuiría la importancia de divinidades específicas, transformaría o implementaría nuevos rituales. El sistema procuraría mantener un equilibrio entre sus creencias y las de la población nativa fiel a sus tradiciones y susceptible a los cambios.

Las ciudades en el Epiclásico fueron establecidas en puntos estratégicos y construidas en base a una planeación defensiva; en el altiplano central proliferan representaciones iconográficas alusivas a la guerra como guerreros armados, depredadores devorando corazones y tzompantlis. Los pueblos más fuertes se imponían a los débiles, pero les permitían conservar a sus dioses estableciendo que esos dioses obedecían al dios tutelar Quetzalcóatl, el proceso de expansión era sincrético e híbrido. (López y López, 2017, 40)

Muchos pueblos posteriores a Tula proclamaban ser sus descendientes, buscaban legitimar su autoproclamada relación con Quetzalcóatl. Las personas solían visitar las ruinas de la



antigua ciudad y realizaban ahí actos de culto. De acuerdo con López Luján, las ruinas de Tula fueron despojadas de muchos de sus objetos porque quienes las visitaban buscaban las cosas que habían sido usadas en los tiempos de gloria de la ciudad, las consideraban materia sagrada y las llevaban con ellos. (López, 2007, 56)

Para los mesoamericanos, los dioses se alojaban en los objetos con los que se identificaban, de manera semejante a las imágenes de los santos hoy en día. Ese era el valor de la escultura. “Los dioses se introducen en sus imágenes porque lo semejante va hacia lo semejante. Se reconocen en ellas, y las porciones de fuerzas divinas se vierten en sus recipientes visibles” (López, 2006, 178). Los pueblos del centro de México obtenían y reutilizaban las antigüedades toltecas.

Los artistas mexicas imitaron los vestigios toltecas en Tenochtitlan; esculturas de guerreros atlantes, portaestandartes, cabezas de serpiente monumentales, chacmoles, relieves zoomorfos y de procesiones de guerreros, braseros con forma de Tlaloc y cenefas policromadas sobre aplanados de estuco. Algunos autores proponían, incluso, que las banquetas de estilo tolteca halladas en Tenochtitlán habían sido obtenidas en las ruinas de Tula, López Luján aclara que el estilo y acabado eran muy similares, pero los materiales y el proceso de construcción eran diferentes. “Los análisis petrográficos, tecnológicos y estilísticos de las banquetas de la Casa de las águilas indican que son copias arcaizantes”. (2007, 64)

El tributo era esencial para el mantenimiento del imperio mexica, además de lo económico, los mexicas reunían objetos de diversos tiempos y culturas, aunque no tuvieran utilidad práctica o valor mercantil. En el Coateocalli, o Casa de los diversos dioses, se guardaban representaciones de distintas deidades de los pueblos sometidos. (Fernández, 2000, 18)

La actividad del coleccionismo originó los actuales museos, estos eran abastecidos por compras, donaciones o saqueos. La colección requiere de espacios para ser colocada y apreciada. En la edad media los tesoros eran guardados en templos, monasterios y catedrales, pero también existían las colecciones de particulares.

Durante la colonización europea, los sitios en los que se guardaron las esculturas y los testimonios materiales de las sociedades antiguas africanas, oceánicas y americanas fueron los gabinetes de curiosidades. Junto a las cámaras de tesoro de las iglesias aparecen los gabinetes. La diferencia radica en que estos gabinetes contenían objetos en su mayoría paganos mientras que en las iglesias eran sacros. (Ocampo, 2011, 83)

Dentro de los gabinetes se guardaban tanto objetos procedentes de la naturaleza como los hechos por el hombre; los *naturalia*, es decir los elementos naturales que poseían un atractivo especial por sus características, incluían fósiles, animales raros disecados, conchas, colmillos o cuernos de animales o partes de peces. Los *artificialia* son los objetos hechos por el hombre que provienen de sociedades consideradas primitivas y eran obtenidos por la colonización. (Ocampo, 2011, 83)

En los siglos XIV y XV, la aparición de las órdenes mendicantes supuso un cambio en la vivencia religiosa de los fieles; estas órdenes pretendían un acercamiento de lo sagrado al pueblo, y el adoctrinamiento y enseñanza de la fe. Las imágenes religiosas se multiplicaron a partir de entonces y surgieron representaciones teatrales de carácter religioso. Estas órdenes acompañaron a los europeos en la colonización de América con la misión de adoctrinar a los indios con la nueva religión.

Las primeras descripciones de los lugares que ahora llamamos zonas arqueológicas fueron dadas por las crónicas de los conquistadores, los conquistados y los frailes. Según Miguel de León-Portilla, la sola observación de los vestigios del Templo Mayor de Tenochtitlan no permitiría entender su extensa significación, debido a que los conquistadores se dedicaron a destruir la ciudad, “no sería posible para la arqueología por si misma describir el lugar” (2009, 28).

El documento cartográfico europeo más temprano de una ciudad mesoamericana es el Mapa de México-Tenochtitlan que fue mandado a hacer por Hernán Cortés y enviado al rey de España junto con la segunda carta de relación. Se publicó en 1524 y muestra las

ciudades de Tenochtitlan y Tlatelolco, en el destacan la plaza principal y el templo mayor. (Matos, 2017a, 96)

La diversa procedencia de los cronistas hace necesario tener en consideración ciertas limitantes, Eduardo Matos menciona que los relatos de los soldados suelen engrandecer la empresa militar “y en ocasiones ocultan algún pasaje en que se actuó mal” (2017a, 89). Son cronistas soldados Hernán Cortés con sus *Cartas de Relación* y Bernal Díaz del Castillo con la *Historia verdadera de la Conquista de la Nueva España*, también Andrés Tapia y el llamado *conquistador anónimo*. (Matos, 2017a, 89)

Los cronistas frailes como de Las Casas, Sahagún, Durán, Motolinía, Mendieta, Olmos, Landa y Burgoa, relatan los pormenores de la vida cotidiana y las costumbres de los pueblos indígenas. Uno de los motivos de sus escritos era instruir a los demás frailes para que no fueran engañados por los pobladores y para que no confundieran sus rituales paganos con algún ritual cristiano. (Matos, 2017a, 91)

El significado original de la palabra *codex*, de donde se deriva *códice*, es tronco, del que se deriva otra acepción: la de *tablillas donde se escribe*. En ellas en la antigüedad los escribanos registraban una gran variedad de textos. (León-Portilla, 2003, 12)

Del siglo XIV al XVI se conservan unos quince códices, provienen del ámbito Mixteco, Maya y del Altiplano Central. son conocidos por los nombres de quienes los poseyeron o de los lugares donde se conservan. Sobresalen los nombrados *Borgia*, *Fejervary-Mayer*, *Bodley*, *Laud*, *Vindobinense*, *Nuttall*, *Vaticano B*, *Dresde* y *Tro-Cortesiano*” (León-Portilla, 2003, 16).

En la época colonial se produjeron muchos códices, pero ahora diferentes, además de pertenecer a un orden político y social distinto, tienen un nuevo estilo gráfico; los frailes ordenaban a los dibujantes a utilizar sus cánones de proporción al estilo europeo. El historiador Pablo Escalante Gonzalbo describe este fenómeno como “La extinción del lenguaje pictográfico que será paulatinamente remplazado por la pintura” (1999, 51).

Las imágenes de registro, a lo largo de la historia, cuentan con una carga interpretativa y artística de su realizador, el problema era la falta de un método científico en la catalogación e identificación tipológica de elementos arquitectónicos que podía llevar a los autores a cometer errores significativos.

El sacerdote jesuita Francisco Javier Clavijero (1731) publica en 1780 la *Historia Antigua de México*, su trabajo es, a decir de Eduardo Matos, “el primer trabajo visto por un historiador, en dar un panorama del México Prehispánico” (2017a, 193).

Durante las tres últimas décadas del siglo XVIII, las ciencias y las artes prosperaron en el territorio novohispano, se encontraron monumentos prehispánicos muy importantes como la Coatlicue, la Piedra del Sol y la Piedra de Tizoc. En esa época la enseñanza en la Ciudad de México comenzó a abandonar la escolástica de la iglesia mediante la fundación de instituciones vanguardistas, entre ellas el Colegio de Artes y Oficios para Mujeres de las Vizcaínas, la Real Escuela de Cirugía, la Real Academia de las Tres Nobles Artes de San Carlos, la Academia Pública de Medicina y el Real Seminario de Minas. (López, 2015, 25)

La nueva atracción por las culturas del Nuevo Mundo prehispánico fue impulsada por Carlos III y Carlos IV de España y su gusto por la arqueología. Ambos monarcas promovieron exploraciones arqueológicas en Nápoles, específicamente en Pompeya, Herculano y Estabia. Estas actividades formaban parte de una estrategia política para vincularse, ante propios y extraños, con el glorioso pasado del Imperio Romano. (López, 2015, 26)

Las primeras publicaciones mexicanas sobre arqueología, de 1748, versaban sobre los descubrimientos en Nápoles y no sobre las culturas prehispánicas. Con estas publicaciones y con la llegada de lujosos libros impresos por la Estampería de Nápoles sobre sus excavaciones, estudiosos locales como el sacerdote José Antonio de Alzate y Ramírez (1777) comenzaron a demandar que se realizaran excavaciones en la Nueva España con el fin de encontrar las antigüedades. (López, 2015, 29)

El astrónomo y anticuario Antonio de León y Gama (1792) mencionaba que en la plaza principal de la ciudad de México y en el barrio de Santiago-Tlatelolco debía haber muchos monumentos enterrados y que si se hicieran excavaciones se podrían encontrar muchas piezas y tesoros de la antigua Tenochtitlan. (López, 2015, 29)

Durante el colonialismo del siglo XIX, las expediciones científicas, militares y comerciales llevaron muchos objetos a las colecciones de los museos etnológicos, fundados a partir de mediados del siglo, en las principales ciudades europeas. “Su carácter dependiente de las empresas coloniales era del todo evidente, no sólo por la constitución de sus principales colecciones, sino también por la ideología que los sustenta y los fines que persigue, en su mayoría propagandísticos de la expansión colonial” (Ocampo, 2011, 85).

El Barón alemán Alexander von Humboldt (1769) fue un viajero y sabio politécnico. En compañía del botánico Aimé Bonpland (1773) llevó a cabo un viaje de cuatro años por Cuba, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. Posteriormente, llegaron a México el 23 de marzo de 1803. (Iturriaga, 2014, 23)

En 1810, Von Humboldt publica en París el libro *Vistas de las Cordilleras y monumentos de los pueblos indígenas de América*; ahí presenta un estudio de sitios, piezas y códices prehispánicos, el libro contiene diversas ilustraciones tanto de América del Sur como de la Nueva España a la que corresponden 32 láminas de edificios, esculturas y códices mexicanos; el libro contiene dibujos y descripciones de los códices *Borgia*, *Vaticano* y *Telleriano-Remensis*. En cuanto a piezas destacan la Coatlicue y la piedra del sol. Eduardo Matos menciona que “la importancia de Humboldt estriba en que a través de sus obras va a dar a conocer a México en Europa” (Matos, 2017a, 247).

El *arqueólogo-viajero* Guillermo Dupaix (1748) nació en la provincia flamenca de Salm, en Luxemburgo, pero se puede considerar nacionalizado español porque ingresó al ejército real y estuvo al servicio de la corona por más de tres décadas. (Iturriaga, 2014, 33)

Dupaix llevó a cabo tres expediciones arqueológicas patrocinadas por el rey de España, sus relatos se encuentran en el libro *Expediciones acerca de los monumentos antiguos de la Nueva España*. Las afirmaciones y deducciones de Dupaix son ponderadas y prudentes, aunque “hombre de su tiempo, con frecuencia compara los monumentos precolombinos con los del antiguo Egipto” (Iturriaga, 2014, 33). Era un asiduo visitante a las exposiciones de objetos que se presentaban dentro de *gabinetes de curiosidades*. (Medina, 2015, 68).

El investigador estadounidense John Lloyd Stephens (1805) y el arquitecto y pintor francés Frederick Catherwood (1799) llegaron a Honduras en busca de las ruinas de Copán el 13 de noviembre de 1839 y encontraron parte de la Acrópolis, así también recorrieron las ruinas mayas de Guatemala y México hasta llegar a Palenque en 1840.

Para realizar sus dibujos, Catherwood utilizaba una *cámara lúcida*, que es un artefacto que consiste en un prisma montado en un brazo ajustable unido a una tabla para dibujar; el aparato permite ver la imagen del edificio y la tabla de dibujo al mismo tiempo, por lo que se podía trazar con precisión. “otro aporte del artista fue el uso del daguerrotipo en la arqueología, en este viaje no solo se dibujó, también se retrataron los monumentos” (Matos, 2017a, 305).

La artista y exploradora inglesa Adela Bretón (1849) fue la primera exploradora que representó algunas de las pirámides con acabado estucado y con colores, llegó a México en 1893, en Tula dibujó el grabado de la diosa *Chalchiuhtlicue*, en Veracruz pintó la *Pirámide de los Nichos* de Tajín y el templo del Dios del Viento de Cempoala. Visitó los sitios arqueológicos de Yucatán; en Chichen Itzá pintó el templo de los Jaguares, en Uxmal el *cuadrángulo de las Monjas* y del *Adivino*. (Matos, 2017a, 367)

El investigador francés Désiré Charnay (1828) realizó exploraciones en México entre 1857 y 1886, fue de los primeros expedicionarios en utilizar una cámara fotográfica para ilustrar sus recorridos; en 1858 tomó las primeras fotografías de Mitla, Palenque, Izamal, Chichén Itzá y Uxmal. Para 1859 inició sus exploraciones arqueológicas en Yucatán, los resultados de esta expedición con fotografías de Mitla, Palenque, Izamal, Chichén Itzá y Uxmal fueron

publicadas en su libro *Ciudades y ruinas americanas*, presentado en París en 1862. (Barrera, 2015, 22)

Las imágenes fueron capturadas con negativos de colodión húmedo, un procedimiento que permitió la reproducción múltiple porque libera a la fotografía de la placa única como se hacía con el daguerrotipo, el ambrotipo y el fenotipo. (Barrera, 2015, 22)

En 1865, Maximiliano de Habsburgo asignó al Museo Nacional Mexicano un espacio propio en la actual calle de Moneda, en lo que ahora es el Museo Nacional de las Culturas. El Museo Nacional se convirtió en el órgano difusor de la arqueología y la paleontología, ahí se concentraban las investigaciones sobre el México antiguo y se estableció la Galería de Monolitos. (Matos, 2017a, 341)

Los avances en la arqueología durante el Porfiriato exaltan la expresión artística de las culturas prehispánicas y la primera valoración de lo indígena después de la independencia de México. Pintores, escultores, escritores y fotógrafos retrataron las primeras imágenes de lo indígena. Se publicó el libro *México a través de los siglos* bajo la coordinación de Vicente Riva Palacio, obra que, en opinión de Eduardo Matos, vino a continuar la tradición de obras como la *Historia Antigua de México* de Clavijero en la reivindicación del México prehispánico. (2017a, 356)

En 1885, se crea la Inspección de Monumentos, a cargo de Leopoldo Batres (1852). Para 1897 se lleva a cabo la promulgación de la *ley sobre monumentos arqueológicos*, que evita que las piezas prehispánicas sean sacadas del país, y se expropián los terrenos de la zona arqueológica de Teotihuacan para su protección. (Matos, 2017a, 355)

El Instituto Nacional de Antropología e Historia se fundó el 3 de febrero de 1939, durante el gobierno del general Lázaro Cárdenas como parte de la Secretaría de Educación Pública, se dedica a investigar, proteger y difundir el patrimonio histórico, arqueológico, paleontológico y subacuático del país. “La creación del INAH venía a llenar un vacío en lo

que al patrimonio nacional se refiere y a las investigaciones de carácter antropológico”. (Matos, 2017b, 85).

El decreto de su fundación mencionaba que las tareas del instituto eran la exploración de las zonas arqueológicas del país, la vigilancia, conservación y restauración de monumentos arqueológicos, históricos y artísticos, la realización de investigaciones científicas y artísticas que interesen a la arqueología y a la historia de México, la realización de investigaciones antropológicas y etnográficas de la población indígena del país y la publicación de obras relacionadas con estas materias.

En 1942 se incorpora al INAH la Escuela Nacional de Antropología (ENA), en 1946 se agregó el nombre de *e Historia* (ENAH). En 1943 se funda el Colegio Nacional con el fin de reconocer a los miembros destacados de la comunidad científica y cultural de México, “sus miembros son considerados como eméritos de la nación y su misión consiste en difundir el conocimiento de cada una de sus disciplinas”. (Matos, 2017b, 89)

La mayor capacidad económica de los años cuarenta, el desarrollo del turismo cultural y la idea de fortalecer la identidad nacional promovieron el rescate y la reconstrucción de las zonas arqueológicas del país. Si bien se realizaron intervenciones prudentes y respetuosas, la presión gubernamental apresuró la reconstrucción de algunos edificios. Salvador Díaz-Berrio califica como un exceso a la reconstrucción que se realizó de la pirámide B de Tula a cargo de Jorge R. Acosta. (Díaz-Berrio, 2004, 44)

Tatiana Proskouriakoff (1909) nació en Tomsk Rusia, fue epigrafista, arqueóloga y etnóloga especializada en la civilización maya, Linton Satterthwaite la invitó a participar en una expedición a Palenque y a Piedras Negras en 1936. En 1937 Sylvanus Morley observó los dibujos de la *Acrópolis de Piedras Negras* y se encargó de integrar a Proskouriakoff en los proyectos sobre la cultura maya del Instituto Carnegie para la Ciencia. (Joyce, 2007, 12)

En 1945 Proskouriakoff publica el libro *Album de arquitectura Maya*, con los dibujos de reconstrucción. En este libro, según la propia autora, “los edificios están dibujados en



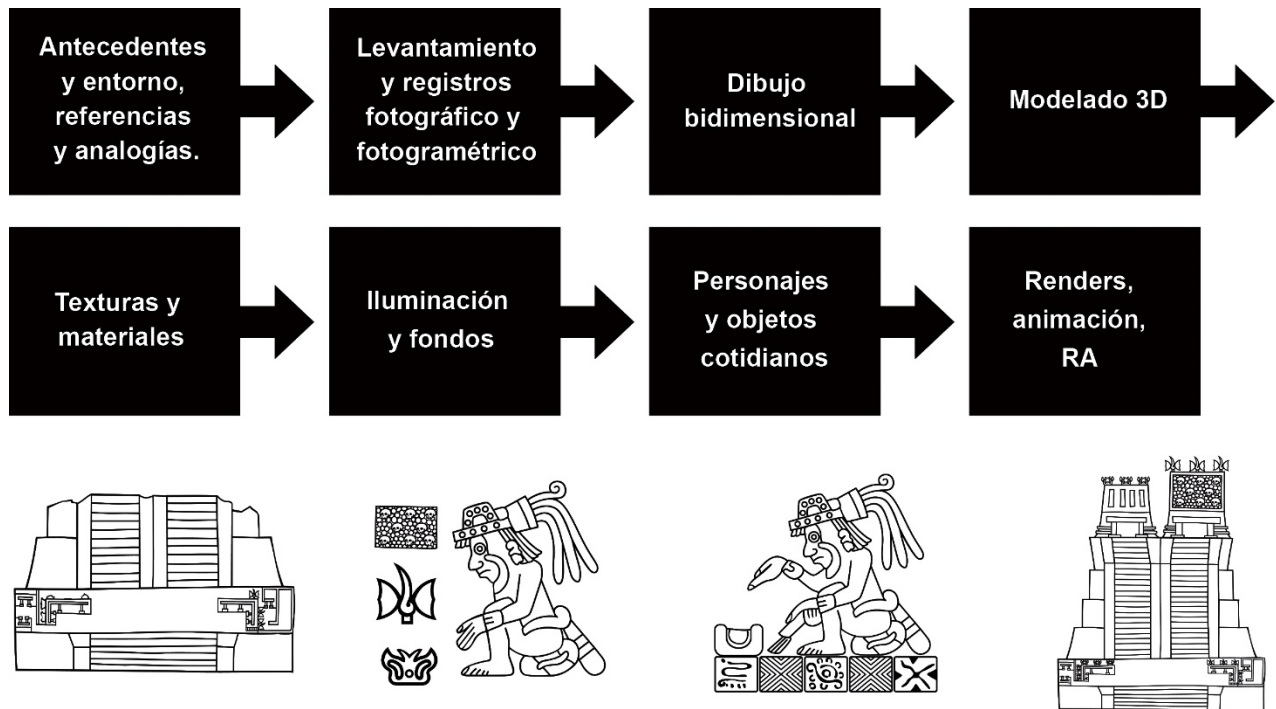
perspectiva con las medidas más precisas posibles para que la predisposición del artista influya lo menos posible en la objetividad de la recreación” (1963, xiv).

El arquitecto Ignacio Marquina (1888) trabajó junto al doctor Manuel Gamio en las excavaciones del templo mayor en el zócalo. En 1917 comenzó sus trabajos en Teotihuacan, era el encargado de la parte titulada: *La arquitectura y escultura prehispánica*. A fines de los veinte empezó a publicar comparativas de los estilos arquitectónicos en los monumentos prehispánicos. En 1951 publica el libro *Arquitectura Prehispánica*. La obra es un compendio de los estudios arquitectónicos realizados hasta 1950 y, a decir de Eduardo Matos, “no ha sido superada y se ha convertido en referencia obligada para quienes desean penetrar en el tema” (Matos, 2017b, 177).

El museo Nacional de Antropología, inaugurado el 17 de septiembre de 1964, contiene cerca de 90 murales y elementos escultóricos, algunos son apegados a la ilustración científica y otros son más enfocados a la expresión artística. José Chávez Morado realizó el mural *Expresión cultural de Mesoamérica en los periodos del Preclásico* para la sala Introducción a la Antropología y diseñó la cobertura de la columna que soportaría el *paraguas* de la plaza central, el muralista diseñó un altorrelieve de placas de bronce fundido y contó con el apoyo de un equipo técnico encabezado por su hermano Tomás para el moldeado y fundido. (Reyes, 2004, 418)

Iker Larrauri, arquitecto, museógrafo y arqueólogo enfocó su trabajo en la reconstrucción científica y se apegó a la función pedagógica del museo; sus escenas prehistóricas poseen calidad artística y didáctica. Luis Covarrubias es autor de la *Vista aérea oblicua del altiplano central de México* y de la *Vista de Tenochtitlan* en la sala mexicana, del Mapa de Mesoamérica en la sala Teotihuacan y de la *Arquitectura de Tula* en la sala tolteca, en la que dibuja la pirámide B (Reyes, 2004, 420)

### **3. Propuesta metodológica**



El trabajo de la recreación digital de un monumento arqueológico implica el conocimiento previo del objeto que se va a dibujar; comienza por establecer los antecedentes históricos para encontrar las referencias, influencias y analogías que permitan encontrar elementos para el dibujo de las partes faltantes.

Se realiza un levantamiento en sitio y un registro fotográfico en la zona arqueológica y en otros lugares que alberguen partes del edificio como museos regionales o museos de sitio. Se deben analizar todas las imágenes de referencia; códigos, fotografías, estampas, dibujos, y planos para obtener información sobre dimensiones, formas y acabados.

Se lleva a cabo el dibujo bidimensional de relieves y texturas, es prudente mencionar que esta es una de las partes más extensas del proceso. Posteriormente se realiza el modelado y texturizado de la geometría y finalmente se prepara la escena con encuadres, atmósferas e iluminación para obtener los renders.

### **3.1 Antecedentes, entorno físico, referencias y analogías.**

#### **Antecedentes y entorno físico**

La primera parte consiste en establecer los antecedentes para conocer la localización geográfica, cultural y temporal del monumento que se va a recrear. Las pirámides de Mesoamérica eran constantemente agrandadas y modificadas, por tanto, es común encontrar en los vestigios partes de diferentes etapas constructivas, en las ruinas del Templo Mayor de Tenochtitlan, por ejemplo, se observan varias cabezas de serpiente diferentes entre sí porque corresponden a diferentes etapas. Se debe determinar la época y etapa particular del monumento que se va a recrear.

El estudio no es solo de la forma arquitectónica, se deben conocer los factores políticos, económicos religiosos y etnológicos que tienen que ver con el monumento, en Mesoamérica se desarrolló una compleja red de relaciones entre las culturas y las ciudades, las influencias entre lugares diferentes en tiempo y ubicación permiten establecer semejanzas y analogías en los elementos arquitectónicos que se van a representar.

Debido a que los mesoamericanos eran comerciantes y a que daban valor a los objetos religiosos, es posible encontrar piezas escultóricas y cerámicas de diferentes lugares y épocas en otras ciudades, probablemente con un mejor estado de conservación, si es el caso, funcionan para conocer de mejor manera el aspecto que tuvieron.

Se debe conocer la orientación y el entorno físico para colocar el monumento en el entorno virtual correcto; el recorrido de la luz solar para iluminar el edificio y, de ser el caso, también emular los efectos lumínicos que ocurrían en el sitio, observar el tipo de cielo y de las nubes sirve para colocar fondos y dioramas.

Si la vegetación se encontraba cerca del monumento, se debe conocer el tipo de plantas para representar la especie correcta. Si hay elementos determinantes en el entorno, como montañas o lagos, se deben considerar en los fondos para hacer la recreación completa.

## **Búsqueda de referencias y analogías**

La recopilación de datos y referencias se hace recurriendo a las descripciones de los cronistas, a los trabajos arqueológicos y a los estudios generales de arquitectura prehispánica de Mesoamérica. Se deben observar las imágenes en los códices, estampas y dibujos en los cuales se represente el monumento porque en ellos se registraron formas y colores que probablemente ya no se conservan o están presentes en el vestigio, pero de manera ilegible. También es necesario observar de manera crítica las recreaciones anteriores en pinturas y maquetas del sitio considerando las limitaciones de los materiales con que se hicieron. Las fotografías aéreas y satelitales se usan para comprobar la orientación de los edificios y la distribución y posición de los elementos del conjunto.

### **3.2 Registro fotográfico y levantamiento en sitio**

El uso de la fotografía para el registro del arte prehispánico se remonta a la segunda mitad del siglo XIX, viajeros extranjeros como Joseph Désiré Charnay, Teobert Maler y Alfred Percival Maudslay utilizaron esta nueva herramienta para generar un testimonio visual de los vestigios de las culturas prehispánicas de México. (Barrera, 2015, 22)

Para dibujar un edificio es necesario fotografiar el espacio, registrar dimensiones, detalles, texturas, deterioros y todas las partes cuya forma se va a representar, más allá de las perspectivas artísticas, el trabajo es de registro. Los detalles se deben fotografiar colocando la cámara de forma perpendicular al objetivo y de preferencia se utiliza un lente de 50 mm. porque es el más parecido a la visión humana, los lentes de 35mm. o menos hacen parecer las formas estiradas hacia las orillas. Incluir en el registro fotografías del monumento completo sirve para dimensionar las estructuras. La presencia de algunas personas no es un inconveniente en las fotos de registro para el dibujo porque sirven como escalas humanas. La presencia de andamios y otros objetos también funciona para proporcionar.

Los materiales de los detalles, relieves y otros elementos escultóricos también se registran, aunque el material presenta deterioro y sobresale la textura rocosa, aún conserva restos del estuco y de los pigmentos que lo cubrieron, funciona para complementar las descripciones arqueológicas y justificar la presencia del color en la recreación.

Cabe recordar que las condiciones de luz influyen para el registro fotográfico; la iluminación vespertina provoca sombras más tenues y matiza los colores, los vuelve más cálidos, el origen de la luz, aunque proviene de un costado, tiene rebotes tenues entre los objetos, es la hora más conveniente para el registro. La iluminación en un día nublado modifica las sombras porque no se crean desde un punto específico, sino que se generan por la luz ambiental y por la proximidad entre los objetos y entre las partes del objeto; son sombras difusas de oclusión que no ayudan a detallar las formas.

Paul Gendrop define como levantamiento topográfico a la acción y efecto de medir un terreno o tomar las dimensiones de una construcción, trasladando los datos obtenidos al papel en forma de planos o de memoria descriptiva. (1997, 125).

En la bibliografía se pueden encontrar las dimensiones de muchos monumentos arqueológicos, pero no están todas las dimensiones necesarias para dibujar cada detalle de la estructura y los esquemas no muestran los detalles en tres dimensiones, es necesario visitar el lugar porque la percepción del espacio y la observación y el registro de todas las medidas son parte fundamental del dibujo.

El levantamiento en sitio es complicado porque la mayoría de las partes de una pirámide son inaccesibles por cuestiones de conservación; la manera de acceder a los basamentos superiores y a los adoratorios sería por las escalinatas, pero estas, en su mayoría, no son aptas para utilizarse.

Se pueden tomar medidas precisas con un distanciómetro electrónico de las bases y las plataformas accesibles y hacer un cálculo de otras dimensiones extrapolando las medidas obtenidas; por ejemplo, si la superficie del primer basamento de una pirámide es un cuadrado de 10m. por lado y la superficie de la plataforma final es de 5m. podemos calcular los intermedios, por tanto, podemos asumir que la parte media de la pirámide tendrá 7.5m. Otra forma sería dibujar una diagonal para obtener visualmente las distancias intermedias.

Si se conocen la forma y las medidas de un módulo y se sabe el número de módulos, se pueden repetir para dibujar la estructura completa, una de las ventajas del modelo digital es la facilidad para repetir objetos y colocarlos a distancias constantes.

### **Fotogrametría**

La palabra fotogrametría deriva del término fotograma, formado por *photos*, luz y *gramma*, dibujo y de *metrón*, medir, fotogrametría es medir sobre fotos (Jímenez-Badillo, 2017, 100). El objetivo de la fotogrametría es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición espacial de un objeto mediante el uso de medidas obtenidas sobre varias fotografías de ese objeto. La fotogrametría es la derivación de información métrica a partir de imágenes, se emplea una cámara que se maniobra libremente en el espacio de medición. Para registrar las posiciones relativas de la cámara y su equivalencia en las coordenadas 3D de los puntos dentro del espacio virtual, el programa encuentra píxeles homólogos dentro de una serie de fotografías traslapadas utilizando algoritmos de detección automática de rasgos visuales. Al determinar la localización de los puntos en el espacio, se puede generar el modelo. (Jímenez-Badillo, 2017, 100)

Es muy útil contar con el modelo fotogramétrico como referencia para el modelado porque ya se encuentra dentro del espacio virtual y porque se pueden ver los detalles detenidamente en las tres dimensiones. Sin embargo, para fines de recreación no funciona utilizar el modelo directamente porque es muy complicado de manipular en términos de polígonos y de asignación de texturas y, además, porque presenta el estado deteriorado actual, y como ya se mencionó, lo que se busca con la recreación virtual es una imagen del monumento en su etapa de esplendor.

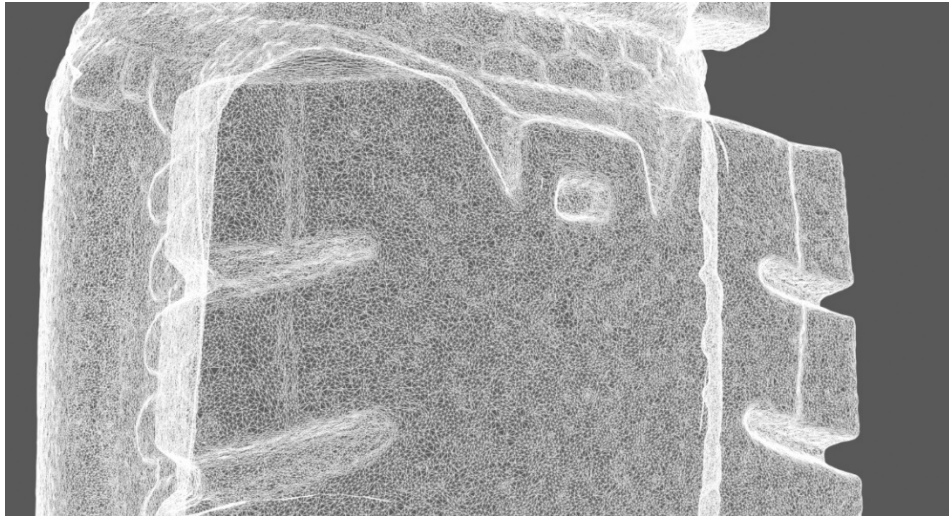


Fig. 3.5 Detalle de un modelo fotogramétrico de un atlante con una malla densa de polígonos (modelo de Gilberto García Quintana INAH)

Un modelo es siempre una reducción del original, como referencia para hacer una copia más simplificada, el volumen fotogramétrico es ideal porque tiene las medidas y características detalladas en tres dimensiones; el modelo para animación debe conservar la forma y los detalles en caso de haber acercamientos de la cámara, pero con una geometría optimizada en términos de polígonos y texturas, el modelo para aplicaciones interactivas es mucho más simplificado, se usa el menor número de polígonos antes de perder su forma básica y los detalles se representarán dibujados directamente en la textura.

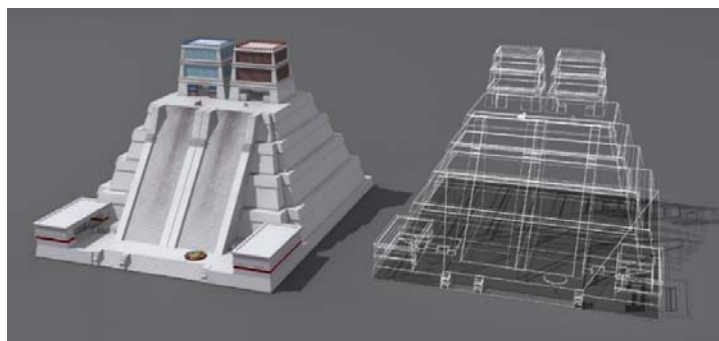


Fig.3.6 Modelo con pocos polígonos; para aplicaciones interactivas

### 3.3 Dibujo bidimensional

Las herramientas digitales de dibujo vectorial permiten un trabajo a detalle con base a las fotografías sin la necesidad de tocar el elemento, además, como lo menciona la especialista

en pintura mural prehispánica Citlali Coronel, los dibujos vectorizados son más precisos, con líneas claras y uniformes y se pueden reproducir por cualquier medio impreso o electrónico a un tamaño mayor que el original (Coronel, 2020, 74) La imagen vectorizada no también sirve de base para el posterior modelado 3D.

Coronel también menciona que el dibujo a línea es un acto que conjuga tres aspectos: la observación, la destreza del ejecutante en el uso de materiales y herramientas, incluyendo las digitales y el bagaje visual que el dibujante posee sobre el motivo que va a reproducir. (Coronel, 2020, 74)

Para representar los decorados con bajorrelieves, el proceso inicia con el dibujo de las formas bidimensionales. Se recomienda que los dibujos se realicen en *Adobe Illustrator* por la compatibilidad de formatos con programas 3D y por la facilidad en el manejo de capas para colocar la imagen base y para dibujar sobre ella. El trazo se exporta en formato de *illustrator 8*, es un formato antiguo, pero es el que respeta mejor las curvas y sus tangentes al pasar al programa 3D; las versiones actuales (CS) se importan con un exceso de vértices que desestabilizan el programa y son inmanejables.

### **3.4 Modelado 3D**

El desarrollo de las imágenes creadas por computadora inició su desarrollo durante los cincuentas en el Instituto Tecnológico de Massachussets, ahí también, se generaron los primeros procesos de producción controlados por computadora (CAM) y se implementó una tecnología capaz de ayudar a los ingenieros en el proceso de diseño de maquinaria mediante simulaciones generadas digitalmente (CAD). Wiebe E. Bijker define como marco tecnológico “a los conceptos y técnicas empleados por una comunidad en la solución de problemas” (Bijker, 2008, 111), en el caso de la representación visual y de la animación, la era digital representa un cambio trascendental de marco tecnológico con nuevas herramientas para su realización.

Puntos, líneas y superficies son los elementos básicos que componen un modelo 3D. Un punto puede ser fácilmente definido por sus coordenadas "XYZ", una línea se determina por las coordenadas de los dos puntos extremos, un borde se define por dos superficies adyacentes y una superficie se define por la relación de sus líneas. (Kerlow, 1996, 25)



La unidad básica de los objetos tridimensionales es el polígono, "Este término tiene sus raíces en la palabra *polygónon* y significa con muchos ángulos" (Kerlow, 1996, 25). Un polígono es una forma plana definida por al menos tres puntos o vértices ligados por las líneas rectas o segmentos. Los polígonos triangulares son las formas más simples con las que la geometría más compleja se va creando. Los modelos generados con software 3D están compuestos de muchos polígonos; las formas primitivas simples están compuestas por docenas de ellos, un modelo algo más complejo como la icónica *tetera de Newell* está formada por cientos. Un modelo complicado, como una figura humana, posee miles de polígonos. (Kerlow, 1996, 25)

Desde el inicio del proceso de modelado estableceremos unidades métricas dentro espacio virtual porque son las mismas con que se han trabajado las referencias y los levantamientos en el espacio real, el centro del modelo debe estar en las coordenadas de origen para que las distancias sean correspondientes a las del objeto real y cada elemento modelado por separado permanezca en su lugar al momento de reunirse en el modelo completo.

### **Extrusión y biselado**

La técnica básica del modelado tridimensional es la extrusión, que consiste en dar volumen a un objeto a partir forma bidimensional con una sección transversal definida y recta. La forma del relieve se obtiene importando el archivo de *illustrator* dentro del programa de modelado. Se puede dibujar directamente en el programa 3D, pero es más precisa y versátil la forma en que se dibuja dentro del programa 2D.

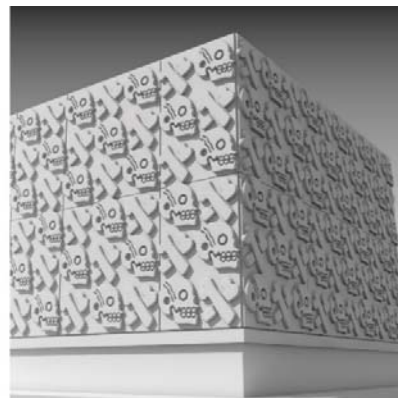


Fig. 3.4 Dibujo vectorizado y modelado por extrusión (Coatepantli de Tenayuca)

El dibujo vectorizado importado al programa 3D conserva los vértices y los controladores de las curvas tangentes, el trazo se puede modificar como *línea polinómica suave básica* o *B-spline*. Al extruir una forma, se generan las caras superiores, las inferiores y todas las que corresponden a la sección transversal, la forma base no debe tener vértices abiertos o de lo contrario la extrusión presentará huecos o caras volteadas y el volumen también estará abierto. El biselado es un proceso muy similar, pero con la posibilidad de generar un borde oblicuo, se puede hacer suavizado o afilado, en un solo paso o en varios para hacerlo más curvo, puede dibujarse de manera intuitiva o paramétrica.

### Modelo de Revolución

Para generar objetos de revolución, como un jarrón, una botella o un brasero, el proceso comienza dibujando el perfil bidimensional de un lado de la figura, se aplica el modificador y mediante la rotación del perfil se genera el objeto 3D de revolución. Se puede indicar el número de grados que va a girar y la posición del eje de rotación, así como el número de pasos para determinar la complejidad del modelo. El proceso puede dar resultados suavizados o en facetas.

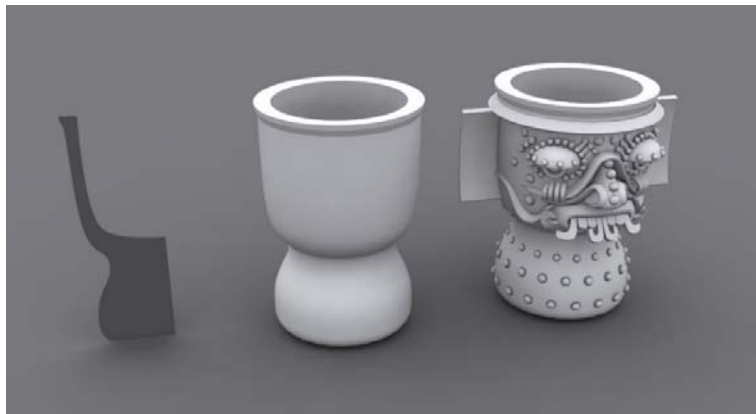


Fig. 3.7 Modelado por revolución (brasero tipo Tlaloc)

### Modelado Subdivisional

Todos los programas de modelado tienen una serie de figuras *primitivas* u objetos base; esferas, cubos, cajas, conos, cilindros etc. Se generan determinando el punto de origen, las dimensiones y el número de caras. Se debe mantener siempre el modelo con el menor

número de elementos de acuerdo con las necesidades para que el programa no se sature de información. La superficie de un polígono se edita por partes seleccionando vértices o caras, a partir de una cara se pueden ir generando nuevos segmentos mediante extrusiones y subdivisiones para conformar un objeto más complejo. Al terminar la edición del polígono se aplica un modificador de suavizado para dar un aspecto más orgánico al modelo.

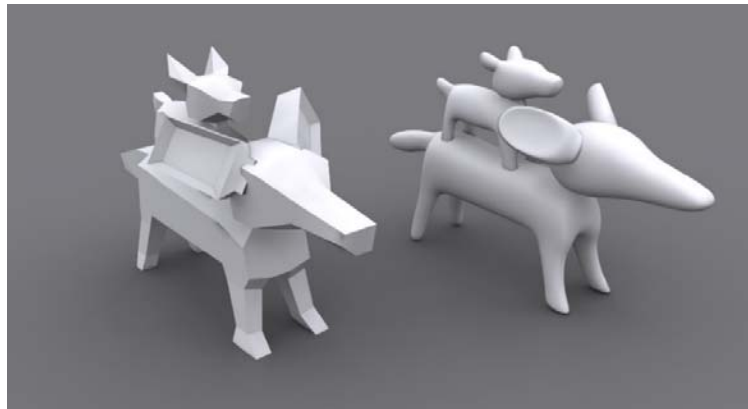


Fig. 3.8 Modelado por subdivisión y suavizado del modelo (figura zoomorfa de Tlatelolco)

### 3.5 Texturas y materiales

Un editor de materiales se utiliza para determinar el aspecto de un modelo; su color, su rugosidad, su transparencia etc. Si la luz va a incidir sobre el objeto y esta va a despedir un brillo limpio sería indicio de una superficie pulida, por el contrario, si la luz se dispersa en todas las direcciones sugiere una superficie áspera. En la graficación por computadora pensamos en términos de mapas de color, de rugosidad y de la forma de reflejar la luz. Podemos utilizar estos conceptos para encontrar el equivalente en términos de la física natural. (Color, textura, transparencia, brillo, luz y sombras (Demers, 2002, 8).

El *shader*, o tipo de material, es la característica que va a dar su aspecto al objeto; la manera en que incide y rebota la luz, los *shaders* combinan diferentes cantidades de las luces ambiental, difusa y especular para simular el aspecto de los diferentes tipos de materiales.

Dentro de cualquier programa de 3D, existe un número de modelos de “shaders” prediseñados. “Estos normalmente tienen el nombre de la persona que los desarrolló como “Blinn” (desarrollado por James Blinn), “Phong” (hecho por Phong Bui-Tong), Gouraud (autoría de Henry Gouraud), y Lambert (escrito por Johann Heinrich Lambert)”. (Rickitt, 2007, 150).

La fórmula del shader es usada por la computadora para crear la imagen final, se logra calculando la cantidad y calidad de la luz que toca a cada polígono en la superficie del modelo. Cada superficie tiene su propio color determinado por el material, así que la computadora combina el color del objeto y de la luz incidente para generar el aspecto final en el render. El *shader* indica como la luz será reflejada de acuerdo con el ángulo entre la cámara y la superficie.

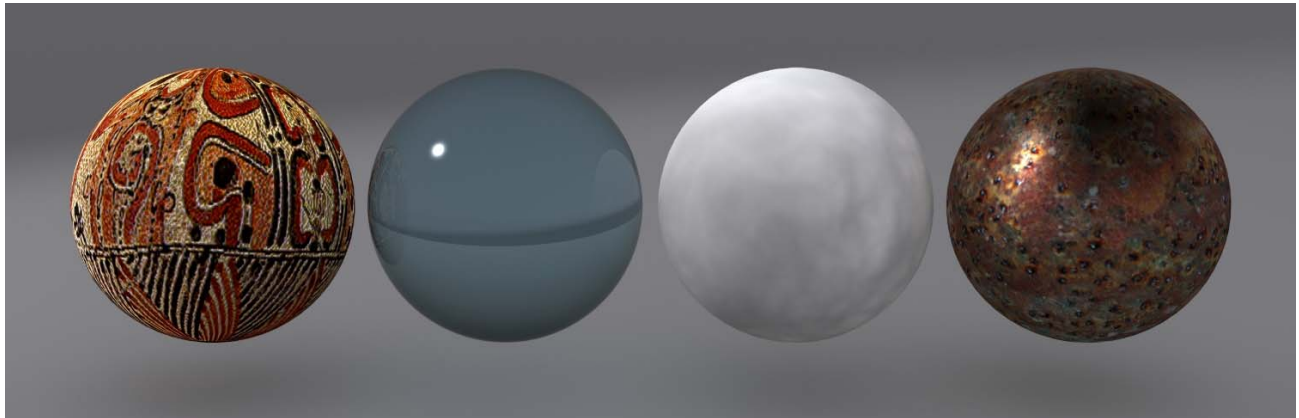


Fig. 3.9 Diferentes tipos de material (shaders)

### **Color**

La forma directa de definir el color de un material es asignando los valores cromáticos en RGB, pero si se requiere un mayor control, se puede asignar mediante un mapa de bits, se puede también, dar cierta textura -un filtro de ruido, por ejemplo- a un color aparentemente plano para añadir complejidad y realismo.

### **Rugosidad**

La rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee una superficie. En una escultura de roca porosa, el material presenta una textura rica en detalle que resulta de la combinación del relieve tallado y el relieve de la roca. Aun cuando en el mapa de color le asignamos la textura de la escultura, al proyectarle una luz esta se reflejará de manera uniforme, tendrá zonas de luz muy regulares que no corresponden a la realidad. El mapa de rugosidad responde a la escala de grises porque funciona colocando un borde oscuro del lado opuesto a donde el objeto recibe la luz, si la luz se mueve, el sombreado también intenta emular el comportamiento natural.

## **Reflexión/ Raytracing**

El mapa de reflexión es una técnica eficiente de aproximar la apariencia de una superficie reflejante por medio de una textura; esta proviene de la imagen del ambiente que rodea el objeto. Para conseguir el reflejo de esta forma se utiliza una imagen ambiental como si estuviera reflejada en una esfera, su inconveniente es la deformación poco realista que presenta hacia los polos.

La manera más exacta de generar un material reflejante es con la técnica de raytracing, esta calcula con precisión el reflejo para cada píxel en cada cuadro de la escena mediante el seguimiento de los rayos de luz que viajan desde la cámara, rebotando con las superficies, hasta llegar a la fuente de iluminación. Esto es a costa de más tiempo de procesamiento porque calcula de manera exacta el viaje de la luz para cada píxel.

## **Efecto Fresnel.**

El físico francés Augustin-Jean Fresnel realizó importantes estudios sobre como la luz es transmitida y propagada por diferentes objetos. El resultado de una de sus observaciones es actualmente conocido como el *efecto fresnel*, y afirma que la cantidad de luz que se ve reflejada en un objeto depende del ángulo de visión. Si observamos la superficie del agua desde arriba, no se nota mucha luz reflejada en ella y se puede ver lo que está al fondo, pero “si nos colocamos en un ángulo casi a la altura de la superficie, la luz especular y reflejos de iluminación son tan notorios que no se podrá ver nada que esté por debajo del agua“ (Birn, 2006, 254)

## **Mapas de bits**

Como parte de las referencias gráficas para simular un espacio se debe fotografiar la textura de todos los elementos posibles; del piso, rocas, metales nuevos y oxidados, de las paredes deterioradas o con texturizados, madera, azulejos, vidrios, letreros, cortinas, plantas etc. La calidad del render final dependerá en gran parte de los mapas que conforman las texturas, si se va a hacer un acercamiento a un elemento, la textura de su material debe ser más limpia, nítida y con mejor resolución. Para economizar el número de texturas en el programa, se deben aprovechar aquellas que puedan repetirse para formar un patrón, en

un piso formado por mosaicos, por ejemplo, utilizaremos la imagen de un módulo y el software la repetirá en lugar de colocar una gran imagen con todo el piso.

### Texturas fractales

*Fractal* es un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular, se repite varias veces a diferentes escalas, posee “autosimilitud”. Su nombre deriva del latín *fractus*, que significa quebrado o fracturado y fue creado por el matemático polaco Benoît Mandelbrot en 1975 (Mandelbrot, 1982, 1). En su libro *Introduction to The Fractal Geometry of Nature* afirma que "Las nubes no son esferas, las montañas no son conos, las costas no son círculos, y las cortezas de los árboles no son lisas, ni los relámpagos viajan en una línea recta." (Mandelbrot, 1982, 1)

Una textura fractal es un algoritmo en la computadora que genera un patrón de color basado en parámetros determinados sin la necesidad de cargar un mapa de bits, cuando se hace un render en alta resolución o un acercamiento, una textura fractal presenta más detalle porque estos patrones son matemáticamente generados a cualquier escala, tienen la misma característica de “autosimilitud” con un determinado número de iteraciones controlable en el editor de texturas, también se pueden animar con control paramétrico para representar el movimiento de elementos naturales como las ondas en el agua o el movimiento del humo.



Fig. 3.10 Material con color, rugosidad, reflexión y efecto fresnel

### Dibujo de texturas para el modelo.

Las texturas más específicas, como las de la pintura mural, se trazan en un programa de dibujo vectorial o en uno de pintura digital, se puede comenzar desde cero o basados en la digitalización de una textura real y retocarla. Al asignar la textura a la cara del objeto que

corresponde se establecen las coordenadas del mapa respecto a la superficie, se puede determinar cuantas veces se va a repetir y, de ser necesario, deformar el mapa para adaptarse a la geometría. También se determina la transparencia de la textura respecto al material.

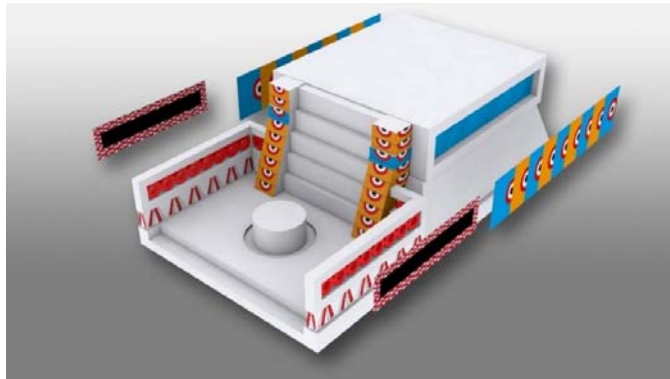


Fig. 3.11 Texturas y mapeo (Templo Rojo de Tenochtitlan)

### 3.6 Iluminación y fondos

#### Tipos de luces

Los tipos de luces que se utilizan en la escena son análogos con las fuentes de iluminación en el mundo real. “La luz puntual o luz omnidireccional se comporta como un foco; ilumina hacia todas las direcciones de manera uniforme desde un punto específico”. (Birn, 2006, 19) La luz puntual puede emular muy bien la iluminación de una lámpara, de un brasero o de una antorcha, se puede ajustar el color, la intensidad, el área de influencia y la zona de penumbra. La intensidad de la luz puede modificarse en animación, se podría imitar, por ejemplo, la iluminación discontinua producida por el fuego.

Las luces de spot son las más utilizadas porque se pueden controlar todas sus variables, se puede mover el punto de origen de la luz y el punto objetivo hacia donde se dirige, su área de influencia está determinada por un cono que apunta en una dirección determinada; este cono se compone a su vez de dos conos, uno interior y otro exterior, ambos comparten el origen y el objetivo pero tienen siempre diferente radio, el cono interior determina el área de completa iluminación mientras que el cono exterior determina el borde de influencia de

la luz; la zona entre ambos conos es la zona de penumbra, la diferencia del radio de los dos conos hace que el borde de la luz sea afilado o difuminado.

Estas luces funcionan perfectamente para simular el comportamiento de una lámpara de mano, también se pueden utilizar para representar la luz que entra por una ventana, se puede vincular a ellas un efecto de luz volumétrica fractal para simular una atmósfera polvosa. Otra ventaja que tiene esta luz es que puede utilizarse como un proyector; se vincula con un mapa, que puede ser mapa de bits o fractal, estar fijo o en animación y proyectarse sobre una superficie. De este modo, pueden simularse efectos naturales como el rebote de luz caustica de una alberca o proyectar la sombra de un objeto que no necesariamente este en la escena.

Las luces direccionales funcionan para emular la luz solar; iluminan todos los objetos con el mismo ángulo sin importar su localización con respecto a la luz, “las sombras de todos los objetos son paralelas, como ocurriría con una fuente de luz muy lejana”. (Birn, 2006, 24) El problema de la luz direccional es que afecta la intensidad, el color y la nitidez de las sombras propias de otras luces dentro de la escena lo que hace parecer la imagen monótona y con poco contraste.

“La luz de bóveda celeste es una iluminación que rodea a todos los objetos de la escena, simula la luz de día, crea sombras suaves entre los objetos y funciona muy bien para iluminar los objetos que no están en el área de la iluminación principal”. (Birn, 2006, 27) La luz de bóveda celeste por si sola funciona como una fuente de iluminación completa, permite percibir el volumen y la posición espacial de los objetos, pero se ve como si fuera un día nublado con una iluminación pareja, es recomendable complementarla con otras luces para insinuar la posición del sol y la hora del día.

## **Sombras**

“Las sombras tienen varias funciones; revelan las relaciones espaciales entre los diferentes objetos y entre estos con la superficie”. (Birn, 2006, 45) Las sombras dibujan ángulos



alternativos, como el perfil de un objeto proyectado en un muro o sobre el piso, mejoran la composición equilibrando la imagen o guiando la vista del espectador hacia un punto, aumentan el contraste en la imagen e incluso pueden insinuar la presencia de otros elementos que no se ven en la composición pero que se proyectan en alguna superficie.

### **Sombra por mapa de profundidad.**

Esta clase de sombra funciona precalculando un mapa de profundidad que determina el lugar hasta donde las sombras serán representadas. Consiste en un arreglo de valores que representan distancias. “Antes de que el programa empiece a renderizar la imagen, calcula un mapa de profundidad desde el punto de vista de cada luz; para cada dirección que se ilumine, el mapa guarda la distancia desde el punto de origen hasta el objeto más cercano, durante el render, la luz será cortada a las distancias determinadas por el mapa y no iluminará más allá del valor asignado a cada ángulo” (Birn, 2006, 55). Este método no respeta las transparencias de los materiales y tiene una resolución limitada, algunas sombras pueden verse con bordes aserrados o pixelados.

### ***Raytraced***

Son sombras calculadas trazando rayos de luz entre la fuente de origen y el objeto iluminado. Se calcula píxel por píxel al tiempo que se genera la imagen. Este tipo de sombras tiene muchas ventajas; la sombra puede dibujarse más clara cuando pasa a través de un objeto transparente, puede incluso tomar el color del objeto y proyectarlo como sería el caso de la luz que pasa a través de un vitral; las sombras son siempre nítidas sin importar el tamaño de la imagen. El inconveniente de *Raytraced*, como era de suponerse, es que requiere mayor tiempo de render.

### **Oclusión ambiental**

Oscurece áreas cercanas a las esquinas y por debajo o aproximadas a los objetos, los espacios abiertos conservan su luminosidad. “Sin importar otras fuentes de iluminación, la *oclusión ambiental* genera este sombreado tan particular, solo puede variarse su intensidad ya que es una luz que no proviene de un punto en particular sino de todos lados. Es muy útil para simular la luz de día”. (Birn, 2006, 120) Las sombras de oclusión son producidas

por la luz de bóveda celeste o como característica de algunos materiales de render con iluminación global.

## **Fondos**

“Leonardo da Vinci fue el primero en conseguir de una forma convincente la Perspectiva aérea, término que el mismo inventó. Mediante un cuidadoso empleo del color y el tono consiguió la percepción de profundidad”. (Little, 2004, 31) A medida que los matices de los objetos se alejan del observador van convirtiéndose en un gris celeste, esto pasa aún con los colores cálidos. El mismo Leonardo recomendaba que los objetos lejanos no debieran trabajarse a detalle sino dejarse difusos a fin de aumentar el realismo.

Los fondos que se utilizan para la escena no deben competir con el monumento por la atención del espectador; ayudan a contextualizar y a reforzar la posición de la fuente de iluminación correspondiente con la hora del día en que se representa la escena. Si existe un gran elemento cercano característico del monumento arqueológico, como una montaña o un río, se debe representar, pero no debe contar demasiado en la imagen. El manejo del enfriamiento del color dependiente de la distancia en la que se encuentran los objetos fortalece la sensación de profundidad por la perspectiva atmosférica.

### **3.7 Personajes y objetos cotidianos**

Una recreación virtual se enriquece con la presencia de personajes y objetos cotidianos; ayudan a contextualizar a los habitantes, consiguen una mejor identificación con el espectador y funcionan para dimensionar el espacio. (Barceló, 2018)

Las figuras humanas no se modelan desde cero, se importarán desde otro programa; se utilizará el programa Daz-3D, que es de uso libre y está hecho para generar personajes. En este programa también se puede poner ropa y algunos objetos a las figuras a partir de librerías. Dado que aún no existe una con vestimenta de Mesoamérica, la ropa y los objetos tendrán que ser modelados dentro de 3dsmax y adaptados al personaje.

Las costumbres mortuorias y el clima no permitieron la conservación de las prendas de vestir prehispánicas. “Para reconstruir el aspecto que tuvieron es necesario recurrir a sus representaciones en materiales arqueológicos como la escultura, la cerámica y las pinturas murales y los códices y a los testimonios de los herederos de las tradiciones indígenas”. (Rieff, 2005, 10) Los hombres usaban taparrabos (máxtlatl) y una manta (tilmatli). Las mujeres vestían falda (cueitl), faja (nelpiloni) y Huipil (uipilli). “A las diosas se les representaba frecuentemente usando un quechquémitl” (Rieff, 2005, 16).

Daz-3D no es un programa de modelado, las figuras humanas se seleccionan de una librería y se puede modificar el género, el biotipo y la pose, las figuras tienen su propio material y una textura hecha con un mapa de bits. El mejor formato para exportar una figura de Daz-3D a 3dsmax es el *obj*, la geometría pasa sin deformaciones y respeta las texturas; el material se debe adaptar dentro del programa que importa la figura porque los programas utilizan diferentes shaders.

### **3.8 Render**

Render es la parte del software que toma miles de instrucciones individuales para decirle al procesador como debe generar la imagen; la forma y el color del modelo, las características del material que posee, la manera en que inciden las luces, reflejos y sombras, la posición de los objetos en el espacio, los efectos de luces volumétricas, partículas etc. Este proceso es la parte que más tiempo y recursos del procesador consume.

#### **Render con iluminación local**

Como valor predeterminado, el software 3D utiliza iluminación local, el render considera sólo la interacción entre la fuente de luz y la superficie en que incide directamente sin considerar que las demás superficies pudieran influir. Si, por ejemplo, colocamos una fuente de luz direccional dentro de un espacio apuntando hacia el suelo, el espacio aparecerá con un ambiente oscuro donde las partes altas de la pared y el techo están totalmente negras; en la vida real se esperarían un rebote de la luz desde el piso y las paredes que otorgaría una tenue y suave iluminación en el resto del lugar.

## **Render con iluminación global**

Este tipo de render se refiere a cualquier algoritmo que simule la recíproca iluminación por rebotes de luz entre los objetos. Cuando se genera un render con iluminación global, no es necesario colocar luces que simulen iluminación indirecta, el software calculará este efecto basado en los rebotes de la luz entre las superficies. “La iluminación global hace la imagen 3D mucho más parecida a la fotografía o al cine, en estos medios el rebote de la luz es un factor importante”. (Birn, 2006, 109)

## **Lentes**

La manera en que utilizamos el punto de vista dentro de la simulación del espacio tiene que ver con la profundidad de campo. Básicamente tenemos 3 tipos de lentes: el gran angular, el de vista natural y el lente telefoto. Los objetivos en si no modifican el encuadre, pero si magnifican la escena o la hacen parecer más pequeña. Un lente gran angular hace parecer que el lugar es más amplio, los diferentes planos parecen estar a mayor distancia y los objetos en primer plano se ven distorsionados, al mover la cámara, los diferentes planos pasan muy rápido, se utiliza para lugares angostos o cuando se requiere mostrar un mayor número de elementos en un cuadro fijo.

El lente telefoto parece acercar todos los objetos, se pierde la sensación de profundidad, el objeto en primer plano parece estar comprimido. Es útil si en la composición queremos que se vean juntos elementos que están a diferentes distancias de la cámara, si quisiéramos que un objeto se perdiera entre otros o un personaje dentro de una multitud. Si hacemos un acercamiento a un elemento en particular, este lente hace parecer que la distancia a recorrer es menor. La fotografía en donde se ve la iglesia que esta sobre la pirámide de Cholula con el Popocatepetl detrás, a una distancia que parece ser mucho más corta que en la realidad, puede lograrse usando un lente telefoto.

## **Composición de la imagen**

Las imágenes cuyos elementos dividen el formato por la mitad, ya sea vertical, horizontal o en diagonal tienden a desintegrar la imagen y parece que fueran dos cosas independientes, si se coloca al personaje o al elemento principal justo al centro, la lectura se detiene ahí porque las

líneas imaginarias de tensión de la imagen están todas en equilibrio; en una composición descentralizada el observador recorre toda la imagen lo que la vuelve más interesante.

Una manera práctica de componer es la regla de los tercios, es la más sencilla de utilizar; otra posibilidad es componer mediante rectángulos armónicos. De acuerdo con Rudolph Arnheim, autor, “Dos propiedades de los objetos visuales ejercen especial influencia sobre el equilibrio: el peso y la dirección.” (Arnheim 2008, 37). Hay diferencias entre el equilibrio físico y el perceptual. Una escultura puede necesitar una armadura interna que la sostenga pese a estar bien equilibrada visualmente.

El peso gráfico de un área o un objeto es la cantidad relativa a los otros objetos en el cuadro que atrae la atención o domina en la imagen. Elementos grandes o brillantes que contrastan con el resto tienen el mayor peso. Los vértices y las sombras afiladas atraen más que las suavizadas. La gente ve de manera natural a otras personas, así que una imagen antropomorfa será un centro de interés con un gran peso visual. “El color rojo es más pesado que el azul y los colores claros son más pesados que los oscuros” (Arnheim, 2008, 39).

## **4. Caso de estudio: La pirámide B de Tula Grande**

### **4.1 Antecedentes y referencias**

Derivada de *tollin* (junco o carrizo), Tollan, con el sufijo locativo abundancial —*tlan* o, por asimilación, —*lan*, significa lugar donde proliferan los carrizos, lugar donde hay tulares, de esta connotación se deriva la de “lugar donde abunda el agua”, medio en el que prosperan los carrizos o tules y propicio para el desarrollo de grupos humanos. Anteponiendo a *Tollan* el adjetivo *huey*, que significa grande, se forma la palabra Huey Tollan, que de acuerdo con Miguel León-Portilla, es como se llamó a la ciudad cercana al monte Xicócoc: Tollan Xicocotitlan. (2008, 65)

Se aplicó una designación semejante a otras ciudades o metrópolis cuya población llegó a ser considerablemente grande. “Tal fue el caso de Tollan Teotihuacan, Tollan Cholollan y

Tollan Tenochtitlan” (León-Portilla, 2008, 65). Dada la fama que tenían los habitantes de Tollan Xicocotitlan, conocidos como toltecas, se formó el vocablo toltecayotl, que abarca el conjunto de las creaciones culturales alcanzadas por ellos. (León-Portilla, 2008, 65)

En los textos históricos nahuas escritos en el centro de México, “la palabra tolteca se utilizó frecuentemente para designar a un pueblo sabio altamente civilizado y, concretamente, a las personas que vivían en las ciudades” (Cobean, Jiménez y Mastache 2012, 31).

La población de Tula se conformó con descendientes de Teotihuacan, de Xochicalco y de Cacaxtla y mantuvo relaciones comerciales y políticas con el área maya. Esto se puede notar en el tipo de arquitectura de la ciudad; en el uso del talud-tablero, de columnas y de pilares, también se distingue en la iconografía, como es el caso de las representaciones de los guerreros con dardos y lanzadardos y el uso generalizado de la serpiente emplumada. (Cobean, Jiménez y Mastache, 2012, 31)

La ciudad de Tula perduró por más de 4 siglos, la primera etapa de desarrollo se dio por el año 650 de nuestra era en un centro cívico-religioso que ahora se conoce como *Tula Chico*. Para el año 800 la ciudad se extendía sobre cinco o seis kilómetros cuadrados con notoria influencia urbana de Teotihuacan. (Cobean, Jiménez y Mastache 2012, 35)

Tras el abandono de Tula Chico, se construyó otro centro cívico-religioso mucho mayor situado a 1.2 kilómetros al suroeste conocido como Tula Grande, las estructuras del nuevo recinto se levantaron sobre terrazas que formaban una especie de acrópolis gracias a rellenos artificiales de hasta ocho metros de altura. “Este fue el principal recinto de Tula, su corazón religioso y político durante el resto de su existencia como ciudad” (Cobean, Jiménez y Mastache, 2012, 39).

Como en otras ciudades mesoamericanas, las estructuras piramidales y otros edificios del recinto monumental de Tula tuvieron varias etapas constructivas y agrandamientos. Jorge Acosta encontró, en sus excavaciones iniciadas en 1940, varias subestructuras y añadidos en la mayoría de las construcciones, los edificios del recinto presentan de manera general

entre tres y cuatro periodos constructivos. El apogeo de Tula se sitúa entre los años 900-1150 d.c. (Cobean, Jiménez y Mastache, 2012, 57)

El recinto es un cuadrángulo abierto en las esquinas noroeste y sureste. Se compone por dos grupos de edificios acomodados en ángulos rectos con disposición en forma de “L” El grupo mayor mide unos 140 metros en su lado largo y está formado por las pirámides B y C y por estructuras adyacentes que tienen vestíbulos de columnas. El otro grupo, de aproximadamente 120 m. de largo, está constituido por el Edificio K y el juego de Pelota 2.

Las dimensiones de las estructuras y las características que hoy se conocen se basan principalmente en el plano del recinto monumental publicado por Acosta y en los mapas de los diferentes sistemas de orientación de la ciudad de Tula, en ellos se pueden detectar los límites; el recinto mide aproximadamente 350 metros de norte a sur y 300 metros de este a oeste, el límite norte está marcado por el juego de pelota 1, el límite sur por el edificio K, al oeste por el montículo en el borde sureste del juego de pelota 2 y al este por la fachada posterior de la pirámide C. El espacio interior de la plaza mide aproximadamente 120 por 135 metros. (Cobean, Jiménez y Mastache, 2012, 58)

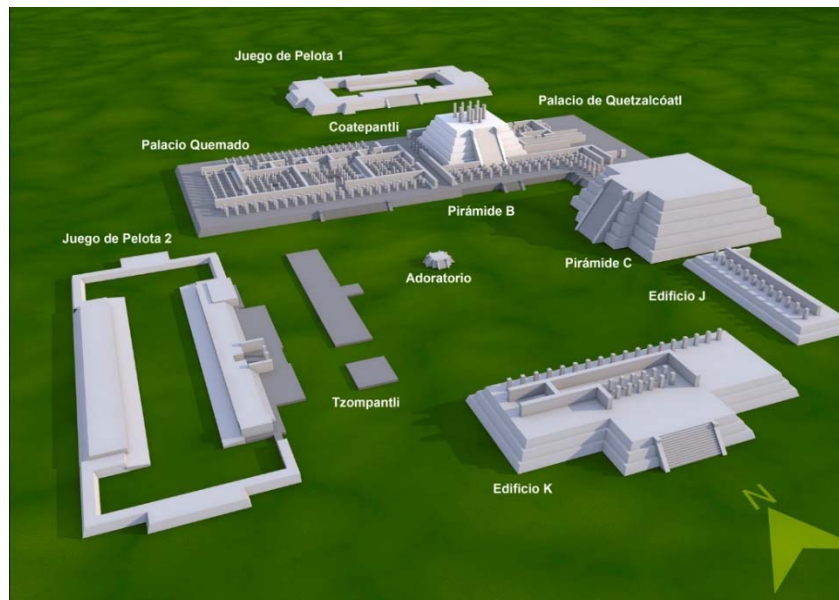


Fig. 4.1 Esquema del Recinto ceremonial de Tula

## **Estudios de la zona arqueológica de Tula**

En 1873, el historiador y cartógrafo Antonio García Cubas (1832) hace una descripción de las ruinas de la ciudad; en 1880 es explorada y retratada por el arqueólogo francés Désiré Charnay (1828) y en 1933 el arquitecto Francisco Mujica Diez de Bonilla (1899) ilustra las piezas que encontró diseminadas en las calles de la actual ciudad de Tula y los vestigios descubiertos por Charnay.

Jorge Ruffier Acosta (1908) inicia en 1940 una serie de catorce temporadas de excavaciones en Tula, concentró su investigación en la plaza principal y estableció la primera cronología de la ciudad. Sus intervenciones en el juego de Pelota, El Palacio Quemado, el Templo de Tlahuizcalpantecuhtli, el adoratorio central de la plaza y el enorme edificio ubicado al oriente, dieron una idea de lo que había sido el sector ceremonial de la ciudad. El museo de sitio de la zona arqueológica lleva su nombre. [\(Matos, 2017a, 116\)](#)

En 1968 el INAH vuelve a interesarse en el sitio y el encargado es el arqueólogo Eduardo Matos Moctezuma, el instituto llevó a cabo la exploración y restauración de varias estructuras de la plaza principal y diversas excavaciones estratigráficas en otros sectores de la ciudad; el arqueólogo Juan Yadeun realizó en ese mismo año un reconocimiento de la superficie de la antigua zona urbana y con el apoyo de la fotografía aérea, “elaboró un mapa preliminar que ha servido de guía académica desde entonces”. [\(Cobean, Jiménez y Mastache, 2012,18\)](#)

Para 1970, la Universidad de Missouri emprendió investigaciones en la zona urbana, excavaciones en varias unidades residenciales y pozos estratigráficos. En 1973 Alba Guadalupe Mastache Flores y Ana María Crespo llevan a cabo una investigación que abarcó una extensión aproximada de 1000 km<sup>2</sup> alrededor de lo que hoy se conoce como la zona arqueológica de Tula. [\(Cobean, Jiménez y Mastache, 2012,19\)](#)

Entre 1979 y 1980 el Centro INAH Hidalgo asumió la dirección de excavaciones, desde entonces, investigadores de esa dependencia, de la dirección de Estudios Arqueológicos del INAH y de otras instituciones extranjeras, han participado constantemente en rescates



arqueológicos, proyectos de área y proyectos específicos tanto de la zona abierta al público como de espacios alejados del centro ceremonial.

### **Características de la Pirámide B**

La Pirámide B mira hacia el sur y tiene cinco taludes de planta cuadrada, tuvo al menos tres etapas constructivas. Las fachadas de la estructura fueron recubiertas con paneles esculpidos en relieve con una repetición de elementos escultóricos: procesiones de felinos y cánidos, águilas o buitres y una criatura compuesta que tiene atributos de felino, reptil, ave y humano que Acosta consideró como una representación de Tlahuizcalpantecuhtli, el dios Quetzalcóatl en su advocación de Venus (Cobean, Jiménez y Mastache, 2012, 67).

### **Los Atlantes**

Las esculturas más conocidas de Tula son las cariátides de basalto, también llamadas atlantes, que están colocadas actualmente en la parte superior de la pirámide B, son columnas antropomorfas, de cuatro metros y medio de alto que representan a guerreros toltecas de alto rango y que sostenían el techo del templo original. “Estos guerreros estuvieron estucados, pintados y engalanados con narigueras y otras aplicaciones quizá de concha, obsidiana, jade, coral y turquesa”. (Cobean y Mastache, 2007, 158)

“Las cariátides representaban el poder del guerrero-deidad, el pectoral en forma de mariposa simbolizaba el alma de los guerreros que residían en el paraíso oriental del Sol”. (Cobean y Mastache, 2007, 158).

Los cuatro atlantes de la Pirámide B se encuentran de pie con los brazos extendidos junto al cuerpo, tienen un penacho de plumas rígidas, orejeras rectangulares, pectoral de mariposa estilizada, disco dorsal con amarres en el vientre, rodilleras y sandalias; llevan representaciones de la serpiente emplumada en su disco dorsal y en las taloneras de sus sandalias; en la mano derecha sostienen un *atlátl* y en la izquierda un calabazo decorado con grecas, un arma curva y dardos, en su hombro izquierdo portan un brazalete que sostiene un cuchillo para realizar sacrificios.

Las cariátides o atlantes, las columnas serpiente y los pilares fueron construidos con el sistema de cajón-espiga para hacer embonar las cuatro partes que conformaban la pieza completa. Los paneles con figuras en relieve fueron tallados en cantera color rosa claro y naranja, las piezas que los conforman estuvieron “estucadas y pintadas con sustancias minerales”. (Cobean y Mastache, 2007, 156)

### **Columnas de serpiente**

El templo tenía columnas de unos cuatro metros y medio de altura con forma de grandes serpientes emplumadas decoradas con caracoles muy parecidas a las de la Pirámide de las serpientes emplumadas de Xochicalco y a las del Templo de Quetzalcóatl en Teotihuacan. Por su tamaño, disposición y ubicación, se pueden considerar muy parecidas a las de Chichén Itzá. (Cobean y Mastache, 2007, 160)

### **Los pilares**

En la década de los ochenta se recuperó un fragmento de pilastra en el lado norte de la pirámide B, cerca de la cala donde Acosta descubrió la mayoría de los Atlantes y las pilastras esculpidas. Robert H. Cobean y Alba Guadalupe Mastache concluyeron, tras un estudio comparativo realizado a finales de los noventa, que el fragmento constituía la parte superior de la pilastra 3, que tiene la figura de Quetzalcóatl. También mencionan que otra de las figuras del fragmento tiene anteojeras y otros atributos de Tláloc. (2007, 34)

Hay 16 personajes, siete de ellos eran gobernantes, muchos tienen un glifo sobre el cabeza distintivo de su nombre y de su orden guerrera, usan un penacho con un ave descendente al frente y yelmo de ave; el casco de penacho es escalonado a los lados del rostro con una línea de pequeñas plumas en la parte superior, tienen narigueras de barra con remates esféricos, cilíndricos o en forma de trébol y usan orejeras redondas con una barra central.

En su indumentaria usan rodilleras de varias cintas atadas al frente, estos atributos son propios de los *tlaloques* y el mismo Tláloc, “quien los lleva sobre la frente como un tocado de moños hechos de papel” (Cobean y Mastache, 2007, 165). Todas las figuras usan un

taparrabos o un delantal triangular, varios objetos son similares, pero no idénticos, hay variaciones en los penachos, en las narigueras, orejeras y rodilleras.

Cobean, Jiménez y Mastache han determinado los personajes encontrados en los pilares, en los gobernantes mencionan al *Señor Puma (Miztli o Cuitlamiztli)* en el Pilar 1, al *Señor Serpiente Emplumada (Quetzalcóatl)* con su yelmo de águila en el Pilar 2, al *Señor Zorro Grís (Ozotha)* también en el Pilar 2, al *Señor Guacamaya Roja (Alo)* en el Pilar 3 al *Señor Oruga (Meocuilin)*, cuyo glifo presenta las divisiones transversales del cuerpo y al *Señor Papagayo que habla (Toztli)*. (2012, 167)

Entre las deidades se identifican a *Xipe Tótec, el señor desollado*, con su escudo de círculos rojos, *Xiuhtecuhtli*, quien usa un penacho con diadema de xihuitzolli y pectoral de mariposa estilizada, como se representa en el *Códice Vaticano. Tezcatlipoca*, quien aparece con la pierna descarnada sobre su espejo humeante; encontramos también a *Tláloc*, con sus anteojeras y el pechero redondo con flecos y también la presencia de Quetzalcóatl.

### **Relieves policromados**

Entre los mamíferos más representados en la iconografía prehispánica se encuentran los grandes depredadores en los ecosistemas que habitan. Felinos como el jaguar y el puma, y cánidos como el coyote, tuvieron un lugar preponderante en las elites gobernantes, y sus rasgos distintivos, como los hocicos de colmillos prominentes y las garras afiladas fueron asociados al poder político, militar y religioso. (Guerrero, 2020, 66)

Todas las esculturas y relieves eran policromados, en general, el color rojo se utilizó como fondo de las figuras, los colores azul cielo, turquesa y azul verdoso se usaron para pintar las plumas de quetzal y los adornos; se ocupó un color amarillo-ocre para representar las plumas de águila, las armas como el lanzadardos y los pectorales. la piel humana se coloreo con un pigmento ocre-rosado y el blanco indicaba los ojos, colmillos y huesos. (Cobean y Mastache, 2007, 156)

### **Tula y Chichén Itzá.**

Las referencias externas para la recreación de la Pirámide B las encontraremos en Chichen Itzá y en Tenochtitlan.

Hacia el siglo IX, en Chichen Itzá se conjugan armónicamente el estilo Puuc con elementos artísticos de otras regiones de Mesoamérica, principalmente, elementos toltecas del centro de México. En su libro *Ciudades y ruinas americanas*, Désiré Charnay menciona con respecto de la fachada del Castillo de Chichen Itzá, que las capas de cimiento “se parecen enteramente a las que descubrió en Tula y en Teotihuacán y que constituyen un carácter esencialmente típico de la civilización tolteca” (Charnay, 2019, 68).

También menciona que la balaustrada de la escalera principal está formada por el cuerpo de una serpiente cubierta de plumas, “esta serpiente era la representación simbólica de Quetzalcóatl, dios tolteca y dios azteca, como era en Yucatán la de Kukulcán, dios maya, pues ambos nombres tienen en las dos lenguas la misma significación de serpiente emplumada” (Charnay, 2019, 68). Charnay hace evidente un hecho importante que hasta entonces había pasado inadvertido: las enormes semejanzas entre la arquitectura de Chichén Itzá y de Tula a pesar de estar separadas por cientos de kilómetros. (López y López, 2017, 22)

La configuración de las plazas principales de ambas ciudades tienen similitudes en la orientación de los monumentos; en la articulación pirámide-templos sobre un patio abierto rectangular, en forma de anfiteatro; en la posición del juego de pelota, el tzompantli y las tribunas; en la existencia de amplios recintos columnados -El Palacio Quemado de Tula y el grupo de las mil columnas de Chichen Itzá- y en dos edificios prácticamente idénticos: La pirámide de Tlahuizcalpantecuhtli en la ciudad tolteca y el Templo de los guerreros en Chichén. (López y López, 2017, 23)

Las semejanzas se extienden a otras expresiones culturales como los mitos, los relatos históricos, los artefactos, la pintura mural y particularmente la escultura. En ambos sitios se encuentran atlantes que sostienen dinteles o altares, esculturas conocidas de chacmol, columnas en forma de serpientes emplumadas descendentes y los portaestandartes

antropomorfos o zoomorfos. También en ambas ciudades abundan las pilastras, banquetas y tableros decorados con bajorrelieves de guerreros en procesión, de aves y felinos devorando corazones, seres míticos con partes de hombre, ave y reptil y guerreros ataviados y armados con propulsores y dardos. (López y López, 2017, 23)

### **Tula y Tenochtitlan.**

El *Códice Boturini* registra la peregrinación de los aztecas y describe que “estuvieron en Tula cerca de 20 años”. Esta estancia se vería reflejada en el respeto con el que se referían a los toltecas. (Evans, 2007, 57)

Muchos pueblos posteriores a Tula proclamaban ser sus descendientes, muchos solían visitar las ruinas de la antigua ciudad y realizaban actos de culto. De acuerdo con López Luján, las ruinas de Tula fueron despojadas de muchos de sus objetos porque quienes las visitaban buscaban las cosas que habían sido usadas en los tiempos de gloria de la ciudad, las consideraban materia sagrada y las llevaban con ellos. (2007, 56)

Los artistas mexicas imitaron los vestigios toltecas en Tenochtitlan; esculturas de guerreros atlantes, portaestandartes, cabezas de serpiente monumentales, chacmoles, relieves zoomorfos y de procesiones de guerreros, braseros con forma de Tlaloc y cenefas policromadas sobre aplanados de estuco. (López, 2007, 56)

### **Recreaciones pictóricas**

En la búsqueda de recreaciones previas de la pirámide B destacan las pinturas de Ignacio Marquina, en *Arquitectura Prehispánica* (1990, 147) y de Luis Covarrubias en la sala tolteca del MNA. En este punto es necesario observar los trabajos de forma crítica; en la representación pictórica de Marquina, el número de relieves en la fachada frontal que se ven en el nivel del adoratorio y el ancho de la escalera no corresponde con las medidas descritas por el mismo, los colores en los relieves no se asemejan tampoco a los que describen los estudios de Robert Cobean y Guadalupe Mastache, pero eso puede ser por la antigüedad de la reproducción de la ilustración. La puerta parece muy alta en relación con la medida de las columnas con forma de serpiente. (Ver anexo A)

La base de los taludes de la pirámide B es cuadrada, por tanto, el número de relieves en la parte frontal y en los lados debe ser similar si descontamos el espacio de la escalera, en la pintura de Covarrubias no es así, la pirámide parece tener la mitad de la profundidad que de frente. Los colores si corresponden a las descripciones. (Ver anexo A) En ambas representaciones aparecen adornos sobre la puerta y a lo largo de todo el perímetro del adoratorio, de manera similar a los que hay en Chichen Itzá, pero no hay vestigios o registro de la forma, por lo tanto, no estarán en el modelo digital.

López Austin y López Luján mencionan el parecido de Tula y Chichen Itzá, entre otras cosas, destacan en parecido dos edificios: La pirámide de Tlahuizcalpantecuhtli en la ciudad tolteca y el Templo de los guerreros en Chichén. (2017, 23) En comparación, el templo de los guerreros está más completo, funciona como referencia para la forma y tamaño del adoratorio. Los detalles constructivos, como las vigas para sostener el techo, se dibujarán de acuerdo con los propuestos por Paul Gendrop para este tipo de techos planos. (2001) El techo del templo de los guerreros es diferente; posee una estructura de arco maya.

#### **4.2 Levantamiento y registro fotográfico en Tula y en el MNA**

La bibliografía menciona las medidas generales de la pirámide B, pero no todas las necesarias para dibujar el modelo. La base de la pirámide es un cuadrado de 38 m. y la plataforma de la parte superior mide 26 m. La pirámide tiene cinco cuerpos de dos metros de altura cada uno, la escalera, de un solo tramo, tiene 10 m. de alto y 40 escalones. Del lado este de la pirámide se superpone un cuerpo que pertenece al Palacio de Quetzalcóatl que limita la circulación.

Los cuerpos de la pirámide son de talud-tablero; el talud tiene 60cm. de altura y el tablero 1.4 m., la altura del tablero está dividida en dos partes con la parte baja ligeramente más grande, los bajorrelieves están enmarcados en franjas verticales de unos 12 cm. y verticales de entre 15 y 20 cm. Los relieves de felinos y canidos tienen una dimensión aproximada de 90 x 50 cm., los de Tlahuizcalpantecuhtli miden 120 x70 cm. y las aves devorando corazones 70 x 70 cm. El Coatepantli tiene una longitud de 40 m. y una altura de 2 m. con un espesor aproximado de 60 cm. También es de talud-tablero y esta adornado con

almenas. El talud tiene 80 cm. de alto. El tablero está dividido de manera horizontal en tres partes, la franja central tiene los relieves de figuras descarnadas siendo devoradas por una serpiente con una longitud de 80 x 40 cm., las secciones alta y baja tienen un patrón de grecas de 30 cm. de altura. Los relieves están en ambos lados del muro.

El registro fotográfico se hizo con una cámara digital, la visita se realizó alrededor de las 2 de la tarde y entre semana para disminuir la cantidad de personas en el lugar. La iluminación no era la más conveniente, pero, dado que los relieves están bajo cubierta, se pudieron retratar los detalles. En el caso de los pilares, los atlantes y las columnas fue necesario esperar a que la intensidad de la luz disminuyera. [\(Ver figuras A7, A8, A9 y A10\)](#)

Dentro de la sala tolteca de MNA la iluminación controlada permite retratar mejor las piezas, la colección del museo tiene piezas en las que se conserva mejor el color, particularmente un relieve de banqueta y un portaestandarte. También hay vestigios de la cabeza de serpiente de la columna [\(Ver figura A11\)](#)



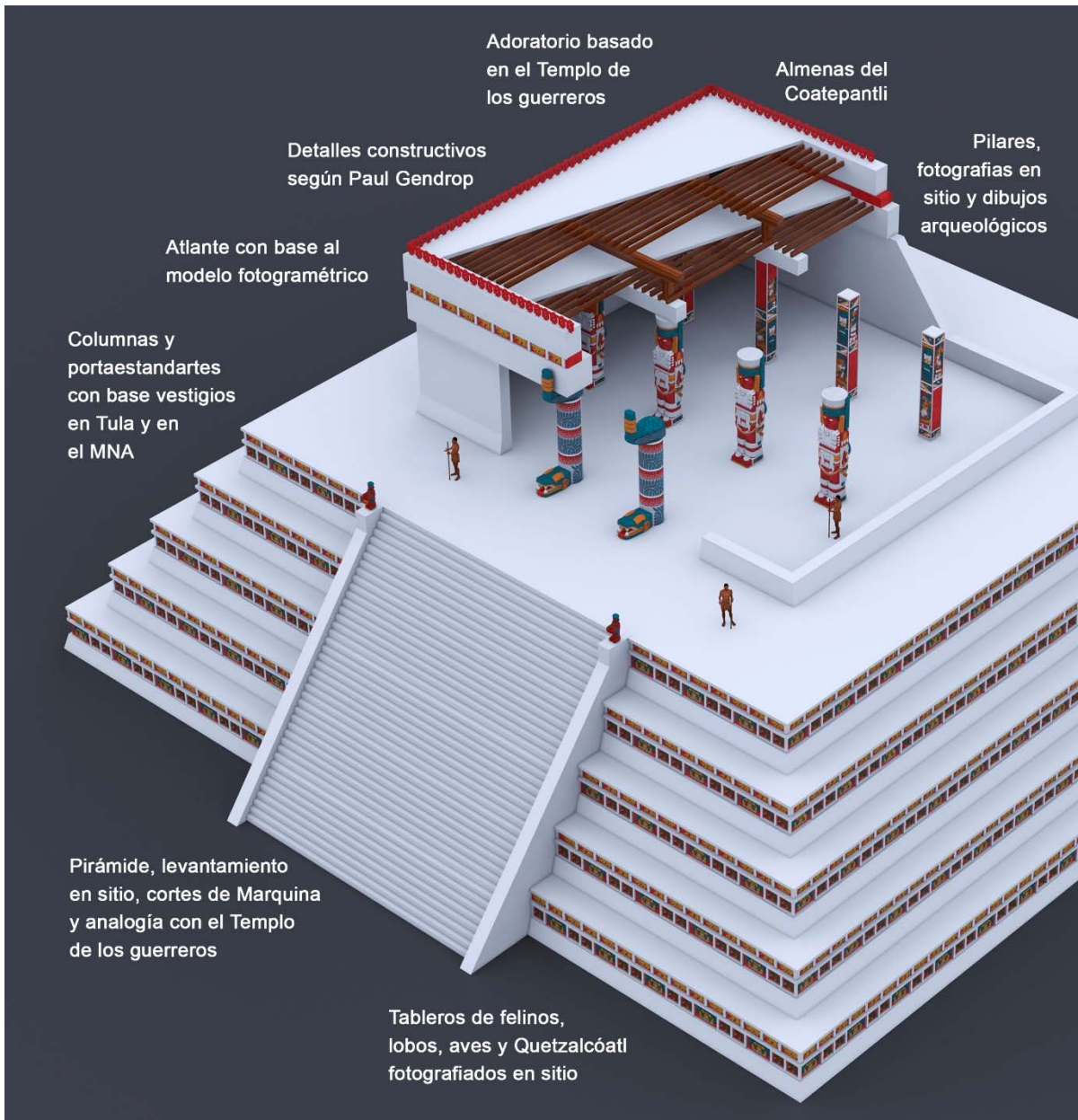


Fig. 4.2 Referencias para el modelo de la pirámide B

### 4.3 Dibujo vectorizado de los pilares, relieves y almenas

#### Águilas, lobos, felinos y Tlahuizcalpantecuhli

Para realizar el dibujo de estos elementos es importante observar los rasgos comunes entre las piezas encontradas, aún hay muchos relieves a la vista en el basamento de la pirámide y en el museo de antropología, también hay imágenes en los registros fotográficos de las excavaciones. Se eligieron las piezas más completas y simétricas para dibujar con base en



ellas las formas que se van a extruir en 3D. Quetzalcóatl en su advocación de Venus se dibujó solamente de un lado y se reflejó.

Los felinos no tienen manchas ni ocelos y son muy parecidos entre sí, las diferencias obedecen al hecho de ser una producción artesanal, el mismo caso es con los cánidos, todos son parecidos, Entre las aves de rapiña si hay más diferencias, pero para el fin de la recreación también se repetirá la más completa. (Ver figuras B1, B2, B3 y B4)

### **Los pilares**

Los pilares resultaron ser la parte más extensa y compleja del dibujo vectorizado, se trata de dieciséis personajes, entre los que destacan Tláloc y Tezcatlipoca, todos tienen elementos comunes, pero ninguno es igual a otro; poseen pecheras con forma de mariposa, máxtlatl, penachos, narigueras, sandalias y armas curvadas, en varias figuras aparece algún animal referente al personaje que funciona para identificarlo. Dos de los personajes son irreconocibles porque sólo está la mitad del cuerpo; falta la parte de arriba de la cintura.

En los pilares también hay cuarenta cabezas de Cipactli, la criatura derrotada por Tezcatlipoca Y Quetzalcóatl para formar la tierra. Nuevamente las figuras son semejantes, pero ninguna es igual a otra. (Ver figuras B5, B6, B7 y B8)

Los vestigios de los relieves tienen un estado de conservación que permite observar la mayoría de las formas, pero no todas, sin embargo, después de varias horas de trabajo con las imágenes, se pueden reconocer más fácilmente elementos como sandalias, narigueras, armas, manos, collares, pecheras etc. partes que en un principio parecían confusas. Algunos elementos característicos de las deidades se hacen evidentes al dibujarse, tal es el caso de los ojos de Tlaloc y la pierna ausente de Tezcatlipoca, es peculiar que varios personajes parecen tener barba.

Los pilares están armados en piezas que coinciden pero que dejan pequeños espacios entre ellas en los que se nota el material cementante con que fueron unidas, para la

recreación, estos espacios no son tomados en cuenta, el dibujo estará representado como si las uniones fueran imperceptibles. Algunas formas deterioradas se completan siguiendo el trazado lógico y observando partes similares en otros relieves. Otra referencia importante fueron los dibujos realizados por Elizabeth Jiménez García y Daniel Correa Baltazar.

## **Los relieves del Coatepantli**

### **Almenas**

Las almenas en Mesoamérica son adornos de los techos o remates de pretil elaborados en piedra o barro cocido moldeado, son abundantes en la arquitectura del altiplano central donde aparecían coronando edificios suntuarios, excepcionalmente también estaban colocadas en el Coatepantli de Tula. (Gendrop, 2001, 17) Las almenas de la pirámide B y del Coatepantli con forma de caracol se dibujaron también con base a una fotografía del objeto real, dado que se formará conforme a dos elementos extruidos con diferente profundidad, se dibujan las dos formas por separado.

## **4.4 Modelado 3D**

### **Extrusión de los relieves escultóricos**

#### **Los pilares**

Cada una de las dieciséis caras de los dibujos de los pilares se exportan por separado para poder extruirse y moverse de manera independiente dentro del espacio virtual. Antes de la extrusión de debe revisar si el dibujo se importó correctamente, es decir, que conserva su forma tal como estaba en el programa de dibujo bidimensional, se debe checar que es una figura cerrada y que no haya partes de ella que generen una autointersección, es decir, que la forma se intersecte con otra parte de sí misma. De ser el caso, se debe ajustar la figura para corregir los errores, la ventaja del formato de *illustrator 8* es que respeta la posición de los vértices y de las tangentes que los controlan. Se debe ser cuidadoso en hacer los ajustes solo en los ejes X y Y, si se hacen en Z la geometría se empieza a distorsionar al momento de la extrusión.

El pilar base se construye con las medidas del objeto real (60 x 60 x 450 cm.) es una caja con concavidades rectas en las caras laterales, para hacer esto se hace una extrusión, pero con valores negativos. Finalmente se colocan los relieves ya extruidos en las caras correspondientes.



Fig. 4.3 Dibujo y modelo del Pilar 3

### **Modelado del atlante**

El modelo más complejo de la pirámide es el Atlante, el primer intento fue basado solamente en las fotografías tomadas en sitio, los resultados eran aceptables pero la veracidad del modelo no estaba del todo respaldada y es, a fin de cuentas, la pieza más llamativa, más reproducida y conocida del conjunto, por lo que debe estar bien documentada.

El maestro Gilberto García Quintana, arquitecto del INAH experto en el uso de modelos digitales para el registro y análisis del patrimonio, me permitió utilizar su modelo

fotogramétrico del Atlante para la realización de este trabajo de recreación. Con esta geometría dentro del mismo espacio virtual se puede ajustar mejor el modelo por subdivisión ya que se tienen las referencias inmediatas en forma, posición y dimensiones. La escultura esta hecha con un proceso de cajón y espiga, en el vestigio real son evidentes las uniones y el material cementante, para la recreación digital estas uniones no se hacen evidentes. Los restos de pigmentación en la textura de la fotogrametría corroboran los datos descritos en la bibliografía. (ver figura A6)



Fig. 4.4 Modelado del Atlante

El rostro se modeló con base a una caja y mediante el proceso de subdivisión y suavizado; se extruyeron y ajustaron la frente, los ojos, los pómulos, la nariz con sus fosas nasales, el mentón y la boca y finalmente se aplicó el suavizado, se deben hacer pruebas en cada parte del proceso porque cada vértice que se ajusta afecta al objeto completo al suavizarlo. Las piernas y los pies se generaron con el mismo proceso, se extruyeron los dedos, las rodillas y el talón, en las partes superiores e inferiores, donde terminan los muslos y en la punta de los dedos se deben extruir más caras para generar nuevos vértices, de otro modo,

al suavizarse quedarían los bordes completamente redondeados, como en el caso de las rodillas.

Los relieves del personaje se generan con un proceso de extrusión, el atlante tiene muchas partes de este tipo; los hombros, los brazos sujetando armas y las armas mismas, los nudos de la ropa en las piernas, la espalda y detrás de la cabeza, en el máxtlatl, en el disco solar que va en la espalda y en la serpiente de las sandalias. Para conservar el modelo ligero, algunas texturas del atlante no son modeladas sino simuladas con mapas de rugosidad, es el caso de las líneas y los hexágonos del penacho y de las líneas en la ropa. Se traza solo una línea y una sección de los hexágonos como un módulo para que la textura se conserve ligera, la repetición del módulo se asigna en el editor de materiales.

#### **4.5 Texturas y materiales, la policromía de Tlahuizcalpantecuhtli**

El monumento estaba lleno de colores, las descripciones arqueológicas describen de manera general cuales eran y en qué elementos estaban, pero mencionar solamente el nombre del color no es suficiente, existen muchas variaciones de un color descrito, la mayoría de las piezas conservan muy poco del pigmento, pero hay algunas en mejor estado de conservación, la banqueta y algunas figuras de Tula que están en el MNA funciona bien como referencia. Las recreaciones policromadas de la escultura mexicana que se exhiben dentro del Museo del Templo Mayor, presentadas como correctas por el INAH, muestran una gran saturación del color.

Los colores del monumento eran intensos, pero no se deben ver completamente planos porque no están sobre una superficie completamente regular, la solución propuesta es una textura fractal con dos tonos semejantes del mismo color, también deben tener un ligero nivel de rugosidad, los valores se asignan con base a pruebas de render. La superficie debe tener un aspecto ligeramente satinado.

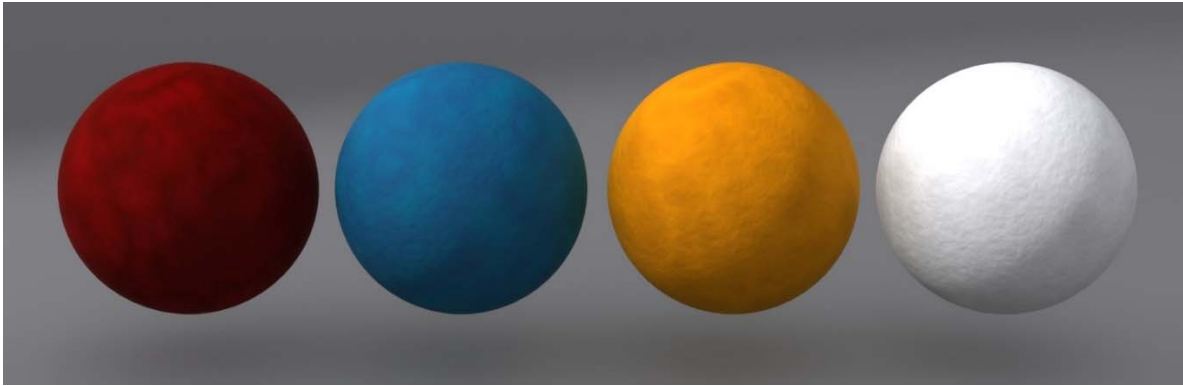


Fig. 4.5 Materiales con texturas fractales

La textura más compleja es la de la columna serpiente, dado que el relieve está tallado en un cuerpo cilíndrico, no funciona el dibujo y la extrusión, se puede generar la geometría con la curva, pero el modelo sería muy complicado de generar y tendría demasiados polígonos. La forma de resolver esto es simular el volumen mediante texturas dibujadas; se utilizarán dos mapas, un mapa de rugosidad con las formas en escala de grises y un mapa de color difuso, que tiene las formas y los colores. (ver figura B10)

Algunas partes del Atlante, como la base del penacho y los cinturones con franjas así como de la cabeza y la cola de la columna serpiente, también se resuelven con mapas de rugosidad para no complicar el modelo. Para las vigas que sostiene el techo se usa un mapa de bits con textura de madera tanto en el color como en la rugosidad. Si las texturas son modulares, no se dibuja un mapa con cada elemento, el mapa solo representa un módulo y la repetición se asigna en el editor de materiales.



Fig. 4.5 Materiales con mapas de bits

#### 4.6 Iluminación y fondos de la pirámide B

La iluminación matutina del monumento está determinada por dos luces: una luz direccional para simular la iluminación solar y una de bóveda celeste para alumbrar el interior del templo. Las sombras del interior son suaves, de iluminación de oclusión, las del exterior son una combinación de sombras suaves por los rebotes de luz y de sombras con bordes definidos para emular la iluminación del sol. La colocación de la fuente de luz está de acuerdo con la orientación de la pirámide; amanece del lado derecho de la fachada. La iluminación vespertina cambia su color y posición, en el interior se colocarán braseros encendidos con luces omnidireccionales tenues de un color ocre.

#### 4.7 Personajes y objetos cotidianos

Algunos personajes se incluirán en la escena para complementar la recreación, sus vestimentas serán dibujadas con base a las que tienen los atlantes; un guerrero lleva máxtlatl, sandalias, penacho y pechera en forma de mariposa y un sacerdote llevará el chaleco ceremonial característico de la zona arqueológica.

La pechera militar era una prenda protectora gruesa, estaba rellena de algodón crudo embutido, la cubierta era de cañas, de piel de animal o de algodón acolchado. Esta armadura fue utilizada por guerreros de todas las culturas a partir del Clásico y era elemento clave en la indumentaria militar. “La armadura rellena era tan eficaz, que pronto los mismos españoles la utilizaron” (Rieff, 2005, 15).

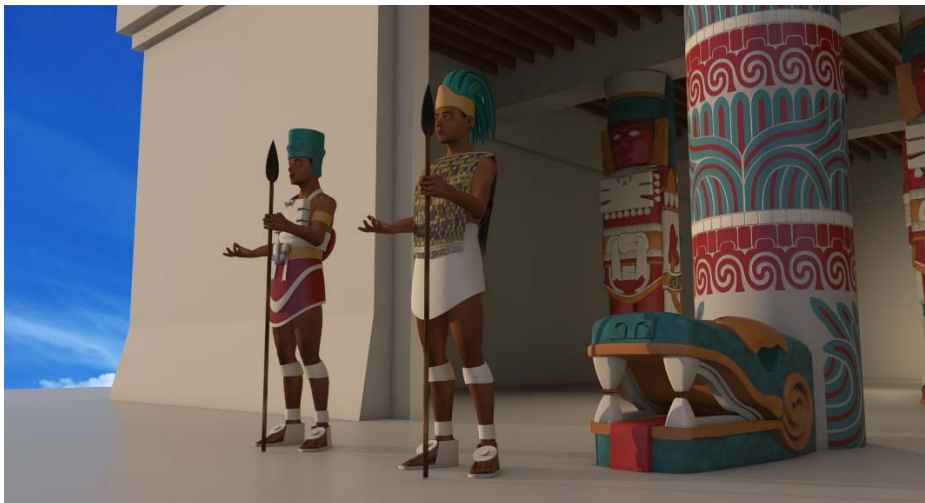


Fig. 4.6 Personajes toltecas



## 4.8 Renders de la Pirámide B

### Tipo de render

El tipo de render para el proyecto es de iluminación global, el uso de los algoritmos *Photon Mapping* (Mapeo de Fotones) junto con *Final Gathering* (reunión final) dan buenos resultados en tiempo de proceso y calidad de la imagen. Por sí mismo, el mapeo de fotones es muy eficiente para lograr una escena realista si se usa el número suficiente de fotones, pero puede requerir un tiempo considerable de proceso.

Un fotón es una partícula de luz. El algoritmo funciona creando un mapa de fotones, el tamaño es independiente de la resolución de la geometría, la velocidad y precisión dependen del número de fotones utilizados; a mayor número mayor el tiempo de procesamiento. Cuando se produce una imagen con un número pequeño de fotones, esta se ve turbia, como salpicada por puntos de color sobre toda la superficie, conforme se aumenta el número de fotones, la imagen va tomando un mejor acabado.

*Final Gathering* es un algoritmo que puede utilizarse junto con el *Photon Mapping* para suavizar la imagen final produciendo una iluminación continua en lugar de los puntos de luz que produce el mapeo por sí solo. Como valor predeterminado, *Final Gathering* produce un solo nivel de luz indirecta, si se agregan más niveles de rebote el procesamiento se vuelve muy lento. El motor de render es mental ray, por la facilidad que tiene de representar materiales arquitectónicos con iluminación global.

Además de las imágenes fijas, se presenta un recorrido en animación de la pirámide B. Se debe tener presente que una serie de buenos encuadres de los objetos colocados en secuencia no hace una buena animación. Esta se logra con movimientos de cámara bien planeados con diferentes tipos de encuadre y disolvencias interesantes. El recorrido dura unos 3 minutos, incluye musicalización y narración, la información se obtiene de los antecedentes del monumento. Una animación es una sucesión de imágenes estáticas que parecen cobrar vida. Norman McLaren, animador y director de cine escocés dijo: " *La animación no es el arte de hacer dibujos que se mueven, sino el arte de los movimientos que son dibujados*". (Bacher, 2008: 78)



## Conclusiones

La capacidad descriptiva gráfica de simular las partes faltantes de un edificio hace de la recreación digital una herramienta muy efectiva para la difusión y divulgación; si bien es cierto que el modelo digital no daña al patrimonio, si puede falsear la información y la objetividad de la recreación sino está bien fundamentado. Para el espectador es muy difícil distinguir que partes son científicamente comprobables y que partes son conjeturadas.

La reconstrucción digital permite la simulación de lugares, escenas y objetos con la sensación de existencia real. Dado que cada representación del monumento está limitada por los materiales con que se realiza, las herramientas elaboradas con esta técnica son claves para entender la forma, los materiales, los usos, los procesos constructivos, el funcionamiento y la relación de los seres humanos con las cosas del pasado porque se puede recorrer el espacio virtual de manera vivencial.

El trabajo más extenso de la recreación digital de un monumento arqueológico es el de la investigación requerida para justificar cada una de las partes del modelo, es lo que requiere más tiempo y paciencia, con las referencias reunidas, el dibujo y modelado deben ser minuciosos, cada detalle de cada relieve debe ser cuidadosamente analizado para dibujarlo correctamente. Para dibujar partes faltantes es indispensable reconocer los elementos comunes o semejantes y evitar inventar conjeturar. Solo al realizar el modelo en 3D surgen muchas preguntas y dudas que no se habían considerado al inicio del trabajo.

La recreación digital está supeditada a la hipótesis arqueológica y como tal debe mencionarse, en el caso de la pirámide B, el modelo se basa en los trabajos de Jorge Acosta, de Guadalupe Mastache, de Robert Cobeau y de Elizabeth Jiménez. Si ocurren nuevas investigaciones acerca del monumento que generen una propuesta diferente a la planteada en este proyecto, el modelo será susceptible a los cambios que proponga esa nueva teoría y también se mencionará el autor de esa propuesta.

El modelo digital permite recorrer un espacio de manera virtual desde cualquier lugar, puede ser desde un museo de sitio o incluso desde la casa del espectador. Esto evita posibles

deterioros del patrimonio causados por las multitudes y da acceso a lugares difíciles de acceder, en circunstancias especiales, como la pandemia de Covid-19 de 2020, las herramientas digitales de divulgación y análisis se vuelven aún más útiles.

Para la realización del modelo digital 3D del monumento arqueológico se utilizó solo una computadora de gama alta, no fue necesaria una gran inversión, para el modelado 3D se utilizó una licencia académica de *3DStudio Max* y para el modelado de personajes *Daz3D*, que es de uso libre. Solo *Adobe illustrator* es de uso comercial.

La mayor cantidad de tiempo de realización total de este proyecto se utilizó en la investigación documental, no en el modelado y render, si se contara con un equipo multidisciplinario, que incluyera arqueólogos o arquitectos especializados y diseñadores, la realización de modelos digitales se agilizaría y el tiempo de producción se reduciría considerablemente.

Existe buena compatibilidad entre los dibujos vectorizados en 2D con el software de modelado 3D, pero es necesario experimentar con el formato y la versión del archivo para la importación más precisa; el formato de *illustrator 8 (ai)* funciona muy bien al importarlo a *3dsmax*, respeta los vértices y sus controladores, los convierte a *b-spline*. El mejor formato para exportar una figura de *Daz3D* a *3DStudio Max* es el *obj*, la geometría pasa sin deformaciones y respeta las texturas; el material se debe adaptar al software que importa la figura.

Además del monumento arqueológico particular que es el objetivo de cada trabajo, se van generando librerías de partes, personajes, esculturas, objetos, materiales, fondos y referencias útiles para modelar otros monumentos. La legislación mexicana hace distinción entre monumento arqueológico y monumento histórico, pero, para fines de elaboración de modelos digitales, se puede utilizar el mismo procedimiento.

La inclusión de personajes realizando alguna actividad cotidiana aumenta la sensación de realidad y de identificación con el observador. Una animación, interactiva o no, cuenta la

historia del lugar y por tanto la presencia de los personajes enriquece la narración, además, una escala humana ayuda a dimensionar el espacio y aporta datos extra, como la vestimenta de una época o momento determinado.

La gran semejanza entre Tula y Chichen Itzá fue propuesta por Désiré Charnay, a partir de ese momento se hizo evidente la relación entre la cultura del centro y la peninsular, la recreación de Jorge Acosta de la pirámide B basada en el Templo de los guerreros no parece exagerada en la forma, el problema, es el hecho de haber reconstruido el basamento sobre el vestigio en una acción semejante a las llevadas a cabo por Viollet-le-Duc en las que el edificio podía adquirir un aspecto que nunca tuvo. Sin embargo, no he encontrado una hipótesis arqueológica de la forma de la pirámide además de la oficial del INAH.

La Red Temática Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural, dirigida por el INAH, tiene unos cinco años de su creación y uno de sus objetivos es fomentar la difusión y la divulgación a través de nuevas tecnologías. En los congresos predominan ponencias sobre trabajos nacionales acerca de registro y descubrimientos con el uso de LiDAR y fotogrametría, pero no muchos de recreaciones digitales, los trabajos son aún realizados por grupos pequeños o por iniciativas personales, existen cerca de 50 000 sitios arqueológicos registrados en el país, por lo tanto, existe aún mucho por hacer.

El modelo de recreación es una herramienta para el análisis general y a detalle de un monumento arqueológico o histórico para su amplia divulgación para la sociedad mexicana y para dar una mayor valoración a la identidad nacional a través de la materialidad cultural.

## Bibliografía

About Us (2018), Indiana, E.U. **Rome Reborn, Virtual Reality**. Recuperado de <http://www.romereborn.org/content/aboutcontact>

Arnheim, Rudolf (2008) *Arte y Percepción visual* Madrid España Edit. Alianza, Traducción: Balseiro, Maria Luisa

Bacher, Hans (2008) *Dream Wolds, Production design for animation* Burlington MA EU Edit Focal Press

Barceló, Joan, (2018). **Aplicaciones de realidad virtual e inteligencia artificial para estudiar el pasado**. Ponencia presentada en el III Coloquio: Desarrollo Tecnológico al Servicio del Patrimonio Cultural 10 y 11 de octubre, México D.F.

Barrera, A. (2015). **En busca de los antiguos Mayas**. Yucatán, México, edit. Dante

Bijker, W., (2008) La construcción social de la baquelita” en **Actos, actores y artefactos**, Thomas H.

Birn, Jeremy (2006) **Digital lighting & rendering**. Berkeley California, E.U. edit. New riders

Catmull, Ed (2014) **Creativity Inc.** E.U. edit. Random house

Cobean, Robert y Mastache Guadalupe, (mayo-junio 2007) **Tollan en Hidalgo**, Arqueología mexicana (85)

Cobean Robert, Jiménez Elizabeth, Mastache Alba. (2012). **Tula**. México DF edit. FCE.

Coronel, C. (marzo 2020). **El registro en dibujo, una herramienta para el estudio y la conservación de la pintura mural prehispánica.** Arqueología Mexicana

Charnay, Desiré (2019) **Viajes a Yucatán, Expediciones ilustradas 1882-1886,** Yucatán, México, edit. Dante

Díaz-Berrio, Salvador (2004) **¿Credibilidad o veracidad? La autenticidad: un valor de los bienes culturales,** UNESCO, Perú

Díaz-Berrio, Salvador, (1974) **Monumentos y Museos** Anales del INAH, México D.F.

DOF 16-02-2018 Cámara de Diputados de H. Congreso de la Unión. **Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, artísticas e Históricas** Recuperado de: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131\\_160218.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131_160218.pdf)

Downloads (2009), Londres Inglaterra. **Londoncharter for the computer-based visualization of cultural heritage.** Recuperado de: <http://www.londoncharter.org/downloads.html>

Escalante, Pablo, (Julio-agosto 1999) **De la pictografía a la pintura,** Arqueología Mexicana (38)

Evans, Susan (mayo-junio 2007) **Las raíces toltecas de la política azteca: los palacios,** Arqueología mexicana (85)

Glebas, Francis, *Directing the story,* Burlington MA EU Edit. Focal Press 2009

Glintenkamp, Pamela. (2011) **Industrial Light & Magic, the art of innovation,** New York E.U. edit. Abrams.

Gombrich, Ernst (1995) **La historia del arte,** México D.F. edit. Diana

Gendrop, Paul (2001) **Diccionario de Arquitectura Mesoamericana**, México D.F. edit. Trillas

González Ignacio. (2015) **Patrimonio Cultural, conceptos, debates y problemas**, Madrid España edit. Catedra.

González, Francisco (diciembre 2012) **Diego Rivera y la Arqueología mexicana, La raíz profunda**, Arqueología mexicana (número especial 47)

ICOMOS, **Carta Internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (carta de Venecia 1964)** Recuperado de:  
[https://www.icomos.org/charters/venice\\_sp.pdf](https://www.icomos.org/charters/venice_sp.pdf)

ICOMOS (1990) **Carta internacional para la gestión del patrimonio arqueológico** Recuperado de [https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/arch\\_sp.pdf](https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/arch_sp.pdf)

ICOMOS (2011) **History** Recuperado de: <https://www.icomos.org/en/about-icomos/mission-and-vision/history>

ICOMOS (2008) **Carta ICOMOS para Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural** Recuperado de:  
[https://icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/interpretation\\_sp.pdf](https://icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/interpretation_sp.pdf)

ICOMOS (2020) **ICOMOS en breve** Recuperado de: <https://www.icomos.org/fr/a-propos-de-licomos/mission-et-vision/licomos-en-bref>

Iturriaga, José (1993) **Litografía y Grabado en el México del siglo XIX** Tomo I México D.F. edit. Inbursa

Iturriaga, José (2014) **Forasteros ilustres en la Ciudad de México**, México D.F. edit. UACM

Jiménez-Badillo, Diego, Gándara, Manuel. (Ed). (2016) **El patrimonio cultural y las tecnologías digitales**, edit. INAH, México.

Jiménez-Badillo (Ed). (2017) **Arqueología Computacional, Nuevos enfoques para la documentación, análisis y difusión del patrimonio cultural**. edit. INAH, México D.F.

Joyce, Rosemary (Ed). (2007) **Historia Maya**. edit. Siglo XXI, México D.F.

Kerlow, Isaac (1996) **The art of 3D computer animation and imaging**. NY E.U. edit Van Nostrand Reinhold

Krasner, Jon (2008) **Motion graphic design, applied history and aesthetics**, Burlington MA E.U. edit. Focal Press

León-Portilla, Miguel (septiembre de 2009) **Del cronista al arqueólogo**, Arqueología mexicana (99)

León-Portilla, Miguel (2008) **Tula Xicocotitlan: Historia y Arqueología**, Estudios de Cultura Nahuatl (39)

Little, Stephen, (2004) **Ismos, para entender el arte**, Edit. Turner Madrid España Traducción: Diéguez Amado

López, Alfredo (2006). **Los mitos del tlacuache: caminos de la mitología mesoamericana**. México, edit. UNAM IIA

López, Alfredo, López, Leonardo. (2017) **Mito y realidad de Zuyúa**, México D.F. edit. FCE, p 40

López, Alfredo, López, Leonardo. (2007) **Los mexicas en Tula y Tula en México-Tenochtitlan**. Estudios de Cultura nahuatl. No. 38 UNAM

López, Leonardo (2015) **El capitán Guillermo Dupaix y su álbum arqueológico de 1794**. México D.F. edit. INAH

López, Leonardo, Cobean, Robert, Mastache, Guadalupe (2001). **Xochicalco y Tula**. México D.F. edit. Conaculta

Mandelbrot, Benoit (1982) **The fractal geometry of nature**, N.Y. E.U. edit. W. H. Freeman and company

Marquina, Ignacio (1990) **Arquitectura Prehispánica**, México D.F. edit. INAH

Matos, Eduardo. (2017) **Historia de la Arqueología del México Antiguo, tomo I**, México edit. Colegio Nacional.

Matos, Eduardo. (2017) **Historia de la Arqueología del México Antiguo, tomo II**, México edit. Colegio Nacional.

Medina González, José Humberto, A. Roberto García Moll, (julio 2015) “**Una visita a la exposición. “El capitán Dupaix y su Álbum Arqueológico de 1794”**”, Arqueología Mexicana (134)

**México en la Edad de hielo** (2015) Recuperado de:  
<https://canalonce.mx/vod/programa/mexicoen-la-edad-hielo>

Meskill, Lynn (2018) **A Future in Ruins, UNESCO, World Heritage, and the dream of peace** Inglaterra edit. Oxford University

Ocampo, Estela (2011) **El fetiche en el museo, aproximación al arte primitivo**. Madrid, España edit. Alianza



Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (1964), **Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de los monumentos y los sitios**, Venecia

Paik, Karen (2007) **To Infinity and Beyond, the story of Pixar animation studios**, S.F. E.U. edit. Chronicle books

Pastrana, Miguel (noviembre 2011) **Tezcatlipoca contra Quetzalcóatl en la caída de Tula**, Arqueología mexicana (112)

Proskouriakoff, Tatiana (1963) **An Album of Maya Architecture**, Oklahoma E.U. ed. Oklahoma University

Rickitt, Richard. (2007) **Special effects, the history, and techniques** Nueva York, E.U. edit. Billboard

Rieff, Patricia, (2005) **Atuendos del México Antiguo**, Arqueología Mexicana

**Seis ciudades de Mesoamérica reúnen dos mil años de historia** (2011) Recuperado de: <https://www.inah.gob.mx/boletines/3711-seis-ciudades-de-mesoamerica-reune-dos-mil-anos-de-historia>

Seville principles (2011) **International Principles of Virtual Archaeology, The Seville Principles** 2011 Recuperado de: <http://www.sevilleprinciples.com>

SolidAnim. (2020). **Nos Projets**. 2020, Recuperado de <https://www.solidanim.com/projets-solidanim/>

Street, Rita. (1998) **Computer Animation, a whole new World**, Gloucester Massachusetts, E.U. edit. Rockport.

The London charter, (2009) **The London charter**, Recuperado de:  
<http://www.londoncharter.org/downloads.html>

Van Sijil, Jennifer (2005) **Cinematic Storytelling** Edit. Michael Wise, California EU

# Anexo A Referencias visuales y fotografías de Tula

## Referencias visuales y analogías de la pirámide B

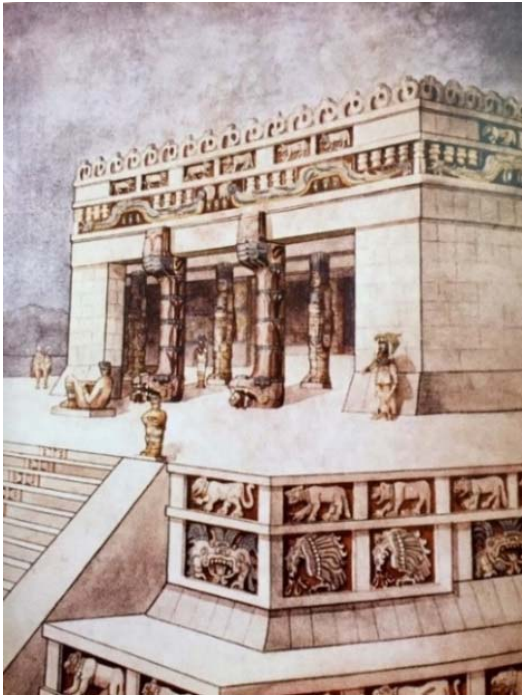


Fig. A.1 Recreación Virtual de la Pirámide B de Ignacio Marquina en Arquitectura Prehispánica.

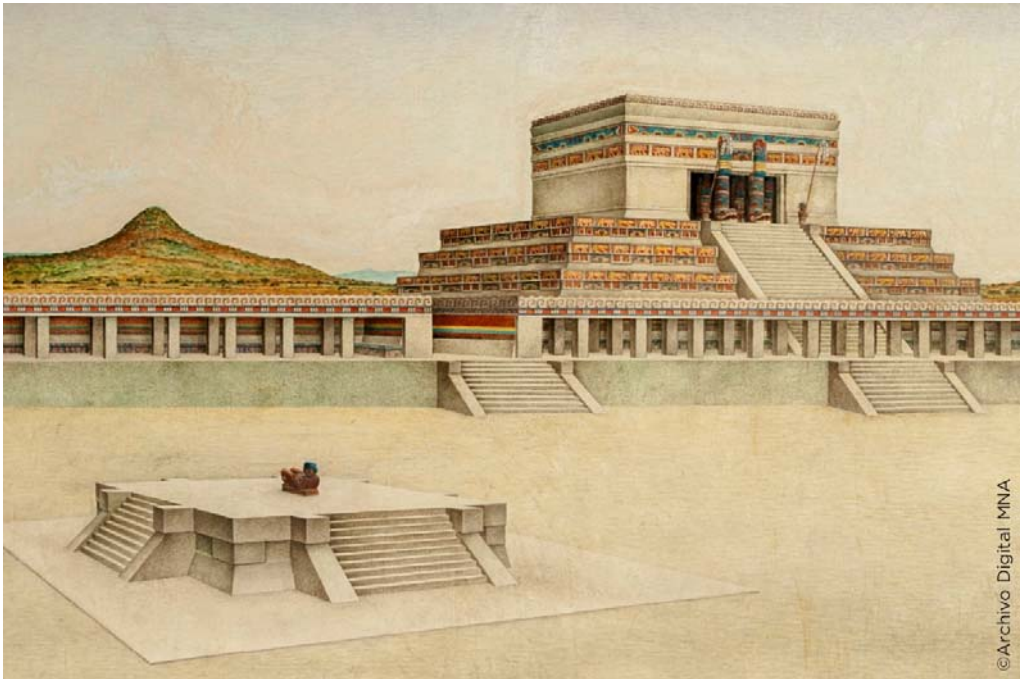


Fig. A.2 Recreación Virtual de la Pirámide B de Luis Covarrubias, M.N.A.

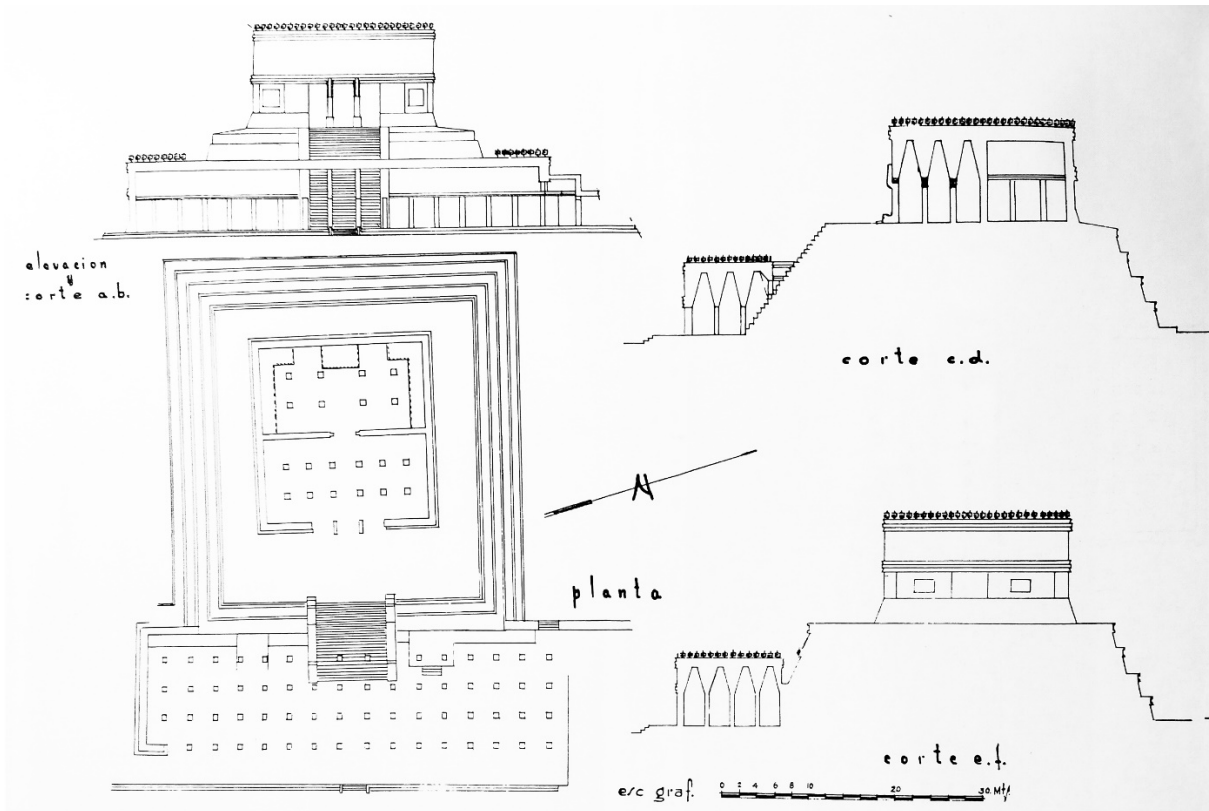


Fig. A.4 Templo de los guerreros de Chichén Itzá según Mújica y Díez de Bonilla en *Arquitectura Prehispánica*



Fig. A.5 Templo de los guerreros de Chichén Itzá

**Fotogrametría de un Atlante**



Fig. A.6 Modelo fotogramétrico de un Atlante, de Gilberto García Quintana



## Fotografías de Tula



Fig. A.7 Pirámide B



Fig. A.8 Relieves de los pilares y del Coatepantli





Fig. A.9 Relieves





Fig.A.10 Detalles y texturas



Fotografías del MNA



Fig. A.11 Banqueta, personaje y cabeza de serpiente

Fotografías y dibujos en la bibliografía

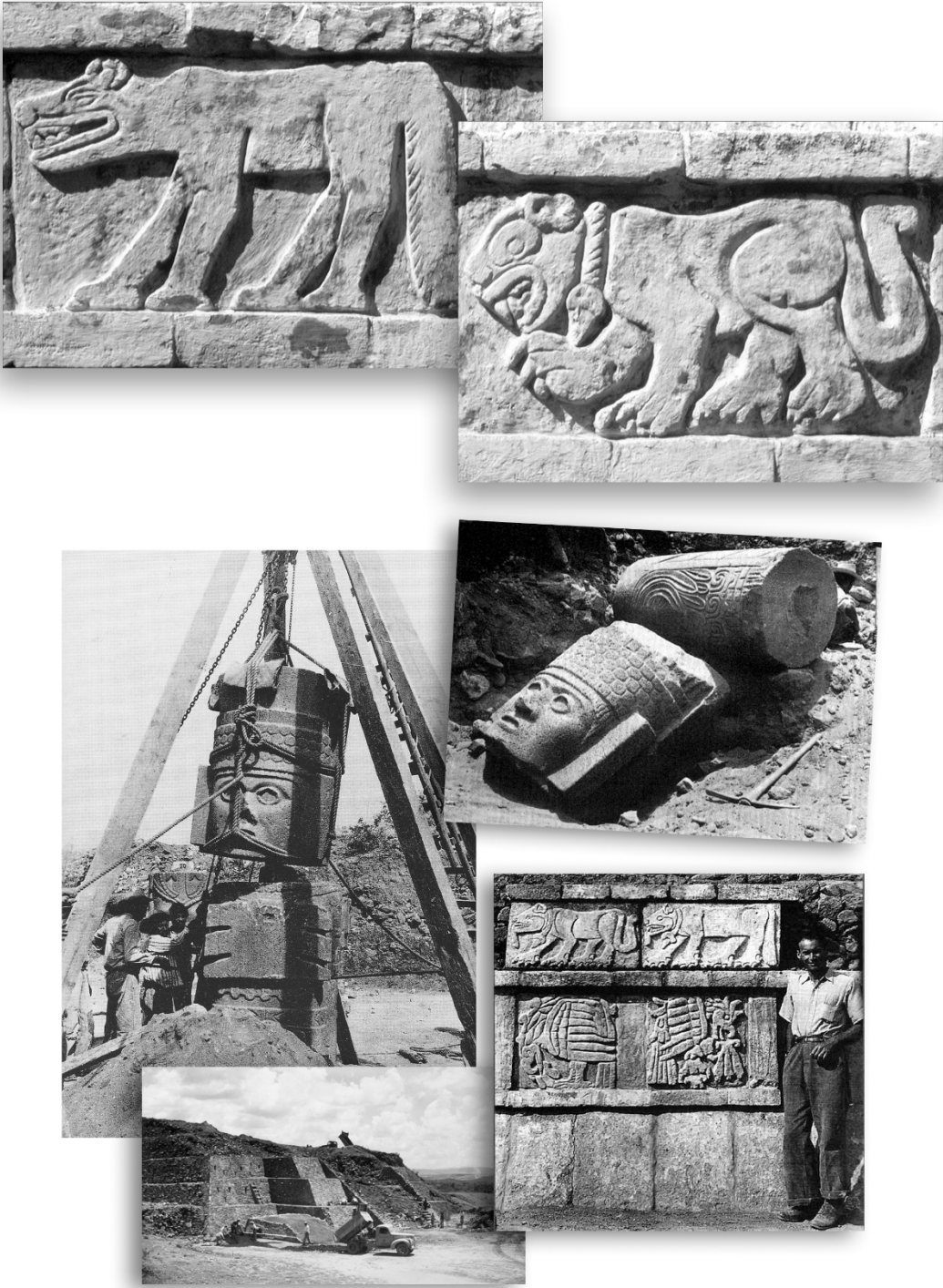


Fig. A.12 Excavaciones de Jorge Acosta

**Anexo B, Dibujos vectorizados**

**Los relieves**



Fig. B.1 Felino en procesión

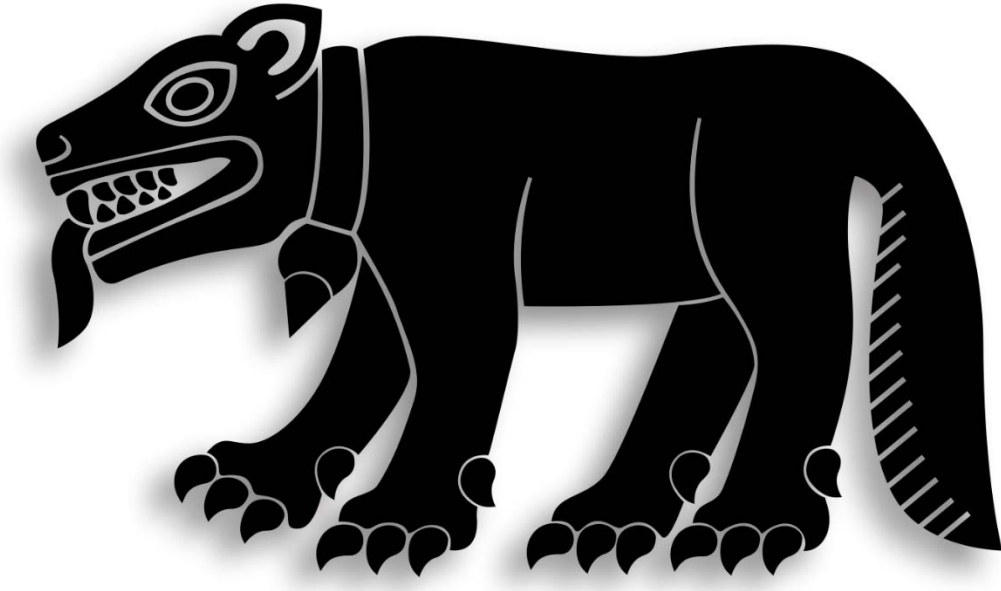


Fig. B.2 Canido en procesión





Fig. B.3 Tlahuizcalpantecuhtli

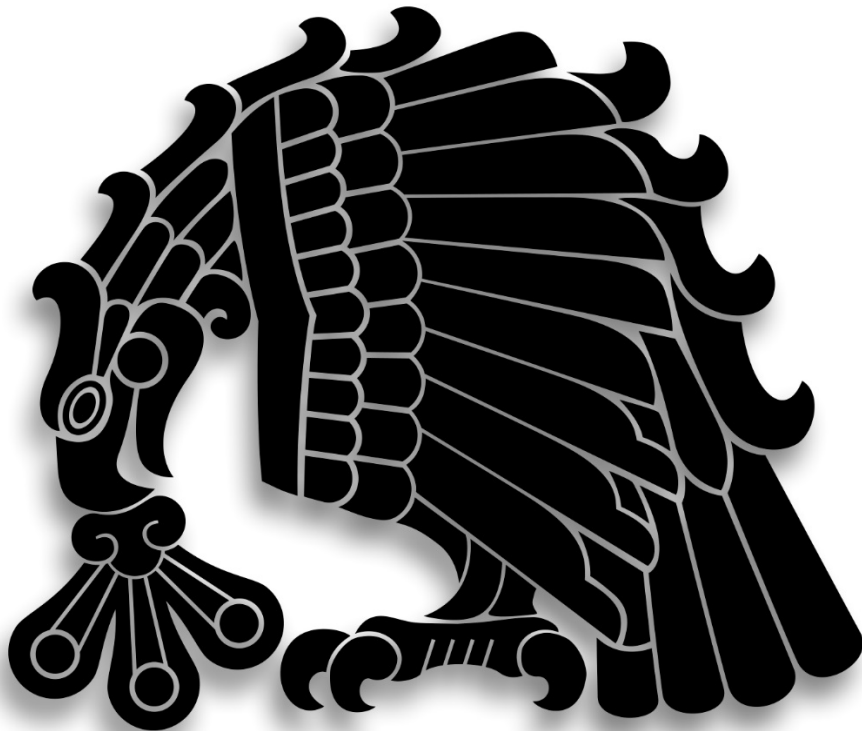


Fig. B.4 Ave devorando corazones

## Los pilares

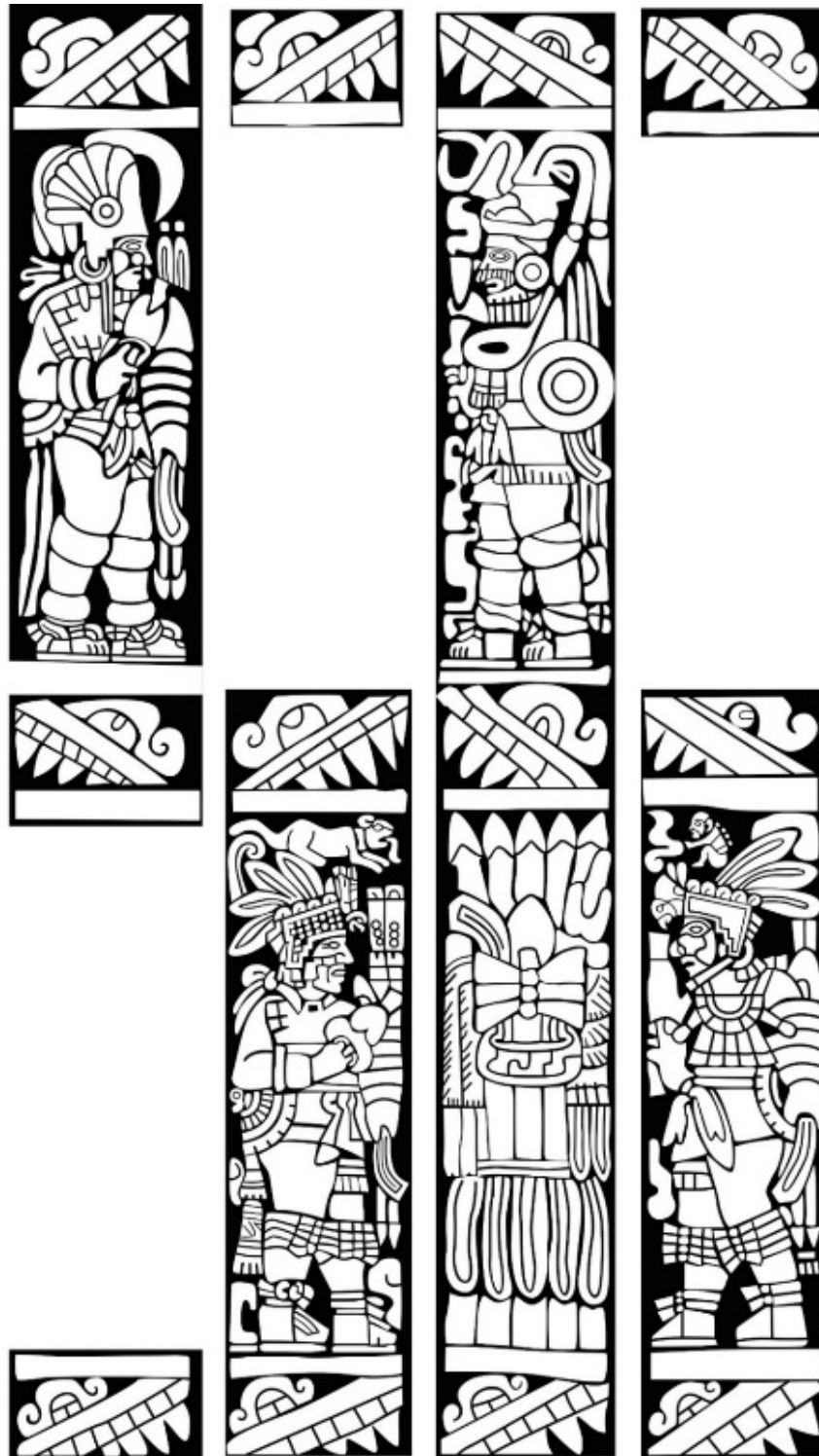


Fig. B.5 Dibujo vectorizado

Pilar 1, de derecha a izquierda y arriba abajo: personajes 1 y 2 aún sin determinar, 3 Huehuentzin, anciano de los mantenimientos y 4 Miztli o Cuitlamiztli, señor puma, interpretación de Elizabeth Jiménez García

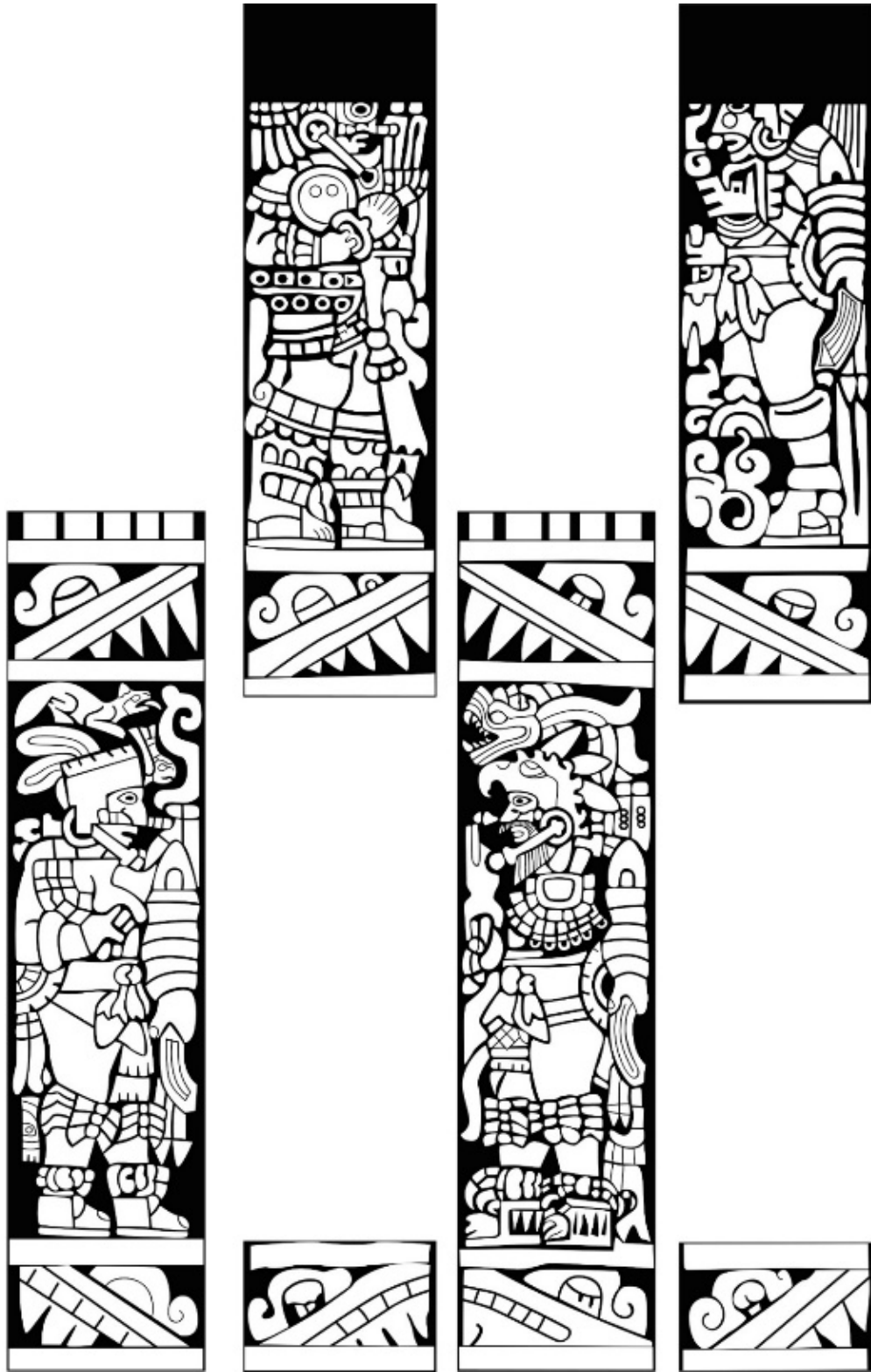


Fig. B.6 Dibujo vectorizado

Pilar 2, de derecha a izquierda y de arriba a abajo: 5 Tezcatlipoca, "el espejo humeante", 6 Tláloc, 7 Quetzalcóatl, "serpiente emplumada" y 8 Ozotohua, "señor zorro" interpretación de Elizabeth Jiménez García

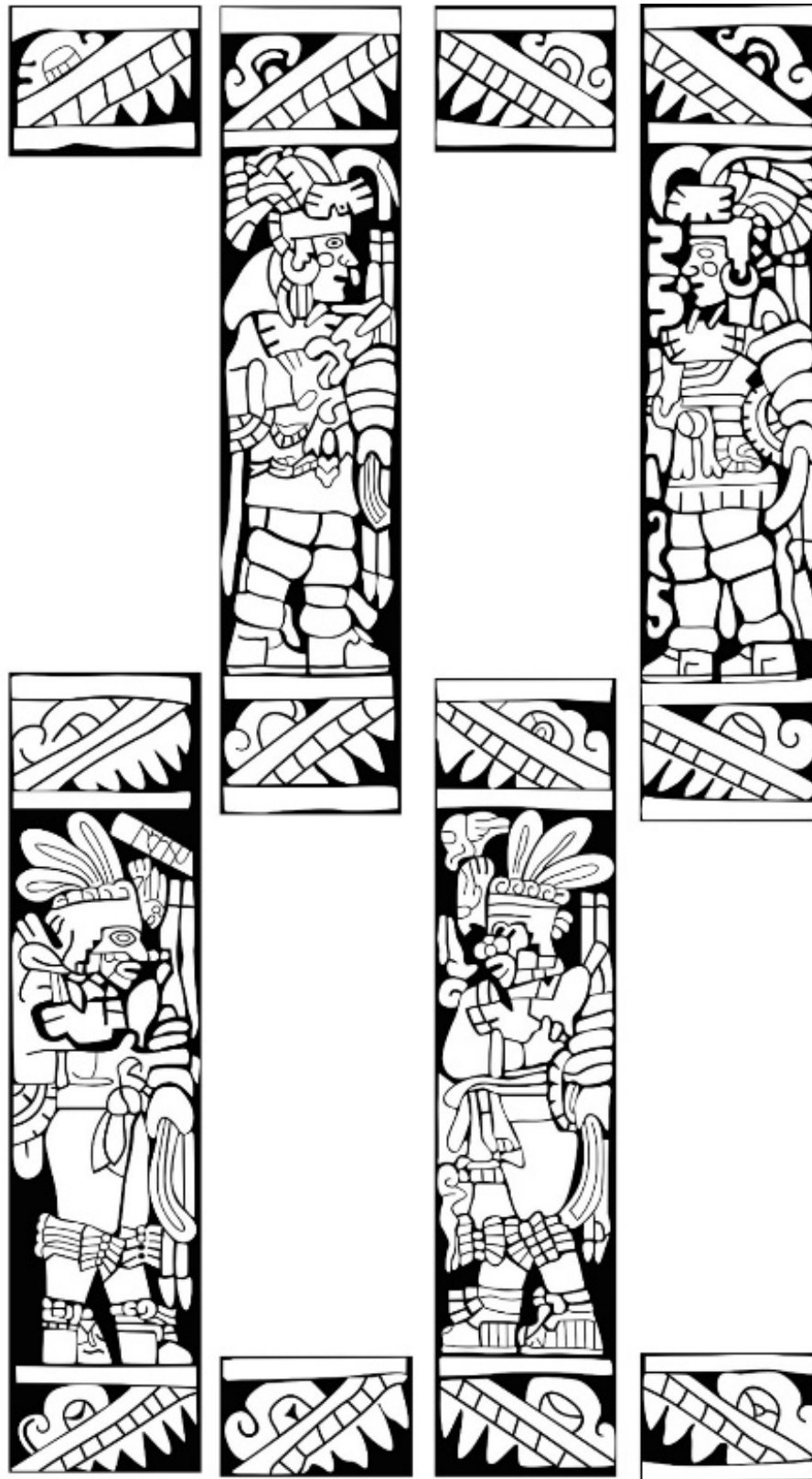


Fig. B.7 Dibujo vectorizado

Pilar 3, de derecha a izquierda y de arriba a abajo: personajes 9 y 10 aún sin determinar, 11 señor Alo, “guacamaya roja” y 12 Meocuilin, “gusano de maguey”, interpretación de Elizabeth Jiménez García

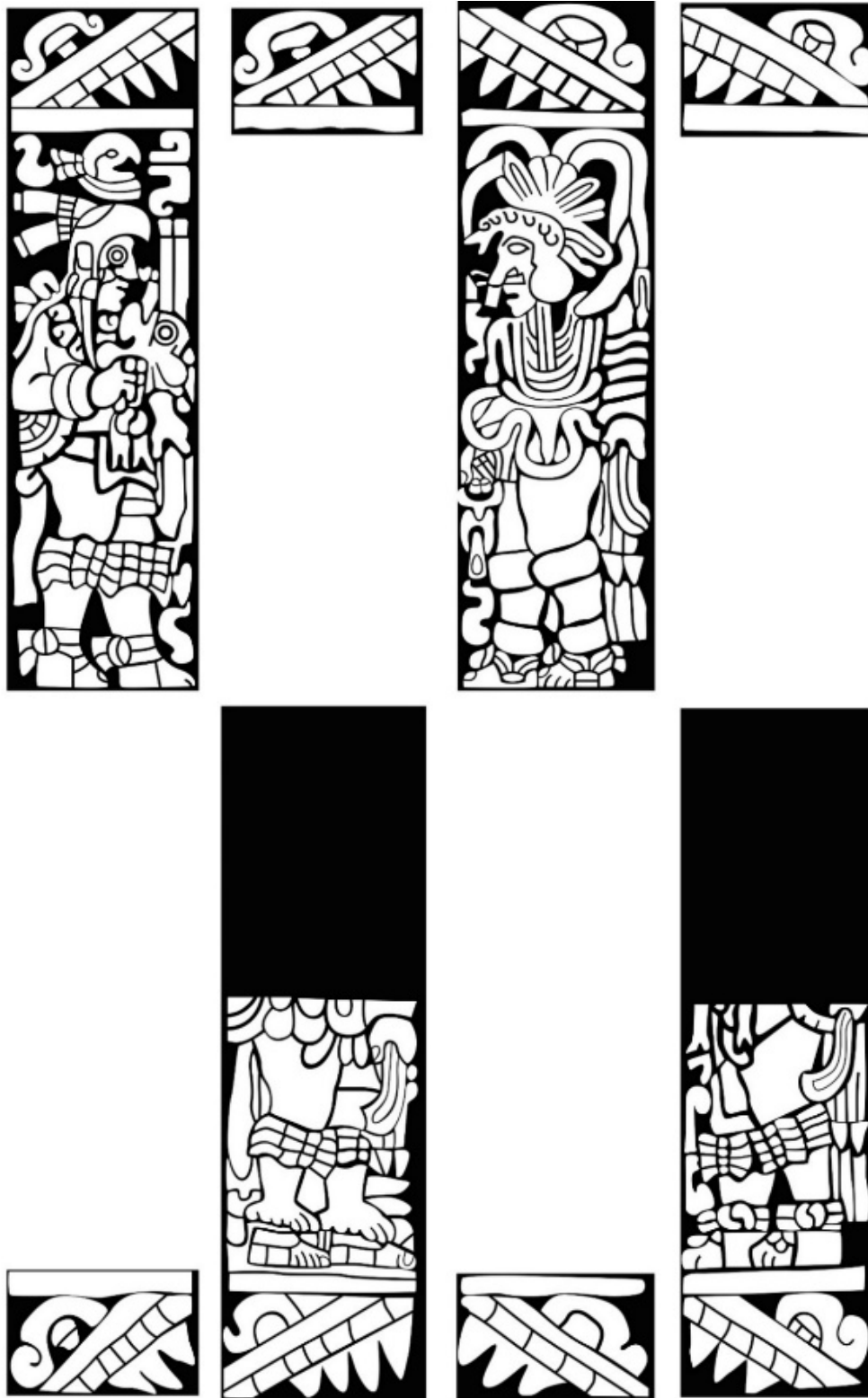


Fig. B.8 Dibujo vectorizado

Pilar 4, de derecha a izquierda y de arriba a abajo: personajes 13 guerrero vestido como Quetzalcóatl, 14 señor Toztli o Toznene, “papagayo adulto”, 15 y 16 aún sin determinar, interpretación de Elizabeth Jiménez García  
Cipactli se presenta arriba y abajo en todas las caras de los pilares.



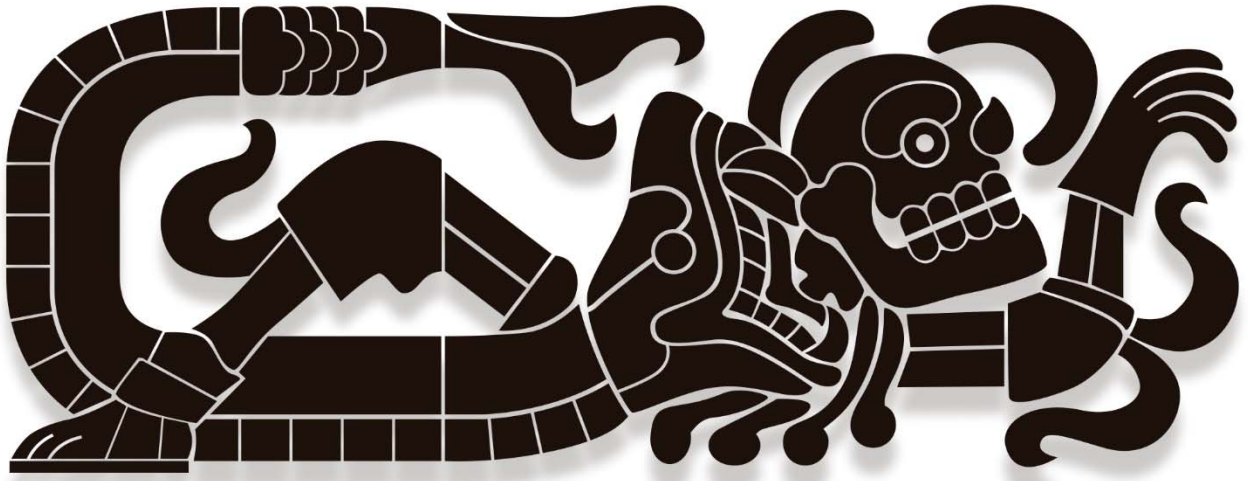


fig. B.9 Coatepantli

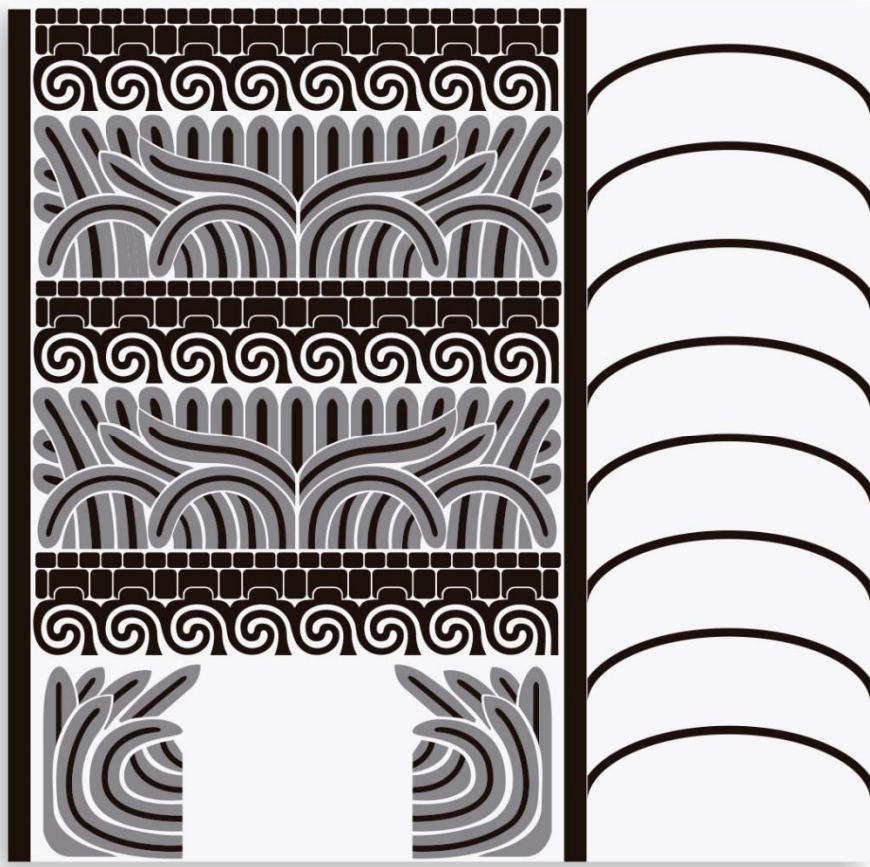


Fig. B.10 textura de la columna serpiente

**Anexo C, modelados**

**Los pilares**



Fig. C.1 Modelo 3D del pilar 1

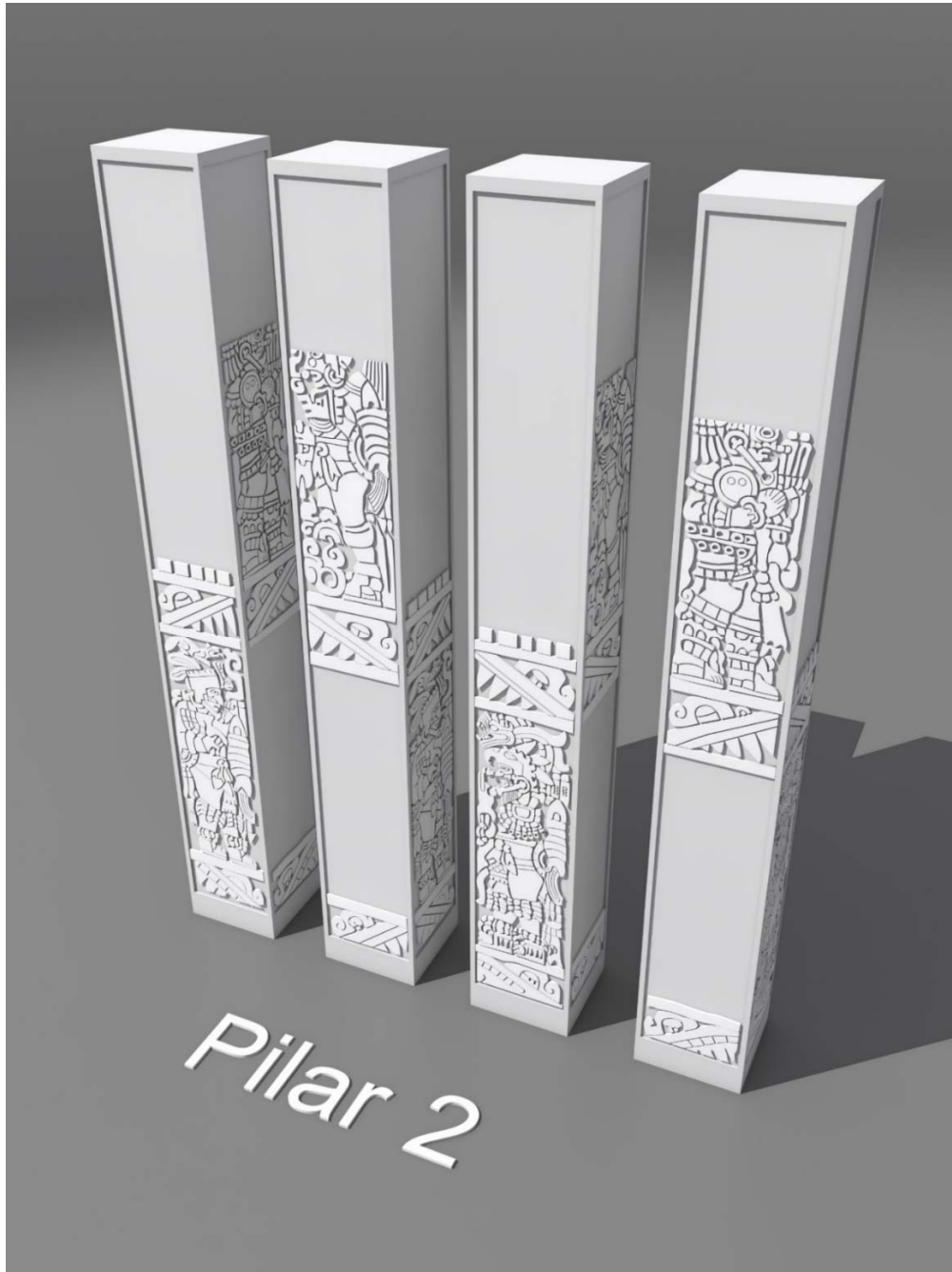


Fig. C.2 Modelo 3D del pilar 2



Fig. C.3 Modelo 3D del pilar 3

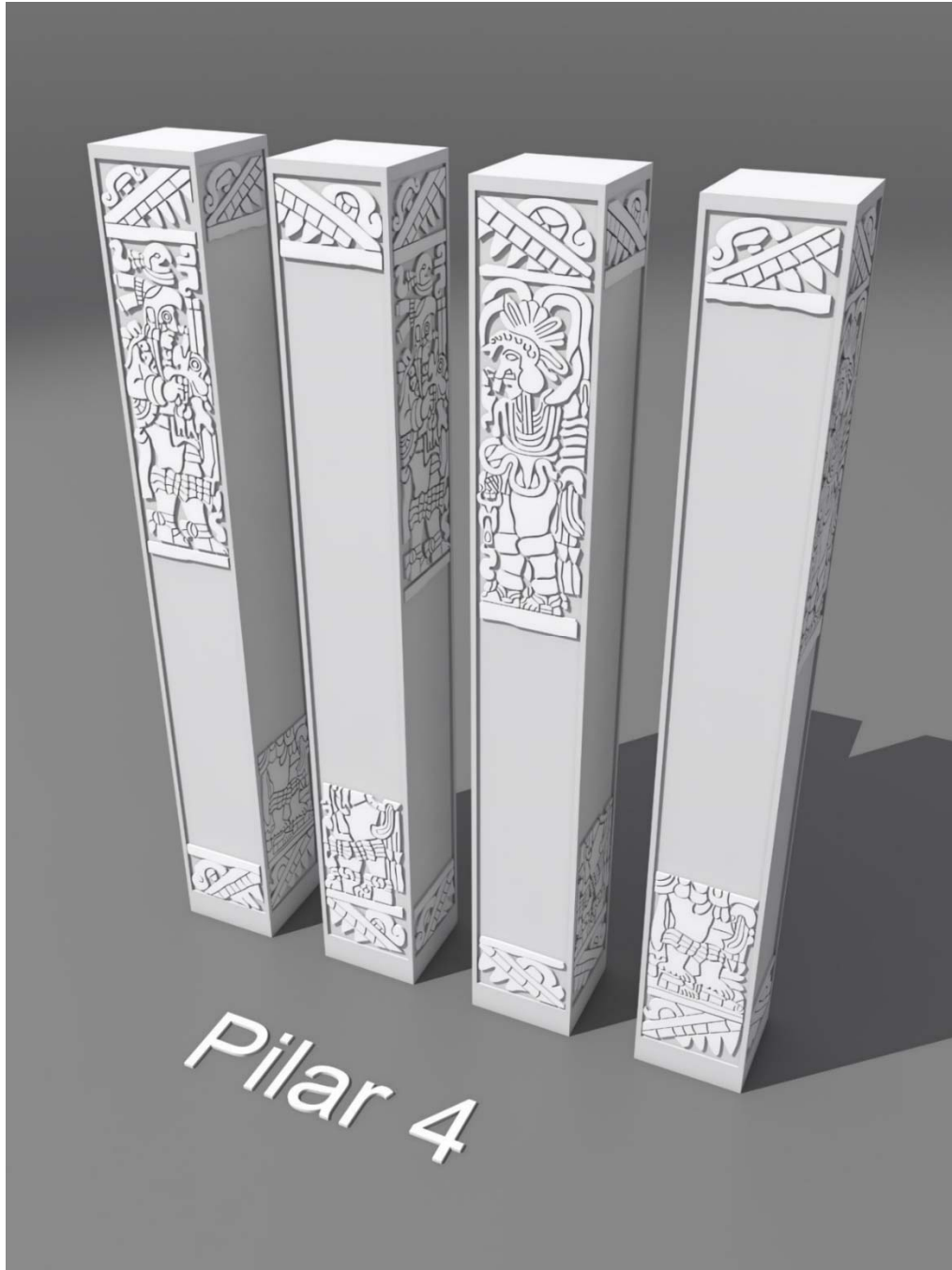


Fig. C.4 Modelo 3D del pilar 4



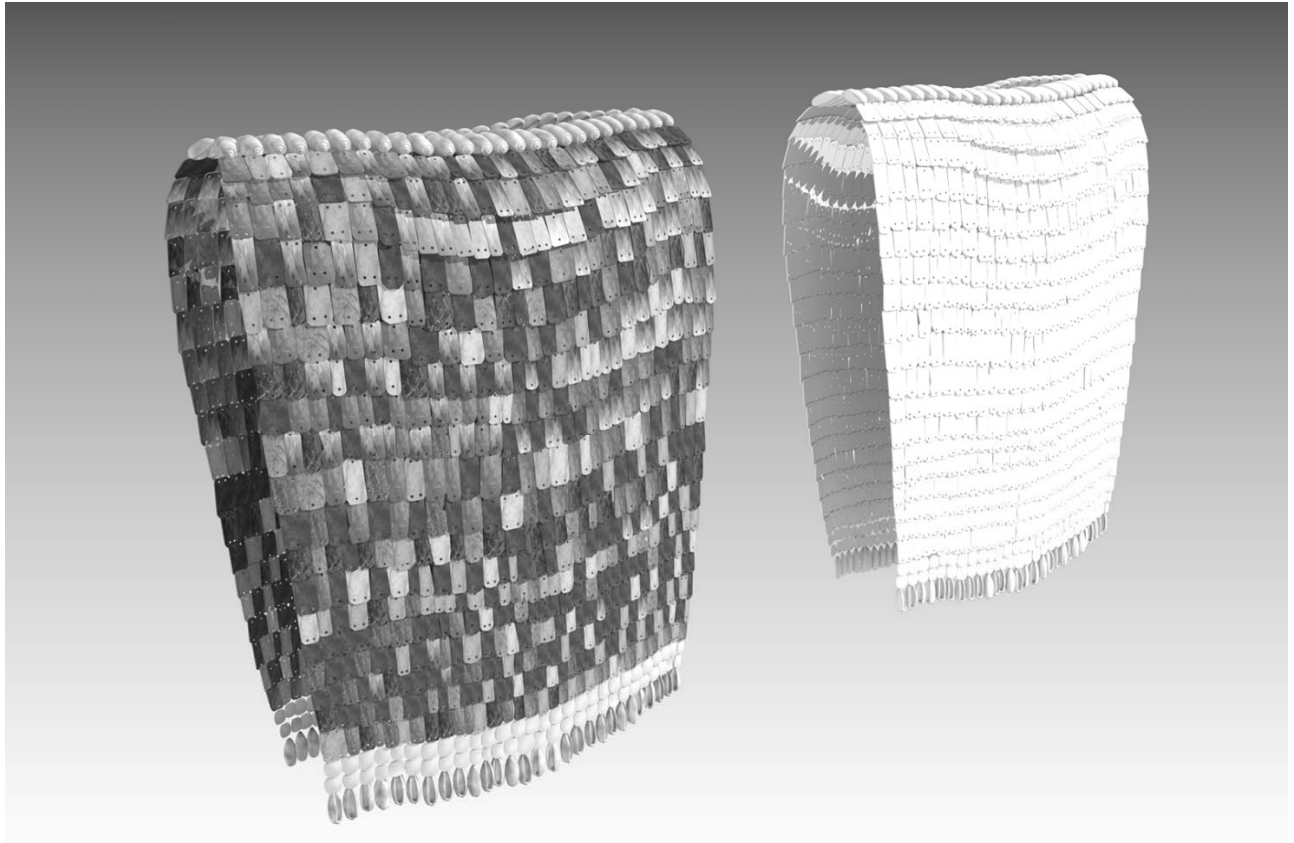


Fig. C.5 Chaleco ceremonial de concha



Fig. C.6 Modelo de los elementos del templo de la pirámide B



Fig. C.7 Modelo de la pirámide B completa

## Anexo D, Renders











